



نشریه علمی - پژوهشی پژوهشهای زراعی ایران

جلد ۱۶ شماره ۱

سال ۱۳۹۷

(شماره پیاپی: ۴۹)

شاپا: ۱۴۷۳-۲۰۰۸

عنوان مقالات

- ۱..... چندساله
احمد نظامی - سعید لاجانی - محمد رضا بهرامی - حامد ظریف - کتابی
- ۱۵..... بررسی و شیمیایی
محمد حواد مصطفوی مهدی نصیری محلاتی علیرضا کوچکی
- ۳۵..... واکنش برخی از صفات خاک و ویژگی های کیفی دانه آفتابگردان به رژیم های مختلف تغذیه ای
فاطمه سلیمانی - گودرز احمدوند - علی اکبر حسینی سنجابی
- ۴۹..... اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی و سمه (*Indigofera tinctoria* L.) در سطوح مختلف آبیاری در منطقه بوم
تادر مدافع بهرامی - پرویز رضوی مقدم - محسن جهان
- ۶۷..... تأثیر بفاهای گیاهان در دو نوع بافت خاک بر ویژگی های خاک و عملکرد ذرت دانه ای رقم NS640 در نظام کشاورزی کیم شخم
عین الله حسامی - محسن جهان - مهدی نصیری محلاتی - روزبه مرهروی
- ۸۳..... ارزیابی نشاتگرهای مبتنی بر رتروترانسپوزون ها در شناسایی مکان های مرتبط با صفات مهم زراعی و مقاومت به بیماری پوسیدگی اسکروتینیایی یقه ساقه در آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.) تحت شرایط مزرعه ای
رشید پاک نیا - قریح الله شهربازی - رضا درویش زاده - سعید منگ زاده
- ۹۷..... اثر زمان محلول پاشی عناصر ریزمغذی نانو بر صفات کمی و کیفی در ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم دیم
یحیی فیروزی شامعلی بگلور - حسن فیضی - اصغر مهربان - سعید علی پناه
- ۱۱۳..... تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و اجزای آن در دو ژنوتیپ و یک رقم ارزن دمیرونیایی
مسعود حراعی - محمد گلوری - مهدی دهمرده - سید محسن موسوی نیکو - غلامرضا زمانی - نقیسه مهدی آزاد
- ۱۲۵..... اثر محلول پاشی کود روی بر عملکرد دانه و محتوی روی دانه برنج رقم سازندگی
احمد رضایی - محمود صلیبی - مصطفی الدین رضایی
- ۱۳۷..... تغییرات نسبت کربن به نیتروژن خاک و پاسخ رشدی گیاه دارویی شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) در واکنش به سطوح مختلف کودهای دامی و شیمیایی
شعانه لاله - محمدحاجی - الاحمدی - سهیل یارما
- ۱۵۳..... کاربرد مفهوم زمان گرمایی جهت مدل سازی پاسخ جوانه زنی کلزا (*Brassica napus* L.) به دما
ابوالفضل درختان - عبدالشهدی یحیئزاده - سید عطاء الله میاد - محمد رضا مرادی تلاوت - بهرام اندرزبان
- ۱۶۵..... اثرات تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات و محلول پاشی عناصر روی و بور بر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (رقم افلاک)
حسین کسایی - حمیدرضا عیسوند - فرهاد نظریان
- ۱۸۱..... بررسی اثر تراکم بر میزان فتوسنتز و شاخص های رشد اکوتیپ های حنا (*Lawsonia inermis* L.)
امین یسندی پور - حسن قریح بخش
- ۱۹۱..... ارزیابی پاسخ به تنش خشکی در برخی از لاین های مواتل برنج با استفاده از شاخص های تحمل به تنش
هاشم امین پناه - ایمان شریفی - علی اکبر عبادی

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی - پژوهشی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

با شماره ثبت 124/7857 از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و
82/5/27

درجه علمی - پژوهشی شماره 3/11/74509 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
89/10/21

سال 1397

شماره 1

جلد 16

صاحب امتیاز:

دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

پرویز رضوانی مقدم

سر دبیر:

حمیدرضا خزاعی

استاد - اگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)
استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

یحیی امام

عبد الرضا باقری

محمدعلی بهدانی

محمد بنایان اول

مجید جامی الاحمدی

حمیدرضا خزاعی

حمید رحیمیان مشهدی

غلامرضا زمانی

احمد زارع فیض آبادی

فرج اله شهریاری احمدی

محمد کافی

احمد نظامی

داریوش مظاهری

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

استاد - مدلسازی سیستمهای کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی)

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: 20 نسخه

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، نشریه پژوهشهای زراعی ایران صندوق پستی 91775-1163

نمابر: 38787430

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://jcesc.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه در پایگاههای زیر نمایه می شود:

پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 1 حداکثر کارایی فتوسنتسم II به عنوان شاخصی از خسارت یخ زدگی در اکوتیپ‌های چاودار (*Secale montanum*) چندساله
احمد نظامی - سعید خانی نژاد - محمود رضا بهرامی - حامد ظریف کتابی
- 15 بررسی شاخص‌های رشد و مراحل فنولوژیک کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط استفاده از منابع تغذیه‌ای زیستی و شیمیایی
محمدجواد مصطفوی - مهدی نصیری محلاتی - علیرضا کوچکی
- 35 واکنش برخی از صفات خاک و ویژگی‌های کیفی دانه آفتابگردان به رژیم‌های مختلف تغذیه‌ای
فاطمه سلیمانی - گودرز احمدوند - علی اکبر صفری سنجانی
- 49 اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی وسمه (*Indigofera tinctoria* L.) در سطوح مختلف آبیاری در منطقه یم
نادر مدافع بهزادی - پرویز رضوانی مقدم - محسن جهان
- 67 تأثیر بقایای گیاهان در دو نوع بافت خاک بر ویژگی‌های خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای رقم NS640 در نظام کشاورزی کم شخم
عین اله حسامی - محسن جهان - مهدی نصیری محلاتی - روزبه فرهودی
- 83 ارزیابی نشاتگرهای مبتنی بر رتروترنسپوزون‌ها در شناسایی مکان‌های مرتبط با صفات مهم زراعی و مقاومت به بیماری پوسیدگی اسکروتینیایی یقه ساقه در آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.) تحت شرایط مزرعه‌ای
رشید پاک‌نیا - فرج اله شهریار - رضا درویش زاده - سعید ملک زاده
- 97 اثر زمان محلول پاشی عناصر ریزمغذی نانو بر صفات کمی و کیفی در 18 ژنوتیپ گندم دوروم دیم
یحیی فیروزی شاهعلی بگلو - حسن فیضی - اصغر مهربان - مسعود علی پناه
- 113 تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و اجزای آن در دو ژنوتیپ و یک رقم ارزن دم‌روباهی
مسعود خزاعی - محمد گلوی - مهدی دهمرده - سید محسن موسوی نیک - غلامرضا زمانی - نفیسه مهدی نژاد
- 125 اثر محلول پاشی کود روی بر عملکرد دانه و محتوی روی دانه برنج رقم سازندگی
احمد رمضانی - محمود صلیحی - مصلح‌الدین رضایی
- 137 تغییرات نسبت کربن به نیتروژن خاک و پاسخ رشدی گیاه دارویی شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) در واکنش به سطوح مختلف کودهای دامی و شیمیایی
سمانه لاله - مجیدجامی الاحمدی - سهیل پارسا
- 153 کاربرد مفهوم زمان گرمایی جهت مدل‌سازی پاسخ جوانه‌زنی کلزا (*Brassica napus* L.) به دما
ابوالفضل درخشان - عبدالمهدی بخشنده - سید عطاالله سیادت - محمد رضا مرادی تلاوت - بهرام اندرزیان
- 165 اثرات تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول پاشی عناصر روی و بور بر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (رقم افلاک)
حسین کمائی - حمیدرضا عیسوند - فرهاد نظریان
- 181 بررسی اثر تراکم بر میزان فتوسنتز و شاخص‌های رشد اکوتیپ‌های حنا (*Lowsonia inermis* L.)
امین پسندی پور - حسن فرح بخش
- 191 ارزیابی پاسخ به تنش خشکی در برخی از لاین‌های موتانت برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش
هاشم امین‌پناه - پیمان شریفی - علی اکبر عبادی

- 203 واکنش چند رقم گندم نان به محلول پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن در دو منطقه با خاک متفاوت
الباس آرمجو - محمد علی بهدانی - سهراب محمودی - بهزاد صادق‌زاده
- 217 تأثیر انواع شخم و گیاهان پوششی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم
زهره شریفی - سید وحید اسلامی - مجید جامی الاحمدی - سهراب محمودی
- 229 مطالعه تغذیه برگ‌گی کلات آهن به فرم‌های نانو و معمول بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در شرایط تنش خشکی
عباس نصیری دهرخی - احمد قنبری - ویدا ورناصری قندعلی
- 243 اثر روش کاشت پشته مرتفع و نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن و عملکرد گندم
علیرضا کوچکی - سرور خرم دل - جواد شباهنگ



حداکثر کارایی فتوسیستم II به عنوان شاخصی از خسارت یخ‌زدگی در اکوتیپ‌های چاودار (*Secale montanum*) چندساله

احمد نظامی^{۱*} - سعید خانی نژاد^۲ - محمودرضا بهرامی^۲ - حامد ظریف کتابی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۵

چکیده

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل روشی سریع و غیر تخریبی است که به عنوان شاخصی مهم برای شناسایی ارقام متحمل به تنش‌های محیطی از جمله تنش یخ‌زدگی مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور بررسی امکان استفاده از پارامترهای فلورسانس کلروفیل در ارزیابی تحمل اکوتیپ‌های چندساله چاودار به تنش یخ‌زدگی آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. عامل‌های مورد مطالعه شامل ۱۰ اکوتیپ چاودار (۲۶۴، ۹۴۱، ۸۴۲۵، ۱۵۷۷۱، ۱۵۸۷، ۱۴۹۴۷، ۵۹۱، ۱۲۷۵، ۳۸۵۷ و ۱۲۶۴۰)، ۹ دمای یخ‌زدگی (۰، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲-، ۱۵-، ۱۸-، ۲۱- و ۲۴- درجه سانتی‌گراد) و چهار مرحله اندازه‌گیری حداکثر کارایی فتوسیستم II در دوره‌ی بازیابی گیاه پس از اعمال تنش یخ‌زدگی (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ ساعت) بودند. حداکثر کارایی فتوسیستم II در گیاهچه‌های چاودار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اکوتیپ‌های چاودار تا دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد از نظر حداکثر کارایی فتوسیستم II تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما در دماهای ۲۱- و ۲۴- درجه سانتی‌گراد و با گذشت زمان بازیابی از ۱۲ به ۲۴ ساعت حداکثر کارایی فتوسیستم II کاهش یافت. از نظر دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی فتوسیستم II بین اکوتیپ‌های چاودار تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که در ۱۲ ساعت بعد از اعمال تنش یخ‌زدگی اکوتیپ ۱۲۶۴۰ در دمای ۲۴/۸- درجه سانتی‌گراد به ۵۰ درصد کاهش حداکثر کارایی فتوسیستم II خود رسید و اکوتیپ ۲۶۴ و ۹۴۱ نیز به ترتیب با ۲۰/۲- و ۲۰- درجه سانتی‌گراد بالاترین دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی فتوسیستم II را دارا بودند. بین حداکثر کارایی فتوسیستم II با درصد نشت الکترولیت‌ها و درصد بقا همبستگی معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده پتانسیل مناسب شاخص مذکور برای تشخیص سریع ارقام حساس و متحمل به تنش یخ‌زدگی در چاودار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تحمل به سرما، درصد بقا، فلورسانس کلروفیل، نشت الکترولیت‌ها

مقدمه

گیاه شود. علاوه بر آن کاهش شدید دما به پایین‌تر از حد آستانه‌ی تحمل انجماد در گیاه طی زمستان، می‌تواند صدمات شدید را برای گیاهان در پی داشته و منجر به افت عملکرد گیاه گردد (Mahfoozi et al., 2008). بنابراین تحمل گیاهان به تنش سرما یکی از عوامل ضروری جهت بقا زمستانه، رشد و تولید مناسب گیاهان ذکر شده است (Nezami et al., 2007).

چاودار (*Secale montanum*) در بسیاری از کشورهای دنیا از جمله لهستان، روسیه، آلمان، چین و اوکراین به عنوان یک گیاه زراعی کشت می‌شود (Behnia, 1994). این گیاه از جمله غلاتی است که می‌تواند جهت تهیه نان مورد استفاده قرار گیرد و همچنین به عنوان علوفه سبز، علوفه خشک و سیلو در تغذیه دام‌ها استفاده می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی چاودار رشد آن در مناطق سرد و اراضی

بخش زیادی از غلات سردسیری کشور در مناطق سرد کوهستانی و دامنه‌ها کشت می‌شوند (Mahfoozi et al., 2008)، در شرایط مذکور این گیاهان قادرند از طریق برخی ساز و کارهای فیزیولوژیکی با سرما سازگار شده و تحمل به انجماد خود را افزایش دهند (Fowler et al., 2001). با این حال افت شدید و ناگهانی دمای هوا، قبل از سازگاری گیاه با سرما می‌تواند منجر به از بین رفتن

۱- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول: Email: nezami@um.ac.ir

سرما بر شمرند. بیندر و فیلدر (۱۹۹۶) ۲۴ ساعت بعد از اعمال تنش یخ‌زدگی روی صنوبر از ابزار فلورسانس کلروفیل برای ارزیابی میزان تنش استفاده کردند و بیان نمودند که تأثیر یخ‌زدگی روی فلورسانس کلروفیل بستگی به مرحله خوسرمایی و دمای یخ‌زدگی دارد. در خصوص تحمل به سرما در اکوتیپ‌های چاودار چندساله اطلاعات چندانی در دسترس نمی‌باشد، لذا این مطالعه با هدف امکان استفاده از شاخص حداکثر کارایی فتوسیستم II، به‌عنوان یک روش غیر تخریبی و سریع، در ارزیابی تحمل به تنش یخ‌زدگی اکوتیپ‌های چاودار اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل‌های مورد مطالعه شامل ۱۰ اکوتیپ چاودار چندساله تهیه شده از بخش تحقیقات نهال و بذر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (۲۴۶، ۵۹۱، ۹۴۱، ۱۲۷۵، ۱۵۸۷، ۳۸۵۷، ۸۴۲۵، ۱۲۶۴۰، ۱۴۹۴۷ و ۱۵۷۷۱)، ۹ دمای یخ‌زدگی (۰، -۳، -۶، -۹، -۱۲، -۱۵، -۱۸، -۲۱ و -۲۴ درجه سانتی‌گراد) و چهار مرحله اندازه‌گیری حداکثر کارایی فتوسیستم II در دوره‌ی بازایی گیاه پس از اعمال تنش یخ‌زدگی (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۹۶ ساعت) بودند. منشأ این اکوتیپ‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. در اوایل آبان ماه، هشت بذر چاودار در گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و در عمق ۲-۱ سانتی‌متری بستر کشت کاشته شدند. خاک گلدان‌ها از نسبت‌های یکسان خاکبرگ، شن و خاک زراعی تشکیل شده بود. پس از سبز شدن و استقرار گیاهچه‌ها، تعداد بوته‌ها به پنج عدد تقلیل یافت. جهت اعمال خوسرمایی بوته‌ها تا مرحله شش تا هشت برگی در محیط طبیعی نگهداری شدند و سپس در معرض تنش یخ‌زدگی قرار داده شدند.

گلدان‌ها ۲۴ ساعت قبل از اعمال یخ‌زدگی آبیاری شدند و سپس جهت اعمال تیمارهای دمایی به فریزر ترموگرادیان انتقال یافتند. دمای فریزر در شروع آزمایش پنج درجه سانتی‌گراد بود و پس از قرار دادن گلدان‌ها در داخل فریزر با سرعت دو درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. به‌منظور ایجاد هستک یخ در گیاهچه‌ها، در دمای -۲/۵- درجه سانتی‌گراد محلول حاوی باکتری‌های القاء‌کننده هستک یخ INAB^۱ روی برگ‌ها به نحوی پاشیده شد که سطح گیاه را قشری از این محلول پوشانده و تقریباً خیس شدند. جهت ایجاد تعادل در دمای محیط گیاهان در هر تیمار دمایی به مدت یک ساعت باقی مانده و پس از آن جهت کاهش سرعت ذوب بلافاصله به داخل اتاقک‌های

فقیر و همچنین مناطقی با خاک‌های سبک است (Nourmohamadi et al., 1998). علی‌رغم این، کشت چاودار در ایران در مقایسه با غلات سرمادوست دیگری مانند گندم و جو کمتر رایج است، ولی وجود پتانسیل مناسب این گیاه جهت رشد در محیط‌های تحت تنش به‌ویژه تنش سرما، تحقیقات بیشتر بر روی آن را ضروری می‌سازد. زیرا دمای پایین فعالیت‌های فیزیولوژیکی را در گیاه مختل کرده و باعث آسیب‌های برگشت‌ناپذیر و اختلال در فرآیندهای رشدی گیاه می‌شود (Ingram and Bartels, 1996).

در اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی استفاده از تکنیک فلورسانس کلروفیل، عنوان یک روش سریع، حساس و غیرتخریبی مورد توجه قرار دارد (Maxwell and Johnson, 2000). در حقیقت فلورسانس کلروفیل می‌تواند کاهش در سلامت اولیه گیاه را قبل از این‌که نشانه‌های زوال در آن آشکار شود، نشان دهد. خصوصیات فلورسانس کلروفیل به‌صورت غیرمستقیم نشان‌دهنده سلامت (سیالیت، ثبات و انسجام) غشاءهای فتوسنتزی می‌باشد (Hakam et al., 2000) و از آنجایی که در گیاهان فتوسیستم II نقش مهمی در پاسخ فعالیت‌های فتوسنتز به تنش‌های محیطی ایفا می‌کند، استفاده از تکنیک فلورسانس کلروفیل برای ارزیابی واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی از اهمیت خاصی برخوردار است (Percival and Henderson, 2003). در همین راستا اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل به‌عنوان شاخصی از تحمل به سرما در جو زمستانه (Rapacz et al., 2008)، یولاف (Rizza et al., 2001) و جو بهاره (Francia et al., 2004) مورد استفاده قرار گرفته است. زمانی که گیاهان در معرض تنش سرما قرار می‌گیرند، متابولیسم برگ‌ها به شدت کاهش یافته و فتوسیستم II شدیداً خسارت می‌بیند و به دنبال آن حداکثر کارایی فتوسیستم II (که برای یک گیاه سالم بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۵ می‌باشد)، کاهش می‌یابد (Mena-Petite et al., 2005). در بررسی اثرات تنش یخ‌زدگی بر روی گیاه گندم مشاهده شد که با کاهش دما به کمتر از دمای -۸- درجه سانتی‌گراد حداکثر کارایی فتوسیستم II به شدت کاهش یافت (Mam and Philip, 1996). اندازه‌گیری حداکثر کارایی فتوسیستم II به‌عنوان شاخصی از اثرات تنش یخ‌زدگی در چغندر قند (*Beta vulgaris*) نشان داد که افزایش شدت تنش یخ‌زدگی کاهش حداکثر کارایی فتوسیستم II را در پی داشت (Jalilian et al., 2008). دای و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که اعمال تنش یخ‌زدگی بر گیاه جو حداکثر کارایی فتوسیستم II را به شدت کاهش داد، با وجود این پس از دو ساعت بازایی، حداکثر کارایی فتوسیستم II به حدود ۵۰ درصد تیمار شاهد (تیمار عدم یخ‌زدگی) و پس از ۲۴ و ۷۲ ساعت به ترتیب به ۶۴ و ۸۲ درصد تیمار شاهد رسید. نئونر و بوچنر (۱۹۹۹) بررسی فلورسانس کلروفیل بر روی بخش‌هایی از گیاه *Rhododendron ferrugineum* که دچار یخ‌زدگی شده بود را به‌عنوان پارامتری جهت تخمین میزان خسارت

1- Ice nucleation active bacteria

($p \leq 0.001$) وجود داشت، به طوری که اکوتیپ ۱۲۶۴۰ حداکثر کارایی فتوسیستم II را دارا بود و کمترین مقدار آن در اکوتیپ ۲۶۴ مشاهده شد (شکل ۱). بررسی راپاکز (۲۰۰۷) بر روی سه رقم گندم زمستانه نیز نشان داد که از نظر حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II بعد از تنش یخزدگی بین ارقام مورد بررسی تفاوت وجود داشت و ارقام *Clever* و *Tonacja* به ترتیب بالاترین و کمترین مقدار این شاخص را داشتند. در صورتی که در ساعات اولیه تنش اختلاف معنی داری بین ارقام مشاهده نشده بود. ایشان اختلاف بین حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در ارقام گندم را نتیجه تفاوت ژنتیکی آنها در واکنش به تنش یخزدگی دانست.

جدول ۱- منشأ اکوتیپ‌های چاودار

Table 1- Origin of rye ecotypes

ردیف	اکوتیپ	منشأ
No	Ecotype	Origin
1	264	قزوین (Qazvin)
2	591	گران (Gorgan)
3	941	اصفهان (Isfahan)
4	1275	شهرکرد (Shahr Kord)
5	1587	کرج (Karaj)
6	3857	سمنان (Semnan)
7	8420	اراک (Arak)
8	12640	سمنان (Semnan)
9	14947	اراک (Arak)
10	15771	کرج (Karaj)

بررسی میانگین حداکثر کارایی فتوسیستم II در چاودار طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه نشان داد که تا ۴۸ ساعت بعد از اعمال تنش یخزدگی میزان این کارایی کاهش داشت و بعد از آن تقریباً ثابت ماند (شکل ۲). لیانگ و همکاران (۲۰۰۷) در گیاهچه‌های *Jatropha curcas* مشاهده کردند که تنش سرما بعد از ۶ و ۱۲ ساعت تأثیری بر حداکثر کارایی فتوسیستم II نداشت اما بعد از ۲۴ و ۴۸ ساعت مقدار آن را به شدت کاهش داد. نامبردگان اظهار داشتند که این کاهش ممکن است به دلیل کاهش ظرفیت فتوسیستم II و بازدارندگی در انتقال الکترون در زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تنش باشد.

در بررسی روند حداکثر کارایی فتوسیستم II در گیاهان چاودار قرار گرفته در معرض دماهای یخزدگی مشاهده شد که شیب کاهش این صفت در ۱۲ ساعت پس از اعمال تنش یخزدگی کمتر از سایر زمان‌های اندازه‌گیری بود (شکل ۳ الف و جدول ۲). علاوه بر این در زمان ۱۲ و ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش یخزدگی، دمای به صفر رسیدن حداکثر کارایی فتوسیستم II به ترتیب ۱/۲۶- و ۲۴ درجه سانتی‌گراد بود، در صورتی که در زمان ۴۸ و ۹۶ ساعت پس از اعمال

رشد با دمای 5 ± 2 درجه سانتی‌گراد انتقال یافته و به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. پس از طی این مدت، بوته‌ها به شاسی سرد منتقل شدند.

حداکثر کارایی فتوسیستم II به وسیله دستگاه فلورومتر (OS1-FL Chlorophyll Fluorometer) روی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته، اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین درصد نشت الکترولیت‌ها ابتدا جوان‌ترین دو برگ کاملاً توسعه یافته از هر بوته جدا شد و در ویال‌های حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده قرار گرفتند. ویال‌های حاوی نمونه‌های گیاهی به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شده و سپس هدایت الکتریکی آنها با استفاده از EC متر مدل Jenway اندازه‌گیری شد (EC_1). در مرحله بعد ویال‌های حاوی نمونه‌های گیاهی به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه و فشار ۳ بار قرار داده شدند. سپس ویال‌ها از اتوکلاو خارج شده و پس از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در شرایط آزمایشگاه درصد نشت الکترولیت‌ها اندازه‌گیری شد (EC_2). درصد نشت الکترولیت‌ها از معادله ۱ محاسبه شد.

$$\%EC = (EC_1/EC_2) \times 100 \quad (1)$$

روز بعد از اعمال دماهای یخزدگی، گلدان‌ها به شاسی سرد منتقل شده و بعد از چهار هفته درصد بقا (معادله ۲) تعیین شد.

$$\% \text{ بقا} = \left[\frac{\text{تعداد بوته‌ها قبل از یخزدگی}}{\text{تعداد بوته‌ها چهار هفته بعد از یخزدگی}} \right] \times 100 \quad (2)$$

جهت بررسی رابطه بین دمای یخزدگی (T_f) و حداکثر کارایی فتوسیستم II از مدل دو قطعه‌ای خطی^۱ استفاده شد (معادله ۳):

$$Y = C \quad \text{if } T_f \leq T_0$$

$$Y = b(T_c - T) \quad \text{if } T_f > T_0 \quad (3)$$

که در آن C حداکثر کارایی مشاهده شده، T_0 آستانه درجه حرارت انجماد برای حفظ حداکثر کارایی، b شیب کاهش کارایی با کاهش درجه حرارت انجماد و T_c حداقل دمای انجماد برای توقف کارکرد فتوسیستم II می‌باشند. برازش با استفاده از نرم‌افزار Sigma Stat ver.2.0 انجام شد.

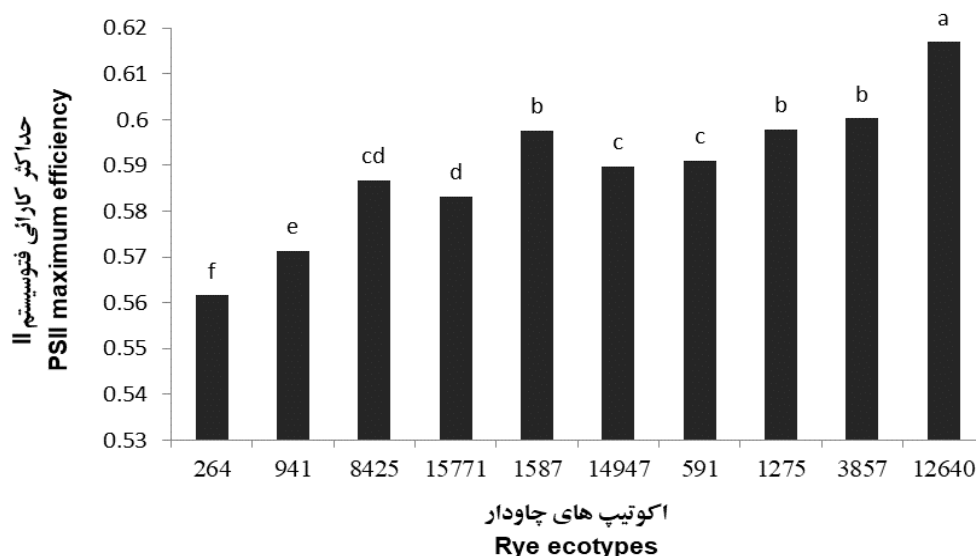
جهت تجزیه آماری از نرم‌افزار Minitab 16، برای تعیین دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی از نرم‌افزار Slide Write و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که در بین اکوتیپ‌های چاودار از نظر حداکثر کارایی فتوسیستم II پس از تنش سرما اختلاف معنی داری

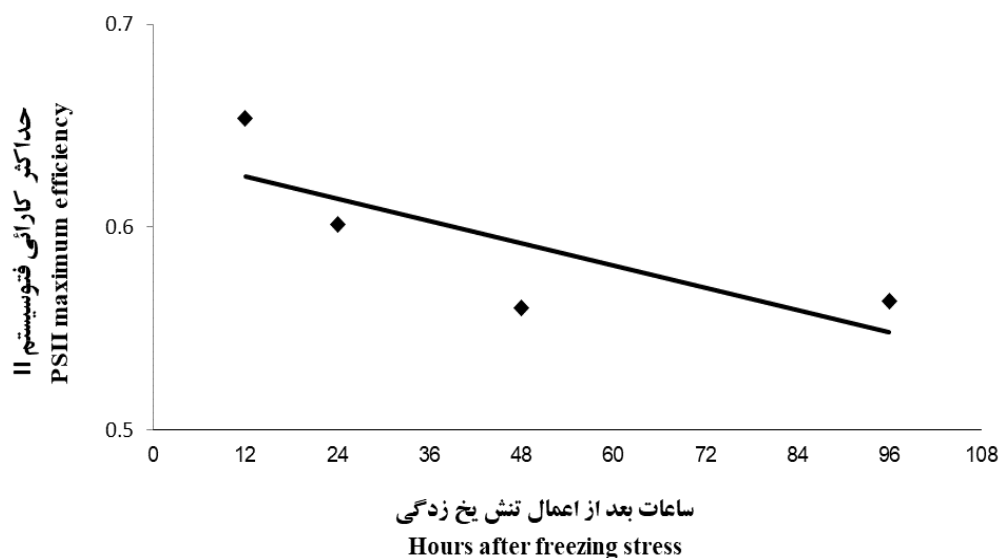
فتوسیستم II ایجاد نشده است (شکل ۳ پ و ت). راپاکز (۲۰۰۷) گزارش کرد که در ارقام گندم زمستانه قبل از اعمال تنش یخ‌زدگی از نظر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II تفاوت چندانی وجود نداشت، اما بلافاصله بعد از تنش یخ‌زدگی مقدار این شاخص کاهش یافت.

تنش یخ‌زدگی این کارایی در دمای ۲۱- درجه سانتی‌گراد به حداقل رسید (جدول ۲). روند تغییرات حداکثر کارایی فتوسیستم II تحت تأثیر دماهای یخ‌زدگی در زمان‌های ۴۸ و ۹۶ ساعت بسیار مشابه بود و به‌نظر رسید که پس از زمان ۴۸ ساعت تغییراتی در حداکثر کارایی



شکل ۱- میانگین حداکثر کارایی فتوسیستم II در اکوتیپ‌های چاودار بعد از تنش یخ‌زدگی در شرایط کنترل شده (میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 1- Mean of PSII maximum efficiency in rye ecotypes after freezing stress in controlled conditions (Means with the same letters, indicated significant difference at 5% probability level.)



شکل ۲- میانگین حداکثر کارایی فتوسیستم II در اکوتیپ‌های چاودار طی دوره‌های زمانی پس از اعمال تنش یخ‌زدگی در شرایط کنترل شده (هر نقطه میانگین ۹۰ عدد است).

Figure 2- Mean of PSII maximum efficiency in rye ecotypes after durations of freezing stress in controlled conditions. (Each point is mean of 90 observations)

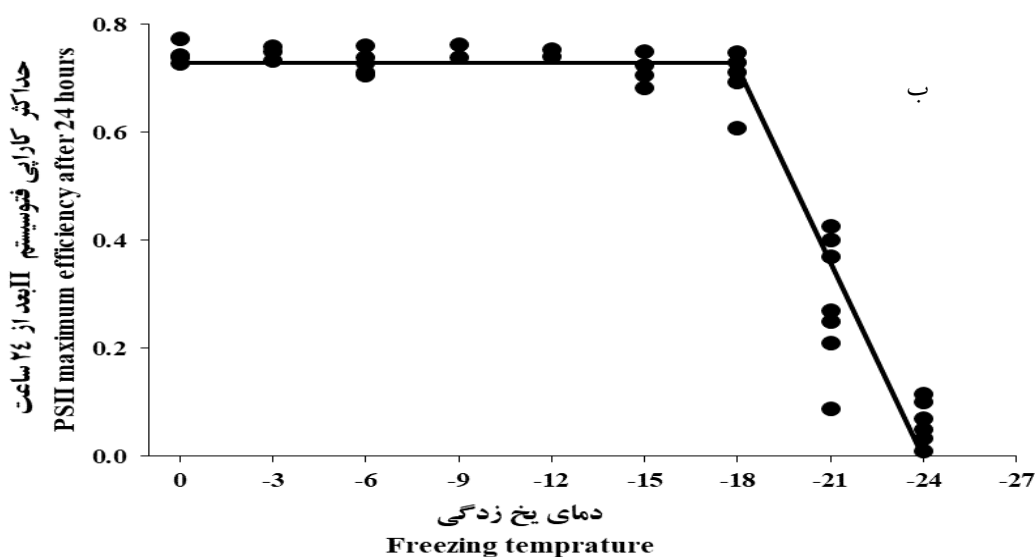
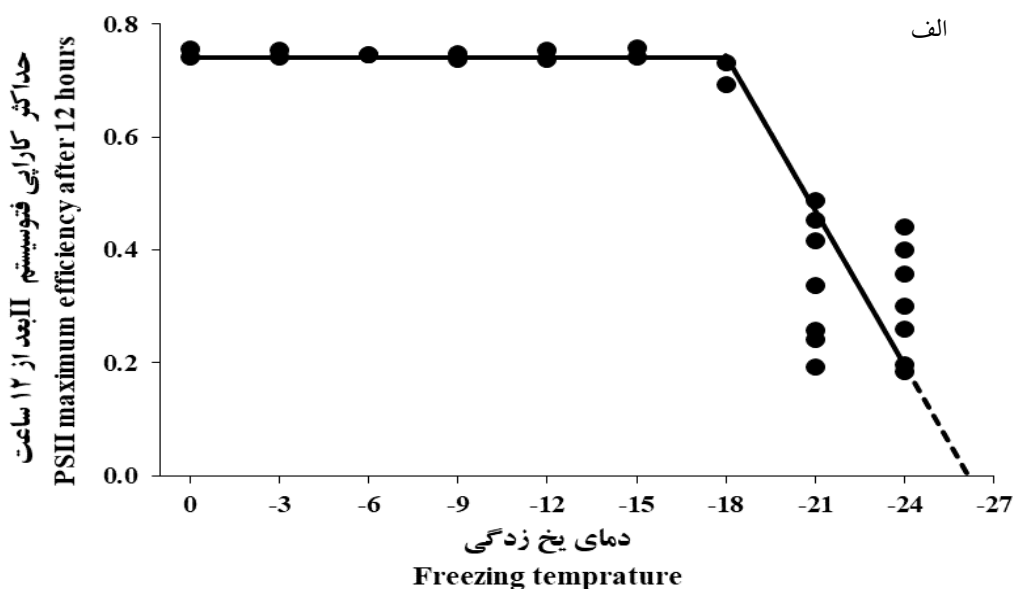
تدریجی F_v/F_m در دوره بازیابی در تیمارهای دمایی کمتر از -12 درجه سانتی‌گراد بیانگر تأثیر تنش یخ زدگی بر اختلال فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه می‌باشد.

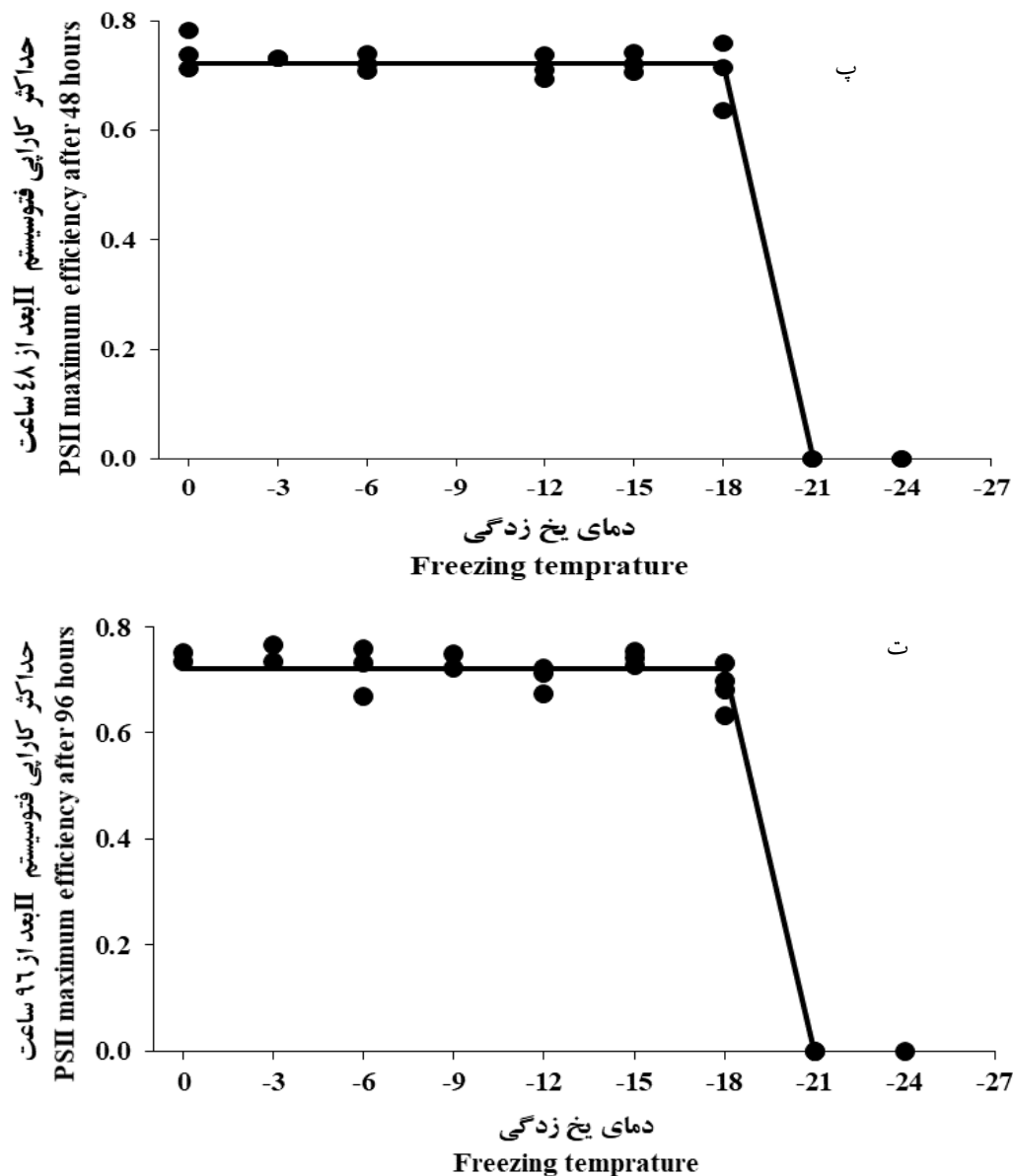
با وجود این پنج روز بعد از اعمال تنش یخ زدگی در دمای -12 درجه سانتی‌گراد نسبت F_v/F_m در گیاهان مقاوم نسبت به گیاهان حساس افزایش بیشتری یافت. ایشان اظهار داشتند که کاهش

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مدل‌های برازش داده شده در شکل ۳

Table 2- Parameters value for fitted models in Fig. 3.

حداکثر کارایی	دمای بحرانی ($^{\circ}\text{C}$)	شیب کاهش	انحراف معیار شیب	دمای حداکثر ($^{\circ}\text{C}$)
شکل الف	18.0	-0.092a	0.0175	26.1
شکل ب	18.0	-0.121b	0.0149	24.0
شکل پ	18.0	-0.239c	0.0104	21.0
شکل ت	18.0	-0.243c	0.0110	21.0





شکل ۳- روند تغییرات حداکثر کارایی فتوسیستم II در اکوتیپ‌های چاودار تحت تأثیر دماهای یخ‌زدگی (درجه سانتی‌گراد) طی زمان‌های اندازه‌گیری ۱۲ (الف)، ۲۴ (ب)، ۴۸ (پ) و ۹۶ (ت) ساعت پس از اعمال تنش یخ‌زدگی در شرایط کنترل شده

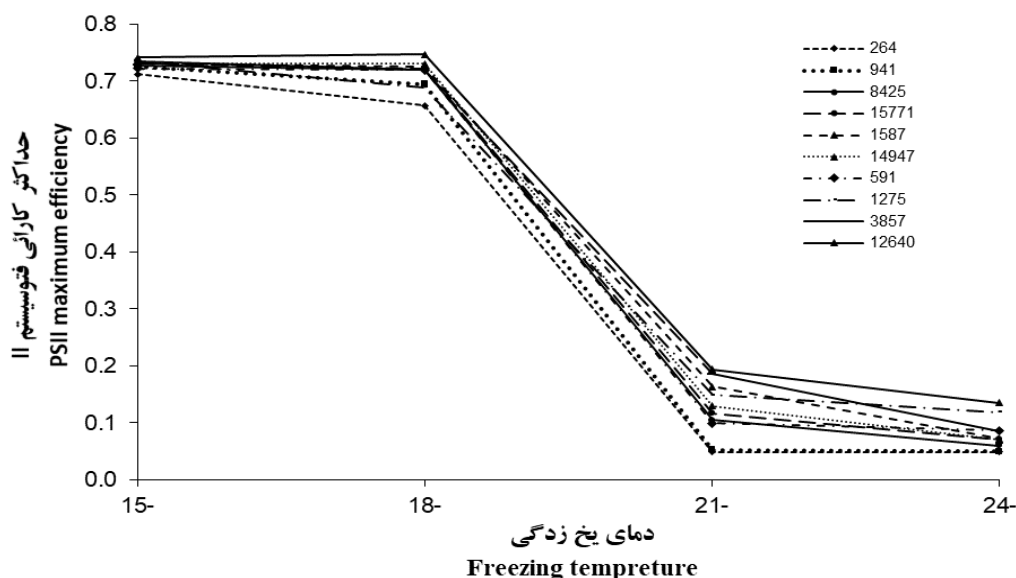
Figure 3- Trend of PSII maximum efficiency changes in rye ecotypes affected by freezing temperatures (°C) during (a) 12, (b) 24, (c) 48 and (d) 96 hours measuring times after freezing stress in controlled conditions

این صفت با شدت بیشتری نسبت به دو دمای ذکر شده، کاهش یافته است. در بررسی روند تغییرات کارایی از دمای ۱۵- تا ۲۴- درجه سانتی‌گراد مشاهده شد که دو اکوتیپ ۲۶۴ و ۹۴۱ سریع‌ترین شیب کاهش را نسبت به سایر اکوتیپ‌ها داشتند و این روند تا دمای ۲۴- درجه سانتی‌گراد ادامه داشت، در حالی که اکوتیپ ۱۲۶۴۰ در گستره دمایی مورد اشاره دارای حداکثر کارایی فتوسیستم II بالاتری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها بوده است (شکل ۴). ریزا و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که ژنوتیپ‌های یولاف از نظر کارایی فتوشیمیایی

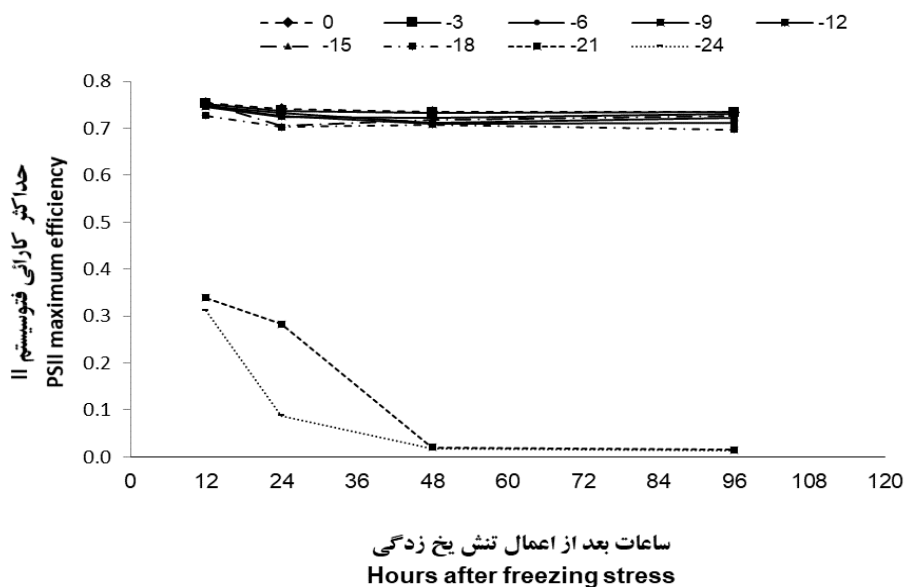
روند اثر دمای یخ‌زدگی بر تغییرات حداکثر کارایی فتوسیستم II در اکوتیپ‌های چاودار نشان داد که از نظر این صفت، در گستره دمایی صفر تا ۱۵- درجه سانتی‌گراد اکوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت چندانی با یکدیگر نداشتند، اما با کاهش بیشتر دما تفاوت بین اکوتیپ‌ها از نظر صفت مذکور بارزتر شده و شیب کاهش حداکثر کارایی فتوسیستم II افزایش یافت (شکل ۴). به نظر می‌رسد آستانه بروز خسارت بر حداکثر کارایی فتوسیستم دو در اکوتیپ‌های چاودار در محدوده دمایی ۱۵- تا ۱۸- درجه سانتی‌گراد باشد، زیرا در دماهای یخ‌زدگی شدیدتر،

فتوسیستم II در ژنوتیپ‌های پاییزه در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد مشاهده شد.

فتوسیستم II در طی دوره بازیابی پس از تنش یخ‌زدگی متفاوت بودند، به طوری که در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد حداکثر کارایی



شکل ۴- اثر دمای یخ‌زدگی (۱۵- تا ۲۴- درجه سانتی‌گراد) بر حداکثر کارایی فتوسیستم II در اکوتیپ‌های چاودار تحت شرایط کنترل شده
Figure 4- Effect of freezing stress (-15 to -24 °C) on PSII maximum efficiency in rye ecotype under controlled conditions



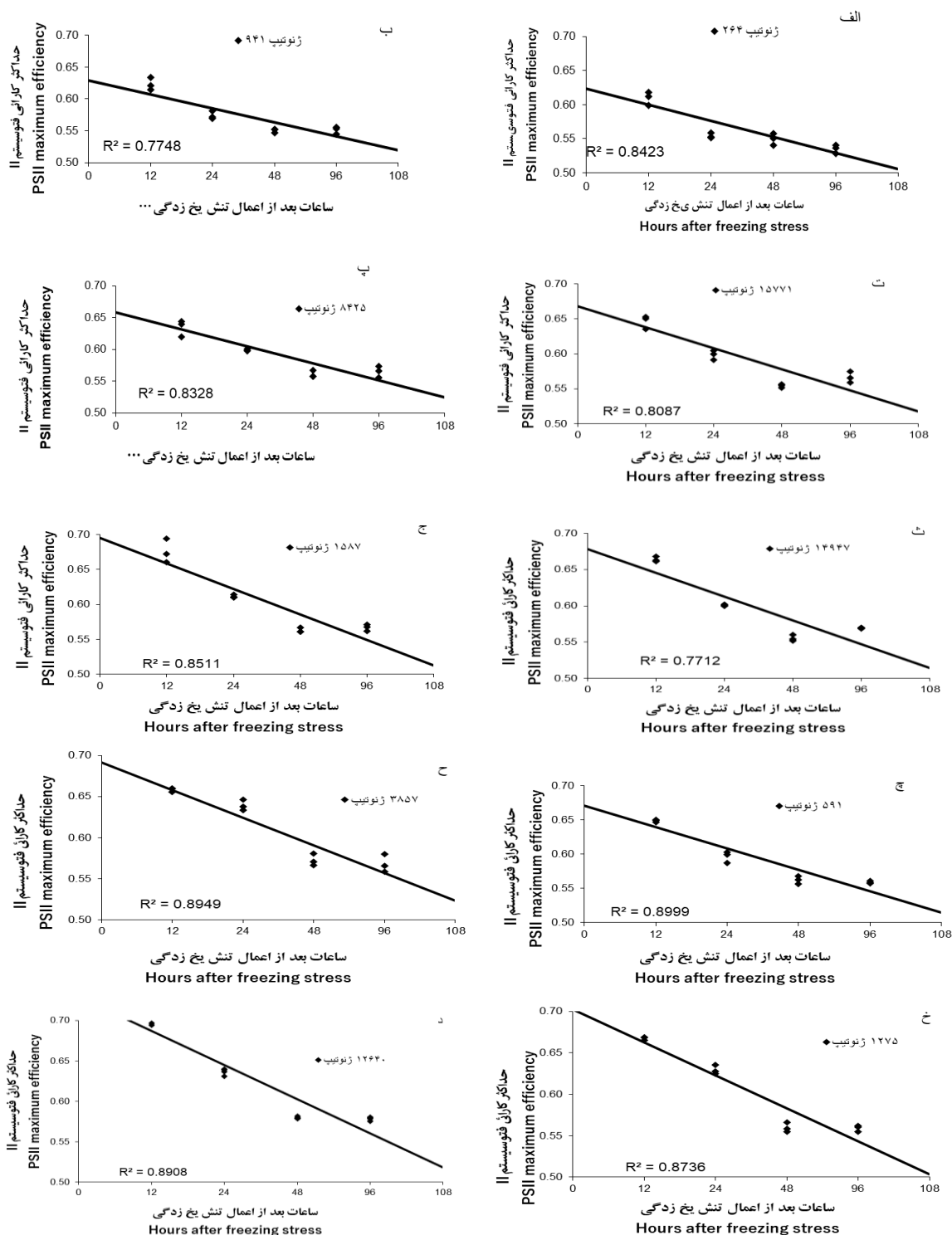
شکل ۵- اثر متقابل دمای یخ‌زدگی (درجه سانتی‌گراد) و زمان اندازه‌گیری بر حداکثر کارایی فتوسیستم II اکوتیپ‌های چاودار در شرایط کنترل شده
Figure 5- Interaction of freezing temperature (°C) and measured time on PSII maximum efficiency of rye ecotypes in controlled conditions

۵)، اما کاهش شدید آن با کاهش دما به ۲۱- و ۲۴- درجه سانتی‌گراد آغاز شد به طوری که پس از ۴۸ ساعت حداکثر کارایی فتوسیستم II به کمترین مقدار رسید که نشان‌دهنده تأثیر شدید دماهای فوق نسبت به

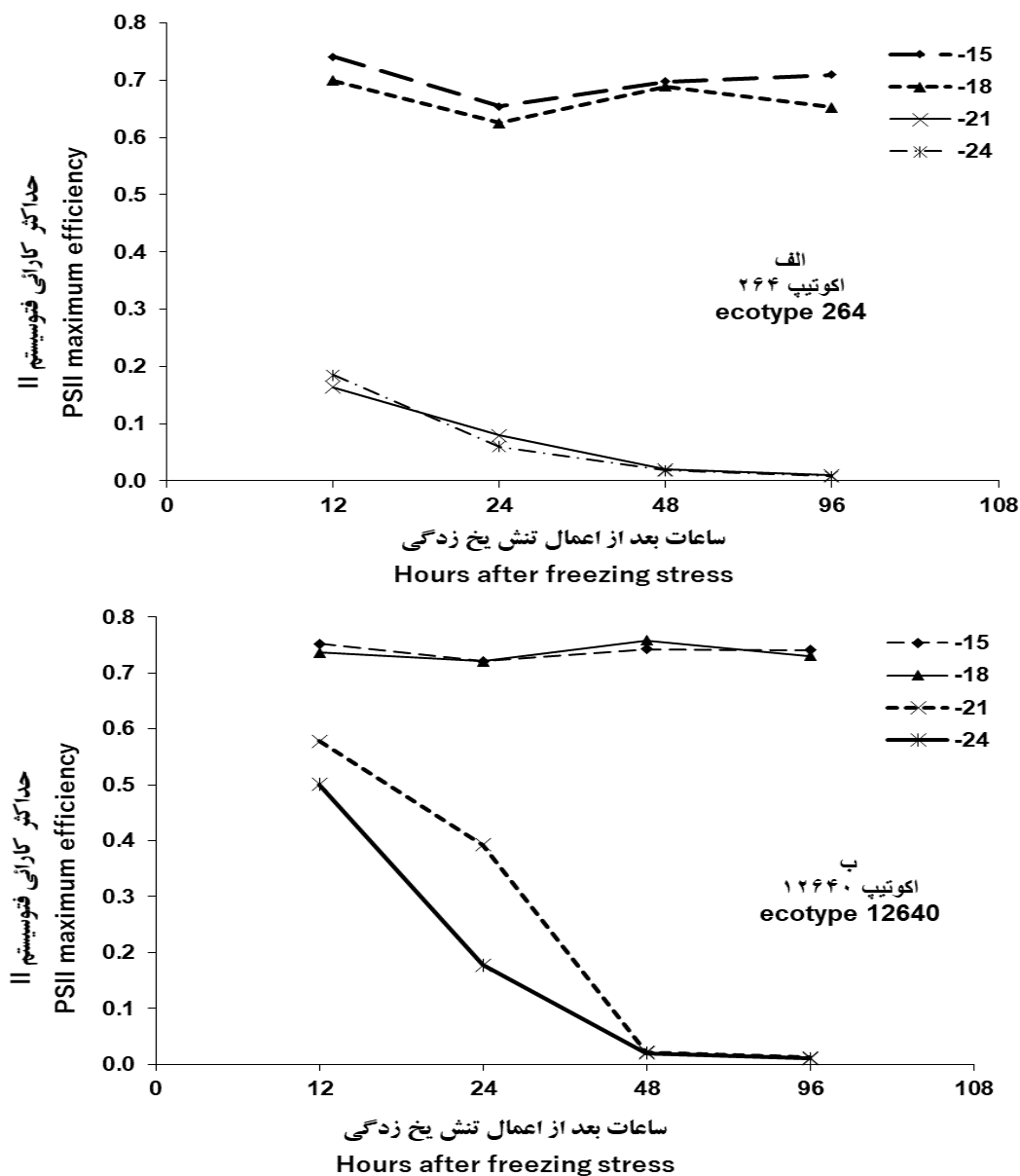
بررسی اثر متقابل دما و زمان بر حداکثر کارایی فتوسیستم II معنی‌دار بود و نشان داد که تا دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد در هر چهار زمان اندازه‌گیری، این شاخص تغییرات محسوسی نداشت (شکل

شدت کاهش در اکوتیپ‌های ۲۶۴ و ۹۴۱ مشاهده شد (شکل ۶ الف و ب) و اکوتیپ ۱۲۶۴۰ شیب کاهشی کمتری داشت (شکل ۶ د).

دماهای پایین‌تر بر غشاهای فتوسنتزی می‌باشد. کاهش حداکثر کارایی فتوسیستم II در اکوتیپ‌های چاودار در زمان‌های پس از تنش یخ‌زدگی بسته به اکوتیپ متفاوت بود (شکل ۶)، به‌طوری‌که بیشترین



شکل ۶- تغییرات حداکثر کارایی فتوسیستم II در اکوتیپ‌های چاودار در زمان‌های بعد از تنش یخ‌زدگی در شرایط کنترل شده
Figure 6- Changes of PSII maximum efficiency in rye ecotypes for the times after freezing stress in controlled conditions



شکل ۷- روند تغییرات حداکثر کارایی فتوسیستم II در دو اکوتیپ ۲۶۴ (الف) و ۱۲۶۴۰ (ب) پس از قرار گرفتن در معرض دماهای -۱۵، -۱۸، -۲۱ و -۲۴ درجه سانتی گراد در شرایط کنترل شده

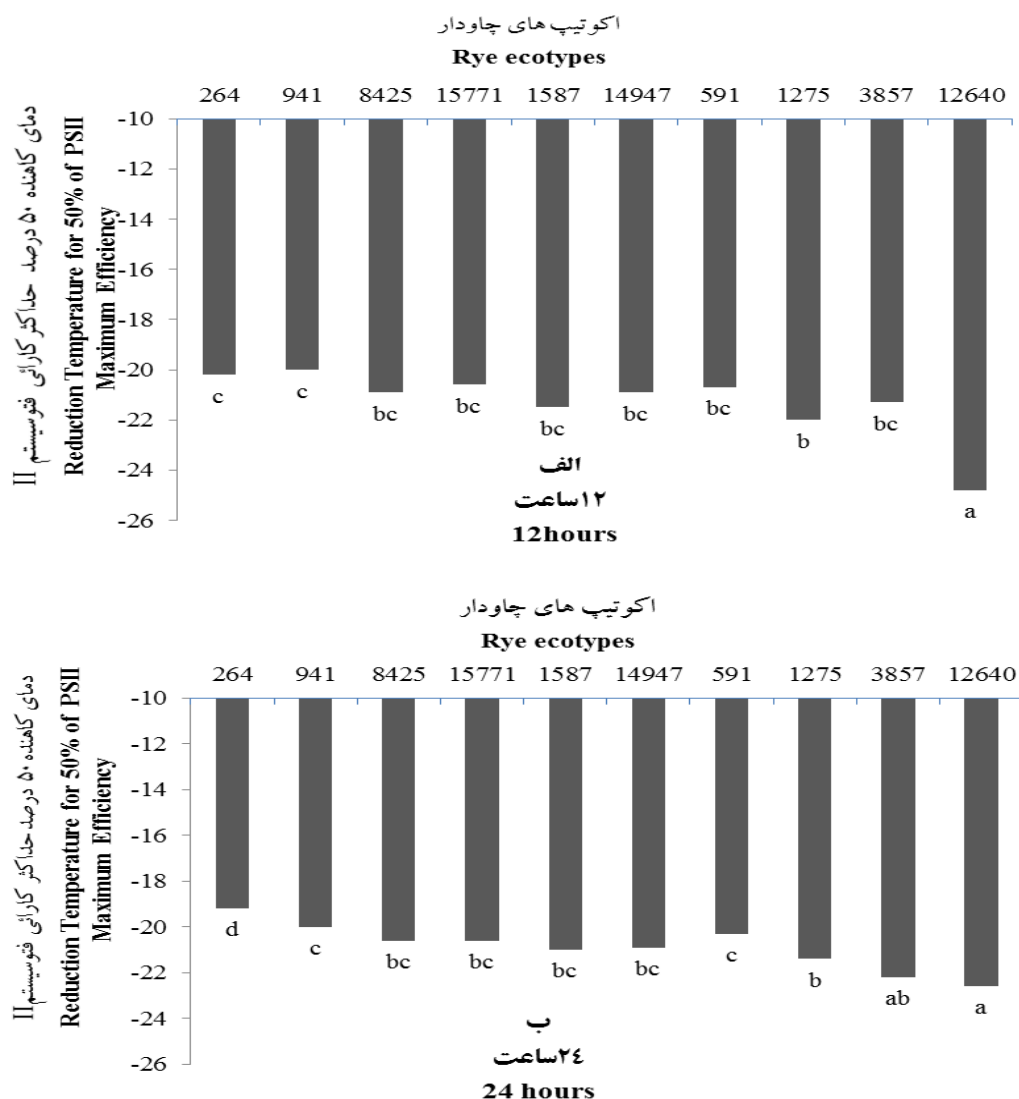
Figure 7- Trend of PSII maximum efficiency changes in (a) 264 and (b) 12640 ecotypes after exposure to -15, -18, -21 and -24°C in controlled conditions

تحمل به یخ زدگی در دو رقم جو زمستانه پس از خو سرمایی همبستگی مثبتی با میزان حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II دارد. آنها اظهار داشتند که بلافاصله بعد از تنش یخ زدگی در رقم‌های جو تفاوت معنی داری بین کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II مشاهده نشد، اما به تدریج پس از دو ساعت در اکوتیپ حساس و مقاوم به ترتیب ۴۷ و ۴۹ درصد نسبت به تیمار شاهد (تیمار بدون خوسرمایی) کاهش مشاهده شد. پس از ۲۴ ساعت کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در اکوتیپ حساس و مقاوم به ترتیب ۶۰ و ۶۵ و بعد از

در بررسی روند تغییرات حداکثر کارایی فتوسیستم II در دو اکوتیپ ۲۶۴ و ۱۲۶۴۰ (که به ترتیب کمترین و بیشترین حداکثر کارایی فتوسیستم II را داشتند (شکل ۷ الف و ب) مشاهده شد که دو اکوتیپ مورد بررسی در دماهای -۱۵ و -۱۸ درجه سانتی گراد، اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند (شکل ۷ الف و ب). در صورتی که در دمای -۲۱ و -۲۴ درجه سانتی گراد، اکوتیپ ۱۲۶۴۰ در ۱۲ و ۲۴ ساعت پس از تنش حداکثر کارایی فتوسیستم II بسیار بالاتری از اکوتیپ دیگر داشت. دای و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که

بعد از یک روز نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد اما تحت تأثیر دماهای ۱۲- و ۱۵- سانتی گراد به صورت نزولی کاهش یافت.

۷۲ ساعت به ۷۰ و ۸۳ درصد نسبت به شاهد (تیمار بدون خوسرمایی) افزایش نشان داد. راپاکز (۲۰۰۷) نیز بیان کرد که کارایی فتوسیمیایی فتوسیستم II در ارقام گندم زمستانه در اثر تیمار با دماهای ۶- و ۹-



شکل ۸- دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی فتوسیستم II در اکوتیپ های چاودار طی زمان های بعد از تنش یخ زدگی (درجه سانتی گراد) در شرایط کنترل شده (الف ۱۲ و ب ۲۴ ساعت)

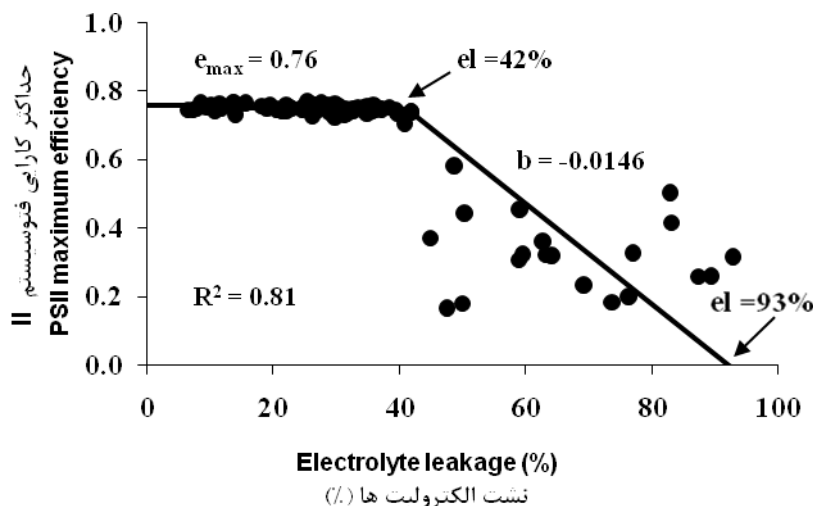
Figure 8- Reduction Temperature for 50% of PSII maximum efficiency of rye ecotypes after freezing stress (°C) times in controlled conditions (a. 12 hours and b. 24 hours)

تنش یخ زدگی بین دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی فتوسیستم II اختلاف معنی دار ($p \leq 0.001$) وجود داشت (شکل ۸، الف)، به طوری که در این زمان اکوتیپ ۱۲۶۴۰ در دمای ۲۴/۸- درجه سانتی گراد به ۵۰ درصد کاهش حداکثر کارایی فتوسیستم II خود رسید. اکوتیپ ۲۶۴ و ۹۴۱ نیز به ترتیب با ۲۰/۲- و ۲۰- درجه سانتی گراد بالاترین دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی فتوسیستم

دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی فتوسیستم II اکوتیپ های چاودار در زمان های مختلف بعد از تنش یخ زدگی در (شکل ۸، الف و ب) نشان داده شده است. در ۱۲ ساعت بعد از اعمال

شاخص شد (شکل ۹). با توجه به روند کاهش حداکثر کارایی فتوسیستم II، به نظر می‌رسد عوامل دیگری، نظیر تنوع اکوتیپ‌های چاودار از نظر خسارت تنش سرما بر غشاءهای سلولی، در این روند مؤثر بوده است. حداکثر کارایی فتوسیستم II با درصد بقاء همبستگی مثبتی ($r = 0.80^*$) داشت (شکل ۱۰). از این رو به نظر می‌رسد که بتوان با اندازه‌گیری حداکثر کارایی فتوسیستم II ۱۲ ساعت پس از اعمال تنش یخزدگی به پتانسیل گیاه در تحمل به تنش یخزدگی پی برد. از آنجایی که آزمون نشت الکترولیت‌ها ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش یخزدگی انجام شد، لذا به نظر می‌رسد اندازه‌گیری شاخص حداکثر کارایی فتوسیستم II ۱۲ ساعت پس از اعمال تنش یخزدگی باعث افزایش سرعت آزمون و تشخیص سریع‌تر اثرات تنش بشود. همبستگی بالای درصد بقاء گیاهان با شاخص حداکثر کارایی فتوسیستم II ۱۲ ساعت پس از اعمال تنش یخزدگی نیز بیانگر این است که شاخص حداکثر کارایی فتوسیستم II به عنوان یک شاخص غیر تخریبی از پتانسیل خوبی در تخمین اثرات دراز مدت تنش یخزدگی بر گیاه برخوردار است. این شاخص (درصد بقاء) که پس از ۲۱ روز از اعمال تنش یخزدگی اندازه‌گیری شد، به عنوان یکی از مهمترین شاخص‌های تحمل گیاهان به تنش سرما مطرح می‌باشد و لذا به نظر می‌رسد که شاخص حداکثر کارایی فتوسیستم II توانایی مناسبی را برای تخمین تحمل به یخزدگی چاودار فراهم کرده است.

II را در زمان ۱۲ ساعت دارا بودند (شکل ۸، الف). در مقایسه با زمان اول اندازه‌گیری، در زمان ۲۴ ساعت بعد از اعمال تنش یخزدگی دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی فتوسیستم II در تمامی اکوتیپ‌ها کاهش یافت. در این زمان اکوتیپ‌های ۱۲۶۴۰ و ۳۸۵۷ به ترتیب با ۲۲/۶- و ۲۲/۲- درجه سانتی‌گراد کمترین دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی فتوسیستم II را دارا بودند و اکوتیپ ۲۶۴ نیز با ۱۹/۲- درجه سانتی‌گراد دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی فتوسیستم II را داشت (شکل ۸، ب). دمای کاهنده ۵۰ درصد حداکثر کارایی فتوسیستم II در زمان ۴۸ و ۹۶ ساعت بعد از اعمال تنش یخزدگی نیز به دلیل صفر شدن حداکثر کارایی فتوسیستم II محاسبه نشد. گران و بویر (۱۹۹۰) در آزمایشی مقاومت به سرمازدگی در گل رز (*Rosa hybrida*) را با استفاده از حداکثر کارایی فتوسیستم II ارزیابی و گزارش کردند که اندازه‌گیری حداکثر کارایی فتوسیستم II یک روش سریع در به‌گزینی ژنوتیپ‌ها برای حساسیت به سرمازدگی در اصلاح گیاهان است. نتایج آنها نشان داد که روش اندازه‌گیری حداکثر کارایی فتوسیستم II همچنین می‌تواند در برگ‌های جدا نشده از گیاهان درون شیشه‌ای بدون صدمه به گیاهان مورد استفاده قرار گیرد. افزایش نشت الکترولیت‌ها تا ۴۰ درصد، تأثیر چندانی بر حداکثر کارایی فتوسیستم II در ۱۲ ساعت پس از اعمال تنش یخزدگی نداشت و افزایش بیشتر درصد نشت الکترولیت‌ها سبب کاهش این



شکل ۹- رابطه بین حداکثر کارایی فتوسیستم II ۱۲ ساعت بعد از تنش یخزدگی و نشت الکترولیت‌ها در اکوتیپ‌های چاودار

Figure 9- Relationship between PSII maximum efficiency after 12 hours exposure to freezing stress and electrolyte leakage in rye ecotypes

نتیجه‌گیری

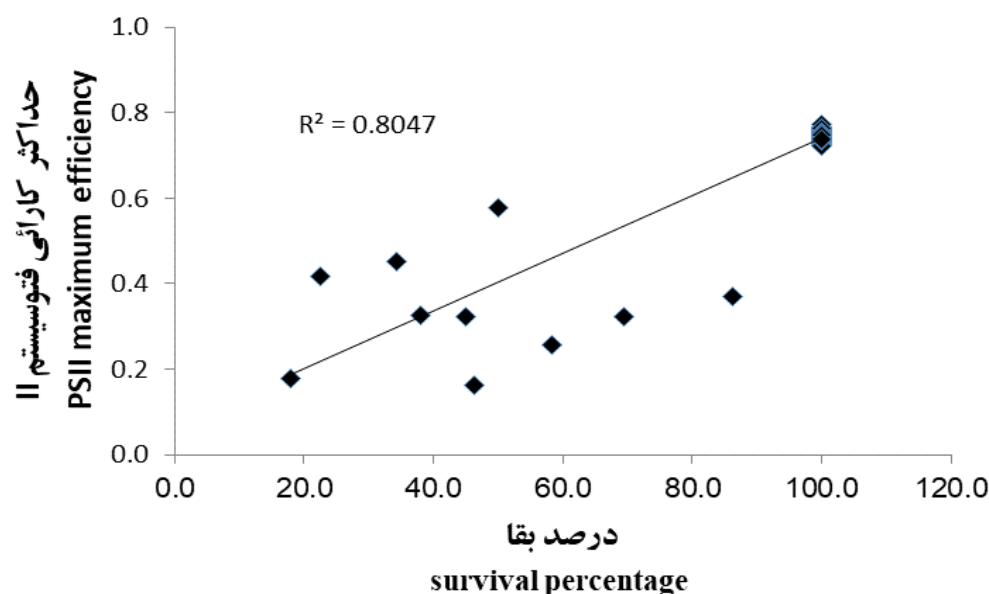
سانتی‌گراد مقاومت خوبی را نسبت به تنش یخزدگی نشان دادند و با وجود اینکه با کاهش بیشتر دما حداکثر کارایی فتوسیستم II در تمامی اکوتیپ‌ها به شدت کاهش یافت، اما شیب کاهش حداکثر کارایی

در این آزمایش کلیه اکوتیپ‌های چاودار تا دمای ۱۸- درجه

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبارات معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌گردد. از آقای دکتر مهدی نصیری محلاتی نیز به خاطر راهنمایی‌های ارزنده قدردانی می‌شود.

فتوسیستم II تا دمای ۲۴- درجه سانتی‌گراد بسته به اکوتیپ متفاوت بود. بر اساس شاخص حداکثر کارایی فتوسیستم II اکوتیپ ۲۶۴ حساس‌ترین و اکوتیپ ۱۲۶۴۰ متحمل‌ترین اکوتیپ به تنش یخ‌زدگی بودند. همبستگی مناسب بین حداکثر کارایی فتوسیستم II با درصد نش‌الکترولیت‌ها و همچنین درصد بقا نشان‌دهنده پتانسیل مناسب این شاخص برای تشخیص سریع‌تر ارقام حساس و مقاوم به تنش یخ‌زدگی می‌باشد.



شکل ۱۰- رابطه بین حداکثر کارایی فتوسیستم II ۱۲ ساعت بعد از تنش یخ‌زدگی و درصد بقای اکوتیپ‌های چاودار

Figure 10- Relationship between PSII maximum efficiency after 12 hours exposure to freezing stress and survival percentage of rye ecotypes

References

- Behnia, M. 1994. Cold season cereals. Tehran University Pub.
- Binder, W. D., and Fielder, P. 1996. Chlorophyll fluorescence as an indicator of frost hardiness in white spruce seedlings from different latitudes. *New Forests* 11 (3): 233-253.
- Dai, F., Zhou, M., and Zhang, G. 2007. The change of chlorophyll fluorescence parameters in winter barley during recovery after freezing shock and as affected by cold acclimation and irradiance. *Plant Physiology and Biochemistry* 45 (12): 915-921.
- Fowler, D. B., Breton, G., Limin, A. E., Mahfoozi, S., and Sarhan, F. 2001. Photoperiod and temperature interactions regulate low-temperature-induced gene expression in barley. *Journal of Plant Physiology* 127 (4): 1676-1681.
- Francia, E., Rizza, F., Cattivelli, L., Stanca, A. M., Galiba, G., Toth, B., Hayes, P. M., Skinner, J. S., and Pecchioni, N. 2004. Two loci on chromosome 5H determine low-temperature tolerance in a 'Nure' (winter) × 'Tremois' (spring) barley map. *Theoretical and Applied Genetics* 108 (4): 670-680.
- Graan, T., and Boyer, J. S. 1990. Very high CO₂ partially restores photosynthesis in sunflower at low water potentials. *Planta* 181 (3): 378-384.
- Hakam, N., De Ell, J. R., Khanizadeh, S., and Richer, C. 2000. Assessing chilling tolerance in roses using chlorophyll fluorescence. *HortScience* 35 (2): 184-186.
- Ingram, J., and Bartels, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Journal of Annual review of plant biology* 47 (1): 377-403.
- Jalilian, A., Mazaheri, D., Tavakol Afshari, R., Abdollahian, M., Rahimian, H., and Ahmai, M. 2008. Effect of

- freezing damage during seedling stage on different species of sugar beet. Journal of Crop science 4: 400-415.
10. Liang, Y., Chen, H., Tang, M. J., Yang, P. F., and Shen, S. H. 2007. Responses of *Jatropha curcas* seedlings to cold stress: photosynthesis-related proteins and chlorophyll fluorescence characteristics. Physiologia Plantarum 131 (3): 508-517.
11. Mahfoozi, S., Hosein Salkadeh, G., Mardi, M., and Karimzadeh, G. 2008. 10th crop and plant breeding. Karaj. 100-108.
12. Mam, J., and Philip, R. 1996. Chlorophyll Fluorescence as a Parameter for Frost Hardiness in Winter Wheat. A Comparison with other Hardiness Parameters. Phytion. 36: 45-56.
13. Maxwell, K., and Johnson, G. N. 2000. Chlorophyll fluorescence_a practical guide. Journal of experimental botany 51 (345): 659-668.
14. Mena-Petite, A., Muñoz-Rueda, A., and Lacuesta, M. 2005. Effect of cold storage treatments and transplanting stress on gas exchange, chlorophyll fluorescence and survival under water limiting conditions of *Pinus radiata* stock-types. European Journal of Forest Research 124 (2): 73-82.
15. Neuner, G., and Buchner, O. 1999. Assessment of foliar frost damage: a comparison of in vivo chlorophyll fluorescence with other viability tests. Journal applicate Botany 73: 50-54.
16. Nezami, A., Borzouei, A., Jahani, M., Azizi, M., and Sharif, A. 2007. Elecrolite leakage as an index of freezing damage in Rapeseed. Journal of Crop Reseaches of Iran. 1: 167-175.
17. Nourmohamadi, Q., Siadat, S. A., and Kashani, A. 1998. Cereal cropping. Shahid Chamran University Pub.
18. Percival, G. C. and Henderson, A., 2003. An assessment of the freezing toleran ce of urban trees using chlorophyll fluorescence. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 78 (2): 254-260.
19. Rapacz, M. 2007. Chlorophyll a fluorescence transient during freezing and recovery in winter wheat. Photosynthetica 45 (3): 409-418.
20. Rapacz, M., Tyrka, M., Kaczmarek, W., Gut, M. Wolanin, B., and Mikulski, W. 2008. Photosynthetic acclimation to cold as a potential physiological marker of winter barley freezing tolerance assessed under variable winter environment. Journal of Agronomy and Crop Science 194 (1): 61-71.
21. Rizza, F., Pagani, D., Stanca, A. M., and Cattivelli, L. 2001. Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the cold acclimation and freezing tolerance of winter and spring oats. Plant Breeding 120 (5): 389-396.



Maximum Efficiency of Photosystem II as a Freezing Stress Index in Perennial Ecotypes of Rye (*Secale Montanum*)

A. Nezami^{1*} - S. Khaninejad² - M. R. Bahrami² - H. Zarif Ketabi²

Received: 01-02-2015

Accepted: 25-12-2016

Introduction

Chlorophyll fluorescence measuring is a quick and undestructive method, which is used as an important index to identify stress tolerant varieties for environmental stresses such as freezing. Rye planting is less prevalent comparing to other cool season cereals, but more investigations are needed because of suitable potentials in this crop for growing in cold area of Iran. In addition, low temperatures decrease physiological functions of plants and results in irreversible damages and disorders in physiological process of plants.

Material and Methods

In order to study the possibility of using the chlorophyll fluorescence parameters for evaluation of freezing tolerance in perennial rye ecotypes, an experiment was performed using a factorial experiment based on completely randomized design with three replications at Agricultural Faculty of Ferdowsi University of Mashhad. Ten rye ecotypes (264, 941, 8425, 15771, 1587, 14947, 591, 1275, 3857 and 12640) were exposed to nine freezing temperatures (0 (control), -3, -6, -9, -12, -15, -18, -21 and -24°C) and maximum efficiency of photosystem II (ME of PII) were measured four times (12, 24, 48 and 96 hours) after freezing. Correlation between ME of PII with Electrolyte Leakage percentage (EL %) and survival percentage (SU %) were tested.

Results and Discussion

The results indicated that there was a significant difference among rye ecotypes for ME of PII, while ecotype 12640 had the highest ME of PII and the lowest efficiency was observed in ecotype 264. There was no difference in ME of PII among rye ecotypes until to -18 °C, but ME of PII decreased in -21°C and -24°C after 12 to 24 hours recovery period. This efficiency was zero in -24°C during 48 and 96 hours after recovery, while ME of PII did not get to zero in this temperature during 12 and 24 hours after stress. ME of PII impairment by freezing temperatures was similar in 48 and 96 hours and it seems that no changes happened in the efficiency after 48 hours. There was a rapid reduction in slope of efficiency from -15°C to -24°C in 264 and 941 ecotypes than the other ecotypes, while ecotype 12640 had the highest ME of PII than the other ecotypes in mentioned temperature range. In the four measuring times, ME of PII was not reduced until -18°C, but it was severely decreased by temperature reductions to -21°C and -24°C, as ME of PII decreased to the lowest value after 48 hours. Decreasing the ME of PII in rye ecotypes was different due to the ecotypes in the times after freezing stress, the most reduction was observed in 264 and 941 ecotypes and ecotype 12640 had less decrease in the slope of ME of PII. There were differences among rye ecotypes in reduction temperature for 50% of ME of PII; while ecotype 12640 get reduction temperature for 50% of ME of PSII in -24.8°C 12 hours after freezing stress; and ecotypes 264 and 941 had the highest reduction temperature of 50% ME of PII in -20.2 °C and -20 °C, respectively. Reduction temperature for 50% of ME of PII decreases in 24 hours after freezing stress; at this time, 12640 and 3857 ecotypes showed the lowest reduction temperature for 50% of ME of PII by -22.6°C and -22.2°C, respectively, and 264 ecotype had the highest reduction temperature for 50% of ME of PII by -19.2°C. There were significant correlations between ME of PII, EL% and SU%. Since EL test was conducted 24 hours after freezing stress, it seems that measuring ME of PII in 12 hours after freezing stress increases quickness in test and determining the stress effects rapidly. Higher correlations between plants survival percentage with ME of PII 12 hours after freezing stress, indicate that ME of PII is a non-destructive factor for estimating long term effects of freezing stress on rye plants. In conclusion, the mentioned factors can be used as a quick procedure to identify cold tolerant plants.

Keywords: Chlorophyll florescence, Electrolyte, Freezing tolerance, Survival percentage

1- Professor, Collage of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- PhD. in Crop physiology, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: nezami@um.ac.ir)



بررسی شاخص‌های رشد و مراحل فنولوژیک کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط استفاده از منابع تغذیه‌ای زیستی و شیمیایی

محمدجواد مصطفوی^۱ - مهدی نصیری محلاتی^{۲*} - علیرضا کوچکی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۹

چکیده

به منظور ارزیابی اثر کودهای مختلف زیستی و شیمیایی بر شاخص‌های رشد و مراحل فنولوژیک کنجد آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کودهای زیستی نیتروکسین (Ni)، بیوسفور (BP)، بیوسولفور (PS)، ترکیب زیستی دوگانه Ni+BP و سه‌گانه Ni+BP+BS، کودهای شیمیایی اوره (U)، سوپرفسفات تریپل (P)، ترکیب شیمیایی دوگانه U+P و سه‌گانه U+P+BS به علاوه گوگرد (S) عنصری (U+P+S) و شاهد (بدون مصرف کود) بود. نتایج این آزمایش نشان‌دهنده برتری تیمارهای ترکیبی کودهای زیستی و شیمیایی نسبت کاربرد تکی آن کودها بود. بر این اساس تیمارهای ترکیبی دوگانه و سه‌گانه زیستی و شیمیایی بهترین روند شاخص‌های رشدی تأثیرگذار بر تولید ماده خشک (شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول) را نسبت به شاهد داشتند که منجر به تجمع بیشتر ماده خشک در این تیمارها گردید. بالاترین نقطه اوج سرعت آسیمیلایسیون خالص نیز در تیمار دوگانه زیستی مشاهده شد. هرچند در این آزمایش در تیمارهای مختلف از نظر شاخص‌های رشدی تفاوت‌هایی مشاهده شد و با وجودی که سبز شدن گیاهچه‌ها در تیمارهای زیستی زودتر اتفاق افتاد، اما تحلیل‌های آماری نشان داد که مراحل مختلف فنولوژیک کنجد از هیچ کدام از تیمارهای این آزمایش تأثیر معنی‌داری نپذیرفت. بنابراین از یافته‌های این پژوهش چنین نتیجه‌گیری می‌شود که کاربرد ترکیبی کودهای زیستی و کودهای شیمیایی در بهبود شرایط رشدی گیاه اثر قابل توجهی داشته و تغییری در فنولوژی گیاه به وجود نمی‌آورند. نهایتاً با توجه به مزایای استفاده از کودهای زیستی، استفاده از ترکیب کودهای زیستی به عنوان بهترین گزینه برای تولید کنجد پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اوره، درجه روز رشد، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، نیتروکسین

مقدمه

کشاورزی پایدار و حذف یا جایگزین نمودن کودهای شیمیایی با کودهای زیستی را فراهم آورده‌اند (Kizilkaya, 2008).

کودهای زیستی، شامل مقادیر کافی از یک یا چند گونه میکروارگانیسم مفید خاکری همزیست یا غیرهمزیست است که به همراه مواد نگهدارنده مناسبی عرضه می‌شوند و دارای نقش مثبتی در رفع نیاز غذایی گیاهان و بهبود شرایط رشد آن‌ها هستند (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012). از مهم‌ترین باکتری‌های خاکری، می‌توان به باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن ازتوباکتر و آزوسپریلوم اشاره کرد که در محیط ریزوسفر خاک حضور داشته و به صورت هتروتروف از بقایای آلی موجود در خاک استفاده می‌کنند و قادر همیاری با گیاهان بسیاری هستند (Martin et al., 2011). تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش جذب و فراهمی عناصر غذایی مانند فسفر، روی، آهن و مولیبدن (Bagheri et al., 2011; Hajiloo et al., 2006; Banreji et al., 2011)، تولید سیدروفور، سنتز آنزیم‌های تعدیل‌کننده رشد و توسعه گیاه، تولید انواع ویتامین‌ها، ساخت هورمون‌های محرک رشد مانند اکسین‌ها، انواع ویتامین‌ها

در دهه‌های اخیر، کشاورزی با مدد نوآوری‌های تکنولوژیکی، استفاده از نهاده‌های شیمیایی و آفت‌کش‌ها و توسعه سازه‌ها و روش‌های آبیاری و پیشرفت‌های علمی نظیر اصلاح واریته‌های گیاهی جدید، مواد غذایی زیاد یا حداقل به اندازه گذشته تولید می‌کند. اما مشکلات اقتصادی ناشی از افزایش رو به رشد بهای کودهای شیمیایی از یک سو و هزینه‌های سنگین زیست‌محیطی و اجتماعی مرتبط با مصرف غیر اصولی این کودها از قبیل ایجاد آلودگی‌های محیطی، افت حاصلخیزی خاک و کاهش کیفیت محصولات از سوی دیگر، موجبات توجه هرچه بیشتر به حرکت به سوی کاربرد اصول

۱- دانشجوی دکتری اگروکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*) نویسنده مسئول: Email: mnassiri@um.ac.ir

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.49991

به خصوص ویتامین های گروه B، انواع اسیدهای آمینه و سنتز مواد ضد قارچی برای مقابله با عوامل بیماری زای قارچی همانند فوزاریوم و اسکروتیوم و بهبود مقاومت گیاهان در برابر تنش های محیطی (Banreji et al., 2000) بخشی از امتیازات ویژه این میکروارگانیسم ها است. اما با این وجود، درجه تأثیر این میکروارگانیسم ها بر جنبه های مختلف رشد و عملکرد گیاهان، تابع عوامل مختلفی همچون نوع گیاه، سویه باکتری، نوع خاک و شرایط محیطی است. به این ترتیب استفاده از این باکتری ها به عنوان کود زیستی دارای اثرات ثابتی نبوده و به منظور تولید این محصولات در ابتدا بایستی ارتباط بین باکتری های مورد استفاده و گیاه، خاک و ریزموجودات خاک مورد ارزیابی قرار گیرند (Nezarat and Gholami, 2011).

بر اساس شواهد تاریخی کنجد (*Sesamum indicum* L.) قدیمی ترین دانه روغنی شناخته شده توسط بشر است که کشت و کار آن به بیش از ۴۱۰۰ سال پیش باز می گردد (Uzun and Cagiran, 2006) و به مدت هزاران سال در کشورهای آسیایی جهت ارتقای وضعیت تغذیه ای و جلوگیری از ابتلا به بیماری های مختلف مورد استفاده قرار می گرفته است (Das and Bhattacharjee, 2015). در سطح جهان، کنجد در بین ۳۰ گیاه زراعی روغنی مهم جهان که بیش از ۹۰ درصد تولیدات روغن خوراکی را تشکیل می دهند، از رتبه نهم برخوردار است (Das and Bhattacharjee, 2015; Adeola et al., 2010). کنجد عملکرد و نهاده پذیری پایینی دارد، لذا با کاربرد نهاده های رایج شیمیایی، عملکرد آن افزایش چندانی پیدا نمی کند. از این رو، جهت بازگرداندن این گیاه زراعی بارز به سامانه های زراعی بایستی تغذیه این گیاه با کمک اصول و نهاده های اکولوژیک صورت پذیرد و با به کارگیری اصول کشاورزی اکولوژیک در تولید این محصول، پایداری تولید این محصول را تأمین و تضمین نمود و از این طریق جایگاه کنجد را در بین محصولات دیگر مجدداً به آن جامعه و همچنین توجه به مسئله گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی اخیر حرکت به سمت زراعت گیاهان روغنی مقاوم به خشکی و گرما نظیر کنجد می تواند گامی مؤثر در تأمین نیاز روغن کشور در آینده به شمار آید (Rezvani et al., 2010).

اخیراً تولید محصول کنجد با بهره گیری از کودهای زیستی بسیار موفقیت آمیز بوده است (Paul and Savithru, 2003). در پژوهشی (Sajjadi Nik et al., 2013) با مقایسه تأثیر کودهای شیمیایی (اوره)، آلی (ورمی کمپوست) و زیستی نیتروکسین (حاوی باکتری های *Azospirillum sp.* و *Azotobacter sp.*) بر عملکرد کمی و کیفی کنجد چنین گزارش کردند که کاربرد کود زیستی نیتروکسین موجب افزایش معنی دار ۸/۵ درصدی عملکرد نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین کاربرد کود شیمیایی اوره، کود آلی ورمی کمپوست و کود زیستی نیتروکسین موجب افزایش درصد و عملکرد پروتئین کنجد

گردید. نتایج پژوهش بیژنی و همکاران (Bijani et al., 2015) که به بررسی کاربرد کودهای اوره و کود نیتروکسین پرداختند حاکی از این بود که کاربرد نیتروکسین از سویی ارتفاع ساقه، تعداد شاخه جانبی، وزن هزار دانه، تعداد دانه در کپسول، کپسول در بوته، عملکرد دانه، عملکرد روغن و درصد پروتئین کنجد را افزایش داد و از سوی دیگر تلقیح بذور با نیتروکسین به همراه کاربرد ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار اوره عملکرد دانه را ۵۸ درصد افزایش داد. شاکری و همکاران (Shakeri et al., 2012) نیز با بررسی تأثیر سه سطح ۰، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن (با منبع اوره) و تلقیح بذرها با کود زیستی نیتروکسین بر عملکرد کمی و کیفی و اجزای عملکرد سه رقم کنجد (داراب ۱۴، جیرفت و یزدی) گزارش کردند که کاربرد کود شیمیایی نیتروژن و کود بیولوژیک نیتروکسین بر تمامی صفات ارقام مورد مطالعه کنجد به جز درصد روغن و شاخص برداشت تأثیر معنی داری داشتند و بالاترین عملکرد دانه (۱۷۹۴/۴ کیلوگرم در هکتار) در رقم داراب ۱۴ و بیشترین درصد پروتئین دانه (۲۲/۴۸ درصد) با کاربرد توأم ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و تلقیح کود بیولوژیک نیتروکسین به دست آمد از این رو بیان کردند که کاربرد کود نیتروکسین می تواند تا حد زیادی در راستای کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژن برای کنجد مفید باشد. قبادی و همکاران (Ghobady et al., 2011) نیز به بررسی تأثیر کودهای زیستی حاوی باکتری های سودوموناس و تیوباسیلوس به صورت مجزا و ترکیب با کودهای شیمیایی سوپرفسفات تریپل بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) پرداخته و گزارش دادند که نتایج نشان دهنده بهبود تعداد غده در بوته، تعداد غده در متر مربع، عملکرد کل و عملکرد قابل فروش در گیاهان تحت تیمار کودهای زیستی در مقایسه با تیمار شاهد بود؛ محققان دلیل این امر را بهبود حلالیت و نیز قابلیت دسترسی به فسفر در خاک در تیمارهای کودهای زیستی بیان کردند. رحیمیان (Rahimian, 2011) نیز افزایش اجزای عملکرد و عملکرد کمی و کیفی کلزا (*Brassica napuls* L.) در محیط گلخانه را با کاربرد باکتری های تیوباسیلوس گزارش داد. این محقق در توجیه این نتایج چنین بیان داشت که با کاربرد تیوباسیلوس و در نتیجه کاهش اسیدیته خاک، امکان جذب عناصر غذایی کم مصرف ایجاد و در نتیجه عملکرد و درصد روغن افزایش یافت. همچنین نوربخش و همکاران (Noorbakhsh et al., 2014) با ارزیابی اثر تلفیقی کاربرد گوگرد آلی گرانوله (در سطوح ۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) با تیوباسیلوس (در سطوح ۰، ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم در هکتار به ازای هر تن کود دامی) بر عملکرد کیفی و خصوصیات مورفولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorious*) گزارش کردند که اثر ساده کود گوگرد و کود بیولوژیک بیوسولفور (حاوی تیوباسیلوس) و اثر متقابل آن ها بر درصد روغن و پروتئین بذر، غلظت فسفر برگ، غلظت گوگرد برگ و ارتفاع و قطر ساقه اصلی

دوگانه زیستی (۱+۳)، ۵- ترکیب سه‌گانه زیستی (۱+۲+۴)، ۶- کود شیمیایی اوره، ۷- کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل، ۸- ترکیب دوگانه شیمیایی (۵+۶)، ۹- ترکیب سه‌گانه شیمیایی (۵+۶+۸) به‌علاوه مقدار گوگرد مصرف شده در تیمار ۳ و ۱۰- تیمار شاهد بود. کاربرد کودهای زیستی با توجه به توصیه شرکت سازنده و کاربردهای کودهای شیمیایی به‌صورت نواری انجام شد. از آنجا که منبع تغذیه‌ای عمده میکروارگانیزم‌های خاکری ماده آلی خاک است، پس از شخم زمین، مقدار ۲۰ تن کود دامی (گاوی) پوسیده شده به خاک اضافه و با آن مخلوط شد و پس از آن، از خاک مزرعه نمونه‌برداری انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. مساحت کرت‌های آزمایش ۱۲ مترمربع و فاصله کرت‌های مجاور از یکدیگر یک متر تعیین شد. در این آزمایش از کنگد رقم اسفراین که توده‌ای بومی، تک‌ساقه و مورد کشت و کار در منطقه مشهد است استفاده شد. کشت بذرها به‌صورت جوی و پشته با فاصله بین ردیف‌های ۵۰ سانتی‌متر، روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر و با عمق ۳ سانتی‌متری بود. آبیاری اول و دوم در روز کاشت و ۳ روز پس از کاشت انجام شد و پس از آن، دور آبیاری تا پایان فصل رشد هفت روزه بود. وجین علف‌های هرز به‌صورت مستمر و تا بسته شدن کانوپی به‌صورت دستی ادامه یافت.

گلرنگ معنی‌دار بود از این جهت بیان داشتند که می‌توان مصرف تلفیقی گوگرد به همراه تلقیح با باکتری تیوباسیلوس را به‌عنوان راهکاری اکولوژیک در راستای دستیابی به افزایش رشد و تولید کمی و کیفی گیاهان دانه روغنی به‌ویژه در خاک‌های با قلیائیت بالا مدنظر قرار داد.

اطلاعات اندکی درمورد نیاز واقعی کنگد به منابع تغذیه‌ای و عکس‌العمل‌های آن به این منابع در دسترس است (Khajepoor, 2010) و جنبه‌های رشدی و واکنش‌های فنولوژیکی کنگد به کودهای زیستی در مقایسه با کودهای شیمیایی کمتر شناخته شده است. بنابراین هدف از انجام این آزمایش ارزیابی رشد و فنولوژی کنگد با تأکید بر کاربرد منابع مختلف تغذیه‌ای زیستی و شیمیایی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد انجام شد. آزمایش در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ۱- کود زیستی نیتروکسین، ۲- کود زیستی بیوفسفر ۳- کود زیستی بیوسولفور (به‌همراه مصرف مقدار توصیه شده گوگرد عنصری توسط تولیدکننده) ۴- ترکیب

جدول ۱- نتایج آزمایش خاک قطعه زمین مزرعه آزمایشی (عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Result of test of experimental soil (0 – 30 cm depth)							
بافت خاک Soil texture	pH	شوری Salinity (dS m ⁻¹)	کربن آلی Organic C (%)	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن N (ppm)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
لوم سیلتی Silty loam	8.76	1.2	0.43	0.95	15.5	12.2	321

۷۵ درجه خشک شده و اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتالی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم انجام شد و از داده‌های به‌دست آمده و توابع مربوطه (Mostafavi, 2014) جهت محاسبه تجمع ماده خشک (ماده خشک کل؛ TDM) استفاده گردید. در نهایت از این داده‌ها جهت تجزیه و تحلیل روزانه شاخص‌های رشد استفاده گردید. تغییرات روزانه شاخص سطح برگ با برازش تابع لجستیکی (معادله ۱) به داده‌های اندازه‌گیری شده برآورد گردید:

$$Y = \frac{a + b \cdot 4 \cdot (\exp(-(t-c)/d))}{(1 + \exp(-(t-c)/d))^2} \quad (1)$$

که در آن Y شاخص سطح برگ، b حداکثر شاخص سطح برگ، c زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، a و d ضرایب معادله و t روز پس از سبز شدن می‌باشد.

تغییرات ماده خشک (میزان تجمع ماده خشک) نیز روندی سیگموئیدی داشت (معادله ۲).

در طول دوره آزمایش از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی دیگری نظیر آفت‌کش و علف‌کش استفاده نشد. جهت ثبت مراحل فنولوژیکی و شاخص‌های رشدی کنگد در طول فصل رشد، هر کرت به دو بخش تقسیم شد. نمونه‌برداری جهت تعیین روند شاخص‌های رشدی به‌صورت تخریبی، هر هفت روز یکبار به‌صورت تصادفی و بدون برداشت نمونه از حاشیه نیم‌متری از طرفین کرت و از سه بوته انجام شد. اولین نمونه‌برداری ۲۱ روز پس از کاشت و داده‌برداری آخر ۱۱۲ روز پس از کاشت انجام شد. نمونه‌های برداشت شده در هر نمونه‌گیری بلافاصله پس از برداشت درون کیسه‌های پلاستیکی جداگانه‌ای قرار داده شده و پس از برچسب‌گذاری هر کیسه، به آزمایشگاه منتقل گردیدند. سطح برگ نمونه در حداقل زمان پس از نمونه‌برداری، با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter اندازه‌گیری شد و داده‌های حاصل جهت محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) مورد استفاده قرار گرفت. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای

مؤلفه‌های مختلف تجزیه نموده و مورد تحلیل قرار می‌دهند.

به‌طور کلی در کشاورزی رشد را به معنای افزایش در ماده خشک گیاه می‌دانند. ماده‌ی خشک گیاه حاصل تجمع مواد فتوسنتزی است که می‌تواند تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. تجزیه و تحلیل کمی رشد، روشی برای شناخت تجمع مواد فتوسنتزی در گیاه از طریق اندازه‌گیری تولید ماده‌ی خشک در طول فصل رشد گیاه در مزرعه است و امکان توضیح و تفسیر عکس‌العمل گیاه نسبت به شرایط محیطی را فراهم می‌کند (Koocheki et al., 2003).

شاخص سطح برگ (LAI): در این آزمایش تغییرات شاخص سطح برگ کنگد در طول فصل رشد در تیمارهای کودی مختلف روند نسبتاً یکسانی داشت، به‌طوری‌که در ابتدای فصل، رشد کند و تدریجی داشت و با تولید برگ‌های بیشتر توسط گیاه و تقریباً در تمامی تیمارها کمی قبل از شروع گلدهی (حدود ۳۵ روز پس از کاشت)، با سرعت زیادی افزایش یافت و پس از گلدهی کامل و کاسته شدن از روند افزایشی مرحله قبل، کلیه تیمارها هنگام شروع رسیدگی فیزیولوژیک به حداکثر مقدار شاخص برگ رسیده و پس از آن کاهش یافتند (شکل ۱). یافته‌های بسیاری بر همبستگی بالای شاخص سطح برگ و عملکرد گیاه زراعی اشاره دارد (Ghobady et al., 2011).

در طول دوره رشد گیاه، تیمار شاهد کمترین شاخص سطح برگ را داشت و همچنین با اختلافی اندک، تیمار بیوسولفور روندی شبیه و مقادیری بسیار نزدیک با تیمار شاهد داشت. با توجه به شکل ۱ به نظر می‌رسد تیمارهای دوگانه و سه‌گانه شیمیایی با عرضه کافی مواد غذایی برای گیاه، توانسته‌اند از همان ابتدای فصل موجب تولید برگ‌های بیشتر و بنابراین شاخص سطح برگ بیشتر گردند، چنان‌که هرچند اختلافی در بین تیمارها در زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ دیده نمی‌شود، حداکثر شاخص سطح برگ در نقطه اوج روندهای تغییر سطح برگ، مربوط به تیمارهای سه‌گانه شیمیایی و دوگانه شیمیایی با مقادیر به‌ترتیب ۳/۴۲ و ۳/۳۲ بود و در رتبه‌های بعدی تیمارهای سه‌گانه شیمیایی، دوگانه شیمیایی و اوره با شاخص سطح برگ ۳/۰۳ و ۳/۰۱ و ۲/۹۸ قرار گرفتند. در نقطه اوج، شاخص سطح برگ تیمارهای نیتروکسین (۲/۸۵)، بیوسفور (۲/۷۵) و سوپرفسفات تریپل (۲/۷۸) بسیار به هم نزدیک و اختلاف آن‌ها ناچیز بود اما با تیمارهای شاهد (۲/۴۲) و تیوباسیلوس (۲/۵۴) و همچنین تیمارهای ترکیبی زیستی و شیمیایی اختلاف قابل توجهی داشت. به نظر می‌رسد به‌طور کلی کاربرد ترکیبی کودهای شیمیایی و زیستی در قیاس با کاربرد تکی آن‌ها بهتر توانسته نیازهای تغذیه‌ای و عرضه مواد برای گیاه جهت توسعه سطح برگ را فراهم سازد.

$$Y = \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-ct)} \quad (2)$$

که در آن Y ماده خشک ($g \cdot m^{-2}$)، a حداکثر ماده خشک تولید شده ($g \cdot m^{-2}$)، c میانگین سرعت رشد نسبی، b ضریب معادله و t روز پس از سبز شدن می‌باشد.

مشتق اول معادله ۲ ($\frac{dY}{dt}$) سرعت رشد محصول (CGR) را بر حسب $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ به‌دست خواهد داد (معادله ۳).

$$\frac{dY}{dt} = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot \exp(-ct)}{(1 + b \cdot \exp(-ct))^2} \quad (3)$$

و سرعت رشد نسبی (RGR، $g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$) از مشتق دوم معادله ۲ به‌دست می‌آید (معادله ۴).

$$\frac{d_2 Y}{dt} = \frac{b \cdot c \cdot \exp(-ct)}{1 + b \cdot \exp(-ct)} \quad (4)$$

با معلوم بودن مقادیر CGR و LAI سرعت فتوسنتز خالص (NAR ، $g \cdot m^{-2} \cdot leaf \cdot d^{-1}$) از معادله ۵ محاسبه شد.

$$NAR = \frac{CGR}{LAI} \quad (5)$$

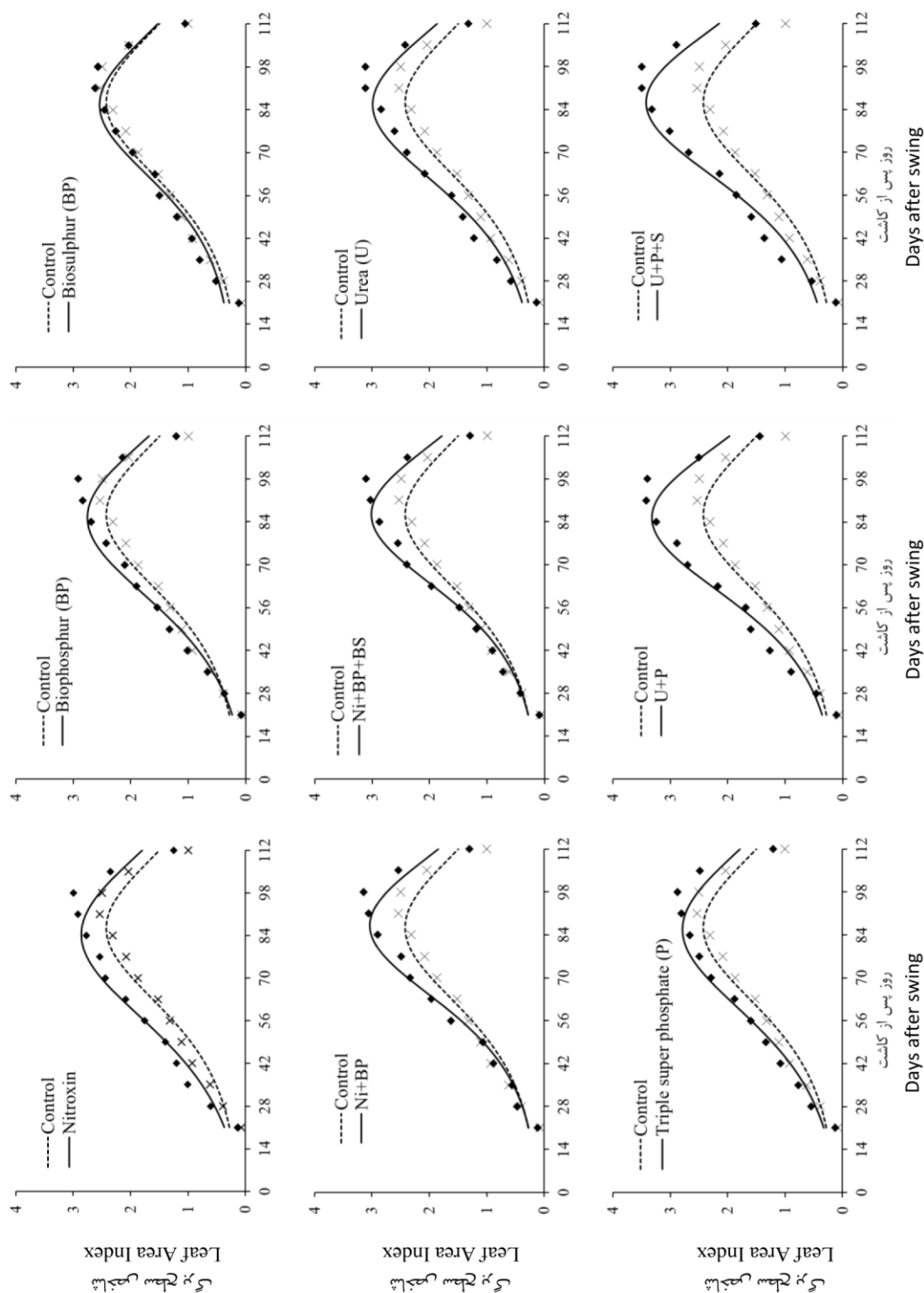
ثبت مراحل فنولوژیکی در نیمه‌ای از کرت‌ها که نمونه‌گیری تخریبی انجام نمی‌شد انجام پذیرفت. وقوع هر مرحله از مراحل فنولوژیکی کنگد در کرت‌ها با استفاده از یک کوادرات 1×1 متری با حفظ فاصله حداقل نیم‌متری از حاشیه هر کرت و سپس تعیین وقوع هر یک از مراحل مختلف فنولوژیکی در ۵۰ درصد بوته‌های درون کوادرات (بنا بر پیشنهاد (Khajepoor 2010)) و بر اساس تعداد روزهای پس از کاشت و درجه روز رشد (GDD) ثبت شد. جهت محاسبه درجه روز رشد از معادله ۶ استفاده شد.

$$GDD = \sum \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2} - T_b \right) \quad (6)$$

که در آن GDD درجه روز رشد ($^{\circ}C \cdot day$)، T_{max} و T_{min} به‌ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه ($^{\circ}C$) و T_b دمای پایه گیاه می‌باشد. در پایان، آنالیزهای آماری داده‌ها با استفاده از برنامه Minitab و ترسیم شکل‌ها با کمک برنامه MS Excel انجام شد.

نتایج و بحث

الف. بررسی شاخص‌های رشد: منحنی‌های رشد، همانند الگویی است که می‌تواند در مراحل مختلف، تأثیر محیط گیاه را نشان دهد. محققان به دنبال آنند تا با حوادثی که گیاه در طول دوره رشد با آن مواجه می‌شود بیشتر آشنا گردند. از این رو رشد گیاهان را به



شکل ۱- شاخص سطح برگ (LAI) کنگد در تیمارهای مختلف آزمایش در مقایسه با تیمار شاهد
Figure 1- Leaf area index (LAI) of sesame in different treatments in comparison of control

مطالعات یزدان‌دوست همدانی (Yazdan Doost Hamedani, 2003) نشان داد که مصرف کودهای نیتروژنه در اوایل فصل رشد سبب گسترش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تولید مواد پرورده بیشتر می‌گردد. همچنین البراک (Al-Barrak, 2006)

یافته‌های سجادی‌نیک و همکاران (Sajjadi Nik *et al.*, 2013) و جهان و همکاران (Jahan *et al.*, 2013) نشان داد که کاربرد نیتروکسین با تأمین نیتروژن و تحریک رشد گیاه موجب بهبود رشد و افزایش شاخص برگ کنگد می‌شود.

افزایش تنفس کلی گیاه شیب تجمع ماده خشک کم شده و سپس تقریباً ثابت می‌شود (شکل ۲).

تجمع ماده خشک، انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه است. ماده فتوسنتزی تولیدی می‌تواند به مصرف رشد گیاه رسیده و یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمع یابد، که می‌تواند تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. افزایش سطح برگ می‌تواند موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه افزایش تولید ماده خشک شود که این امر به نوبه خود می‌تواند منجر به افزایش عملکرد گیاه شود (Keshavarz Afshar et al., 2011).

تحقیقات بسیاری بیانگر این امر هستند که استفاده از این باکتری‌های محرک رشد به همراه کشت و یا آغشته کردن با بذرها با آن‌ها، نتایج بسیار سودمند و قابل توجهی را در جهت بهبود رشد و افزایش عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت، جوانه‌زنی بذرها و محتوای نیتروژن آن‌ها پس از برداشت، فعالیت آنزیم نیتروژناز در گره‌های ریشه حبوبات و همچنین تحمل تنش‌های محیطی و بیماری‌ها را در پی دارد (Bagheri et al., 2011). بشارتی و همکاران (Besharati et al., 2010) ضمن بررسی تغییرات عملکرد گندم با تلقیح باکتری‌های جنس تیوباسیلوس در شرایط استفاده از سطوح مختلف گوگرد در خاک‌های مختلف آهکی گزارش کردند که اثر اصلی تلقیح باکتریایی و همچنین اثر متقابل این عامل با عوامل دیگر آزمایش (سطوح گوگرد و انواع خاک) معنی‌دار بود و بالاترین مقدار افزایش عملکرد به‌دست آمده در تیمارهای مختلف در مقایسه با شاهد ۱۶/۷ درصد بود. سردمدی نایی و همکاران (Sarmadi Nayeibi et al., 2010) نیز با مقایسه عملکرد ذرت تلقیح‌یافته با نیتروکسین با ذرت هیدروپرایمینگ شده در دو تاریخ کاشت ۱۵ و ۲۵ خرداد گزارش کردند که بالاترین مقادیر مربوط به تعداد ردیف در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در تیمار تلقیحی نیتروکسین به‌دست آمد. آنان بیان داشتند که تلقیح بذر ذرت با نیتروکسین با تحریک رشد و بهبود استفاده ذرت از منابع محیطی سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه می‌شود.

چنان‌که انتظار می‌رفت، بیشترین تجمع ماده خشک در طی فصل رشد در تیمارهایی اتفاق افتادند که حائز شاخص سطح برگ بالاتر و در نتیجه پتانسیل بالاتری برای تولید و تجمع ماده خشک بودند. بر این اساس بیشترین روند تجمع ماده خشک در طول فصل رشد در تیمارهای دوگانه و سه‌گانه شیمیایی و پس از آن تیمارهای دوگانه و سه‌گانه زیستی و اوره ثبت شد. به نظر می‌رسد این نتیجه با تأمین مناسب مواد غذایی ضروری و بهبود شرایط رشدی برای گیاه و در ادامه، افزایش سطح برگ و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر به‌دست آمده است. نتایج پژوهش گولسر (Gulser, 2005) نشان داد که با مصرف مقادیر ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، تعداد و سطح برگ اسفناج (*Spinacia oleracea*) افزایش یافت. به عقیده

گزارش کرد که نیتروژن سبب افزایش تعداد برگ و شاخص سطح برگ در کلزا می‌شود. این محقق بیان داشت که جذب نیتروژن توسط گیاه سبب افزایش رشد، تولید شاخه فرعی بیشتر و در نتیجه افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. همچنین بر اساس نتایج مطالعات آترنادیم و همکاران (Ather Nadeem et al., 2009) کود نیتروژن اثر مثبت و معنی‌داری بر تعداد برگ در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) داشته است به‌طوری‌که با افزایش مصرف کود نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین تعداد برگ حاصل شده است. بالا بودن شاخص سطح برگ سبب افزایش میانگین سرعت رشد محصول در دوره رشد گیاه شده که این امر در نهایت منجر به افزایش تولید ماده خشک می‌گردد (Keshavarz Afshar et al., 2011).

همچنین حمیدی و همکاران (Hamidi et al., 2006) گزارش دادند که تلقیح بذر ذرت علوفه‌ای با آزوسپریلوم، تعداد برگ‌های بالایی بلال و تعداد برگ در هر بوته را افزایش داده است. آن‌ها نیز دلیل این امر را وجود روابط مثبت بین گیاه و باکتری دانستند و اعلام داشتند که احتمالاً باکتری آزوسپریلوم از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد، عملکرد و ویژگی‌های مرتبط با آن منجر به افزایش عملکرد علوفه سیلویی شده است. نظارت و غلامی (Nezarat and Gholami, 2011) نیز نتایجی همسو با یافته‌های این پژوهش درمورد کاربرد کودهای زیستی حاوی آزوسپریلوم و همچنین سودوموناس در بهبود رشد و عملکرد ذرت گزارش دادند.

نتایج پژوهش‌های بسیاری بر تأثیر مثبت مصرف ترکیبی کودهای زیستی با یکدیگر یا با ترکیب با کودهای شیمیایی بر بهبود شاخص‌های رشد تأکید می‌کند (Khorramdel et al., 2010; Khorramdel et al., 2008; Paul and Savithru, 2003) که می‌تواند حاصل تولید هورمون‌های محرک رشد و همچنین تأمین هرچه بهتر عناصر غذایی برای گیاه باشد.

با توجه به این که عامل مهم مؤثر بر رشد و تولیدات گیاهی میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن‌ها به مواد فتوسنتزی است، افزایش میزان برگ در مزرعه باعث افزایش میزان جذب نور خواهد شد که در نهایت می‌تواند منجر به افزایش تولید ماده خشک و عملکرد شود.

تجمع ماده خشک (TDM): روند افزایش ماده خشک در کلیه تیمارها به‌صورت سیگموئیدی بود. در اوایل دوره رشد، مقدار و سرعت تجمع ماده خشک کم بود و با گذشت زمان و همراه با افزایش سطح برگ میزان فتوسنتز جامعه گیاهی افزایش یافته و شیب منحنی تجمع ماده خشک شدت بیشتری می‌گیرد و بعد از آن به دلایلی همچون پیری و زردی برگ‌ها، سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر برگ‌های پایینی و ریزش برگ‌های پایینی، انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره شده به دانه، افزایش بافت‌های ساختمانی غیرفتوسنتزی گیاه و

کمترین تجمع ماده خشک نیز در تیمارهای شاهد و بیوسولفور مشاهده شد که در کل دوره رشد از لحاظ عددی با هم اختلاف اندکی داشتند. در این آزمایش احتمالاً اعمال تیمار بیوسولفور نتوانسته است موجب بهبود شرایط رشدی و عرضه مناسب عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه کنگد گردد و می‌توان ابراز داشت که علی‌رغم فوایدی که تیوباسیلوس بر رشد گیاه دارد، احتمالاً رشد کمتر اندام هوایی به دلیل عدم دسترسی به منابع نیتروژن کافی در مراحل رشد، منجر به تولید ماده فتوسنتزی اندک و تجمع ماده خشک کمتر نسبت به سایر تیمارها گردیده است، ضمن اینکه برخی پژوهشگران به اثرات بلندمدت استفاده از این میکروارگانیسم در عرصه‌های کشاورزی توجه دارند (Siami and Besharati, 2012).

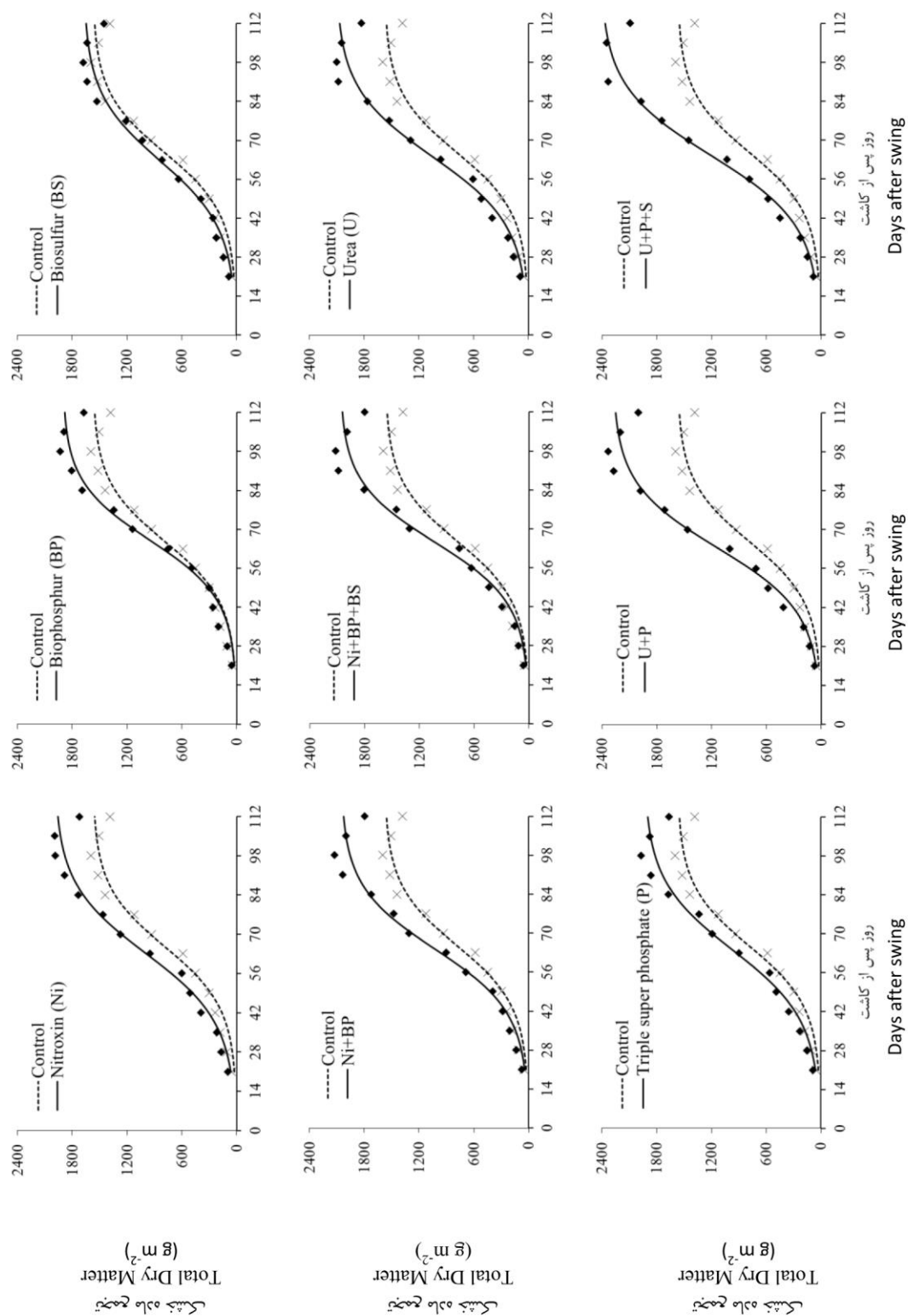
سرعت رشد محصول (CGR): نتایج آزمایش بیانگر روند تقریباً سهمی‌شکل و مشابه سرعت رشد محصول در طول فصل رشد در کلیه تیمارهای مورد مطالعه است، به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد به دلیل داشتن سطح برگ کم، سرعت رشد محصول بسیار کم بود. بعد از گذشت حدود ۲۸ روز پس از کاشت به دلیل توسعه سطح برگ گیاه و افزایش رشد ریشه‌ها و در نتیجه امکان فتوسنتز بیشتر سرعت رشد محصول شدت می‌یابد و در اواسط دوره رشد (۵۲ تا ۷۰ روز پس از کاشت) به حداکثر میزان خود می‌رسد. پس از این مرحله سرعت رشد محصول دچار کاهش شدیدی می‌شود و حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت در همه تیمارها، به دلیل نزدیک شدن به پایان فصل رشد بسیار کم شد و این روند تا پایان حیات گیاه نیز ادامه یافت (شکل ۳). روند حاضر به دلیل افزایش تدریجی و فزاینده جذب تشعشع خورشیدی، همزمان با افزایش شاخص سطح برگ در اوایل فصل رشد و نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاه می‌باشد و با گذشت زمان، پس از رسیدن به حد نهایی خود با پیر شدن برگ‌ها و کاهش فتوسنتز خالص، سرعت رشد محصول کاهش یافته است. می‌توان گفت بالا بودن میزان تنفس نسبت به فتوسنتز جاری در مراحل انتهایی رشد (Van Iersel and Seymour, 2000)، نیز باعث کاهش شدیدتر سرعت رشد محصول شده است.

کاربرد کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر سرعت رشد کنگد را در طول فصل رشد افزایش داد، هرچند افزایشی در شاخص ذکر شده در تیمار بیوسولفور مشاهده نگردید و چنان‌که در مورد شاخص سطح برگ و ماده خشک کل هم دیده شد، مقدار افزایش سرعت رشد محصول در تیمارهای ترکیبی زیستی و شیمیایی بیشتر از کاربرد جداگانه آن‌ها بود (شکل ۳).

این پژوهشگر این امر موجب بالا رفتن ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه آن، افزایش سرعت رشد محصول و تولید ماده خشک بیشتر می‌گردد. با توجه به شکل ۲ روند تولید ماده خشک در تیمارهای ترکیبی زیستی از تیمار نیتروکسین بیشتر بود که این امر را می‌توان به اثرات متقابل و سازنده ریزموخودات خاکری نسبت داد که منجر به کسب چنین نتیجه‌ای گردیده است. هرچند مقادیر عددی ماده خشک تجمع‌یافته در هر روز در تیمار سوپرفسفات تریپل بیشتر از تیمار شاهد بود اما الگوی تجمع ماده خشک آن‌ها مشابه بود ولی این مقدار عددی تا پایان فصل رشد به تدریج افزایش یافت تا اینکه تجمع ماده خشک نهایی تیمار سوپرفسفات نسبت به تیمار شاهد بیشتر و قابل توجه بود. در ابتدای فصل رشد برای تیمارهای بیوفسفر و شاهد روند تجمع ماده خشک بسیار به هم نزدیک بود اما حدود ۵۰ روز پس از کاشت شیب تجمع ماده خشک برای تیمار بیوفسفر بیشتر از شاهد شد که نهایتاً موجب فاصله گرفتن نمودار روند تجمع ماده خشک این دو تیمار از یکدیگر گردید و به تجمع ماده خشک بالاتری را برای تیمار بیوفسفر منجر شد.

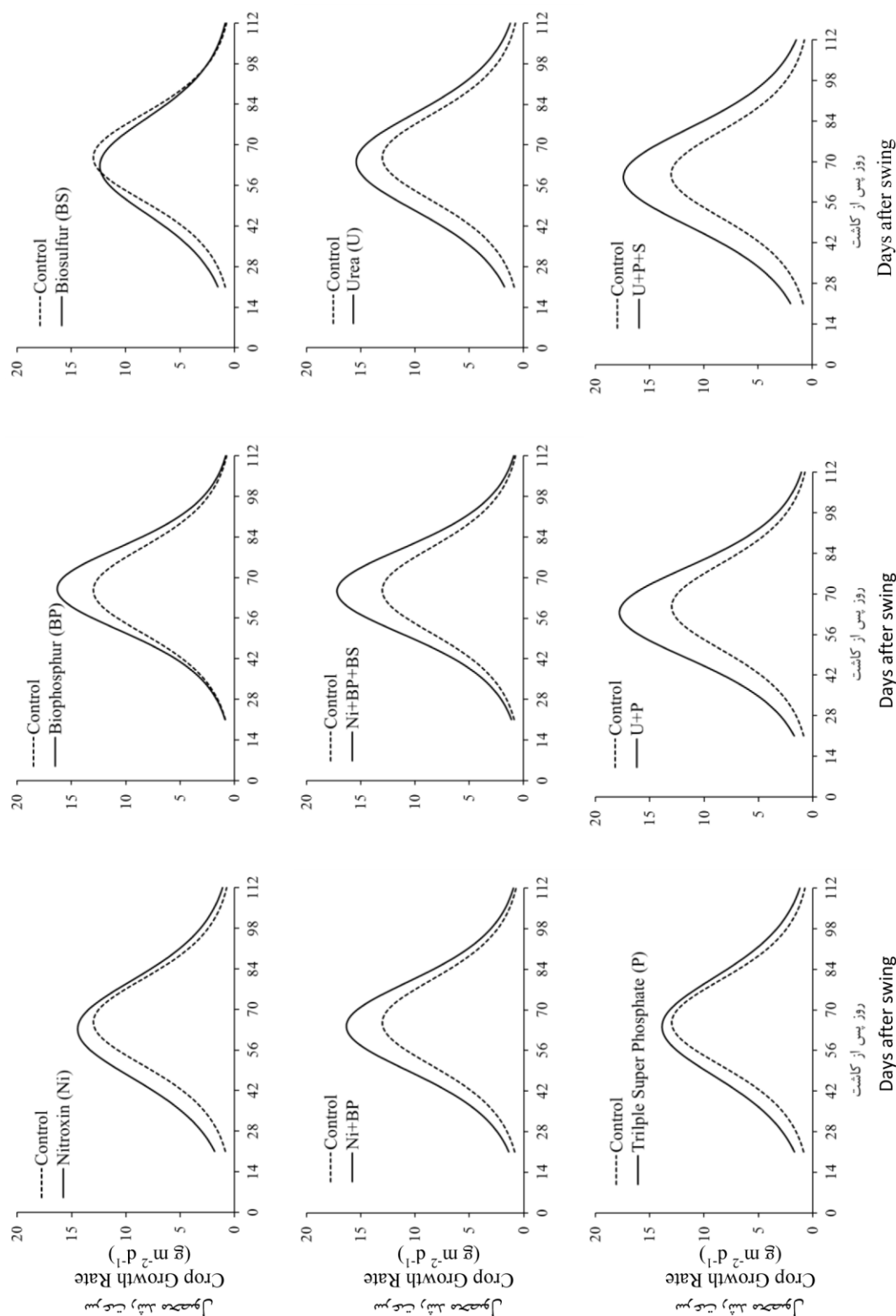
جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) افزایش همزمان شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور گیاه کنگد و بنابراین، افزایش معنی‌دار تجمع ماده خشک در پاسخ به مصرف نیتروکسین و در مقایسه با تیمار شاهد را گزارش کردند. طبق نتایج مطالعه احمد و همکاران (Ahmed et al., 2010) پارامترهای رشدی آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، نظیر تجمع ماده خشک، تعداد برگ و شاخص سطح برگ تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی از جمله نیتروکسین افزایش معنی‌داری یافت. به عقیده این پژوهشگران نیتروکسین می‌تواند با افزایش فتوسنتز و عناصر غذایی درون گیاه تأثیر مثبتی بر سطح برگ، فعالیت آنزیم‌ها، رشد و تولید ماده خشک گیاه داشته باشد.

قبادی و همکاران (Ghobady et al., 2011) با کاربرد تیمارهای زیستی ۳۶۰۰ و ۷۲۰۰ گرم پودر تیوباسیلوس و ۵ و ۱۰ لیتر مایع تلقیح بیوفسفر برای سیب‌زمینی و همچنین افتخاری و همکاران (Eftekhari et al., 2009) با کاربرد بیوفسفات گرانوله و پودری برای برنج (*Oryza sativa*) گزارش کردند که مصرف باکتری‌های حل‌کننده فسفات به همراه منبع معدنی فسفات (مثل سنگ فسفات) تأثیر بهتری نسبت به کاربرد آن باکتری‌ها بدون مصرف فسفات معدنی دارد. به عقیده قبادی و همکاران (Ghobady et al., 2011) استفاده از ترکیب کود شیمیایی و زیستی فسفر فقط به تأمین فسفر محدود نمی‌شود بلکه اثرات مختلف آن‌ها سبب افزایش رشد گیاه و سنتز مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش ماده خشک می‌شود.



شکل ۲- تجمع ماده خشک (TDM) کنجد در تیمارهای مختلف آزمایش در مقایسه با تیمار شاهد

Figure 2- Total dry matter (TDM) of sesame in different treatments in comparison of control



شکل ۳- سرعت رشد محصول کنگد تیمارهای مختلف آزمایش در مقایسه با تیمار شاهد
Figure 3- Crop growth rate (CGR) of sesame in different treatments in comparison of control

خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح مزرعه در واحد زمان می‌باشد و معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک کل گیاه) در مترمربع

سرعت رشد محصول یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تجزیه و تحلیل رشد در جوامع گیاهی می‌باشد، که عبارت از افزایش وزن

عناصر و پیری برگ‌ها و کاهش کارایی فتوسنتزی آن‌ها کاهش شدیدی پیدا کرده است (شکل ۵).

به‌طور کلی اعمال تیمارهای مختلف سبب شده است تا در طی دوره رشد گیاه سرعت آسیمیلایون خالص در آن تیمارها نسبت به تیمار شاهد یا افزایش پیدا کند و یا زمان رسیدن به نقطه اوج آن‌ها کوتاه‌تر شود. این امر به نوبه خود می‌تواند باعث تولید بیشتر مواد فتوسنتزی و حتی تجمع بیشتر مواد فتوسنتزی و ماده خشک گردد. به نظر می‌رسد شاخص سطح برگ و سرعت آسیمیلایون خالص بالا، به شرط ثابت بودن سایر شرایط برای تیمارها می‌تواند منجر به دستیابی به تجمع بیشتر ماده خشک شود. در تیمارهای نیتروکسین و سوپرفسفات تریپل هرچند نقطه اوج سرعت آسیمیلایون خالص آن‌ها از تیمار شاهد پایین‌تر است اما مقدار اولیه آن بالاتر است و همچنین در این تیمارها روند کاهش این شاخص با شیب کمتری اتفاق افتاده است. تیمار بیوفسفر نیز در فصل رشد روند و مقادیر تقریباً مشابهی با تیمار شاهد داشت اما با این وجود تیمارهای ترکیبی زیستی روند بهتری را نسبت به تیمارهای کاربرد تکی تیمارها و همچنین تیمار شاهد داشتند. به‌جز در تیمار دوگانه شیمیایی، سایر تیمارهای کود شیمیایی به‌جز در مقادیر اوایل فصل سرعت آسیمیلایون خالص، برتری خاصی نسبت به تیمار شاهد نداشتند (شکل ۵) اما این امر را نمی‌توان به معنای عدم برتری این تیمارهای نسبت به تیمار شاهد دانست.

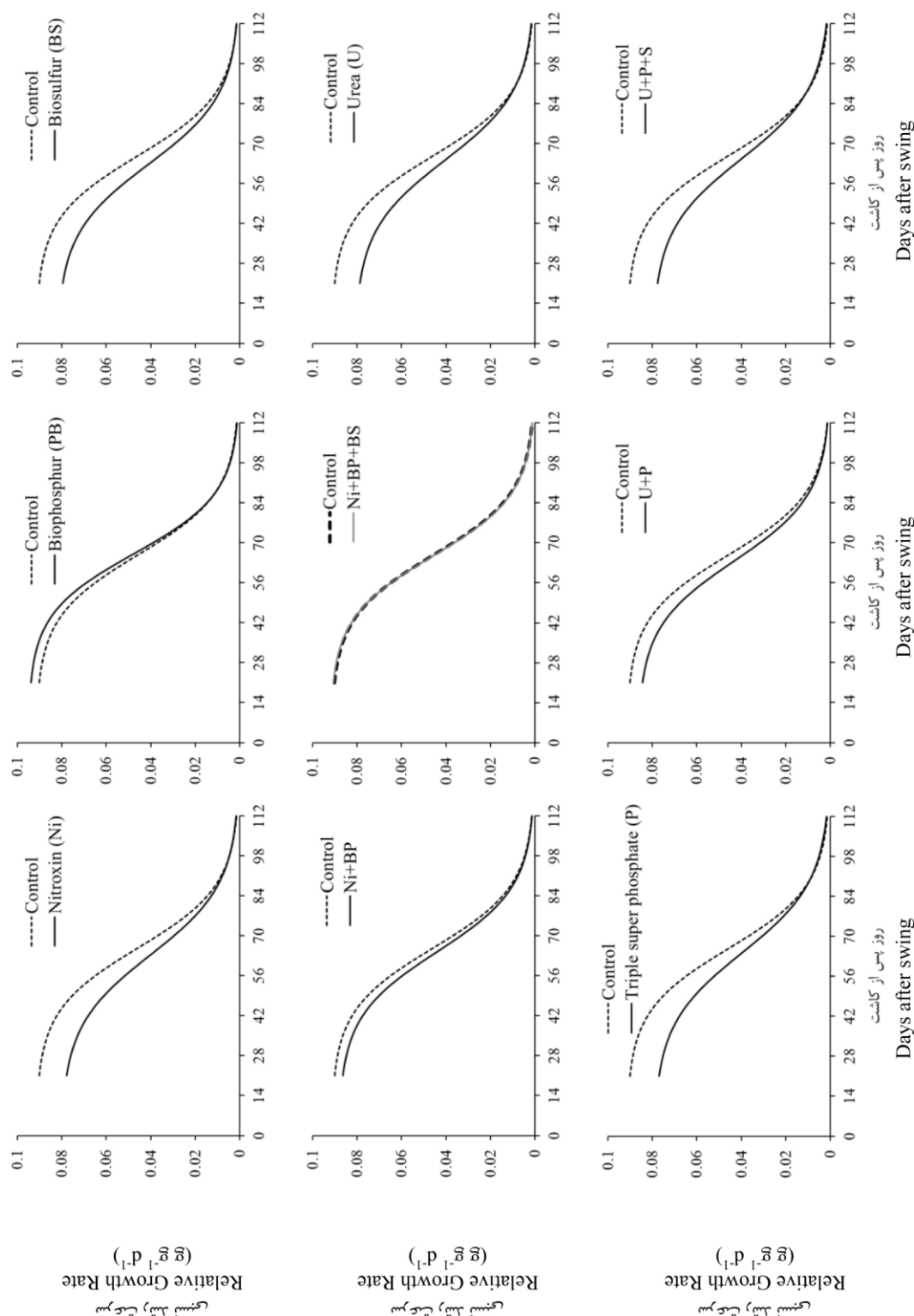
ب. مراحل فنولوژیکی: آنالیز واریانس مراحل مختلف فنولوژیکی و طول دوره‌های زایشی و رسیدگی کنبند نشان داد که در این آزمایش هیچ اختلاف معنی‌داری، چه از لحاظ تعداد روزهای پس از کاشت و چه از لحاظ درجه روز رشد، بین تیمارها وجود نداشت (جدول ۲ و ۳). اما با این وجود، تیمارهای کود زیستی به‌طور متوسط حدود ۳ روز زودتر از تیمارهای کود شیمیایی سبز شدند. این امر می‌تواند به دلیل اثرات مثبت هورمون‌های محرک جوانه‌زنی و رشد ناشی از تلقیح بذرها با کودهای زیستی باشد. نتایج آزمایشات آزمایشگاهی متعددی حاکی از افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین بهبود سایر شاخص‌های گیاهچه کنبند و بسیاری دیگر از گیاهان زراعی و دارویی دیگر بوده است (Hajiloo et al., 2011; Mirshekari et al., 2009). ثابت شده است که تصمیمات مدیریتی که سبب سبز شدن سریع‌تر (حتی یک روزه) گیاه زراعی می‌گردد، می‌تواند در رقابت گیاه زراعی با علف‌های هرز (به‌خصوص درمورد کنبند که دارای گیاهچه‌ای ضعیف و قدرت رقابت کم با علف‌های هرز است) بسیار مؤثر واقع شود (Dogan et al., 2004; Rasmussen, 2009).

(سطح زمین) در روز بیان می‌گردد. از سرعت رشد محصول به‌طور وسیعی در تجزیه و تحلیل رشد محصولات به‌کار گرفته می‌شود (Kizilkaya, 2008).

Zayed et al. (2005) افزایش سرعت رشد گندم (*Triticum aestivum* L. در اثر تلقیح ازتوباکتر را بیش از تثبیت زیستی نیتروژن، به هورمون‌های تولید شده توسط این باکتری و افزایش رشد ریشه نسبت دادند. از آنجا که نیتروکسین شامل دو باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن (ازتوباکتر و آزوسپریلوم) می‌باشد با تلقیح آن‌ها با بذر امکان استفاده گیاهچه از نیتروژن و دیگر عناصر غذایی فراهم می‌شود و گیاه در شرایط بهتری از نظر عناصر غذایی رشد می‌کند. به‌طور کلی ریزوباکتری‌های محرک رشد با توان تثبیت زیستی نیتروژن، گسترش سطح ریشه، کمک به جذب بهینه آب و عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد و برخی ویتامین‌ها، سرعت رشد گیاه را تقویت می‌کند (Mrkovacki and Milic, 2001) و با اثرات متقابل سازنده‌ای که می‌تواند با هم داشته باشند رشد گیاه را بهبود می‌بخشند.

سرعت رشد نسبی (RGR): در شکل ۴ سرعت نسبی هر تیمار در مقایسه با تیمار شاهد نشان داده شده است که در تیمارهای مختلف و در طول فصل رشد، مقادیری بین صفر تا یک دهم (۰/۱) را شامل می‌شود. سرعت رشد نسبی بیانگر وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است اما با این وجود توصیف‌کننده یک سرعت رشد ثابت در طول یک چارچوب زمانی مشخص نیست و می‌تواند با مقادیر لحظه‌ای RGR متفاوت باشد (Koocheki and Sarmadniya, 2011). به‌عنوان مثال دو گیاه که دارای وزن اولیه نامساوی اما نسبت افزایش مساوی در طول یک دوره زمانی یکسان هستند دارای سرعت رشد نسبی یکسانی هستند. بنابراین سرعت رشد نسبی به تنهایی نمی‌تواند در تجزیه و تحلیل شرایط رشد گیاهان و به‌خصوص جوامع گیاهی مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین توصیه دانشمندان بر استفاده از شاخصی دیگر است که بتواند قضاوت صحیحی از رشد محصول در مزرعه به‌دست دهد. برای این کار استفاده از سرعت رشد محصول (CGR) توصیه می‌گردد.

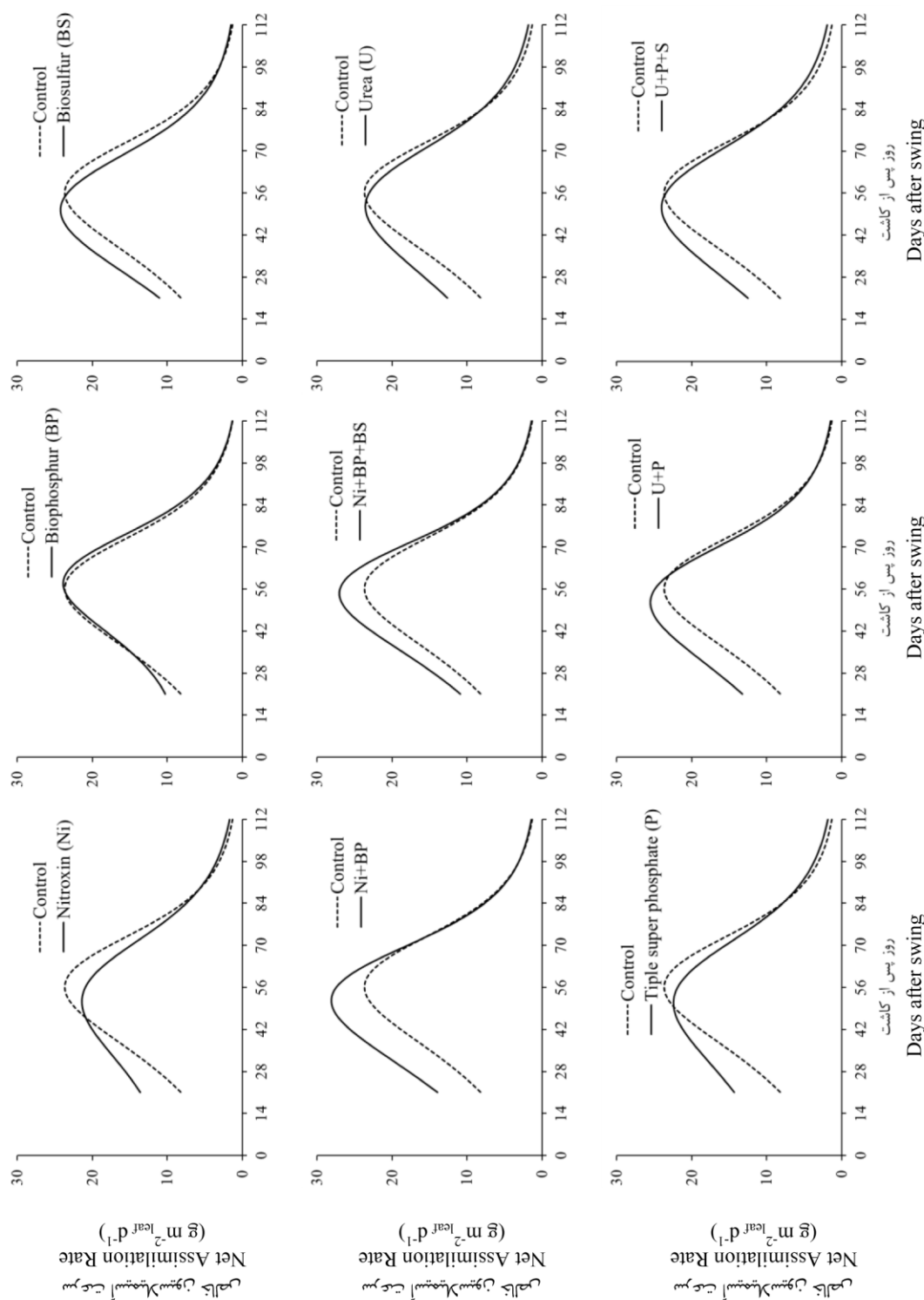
سرعت آسیمیلایون خالص (NAR): میزان آسیمیلایون خالص عبارت است از مقدار مواد ساخته شده خالص در واحد زمان و واحد سطح برگ است و معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک) بر مترمربع (سطح برگ) در روز بیان می‌گردد (Koocheki and Sarmadniya, 2011). در کلیه تیمارهای آزمایش، میزان آسیمیلایون خالص در اوایل فصل رشد به دلیل پایین بودن سطح برگ و فتوسنتز پایین است و به تدریج همراه با رشد و افزایش سطح برگ گیاه، در اواسط فصل رشد افزایش چشمگیری یافته و پس از آن به دلایلی چون سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر، انتقال مجدد



شکل ۴- سرعت رشد نسبی (RGR) کنجد در تیمارهای مختلف آزمایش در مقایسه با تیمار شاهد
Figure 4- Relative growth rate (RGR) of sesame in different treatments in comparison of control

افزایش مدت زمان کاشت تا گلدهی با کاربرد کود زیستی نیتروکسین بود اما سایر مراحل فنولوژیک از کاربرد این کود اثر معنی‌داری نپذیرفت.

یافته‌های سجادی‌نیک و یدوی (Sajjadi Nik and Yadavi, 2013) که به بررسی فنولوژی کنجد تحت تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن و کود زیستی نیتروکسین در شرایط اقلیمی بهبهان پرداخته بودند حاکی از کاهش مدت زمان کاشت تا سبز شدن و همچنین



شکل ۵- سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR) کبجد در تیمارهای مختلف آزمایش در مقایسه با تیمار شاهد

Figure 5- Net assimilation rate (NAR) of sesame in different treatments in comparison of control

جدول ۲- تجزیه واریانس مراحل مختلف فنولوژیکی کنجد بر اساس تعداد روز پس از کاشت
Table 2- ANOVA of different phenological stages of sesame based on days after swing

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		سبز شدن Emergence stage	تشکیل جوانه گل Flower bud formation stage	شروع گلدهی Flowering stage initiation	شروع Pod stage initiation	گلدهی کامل Complete flowering stage	رسیدگی فیزیولوژیک Physiological maturity stage	رسیدگی کامل Full maturity stage	طول دوره زایشی Length of reproductive stage	طول دوره رسیدگی Length of maturity stage
بلوک Block	2	2.03ns	6.63ns	16.03ns	30.7ns	44.23ns	19.6ns	11.7ns	8.03ns	5.9ns
تیمار Treatment	9	10.07ns	10.23ns	3.85ns	2.52ns	2.01ns	7.91ns	3.78ns	23.57ns	5.61ns
خطا Error	18	3.21	5	12.11	32.37	49.38	33.16	13.03	34.51	12.94
ضریب تغییرات C.V (%)		14.2	7.0	8.3	11.4	12.1	7.5	3.0	8.6	14.76
ns به معنای غیرمعنی دار است ns: means not significant										

ns به معنای غیرمعنی دار است
ns: means not significant

جدول ۳- تجزیه واریانس مراحل مختلف فیزیولوژیکی کنجد بر اساس درجه روز رشد
Table 3- ANOVA of different phenological stages of sesame based on GDD

میانگین مربعات Mean of squares										
منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	سبز شدن Emergence stage	تشکیل جوانه گل Flower bud formation stage	شروع گلدهی Flowering stage initiation	شروع نیامدهی Pod stage initiation	گلدهی کامل Complete flowering stage	رسیدگی فیزیولوژیک Physiological maturity stage	رسیدگی کامل Full maturity stage	طول دوره زایشی Length of reproductive stage	طول دوره رسیدگی Length of maturity stage
بلوک Block	2	608.4ns	2600ns	6407ns	11005ns	11371ns	4041ns	15.7ns	1125ns	3660ns
تیمار Treatment	9	2735.1ns	3884ns	1574ns	960ns	569ns	1800ns	672.1ns	7533ns	1380ns
خطا Error	18	908.4	1892	4778	13096	11659	6517	383.7	7371	5699
ضرب تغییرات C.V (%)		13.9	7.8	9.3	11.3	10.4	4.8	4.4	7.71	16.6

ns به معنای غیرمعنی دار است
Ns: means not significant

همچنین در آزمایش مذکور هیچ‌یک از تیمارهای کود نیتروژن بر فنولوژی کنجد اثرگذار نبود که این یافته با یافته آزمایش حاضر تطابق دارد. عدم تطابق نتایج مربوط با کودهای زیستی آزمایش حاضر و آزمایش سجادی‌نیک و یدوی (Sajjadi Nik and Yadavi, 2013) را می‌توان به اختلاف رقم کنجد مورد استفاده، عرض و موقعیت جغرافیایی (تأثیر گذار بر دما و طول روز) و حتی فراهمی یا کمبود عناصر مورد نیاز رشد کنجد در خاک دو منطقه مورد آزمایش (بهمن و مشهد) و سایر شرایط آزمایش نسبت داد. به اعتقاد سلطانی (Soltani, 2009) اثر کمبود عناصر مغذی و خشکی به مراتب از اثر دمای محیط و فتوپریود کمتر است. بنابراین به نظر می‌رسد تا زمانی که کمبود عناصر غذایی به شکل تنش محدودکننده رشد برای گیاه درنیاید، فنولوژی گیاه نیز از شرایط تغذیه‌ای تأثیر خاصی نپذیرد. از این رو عدم وجود اختلاف بین تیمارهای این

آزمایش نیز می‌توان از طرفی به عدم کمبود عناصر غذایی در خاک و از طرفی دیگر به توقع پایین کنجد نسبت به حاصلخیزی خاک (Uzun and Cagiran, 2006; Khajepoor, 2010) دانست. به‌طور کلی از نتایج این آزمایش می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که فنولوژی گیاه کنجد تا حد بسیار زیادی تحت کنترل دما و فتوپریود بوده و تحت تأثیر منبع تغذیه‌ای قرار نمی‌گیرد. جدول ۴ وقوع مراحل مختلف فنولوژیک کنجد بر اساس دامنه و میانگین روزهای پس از کاشت و درجه روز رشد را نشان می‌دهد. با پیش‌بینی زمان وقوع هر مرحله از مراحل فنولوژیک کنجد می‌توان تصمیمات مدیریتی مزرعه (شامل تعیین زمان مناسب برای کنترل آفات و علف‌های هرز، کوددهی سرک، آبیاری تکمیلی، برداشت و غیره) را به نحو صحیحی اتخاذ نمود.

جدول ۴- وقوع مراحل مختلف فنولوژیک کنجد بر اساس دامنه و میانگین روزهای پس از کاشت و درجه روز رشد
Table 4- Sesame phenological stages based on the range and average of days after swing and GDD

مرحله فنولوژیک Phenological stage	بر اساس تعداد روزهای پس از کاشت Based on days after swing		بر اساس درجه روز رشد Based on GDD	
	دامنه Range	میانگین Average	دامنه Range	میانگین Average
سبز شدن Emergence stage	10-15	12.6	173-293	217
تشکیل جوانه گل ^A Flower bud formation stage ^A	25-38	31.8	426.8-676.9	555.7
شروع گلدهی Flowering stage initiation	35-47	41.6	617.5-854.5	750.6
شروع نیام‌دهی Pod stage initiation	41-58	49.9	736.6-1037	904.9
گلدهی کامل Complete flowering stage	47-69	57.8	854.9-1208.4	1033.5
رسیدگی فیزیولوژیک Physiological maturity stage	92-109	100.4	1544.2-1785.9	1668.6
رسیدگی کامل Full maturity stage	115-127	121	1829.8-1910.4	1874.8
طول دوره زایشی ^B Length of reproductive stage ^B	57-78	68.5	926.7-1251.2	1112.9
طول دوره رسیدگی ^C Length of maturity stage ^C	14-27	20.6	171.4-322.8	206.1

^A تشکیل جوانه گل اولین مرحله فاز زایشی گیاه بوده و شروع این مرحله را می‌توان پایان رشد اولیه رویشی (نوجوانی) گیاه دانست، هرچند به دلیل نامحدود بودن رشد گیاه کنجد، ادامه رشد رویشی و همچنین رشد زایشی گیاه همزمان صورت می‌گیرد.

^A Formation of flower buds is the first reproductive phase of sesame and the initiation of this stage could be the end of the early vegetative growth (juvenile), although because of the indeterminate growth of sesame, continuing of vegetative and reproductive growth occurs simultaneously.

^B طول دوره زایشی برابر با مدت زمانی که گیاه وارد فاز زایشی می‌شود (تشکیل جوانه گل) تا شروع رسیدگی فیزیولوژیک تعریف می‌شود.

^B Length of reproductive stage is the period from the initiation of the reproductive phase (flower bud formation stage) to initiation of physiological maturity.

^C طول دوره رسیدگی برابر است با مدت زمان سپری شده از شروع رسیدگی فیزیولوژیک تا رسیدگی کامل.

^C Length of maturity stage is the period from initiation of physiological maturity to complete maturity.

نتیجه گیری

در این آزمایش کاربرد ترکیبی کودهای زیستی و کودهای شیمیایی در بهبود شاخص های رشدی گیاه اثر قابل توجهی داشت و از طرف دیگر تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی بر فنولوژی کنگد یکسان بود. به طور کلی تیمارهای چندگانه زیستی و شیمیایی

بیشترین تأثیر را بر رشد کنگد داشتند اما با توجه به مزایای استفاده از کودهای زیستی در پایداری تولید و سلامت محیط زیست و انسان، استفاده از ترکیب کودهای زیستی به عنوان بهترین گزینه برای دستیابی به تولید پایدار کنگد پیشنهاد می گردد.

References

1. Adeola, Y. B., Augusta, C. O., and Oladejo, T. A. 2010. Proximate and mineral composition of whole and dehulled Nigerian sesame seed. *African Journal of Food Science Technology* 1 (3): 71-75.
2. Ahmed, A. G., Orabi, S. A., and Gaballah, M. S. 2010. Effect of Bio-N-P Fertilizer on the growth, yield and some biochemical components of two sunflower cultivars. *International Journal of Academic Research* 2 (4): 271-277.
3. Al-Barrak, K. M. 2006. Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.). *Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences)* 7 (1): 87-103.
4. Ather Nadeem, M., Iqbal, Z., Ayub, M., Mubeen, K., and Ibrahim, M. 2009. Effect of nitrogen application on forage yield and quality of maize sown alone and in mixture with legumes. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences* 7 (2): 161-167.
5. Bagheri, F., Rouhani, H., Falahati Rastegar, M., and Saberi Reese, R. 2011. Phase variation phenomena in fluorescent pseudomonas and its role in controlling fungal pathogen *Gaeumannomyces graminis* var. tritici in wheat take-all disease. *Iranian Journal of Plant Production Science* 2: 199-208. (in Persian with English abstract).
6. Banerjee, M., Yesmin, R. L., and Vessey, J. K. 2006. Plant-growth promoting rhizobacteria as biofertilizer and biopesticides. PP 137-181. In: Rai, M., K. (Ed.) *Handbook of microbial biofertilizers*. Food Production Press, USA.
7. Besharati, H., Sadat Noori, S. A., Nikniyae, A. B., Iran Nejad, H., Akbari, A., and Fallah Nosrat Abadi, A. 2010. Study of the efficiency of sulfur and *Thiobacillus* genus inoculum on phosphorus absorption and yield of wheat in different calcareous soils. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 41 (1): 71-79. (in Persian with English abstract).
8. Bijani, M., Yadollahi, P., Asgharpour, M. R., Soleimani, S., and Latifi, M. 2015. Effects of nitrogen and biological fertilizer on yield, oil and protein content of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Oil Plants Production* 1 (2): 67-78. (in Persian with English abstract).
9. Das, R., and Bhattacharjee, C. 2015. Processing Sesame Seeds and Bioactive Fractions. In: *Processing and Impact on Active Components in Food*. Preedy, V. Academic Press, USA, 724pp.
10. Dogan, M. N., Unay, A., Boz, O., and Ogut, D. 2009. Effect of pre-sowing and pre-emergence glyphosate applications on weeds in stale seedbed cotton. *Crop Protection* 28: 503-507.
11. Eftekhari, S. G., Fallah Nosrat Abadi, A., Akbari, G. A., Mohaddasi, A., and Allahdadi, I. 2009. The effect of phosphate solubilizing bacteria and phosphate fertilizers on the growth of rice plants. *Iranian Journal of Soil Researches* 23 (2): 229-238. (in Persian).
12. Ghobady, M., Jahanbin, S., Motallebifar, R., and Parvizi, K. 2011. Effects of Biological phosphate fertilizers on yield of potato. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 21 (2): 117-130. (in Persian with English abstract).
13. Gulser, F. 2005. Effect of ammonium sulphate and urea on NO_3 and NO_2 accumulation nutrient contents and yield criteria in spinach. *Scientia Horticulturae* 106: 330-340.
14. Hajiloo, M., Salimi, H., Asghari, H. R., and Khavazi, K. 2011. The use of plant growth promoting bacteria as biofertilizers for the sustainability of agricultural ecosystems. First Congress of challenges of fertilizers (half a century of using fertilizer), 1-3 March, Tehran. (in Persian).
15. Hamidi, A., Ghalavan, A., Ghalavand, M., Dehghan Shoaar, M. J., Asgharzadeh, A., and Chookan, V.

2006. The effects of plant growth promoting bacteria (PGPR) on yield of maize. The Journal of Agronomy 70: 16-22. (in Persian).
16. Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Fertility of soil and biofertilizers: Agroecological approach. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. (in Persian).
17. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M. B., and Ehyayi, H. R. 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. Industrial Crops and Products 43: 606-611.
18. Karimi, M. M., and Siddique, K. H. M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. Australian Journal of Agriculture Research 42: 13-20
19. Keshavarz Afshar, R., Chaeichi, M. R., Alipoor Jahangiri, A., Ansari Joveyni, M., Moghaddam, H., Ehteshami, S. M. and Khavazi, K. 2011. The effect of foliar application of plant growth promoting bacteria on forage and grain of sorghum cultivar speed feed (*Sorghum bicolor* var. Speed feed). Iranian Journal of Field Crops Researches 42 (3): 575-584. (in Persian with English abstract).
20. Khajepoor, M. R. 2010. Industrial plants. Jahade Daneshgahi Esfahan Press, Esfahan, Iran. (in Persian).
21. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008. The effect of biofertilizers on growth indexes of black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Crop Researches 6 (2): 285-294. (in Persian with English abstract).
22. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Effects of biological fertilizers on yield and yield components of black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Crop Researches 8 (5): 758-766. (in Persian with English abstract).
23. Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecological Engineering 33: 150-156.
24. Koocheki, A., and Sarmadniya, G. H. 2011. Crops physiology (16th pub.). Jahade Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. (in Persian).
25. Koocheki, A., Soltani, A., and Azizi, M. 2003. Plant ecophysiology. Jahade Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. (in Persian).
26. Martin, X. M., Sumathi C. S., and Kannan V. R. 2011. Influence of agrochemicals and *Azotobacter* sp. application on soil fertility in relation to maize growth under nursery conditions. EurAsian Journal of BioSciences 5: 19-28.
27. Mostafavi, M. J. 2014. The effect of chemical and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Mashhad climate condition. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
28. Mrkovacki, N., and Milic, V. 2001. Use of *Azotobacter chroococcum* as potential useful in agricultural application. Annuals of Microbiology 51: 145-158.
29. Nezarat, S., and Gholami, A. 2011. The effect of plant growth promoting bacteria (*Azospirillum* and *Pseudomonas*) on growth and yield of maize (*Zea mays* L.). Journal of Agronomy 91: 44-51. (in Persian).
30. Noorbakhsh, F. S., Behdani, M. A., Jaami Al-Ahmadi, M., and Mahmoodi, S. 2014. Evaluation of the combined effect of use of the sulfur with *Thiobacillus* on qualitative yield and morphologic characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology 6 (1): 51-59. (in Persian).
31. Paul, I. K., and Savithru, K. 2003. Effect of biofertilizers vs perfected chemical fertilization for sesame grown in summer rice fallow. Journal of Tropical Agriculture 41: 47-49.
32. Rahimian, Z. 2011. The effects of sulfur and *Thiobacillus* with organic matter on quantitative and qualitative characteristics of rapeseed. Crop Physiology Journal 12: 19-27. (in Persian with English abstract).
33. Rasmussen, I. A. 2004. The effect of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat. Weed Research 44: 12-20.
34. Rezvani, P., Mohammad Abadi, A., and Moradi, R. 2010. The effect of chemical fertilizers and manure on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) at different planting densities. Journal of Agroecology 2 (2): 256-265. (in Persian with English abstract).
35. Sajjadi Nik, R., and Yadavi, A. R. 2013. Effects of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth, phenological stages and grain yield. Electronic Journal of Crop Production 2: 73-99. (in Persian)

- with English abstract).
36. Sajjadi Nik., R., Yadavi, A. R., Baloochi, H. R., and Fraji, H. 2011. Comparison of the effect of chemical fertilizers (urea), maure (vermicompost) and biological (nitroxin) on yield and quality of sesame (*Sesamum indicum* L). Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 2: 87-102. (in Persian with English abstract).
37. Sarmadi Nayebi, H., Hamze'ee, J., Sepehri, A., and Yazdan Doost Hamedani, M. 2010. The effect of swing date and bio-priming with nitroxin biofertilizer on yield and yield component of maize in Hamedan. 2010. 11th Iranian Crop Science Congress, Tehran, 24-26 July, 3181-3184. (in Persian).
38. Shakeri, E., Amini Dehaghi, M., Tabatabaei, S. A., and Modares Sanavi, S. A. M. 2012. Effect of chemical fertilizer and biofertilizer on seed yield, its components, oil and protein percent in sesame varieties. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 22 (1): 71-86. (in Persian).
39. Siami, A., and Besharati, H. 2012. Release process of iron and zinc on biological oxidation of sulfur. Iranian Journal of Soil Researches 26 (3): 255-267. (in Persian).
40. Soltani, A. 2009. Mathematical modeling in crops. Jahade Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. (in Persian).
41. Uzun, B., and Cagiran, M. I. 2006. Comparison of determinate and indeterminate lines of sesame for agronomic traits. Field Crop Research 96: 13-18.
42. Van Iersel, M. W., and Seymour, L. 2000. Growth respiration, maintenance respiration, and carbon fixation of vinca: A time series analysis. Journal of American Society of Hotriculture Science 125 (6): 702-706.
43. Yazdan Doost Hamedani, M. 2003. Study the effect of nitrogen on yield, yield components and nitrate accumulation in potato cultivars. Iranian Journal of Agriculture Science 34 (4): 977-985. (in Persian).
44. Zayed, G., and H. A. Motaal. 2005. Bioactive composts from rice straw enriched with rock phosphate and their effect on the phosphorus nutrition and microbial community in rhizosphere of cowpea. Bioresource Technology 96: 929-935.



Growth and Phenology Analysis of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under Biological and Chemical Nutritional Sources

M. J. Mostafavi¹ - M. Nassiri Mahallati^{2*} - A. Koocheki²

Received: 19-09-2015

Accepted: 09-11-2016

Introduction

Nowadays technological innovations, the use of chemical inputs, development of methods and etc., help agriculture to produce food for human. However, some problems such as growth in fertilizer prices and environmental pollution has drawn attentions to sustainable agriculture.

Sesame as the oldest known oil-seeded plant by mankind has ranked #9 among 30 important oil seeds. Therefore cultivation of this valuable plant should be done based on ecological principles and inputs.

Growth and phenological aspects of sesame affecting by bio-fertilizers is less known. Therefore, the aim of this experiment was to evaluate the growth and phenology of sesame by application of various biological and chemical nutritional sources.

Materials and Methods

This experiment was conducted in randomized complete block design (RCBD) with 3 replications and 10 treatments including Nitroxin[®] (Ni), Biophosphor[®] (BP), Biosulfur[®] (BS; with recommended amount of elemental sulfur), double mixture of Ni+BP, triple mixture of Ni+BP+BS, Urea (U), triple super phosphate (P), double mixture of U+P, triple mixture of U+P plus the used amount sulfur in BS, and control.

Sampling was conducted every 7 days and growth indexes including, leaf area index (LAI), total dry matter (TDM), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR) were studied during growth life of the crop. Phenological stages were recorded then GDD was calculated for different phenological stages. Statistical analysis and drawing of figures were performed using Minitab and MS Excel.

Results and Discussion

A. Growth Indexes: Changes in LAI, TDM, CGR, RGR, and RGR under all treatments were almost similar. during the early days of growing, LAI increased gradually and then it rose sharply after production of more leaves by the plant in most of the treatment about 35 days after sowing. After the flowering stage, by lowering of increase in LAI, all of the treatments reached to their maximum LAI and then decreased. Control and BS had minimum LAI (2.42 and 2.54) among all treatments. LAI of U+P+S and U+P were highest LAI (3.42 and 3.32 respectively) and after it, Ni+BP+BS (3.03) and Ni+BP (3.01), urea (2.98), Nitroxin (2.85), Biophosphor (2.75), triple superphosphate (2.78) were placed respectively.

The highest dry matter accumulation occurred in plots that meet higher LAI, resulting in a higher potential for the production and accumulation of dry matter. So, the highest dry matter accumulation was recorded in U+P+S and U+P, and then Ni+BP+PS and Ni+BP and urea.

Due to the development of leaves and roots, CGR increased and then reached to its highest amount after 52 to 70 days from the sowing. Then, about 100 days from sowing, CGR decreased and this trend continued to the end of plant life. Application of Nitroxin and Biophosphor increased CGR of sesame, but it did not affect CGR of Biosulfur treatment. The double and triple mixture of biofertilizers and chemical fertilizers increased the growth of sesame in comparison to their sole application.

Numeral amount of RGR was between 0 to 1 that describes the amount of increase in plant dry matter weight in order to its previous dry matter's weight among a time period.

In all treatments, NAR at the beginning of the growing season due to low levels of leaves and photosynthesis were low. Gradually in the middle of the growing season, NAR increased, along with the increased growth of plants and their LAI. Because of some reason remobilization and aging of the leaves and reduction of the efficiency of photosynthesis, NAR has an intense reduction. All the treatments had higher NAR comparing to

1- PhD. student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Professor and member of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: mnassiri@um.ac.ir)

control.

B. Phenological Stages: Statistical analysis of data showed that the effect of treatments on phenological stages was not significant. But seeds in the treatments of biofertilizers grew 3 days earlier in average. It has been proven that farm managerial decisions that cause faster growing of plants (even one day), can be effective in competitions of crops versus the weeds.

Conclusions

Based on the results, it can be concluded that although nutrition resources affected the sesame growth indexes, they had no effect on phenological stages of sesame.

Keywords: CGR, GDD, LAI, Nitroxin, Urea



واکنش برخی از صفات خاک و ویژگی های کیفی دانه آفتابگردان به رژیم های مختلف تغذیه ای

فاطمه سلیمانی^۱ - گودرز احمدوند^{۲*} - علی اکبر صفری سنجانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثر رژیم های گوناگون تغذیه ای بر برخی ویژگی های کیفی دانه گیاه روغنی آفتابگردان و همچنین خاک تحت کشت آن، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا شد. تیمارها شامل: عدم کاربرد هر گونه کود شیمیایی و زیستی، کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده (NP)، ۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده بدون کود زیستی، کود آلی ورمی کمپوست، کود زیستی فسفونیتروکارا، کود زیستی بیوسولفور، ورمی کمپوست+ فسفونیتروکارا، ورمی کمپوست+ بیوسولفور، ورمی کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، فسفو نیتروکارا+ ۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، بیوسولفور+ ۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، ورمی کمپوست+ فسفونیتروکارا+ ۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، ورمی کمپوست+ بیوسولفور+ ۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده بود. نتایج نشان داد که تیمارهای تغذیه ای، تمامی صفات به جز درصد روغن دانه و اسیدیته خاک را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار دادند. بیشترین غلظت عناصر بررسی شده، روغن و پروتئین دانه در تیمارهای تلفیقی مشاهده شد. همچنین کاربرد تلفیقی کودها بالاترین غلظت نیتروژن، فسفر و سولفات در خاک را به همراه داشت. به طور کلی، چنین به نظر می رسد که کودهای زیستی مورد مطالعه و ورمی کمپوست به همراه کودهای شیمیایی ضمن تولید عملکرد مطلوب آفتابگردان می توانند با بهبود شرایط تغذیه ای خاک، تأثیر مثبتی بر پایداری تولید و کاهش مصرف کودهای شیمیایی داشته باشند.

واژه های کلیدی: عناصر غذایی، کود زیستی، ورمی کمپوست

مقدمه

دستیابی به حداکثر تولید در واحد سطح استفاده می شود. نیتروژن یکی از عناصر غذایی مهم برای رشد گیاهان و پایه ساخت پروتئین و نوکلئیک اسید است. فسفر دومین عنصر محدودکننده تولید گیاهان زراعی پس از نیتروژن می باشد و در فرآیندهای بیوشیمیایی و ترکیب های انرژی زا و انتقال انرژی، تشکیل دانه و سوخت و ساز تبدیل قند به نشاسته نقش پایه ای را بر عهده دارد. گوگرد یکی دیگر از عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان است که در سال های اخیر استفاده از آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. گوگرد نیز مانند نیتروژن از عناصر ضروری در ساختمان پروتئین های گیاهی است و نقش ساختاری در آمینو اسیدهای مثل سیستین، سیستئین و متیونین، روغن و برخی از پروتئین های مؤثر در سنتز ویتامین ها و کلروفیل دارد (Marschner, 1995; Weiss, 2000; Kacar and Katkat, 2007). همچنین این عنصر در ایجاد تعادل مطلوب مواد غذایی خاک بسیار مهم است، به طوری که کاربرد میزان مناسبی از گوگرد به همراه نیتروژن می تواند نقش مؤثری در افزایش قابلیت دسترسی به عناصر پر کاربرد نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و نیز عناصر کم کاربرد مانند آهن، مس، روی و منگنز داشته باشد (Kaplan and Orman, 1998; Erdal et al., 2004; Zapata)

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یکی از مهم ترین دانه های روغنی در جهان محسوب می شود. بالا بودن میزان اسیدهای چرب غیراشباع لینولئیک و اولئیک که از اسیدهای چرب ضروری بوده باعث افزایش ارزش تغذیه ای روغن آفتابگردان شده است (Izquierdo and Aguirrezabal, 2008).

یکی از جنبه های بسیار مهم مدیریت زراعی برای دستیابی به عملکرد اقتصادی بالا در هر گیاهی فراهم نمودن مقدار کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک است. عملکرد محصول، با میزان عرضه عناصر معدنی و آلی خاک که برای آن قابل بهره گیری باشد، متناسب بوده و از دیرباز بشر به اهمیت عناصر معدنی و آلی در رشد گیاه و تولید محصول پی برده است. امروزه از کودها به عنوان ابزاری برای

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی و دانشیار گروه

زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳- استاد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(*)- نویسنده مسئول: Email: gahmadvand@basu.ac.ir

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.54524

اسیدپت خاک به عنوان مهم ترین ویژگی خاک، حلالیت و انتقال عناصر مغذی، فعالیت های میکروبی و آنزیمی خاک را کنترل می کند (Graeme et al., 1993). گوگرد از طریق اکسیداسیون و تولید پروتون اسیدپت خاک را کاهش و قابلیت دسترسی برخی عناصر را افزایش می دهد (Modaihsh et al., 1989). از سویی به دلیل قلیایی بودن خاک در اکثر مناطق ایران، تولید اسید سولفوریک در خاک در نتیجه فعالیت باکتری های اکسید کننده گوگرد می تواند در افزایش جذب عناصر پر کاربرد و کم کاربرد، مؤثر باشد.

هرچند بهره گیری از عناصر غذایی شیمیایی از عوامل مهم به زراعی است که بر رشد و نمو، عملکرد کمی و کیفی محصول تأثیر قابل توجهی دارد، اما کاربرد بی رویه کودهای شیمیایی موجب ایجاد مشکلات زیست محیطی فراوانی از جمله آلودگی منابع آب و خاک، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصلخیزی خاک ها گردیده است. کاربرد منابع تجدیدپذیر و مدیریت صحیح کودی می تواند نقش به سزایی در کاهش معضلات ذکر شده و تأمین اهداف نظام های زراعی سالم و پایدار داشته باشد. یکی از راه حل ها در مسیر دستیابی به بخشی از اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از منابع آلی و زیستی در جهت تغذیه گیاهان زراعی می باشد.

کودهای زیستی از یک یا چند گونه میکروارگانیسم سودمند به همراه مواد نگهدارنده و یا فرآورده های آن ها ساخته شده اند (Vessy, 2003). باکتری های محرک رشد مانند ازتوباکتر (*Azotobacter* sp.)، آزوسپیریلیوم (*Azospirillum* sp.) و باسیلوس ها (*Bacillus* sp.) از طریق فرآیندهای مختلفی از قبیل تثبیت نیتروژن، تولید هورمون های محرک رشد همانند اکسین ها، جیبرلین ها، سیتوکینین ها و اتیلن، محلول سازی فسفات و افزایش فسفات قابل جذب گیاه از طریق ترشح آنزیم های مختلف از قبیل آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی (Vessy, 2003)، افزایش جذب عناصر، افزایش مقاومت به تنش ها، تولید ویتامین ها و کنترل زیستی عوامل بیماری زا (Kennedy et al., 2004) در رشد گیاه مؤثرند. تیوباسیلوس ها (*Thiobacillus* sp.) نیز یکی از مهم ترین میکروارگانیسم های اکسید کننده گوگرد در خاک های کشاورزی می باشند که می توانند اثرات قابل ملاحظه ای بر اسیدپت محیط، حلالیت عناصر و قابلیت دسترسی آن ها داشته باشند (Zapata and Roy, 2004). ورمی کمپوست کودی آلی و شامل مخلوط زیستی بسیار فعال از باکتری ها، آنزیم ها، بقایای گیاهی، کود حیوانی و کپسول های کرم خاکی می باشد که سبب ادامه تجزیه مواد آلی خاک و پیشرفت فعالیت های میکروبی و آنزیمی در بستر کشت گیاه می گردد (Bremness, 1999). همچنین از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب، آزادسازی عناصر غذایی موجود در خاک و تولید هورمون های گیاهی، می تواند رشد و نمو گیاهان را بهبود بخشد (Arancon et al.,

2004). در آزمایشات ورزی و همکاران (Varzi et al., 2011) استفاده تلفیقی از باکتری های محرک رشد به همراه کودهای نیتروژنی، فسفر و نیتروژن دانه آفتابگردان را نسبت به تیمار بدون باکتری افزایش داد. در مطالعات جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) بر روی انواع کودهای زیستی، بیشترین درصد روغن دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) با ۳۹/۴۶ درصد و پروتئین دانه با ۲۰/۰۴ درصد به ترتیب در تیمارهای تلقیح با بیوسولفور و بیوفسفر دیده شد. همچنین کومار و همکاران (Kumar et al., 2014) در بررسی پیامد تلقیح دانه کنجد با باکتری سودوموناس آئروژینوزا (*Pseudomonas aeruginosa*) به همراه کاربرد کامل کود شیمیایی پیشنهادی و ۵۰ درصد آن گزارش کردند که تلقیح دانه به همراه کاربرد نیمی از کود پیشنهاد شده، عملکرد روغن و پروتئین را به ترتیب ۳۳/۳ و ۴۷/۵ درصد در برابر کاربرد کامل کود شیمیایی افزایش داد. احمد و همکاران (Ahmad et al., 2013) نیز در مطالعات خود پی بردند که تلقیح ماش (*Vignaradiate* L.) با رازیویوم (*Rhizobium*) و سودوموناس (*Pseudomonas*) تعادل یونی را بهبود داد و غلظت فسفر و پروتئین را در دانه افزود. نتایج بسیاری از مطالعات مبین تأثیر مثبت کودهای زیستی و آلی در بهبود رشد و کیفیت محصولات می باشد (Arancon et al., 2004; Roesty et al., 2006; Fankem et al., 2008). باتوجه به موارد ذکر شده و با توجه به اینکه تاکنون مطالعه جامعی درخصوص واکنش توأم عناصر خاک و دانه آفتابگردان به رژیم های مختلف تغذیه ای در ایران انجام نشده است، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر رژیم های گوناگون تغذیه ای بر غلظت عناصر دانه و خاک در زراعت آفتابگردان انجام شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان با مختصات عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۱۷۴۱ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی ۳۳۰ میلی متر در سال، انجام شد. به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه ای مرکب، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک مزرعه تهیه که نتایج تجزیه آن در جدول ۱ ارائه گردیده است. میزان عناصر غذایی و برخی خصوصیات ورمی کمپوست مورد استفاده نیز تعیین شد (جدول ۱).

آزمایش در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با ۱۳ تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل: عدم کاربرد هرگونه کود شیمیایی و زیستی، کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (NP) پیشنهاد شده بر اساس آزمون خاک، ۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده بدون کود زیستی، کود آلی ورمی کمپوست، کود زیستی فسفونیتروکارا، کود

زیستی بیوسولفور، ورمی کمپوست+ فسفونیتروکارا، ورمی کمپوست+ بیوسولفور، ورمی کمپوست+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، فسفونیتروکارا+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، بیوسولفور+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، ورمی کمپوست+ فسفونیتروکارا+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، ورمی کمپوست+ بیوسولفور+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده بود.

جدول ۱- مشخصات خاک و ورمی کمپوست مورد استفاده
Table 1- Characteristics of the soil and vermicompost used

هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	مواد خنثی شونده T.N.V (%)	اسیدیته pH	سولفات کل Sulfate (mg kg ⁻¹)	فسفر قابل استفاده P _{available} (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل استفاده K _{available} (mg kg ⁻¹)	نیتروژن کل N _{total} (%)	ماده آلی O.C (%)
0.18	15	8	141.3	11	326	0.1	1
3.36	-	8.25	-	1200	1727	1.77	9.51

خاک هر کدام از کرت‌های آزمایشی در عمق توسعه ریشه، براساس روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (Page et al., 1996). همچنین ویژگی‌های کیفی دانه آفتابگردان شامل درصد نیتروژن با روش کج‌دال و روغن با کمک دستگاه سوکسله تعیین گردید. مقدار پروتئین دانه از حاصل ضرب مقدار نیتروژن در ضریب ۶/۲۵ به دست آمد (Anonymous, 1987). عملکرد روغن، پروتئین و عناصر دانه از حاصل ضرب درصد پارامترهای ذکر شده در عملکرد دانه، محاسبه شد. پردازش داده‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار SASvar9.2 و ترسیم نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel انجام گرفت. برای مقایسه میانگین تیمارها از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

غلظت و عملکرد گوگرد دانه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای کودی به‌طور بسیار معنی‌داری غلظت و عملکرد گوگرد دانه را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). کاربرد توأم بیوسولفور و ورمی کمپوست بیشترین میزان گوگرد دانه (۰/۲۳۱ درصد) را در پی داشت (جدول ۳). البته تیمار مذکور با تیمارهای بیوسولفور، ورمی کمپوست و تیمار تلفیقی بیوسولفور به همراه ورمی کمپوست و نیمی از کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری نداشت. عملکرد گوگرد نیز تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین میزان عملکرد گوگرد (۱۱/۱۲) در کاربرد کامل کود شیمیایی مشاهده شد که با کاربرد توأم بیوسولفور+ ورمی کمپوست و بیوسولفور به همراه ورمی کمپوست و نیمی از کود شیمیایی اختلاف آماری نداشت. در مطالعات سلیم‌پور و همکاران

تهیه بستر، شامل عملیات شخم و دیسک‌زنی در اردیبهشت ماه ۱۳۹۴ انجام شد. کاشت بذور آفتابگردان رقم یوروفلور با دست و به‌صورت خشک‌کاری در نیمه خرداد ماه انجام گرفت. در هر کرت آزمایشی پنج خط به طول پنج متر در نظر گرفته شد و فاصله خطوط ۶۰ سانتی‌متر بود. براساس تیمارهای تغذیه‌ای مورد نظر، کود شیمیایی نیتروژنی از منبع اوره به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار (یک سوم به‌صورت پایه و دو سوم به‌صورت سرک در زمان آغاز رشد سریع بوته‌ها و قبل از گلدهی) و فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل براساس آزمون خاک به اندازه ۵۰ کیلوگرم در هکتار و نیمی از میزان پیشنهاد شده در خاک به کار رفت. کود زیستی فسفونیتروکارا که دارای باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن (*Bacillus Azospirillum coagulans*, *Azotobacterchroococcum*, *lipoferum*) است به میزان پیشنهاد شده توسط شرکت سازنده (۱۱۰ سی سی به ازای ۱۰ کیلوگرم بذر) و به‌صورت بذرمال استفاده شد. پس از تلقیح، کلیه بذور تیمار شده در سایه و به دور از نور خورشید خشک شدند و بلافاصله پس از خشک شدن کامل بذور تلقیح شده، کشت انجام شد. همچنین اعمال کود بیولوژیک بیوسولفور (*Thiobacillus*) به میزان شش کیلوگرم در هکتار به همراه مصرف گوگرد بنتونیت‌دار (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت جاگذاری در زیر و کنار بذور انجام گرفت. کود آلی ورمی کمپوست نیز در تیمارهای مورد نظر بر پایه میزان ۱۵ تن در هکتار پیش از کاشت با خاک آمیخته شد. جهت ایجاد تراکم گیاهی مورد نظر، تنک کردن بوته‌ها در مرحله ۴ برگی صورت گرفت. کنترل علف‌های هرز در طی فصل رشد به‌صورت دستی و آبیاری نیز به‌صورت نشتی و با استفاده از لوله پلی‌اتیلن انجام گردید.

غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و گوگرد در دانه‌های آفتابگردان و

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر صفات اندازه گیری شده دانه آفتابگردان
Table 2- Analysis of variance of fertilizer treatments effect on measured traits of grain sunflower

میانگین مربعات

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	فسفر			نیتروژن			پروتئین			روغن Oil		
		عملکرد Yield	غلظت Concentration	غلظت Concentration	عملکرد Yield	غلظت Concentration	غلظت Concentration	عملکرد Yield	غلظت Concentration	غلظت Concentration	عملکرد Yield	غلظت Concentration	عملکرد Yield
تکرار Replication	2	0.32 ^{ns}	0.001 ^{ns}	2.93 ^{ns}	85.06 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.145 ^{ns}	3322.73 ^{ns}	236.86 ^{**}	400115.23 [*]			
کود Fertilizer	12	6.55 [*]	0.002 ^{**}	39.07 [*]	1476.73 ^{**}	0.077 ^{**}	3.028 ^{**}	57684.67 ^{**}	15.836 ^{ns}	333070.48 [*]			
خطا Error	24	1.07	0.0006	3.43	73.86	0.006	0.221	2885.18	10.59	31001.05			
ضرب تغییرات cv	-	12.1	5.7	10.9	8.0	3.0	3.0	8.0	6.7	8.4			

ns, * and ** non significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.
* ns و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار و وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

(Salimpour et al., 2010)، تیمار خاک فسفات به همراه گوگرد، مواد آلی و تیوباسیلوس بیشترین غلظت گوگرد دانه کلزا (*Brassica napus* L.) به میزان ۰/۷۳ درصد را به همراه داشت. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2011) نیز در مطالعات خود، افزایش معنی دار گوگرد دانه کلزا را در اثر کاربرد کودهای زیستی گزارش کردند.

به طور کلی در پژوهش حاضر، با توجه به حضور باکتری های تیوباسیلوس که اکسیدکننده گوگرد می باشند، میزان گوگرد دانه در تیمارهای حاوی بیوسولفور بیشتر از فسفونیتروکارا و ورمی کمپوست بود (جدول ۳). نتایج نشان می دهد که احتمالاً کود زیستی بیوسولفور توانسته از طریق افزایش فعالیت باکتری های اکسیدکننده گوگرد و بهبود دسترسی به این عنصر در ریزوسفر، منجر به تأمین مطلوب گوگرد مورد نیاز گیاه و در نتیجه افزایش غلظت آن در دانه آفتابگردان گردد.

غلظت و عملکرد فسفر دانه: بیشترین میزان فسفر دانه (۰/۴۵ درصد) به تیمارهای فسفونیتروکارا به همراه ورمی کمپوست و کاربرد همزمان بیوسولفور + ورمی کمپوست + نیمی از کود شیمیایی تعلق داشت که به طور معنی داری ۳۲/۳ درصد بیشتر از شاهد منفی بود. همچنین تیمارهای مذکور با ورمی کمپوست به علاوه نیمی از کود شیمیایی، بیوسولفور به همراه ورمی کمپوست، فسفونیتروکارا به علاوه نیمی از کود شیمیایی، ورمی کمپوست و کاربرد کامل کود شیمیایی، اختلاف آماری نداشتند (جدول ۳). در بررسی های کومار و همکاران (Kumar et al., 2014) نیز کاربرد تنها و توأم باکتری های محرک رشد در مقایسه با شاهد عدم تلقیح، افزایش چشمگیری در مقدار جذب فسفر دانه گندم (*Triticumaestivum* L.) نشان دادند. باکتری های محرک رشد از طریق ترشح آنزیم های مختلف، از قبیل آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی موجب محلول سازی فسفات، افزایش فسفات قابل استفاده و فسفر گیاه می شوند (Vessy, 2003). کاربرد توأم ورمی کمپوست و فسفونیتروکارا باعث تشدید اثرات مثبت کود زیستی شده که ممکن است به علت افزایش فعالیت بیولوژیکی در محیط رشد دارای ورمی کمپوست و بهبود فراهمی و جذب عناصر غذایی مورد نیاز جهت فعالیت باکتری های حل کننده فسفات باشد که در نهایت باعث بهبود غلظت فسفر دانه شده است. موهانتی و همکاران (Mohanty et al., 2006) بیان داشتند که مصرف ورمی-کمپوست در مقایسه با شاهد، به علت رهاسازی آهسته فسفر و بهبود فراهمی این عنصر در خاک، باعث افزایش چشمگیر غلظت فسفر دانه بادام زمینی (*Arachishypogea* L.) شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در تیمارهای کودی مختلف
Table 3- Means comparison of studied traits in different fertilizer treatments

کود Mineral trait	گوگرد Sulfur		فسفر Phosphor		نیترژن Nitrogen		پروتئین Protein		روغن Oil
	غلظت Concentration (%)	عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)	غلظت Concentration (%)	عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)	غلظت Concentration (%)	عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)	غلظت Concentration (%)	عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)	
Cf	0.187	11.12	0.42	24.942	2.632	156.246	16.45	976.54	2764.9
1/2 cf	0.184	7.97	0.4	17.343	2.576	11.719	16.1	698.24	2063.8
Nf	0.201	6.23	0.34	10.67	2.1	65.223	13.12	420.15	1430
P	0.198	7.8	0.39	15.358	2.394	94.344	14.962	589.65	1899.9
B	0.225	9.14	0.39	15.908	2.352	95.752	14.7	598.45	2052.1
V	0.215	7.79	0.42	15.293	2.366	86.05	14.787	537.81	1901.7
P+1/2 cf	0.168	7.49	0.42	18.818	2.646	118.516	16.537	740.72	2034.5
P+V	0.19	7.39	0.45	17.565	2.436	95.287	15.225	595.54	1884.1
P+V+1/2 cf	0.175	7.96	0.4	18.182	2.688	122.066	16.8	762.91	2082.2
B+1/2 cf	0.2	8.35	0.41	17.061	2.408	100.451	15.05	627.82	2063.7
B+V	0.231	10.74	0.43	19.873	2.394	110.775	14.962	692.35	2452.2
B+V+1/2 cf	0.207	10.71	0.45	23.201	2.445	126.254	15.279	789.09	2523.1
V+1/2 cf	0.2	8.89	0.44	19.685	2.595	115.221	16.221	720.13	2152.3
LSD(0.05)	0.0296	1.744	0.0399	3.1198	0.1267	14.483	0.7918	90.517	296.71

Cf: 100% of the recommended fertilizer, 1/2cf: 1/2 proposed fertilizer, Nf: No fertilizer, V: Vermicompost, P: Phosphonitrokara, B: Biosulfur
 ۱۰۰: Cf درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، ۵۰: 1/2cf در صدکود شیمیایی پیشنهاد شده، Nf: عدم مصرف کود، V: ورمی کمپوست، P: فسفونیتروکارا، B: بیوسولفور

علی‌رغم عدم تغییر معنی‌دار اسیدیته خاک (جدول ۴)، تأثیر مثبت کود زیستی بیوسولفور بر میزان فسفر دانه می‌تواند به علت فعالیت باکتری‌های تیوباسیلوس و تولید اسید سولفوریک باشد که احتمالاً با کاهش موضعی اسیدیته میکروسایت‌ها در خاک ریزوسفری، باعث حالیت و قابل‌دسترس ساختن فسفر برای گیاه گردیده است. تیمارهای کاربرد کامل کود شیمیایی و بیوسولفور به همراه ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی، بیشترین میزان عملکرد فسفر دانه را به‌ترتیب به میزان ۲۴/۹ و ۲۳/۲ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص دادند (جدول ۳). از نظر عملکرد فسفر دانه، تیمارهای منفرد در مقایسه با شاهد منفی (عدم کاربرد کود) تفاوت چشمگیری داشتند، اما از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. همچنین بین تیمارهای تلفیقی به‌جز بیوسولفور + ورمی‌کمپوست + نیمی از کود شیمیایی، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج محققین بسیاری مبین تأثیر مثبت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، تثبیت‌کننده نیتروژن و کودهای آلی بر غلظت فسفر دانه است (Fankem et al., 2008; Ahmad et al., 2013; Phonglosa et al., 2015).

غلظت و عملکرد نیتروژن و پروتئین دانه: مقدار نیتروژن و پروتئین دانه در کلیه تیمارهای تغذیه‌ای مورد بررسی نسبت به شاهد منفی افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). بیشترین میزان نیتروژن دانه (۲/۶۸۸ درصد) در کاربرد فسفونیتروکارا به همراه ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی به‌دست آمد که با تیمارهای کود شیمیایی، نیمی از کود شیمیایی، فسفونیتروکارا به‌علاوه نیمی از کود شیمیایی و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۳). با توجه به اینکه مقدار پروتئین دانه تابع غلظت نیتروژن آن می‌باشد بیشترین میزان پروتئین دانه نیز به تیمار کود زیستی فسفونیتروکارا در تلفیق با کود شیمیایی و آلی (۱۶/۸ درصد) تعلق داشت (جدول ۳). این تیمار سبب افزایش معنی‌دار (۲۸/۰۵ درصد) پروتئین دانه نسبت به تیمار شاهد عدم مصرف کود شد که باتوجه به حضور باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات در کود زیستی دور از ذهن نبود. به نظر می‌رسد که میکروارگانیسم‌های موجود در این کود زیستی توانسته‌اند با تثبیت نیتروژن و فراهمی آن برای گیاه، پیش‌سازهای لازم جهت تولید پروتئین را تأمین نمایند. بنابراین می‌توان با افزودن نیمی از کود اوره پیشنهادشده به خاک به همراه فسفونیتروکارا، درصد نیتروژن و پروتئین دانه آفتابگردان را افزایش و مصرف کود شیمیایی را کاهش داد.

مصرف هم‌زمان کود آلی و زیستی، جذب نیتروژن از کود شیمیایی را افزایش داد که با نتایج شاتا و همکاران (Shata et al.,

2007) مطابقت داشت. در مقایسه کودهای زیستی، فسفونیتروکارا تأثیر مثبت بیشتری بر نیتروژن دانه داشت که احتمالاً به علت فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، این عنصر در طی فصل به‌صورت مداوم و پایداری فراهم بوده و گیاه با استفاده از آن توانسته میزان نیتروژن بیشتری را در دانه ذخیره کند. در آزمایشات حسنودین (Hasanudin, 2003) پیرامون تأثیر ازتوباکتر به همراه مواد آلی بر روی گیاه ذرت، تلقیح با این باکتری، قابلیت جذب نیتروژن و فسفر را به بالاترین حد افزایش داد. رودریگز و همکاران (Rodrigues et al., 2008) نیز در بررسی‌های خود، شاهد افزایش معنی‌دار نیتروژن دانه برنج (*Oryza sativa* L.) در اثر تلقیح سوبیه‌ای از آزوسپیریلیوم بودند. در آزمایشی دیگر، کاربرد ترکیبی از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات بیشترین جذب نیتروژن دانه گندم را در شرایط گلخانه و مزرعه به همراه داشت که در مقایسه با عدم تلقیح به‌ترتیب ۱۲۶/۱ و ۶۰/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد (Kumar et al., 2014). تأثیر مثبت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر میزان نیتروژن دانه آفتابگردان توسط ورزی و همکاران (Varzi et al., 2011) نیز گزارش شده است.

با توجه به اینکه بیشترین عملکرد دانه در تیمار کاربرد کامل کود شیمیایی به‌دست آمد و همچنین درصد نیتروژن دانه در این تیمار بالا بود حداکثر میزان عملکرد نیتروژن دانه (۱۵۶/۲۴۶ کیلوگرم در هکتار) نیز در این تیمار مشاهده شد که ۲/۴ برابر شاهد منفی بود (جدول ۳). کاربرد منفرد کودهای زیستی و آلی تفاوت معنی‌داری از نظر درصد پروتئین با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). در حالی‌که کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی همراه با کود زیستی فسفونیتروکارا در مقایسه با بیوسولفور، اثر هم‌افزایی بیشتری بر درصد پروتئین دانه داشت. همچنین کلیه تیمارهای مورد بررسی باعث افزایش چشمگیر پروتئین بذر در مقایسه با شاهد منفی (عدم کاربرد کود) شدند (جدول ۳). حداکثر عملکرد پروتئین با کاربرد کود شیمیایی به‌دست آمد که ۲/۳ برابر شاهد منفی بود. افزایش درصد پروتئین بر اثر استفاده از کودهای بیولوژیک توسط محققین بسیاری گزارش شده است (Kumar et al., 2009; Ahmad et al., 2013; Jahan et al., 2013).

غلظت و عملکرد روغن دانه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن است که روغن دانه تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار نگرفت (جدول ۲). با این وجود بیشترین میزان روغن دانه از کاربرد هم‌زمان بیوسولفور و ورمی‌کمپوست (۵۳/۱۲ درصد) به‌دست آمد که با شاهد منفی (۴۶ درصد) تفاوت داشت. در مطالعات شاکری و همکاران (Shakeri et al., 2012) نیز تیمارهای کودی نتوانستند منجر به تغییرات معنی‌داری در میزان روغن دانه کنبج شوند. علی‌رغم عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی بر درصد روغن دانه،

درصد روغن با ۳۹/۴۶ درصد در تیمارهای تلقیح با بیوسولفور به‌دست آمد. سلیم‌پور و همکاران (Salimpour et al., 2010) نیز نشان دادند که باکتری‌های اکسیدکننده‌گوگرد می‌توانند در افزایش عملکرد روغن دانه کلزا مؤثر باشند. التاف و همکاران (Altat et al., 2000) اثرات مثبت تیوباسیلوس بر میزان روغن دانه را به جابه‌جایی مناسب‌تر آنزیم‌های فتوسنتز، بهبود فعالیت استیل کوانزیم‌آ و افزایش فراهمی کربن برای بیوسنتز روغن نسبت داده‌اند. با توجه به نقش ساختاری گوگرد در بیوسنتز روغن می‌توان نتیجه‌گیری کرد که باکتری‌های تیوباسیلوس به همراه گوگرد بنتونیت‌دار، توانسته‌اند از طریق اکسایش گوگرد در تأمین این عنصر نقش مثبتی ایفا کرده و منجر به افزایش روغن دانه در تیمارهای مذکور شوند.

غلظت سولفات کل خاک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حکایت از تأثیر معنی‌دار تیمارهای مورد مطالعه بر سولفات کل خاک داشت (جدول ۴). بیشترین میزان سولفات کل خاک در تیمار بیوسولفور به همراه ورمی کمپوست (۱۷۰/۳ میلی گرم در کیلوگرم خاک) حاصل شد که ۳۶/۲ درصد بیشتر از غلظت سولفات کل خاک در تیمار شاهد منفی بود. همچنین این تیمار، اختلاف معنی‌داری با تیمارهای بیوسولفور، فسفونیتروکارا و کاربرد هم‌زمان فسفونیتروکارا به همراه ورمی کمپوست و نیمی از کود شیمیایی نداشت (شکل ۱).

بیشترین عملکرد روغن (۲۷۶۴/۹ کیلوگرم در هکتار) با توجه به حداکثر بودن عملکرد دانه در تیمار کاربرد کود کامل شیمیایی مشاهده شد (جدول ۳). طبق نظر اوزون و همکاران (Uzun et al., 2008) و شارما و همکاران (Sharma et al., 2005) نیز مصرف نیتروژن به دلیل تأثیر مثبت بر عملکرد دانه، عملکرد روغن را افزایش می‌دهد. کمترین عملکرد روغن نیز در اثر عدم مصرف کود حاصل شد که با سایر تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۳). رتبه‌های دوم و سوم از نظر عملکرد روغن بعد از تیمار کود کامل شیمیایی در تیمار تلفیقی بیوسولفور، ورمی کمپوست و نیمی از کود شیمیایی و کاربرد هم‌زمان بیوسولفور و ورمی کمپوست به‌دست آمد که به‌ترتیب ۷۶/۴ و ۷۱/۵ درصد بیشتر از شاهد منفی بود (جدول ۳). عملکرد روغن در تیمار تلفیقی بیوسولفور، ورمی کمپوست و نیمی از کود شیمیایی با کاربرد کامل کود شیمیایی در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۳). بنابراین در ارتباط با عملکرد روغن می‌توان چنین استنباط کرد که کاربرد هم‌زمان کود زیستی بیوسولفور با کود شیمیایی و آلی می‌تواند موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی گردد. سایر تیمارهای کودی مورد بررسی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳).

در مطالعات جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) بیشترین

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر صفات اندازه‌گیری شده در خاک محل آزمایش

Table 4- Analysis of variance of fertilizer treatments effect on soil measured traits

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		سولفات کل Total sulfate	فسفر قابل جذب Available phosphor	نیتروژن کل Total nitrogen	اسیدیته pH
تکرار Replication	2	151.894 ^{ns}	1.099 ^{ns}	0.00006 ^{ns}	0.000002 ^{ns}
کود Fertilizer	12	781.258**	184.38**	0.002**	0.01 ^{ns}
خطا Error	24	181.44	2.13	0.00003	0.032
ضریب تغییرات CV	-	9.5	7.3	6.5	2.5

ns, * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

ns, * and ** non significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

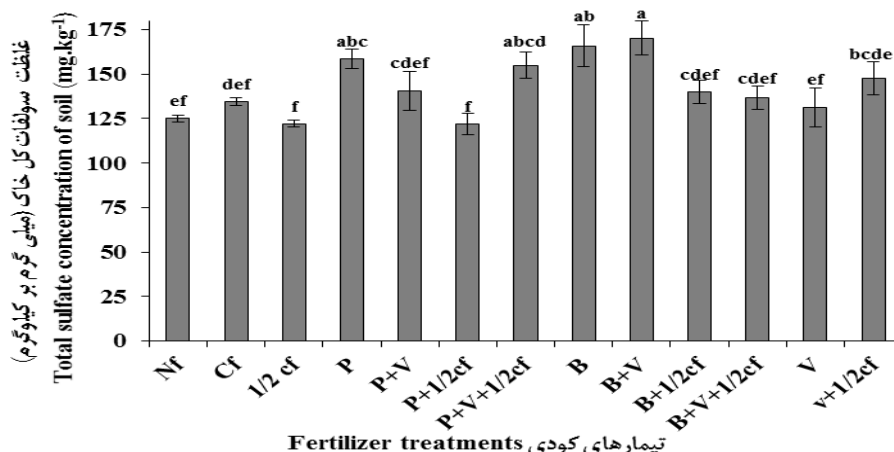
قابل جذب در تیمار فسفونیتروکارا به همراه ورمی کمپوست و نیمی از کود شیمیایی (۳۴/۶۷ میلی گرم در کیلوگرم خاک) به‌دست آمد که ۲/۷ برابر فسفر قابل جذب در تیمار شاهد منفی بود (شکل ۲). کاربرد منفرد ورمی کمپوست در مقایسه با شاهد عدم مصرف کود، باعث افزایش دو برابری فسفر قابل جذب خاک گردید. همچنین در تمامی تیمارهای تلفیقی حاوی ورمی کمپوست به جز بیوسولفور+ورمی کمپوست+نیمی از کود شیمیایی، مقدار فسفر قابل جذب خاک بالا بود، که نشان از تأثیر معنی‌دار ورمی کمپوست بر انحلال و افزایش فراهمی فسفر داشت. میزان فسفر قابل جذب در تیمار

صیامی و بشارتی (Siarni and Besharaty, 2012) نیز در بررسی اثر مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر روند اکسایش گوگرد و آزاد شدن آهن و روی، در انتهای دوره ۹۰ روزه آزمایش خود، شاهد بیشترین غلظت سولفات خاک (۹۵۱/۰۱ میلی گرم در کیلوگرم خاک) در تیمار کاربرد توأم گوگرد عنصری به همراه تلقیح تیوباسیلوس و کمپوست مواد آلی بودند.

غلظت فسفر قابل جذب خاک: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غلظت فسفر قابل جذب خاک به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین میزان فسفر

کاربرد منفرد فسفونیتروکارا بود (شکل ۲).

فسفونیتروکارا به همراه ورمی کمپوست و فسفونیتروکارا به علاوه ورمی کمپوست و نیمی از کود شیمیایی به ترتیب ۲/۲۵ و ۲/۶۱ برابر



شکل ۱- تأثیر تیمارهای کودی بر میزان سولفات کل خاک. (Cf: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، ۱/۲cf: ۵۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، Nf: عدم مصرف کود، V: ورمی کمپوست، P: فسفونیتروکارا، B: بیوسولفور). میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 1- Effect of fertilizer treatments on total sulfate concentration in soil (Cf: 100% of the recommended fertilizer, 1/2cf: ½ proposed fertilizer, Nf: No fertilizer, V: Vermicompost, P: Phosphonitrokarra, B: Biosulfur). Means in each column, followed by the same letters, are not significantly different at 5% probability level- using LSD test.

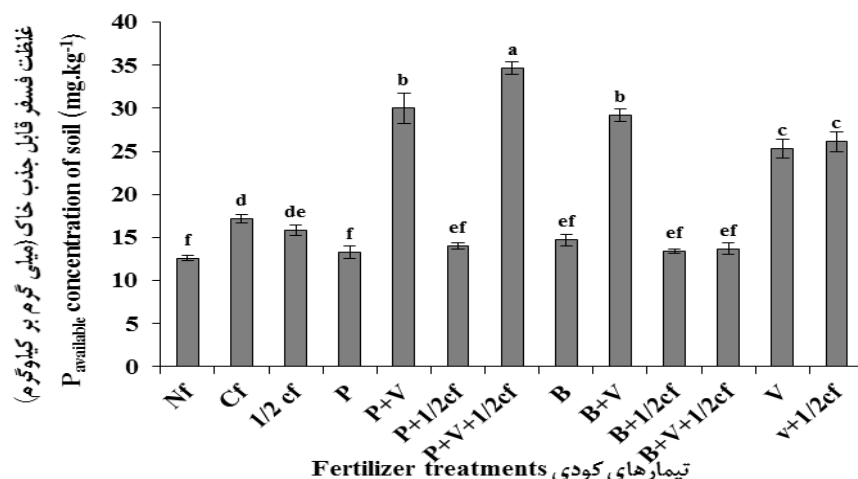
علاوه بر مرتفع ساختن نیاز محصول در طی فصل رشد، در تأمین فسفر کشت بعدی نیز مؤثر واقع شود.

غلظت نیتروژن کل خاک: اثر کودهای زیستی و آلی بر درصد نیتروژن خاک معنی‌دار بود و به‌طور کلی، تمامی تیمارهای کودی بررسی شده در مقایسه با شاهد عدم مصرف کود منجر به افزایش نیتروژن کل خاک شدند (جدول ۴). تیمار تلفیقی کود زیستی فسفونیتروکارا به همراه ورمی کمپوست و نیمی از کود شیمیایی بیشترین مقدار نیتروژن کل خاک (۱۴۲/۰ درصد) را به خود اختصاص داد (شکل ۳). در تیمارهایی که کود شیمیایی نیتروژن به تنهایی یا به همراه کود زیستی به کار رفته در مقایسه با تیمارهای دارای کود آلی ورمی کمپوست میزان نیتروژن کل خاک کمتر بود. از آنجا که میزان فعالیت باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن شدیداً به شرایط محیطی از جمله تأمین کربن آلی بستگی دارد (Matthew *et al.*, 2008) می‌توان اظهار کرد که در تیمارهای دارای ورمی کمپوست، فراهمی کربن باعث بهبود فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و در نتیجه افزایش معنی‌دار نیتروژن خاک گردیده است. همچنین، با توجه به قابلیت انحلال کود شیمیایی نیتروژنی در آب، امکان آبشویی این کود بالاست و احتمالاً بخش زیادی از کود اوره در اوایل فصل رشد توسط گیاه جذب شده و یا از طریق شستشو از خاک خارج شده است. همچنین مقادیر پایین‌تر نیتروژن خاک در انتهای فصل در تیمارهایی که کود شیمیایی به تنهایی یا همراه با کود زیستی مصرف

چنین به نظر می‌رسد که کاربرد کود آلی ورمی کمپوست در سیستم کشت، با افزایش هوموس موجود در خاک باعث پوشاندن سطح ذرات رس شده و مانع تثبیت فسفر و در نتیجه افزایش غلظت فسفر قابل جذب شده است. در آزمایشات خان و همکاران (Khan *et al.*, 2015) تیمارهای مختلف ورمی کمپوست و تلفیق زیستی در مقایسه با شاهد، محتوای فسفر قابل جذب خاک را ۶۷/۴ تا ۱۴۰/۶ درصد افزایش دادند. فونگلوزا و همکاران (Phonglosa *et al.*, 2015) نیز گزارش کردند که محتوای فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای کودهای شیمیایی، زیستی و آلی بیشتر از کاربرد منفرد کود شیمیایی بود. به‌طوری که کاربرد هم‌زمان ۷۵ درصد کود نیتروژن و فسفر توصیه شده به همراه پتاسیم+ باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کود دامی در مقایسه با کاربرد کامل کود شیمیایی باعث افزایش ۸۴/۲ درصدی مقدار فسفر قابل جذب خاک شد. همچنین ال-دوینی و همکاران (El-Dewiny *et al.*, 2006) بیان کردند وقتی کودهای فسفر با مواد آلی مخلوط می‌شوند باعث افزایش فراهمی فسفر نسبت به کاربرد کودهای فسفر به تنهایی می‌گردند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. ایچرلوبرمن و همکاران (Eichler-lobermann *et al.*, 2007) نیز دریافتند که کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی، مقدار فسفر خاک را بیشتر از مصرف منفرد آن‌ها افزایش می‌دهد. بنابراین می‌توان بیان داشت که استفاده تلفیقی از کود زیستی، آلی و شیمیایی می‌تواند با انحلال و رهاسازی آهسته فسفر،

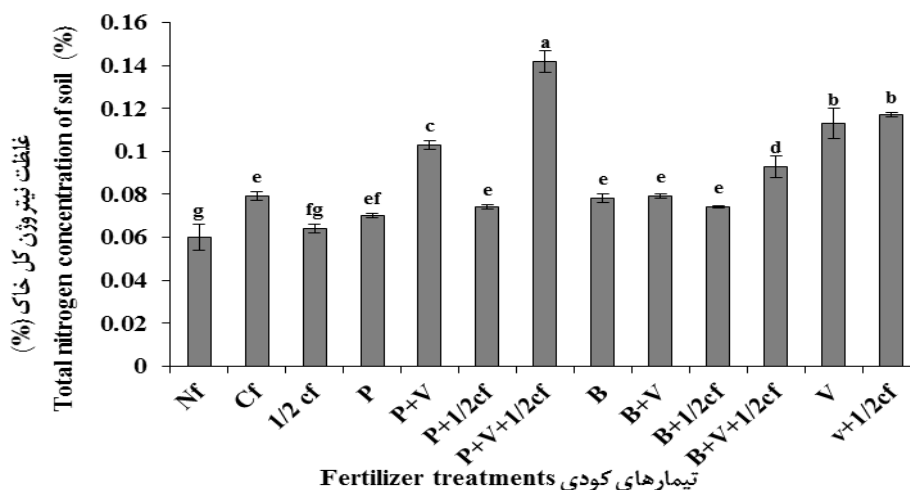
ورمی کمپوست و تیمار تلفیقی بیوسولفور به همراه ورمی کمپوست و نیمی از کود شیمیایی، بیشتر بود (شکل ۳).

شده بود مبین آبشویی بیشتر نیتروژن است. در حالی که مقدار نیتروژن کل خاک در تیمارهای تلفیقی دارای کود آلی، مثل ورمی کمپوست به علاوه نیمی از کود شیمیایی، فسفونیتروکارا همراه با



شکل ۲- تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای بر میزان فسفر قابل جذب خاک. (Cf: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، ۱/۲cf: ۵۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، Nf: عدم مصرف کود، V: ورمی کمپوست، P: فسفونیتروکارا، B: بیوسولفور). میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 2- The effect of nutrition treatments on phosphorus concentration in soil (Cf: 100% of the recommended fertilizer, 1/2cf: ½ proposed fertilizer, Nf: No fertilizer, V: Vermicompost, P: Phosphonitrokarara, B: Biosulfur). Means in each column, followed by the same letters, are not significantly different at 5% probability level- using LSD test.



شکل ۳- تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای بر میزان نیتروژن کل خاک. (Cf: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، ۱/۲cf: ۵۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، Nf: عدم مصرف کود، V: ورمی کمپوست، P: فسفونیتروکارا، B: بیوسولفور). میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 3- The effect of nutrition treatments on total nitrogen concentration in soil (Cf: 100% of the recommended fertilizer, 1/2cf: ½ proposed fertilizer, Nf: No fertilizer, V: Vermicompost, P: Phosphonitrokarara, B: Biosulfur). Means in each column, followed by the same letters, are not significantly different at 5% probability level- using LSD test.

تلفیقی ورمی کمپوست و ازتوباکتر مشاهده شد که افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. همچنین فونگلوزا و همکاران (Phonglosa et

خان و همکاران (Khan et al., 2015) نیز در بررسی‌های خود گزارش کردند که بیشترین محتوای نیتروژن آمونیاکی خاک در تیمار

کاهش اسیدیته خاک داشته باشند، همچنین خاصیت بافری خاک بالا بوده است و کاهش اسیدیته خاک بایستی در طی فرآیندی طولانی مدت صورت گیرد و گوگرد به مقدار زیاد و در دفعات به خاک اضافه شود (Patrici, 2000).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر به نظر می رسد که کودهای زیستی و آلی به تنهایی جوابگوی نیازهای غذایی آفتابگردان نیستند، بلکه کاربرد تلفیقی کودهای زیستی، آلی و شیمیایی در کنار یکدیگر می تواند اثربخشی بالایی بر افزایش دسترسی به عناصر غذایی و غلظت آن ها در دانه و عملکرد اقتصادی داشته باشد. همچنین مقادیر بالاتر عناصر نیتروژن، فسفر و سولفات خاک در انتهای فصل رشد در تیمارهای دارای کود زیستی و آلی، حکایت از نقش مثبت این کودها در تثبیت نیتروژن، انحلال و رهاسازی آهسته فسفر در طی فصل رشد، افزایش اکسایش گوگرد، کاهش تثبیت عناصر و آبشویی داشت. فراهمی مواد آلی در خاک از طریق کاربرد ورمی کمپوست نیز اثر هم افزایی مطلوبی بر عملکرد سایر کودها داشت. بنابراین می توان پیشنهاد کرد که کودهای زیستی مانند فسفونیتروکارا و بیوسولفور و کود آلی ورمی کمپوست به صورت مکمل در کنار کودهای شیمیایی می توانند با بهبود باروری و حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در زراعت آفتابگردان، در جهت پایداری تولید و حفظ سلامتی محیط زیست مثمر ثمر واقع شوند.

(al., 2015) طی آزمایش دو ساله خود مشاهده کردند که مقدار نیتروژن خاک در تیمارهای دارای کود آلی و زیستی نسبت به تیمار کود شیمیایی برتری داشت و بیشترین میزان نیتروژن خاک (۱۷۳/۲۱ کیلوگرم در هکتار) با افزایش ۱۸/۳ درصدی نسبت به شاهد، در کاربرد هم زمان ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن و فسفر + پتاسیم و ورمی کمپوست به دست آمد. بنابراین به نظر می رسد که در تیمارهای دارای ورمی کمپوست میزان آبشویی کمتر، حفظ و تثبیت نیتروژن در خاک بیشتر اتفاق افتاده است که این امر را می توان به افزایش ماده آلی خاک و افزایش کلوئیدهای هوموسی نسبت داد (Dorado et al., 2003).

اسیدیته خاک: نتایج آزمون خاک حاکی از عدم تأثیر معنی دار کودهای زیستی بر pH خاک بود (جدول ۴). با این وجود کمترین میزان اسیدیته خاک (۷/۷) با کاهش ۰/۳ واحدی نسبت به اسیدیته خاک قبل از اجرای آزمایش، به تیمار تلفیقی بیوسولفور و ورمی کمپوست تعلق داشت. باکتری های تیوباسیلوس از طریق اکسایش گوگرد منجر به تولید اسیدسولفوریک شده و در صورتی که خاک خاصیت بافری چشمگیری نداشته باشد، باعث کاهش pH خاک می گردند. خاصیت بافری خاک به وجود رس، مواد آلی، آهک، ترکیبات فسفره و بسیاری از ترکیبات شیمیایی دیگر برمی گردد، هرگاه مقدار اسیدسولفوریک تولید شده، توان خنثی کردن عوامل بافر را دارا باشد، pH خاک کاهش می یابد (Besharaty and Malekzadeh, 2015). یافته های پژوهش حاضر نشان می دهد که احتمالاً میزان گوگرد به کار رفته جهت تغییر اسیدیته خاک کافی نبوده و باکتری ها نتوانسته اند فعالیت مناسبی جهت تولید اسیدسولفوریک و در نتیجه

References

- Ahmad, M., Zahir, Z. A., Khalid, M., Nazli, F., and Arshad, M. 2013. Efficacy of rhizobium and pseudomonas strains to improve physiology, ionic balance and quality of *mung bean* under salt-affected conditions on farmer's fields. *Plant Physiology and Biochemistry* 63: 170-176.
- Altaf, A., Ishrat, K., and Abdin, M. Z. 2000. Effect of sulfur fertilization on oil accumulation, acetyl co-A concentration, and acetyl co-A carboxylase activity in the developing seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 51: 1023-1029.
- Anonymous, 1987. Approved Methods of the AACC. Method 11-46, American Association of Chemists Inc. St Paul, MN, USA.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J. D. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology* 93: 145-153.
- Besharaty, H., and Malekzadeh, T. 2015. Effect of sulfur and *thiobacillus* on soybean growth and uptake of some nutrients in four calcareous soils with different buffering capacities. *Iranian Journal of Soil Research* 29 (2): 131-145. (in Persian with English abstract).
- Bremness, L. 1999. Herbs. *Eyewitness Handbook*. London.
- Dorado, J., Zancada, M. C., Almendros, G., and Lopez-Fando, C. 2003. Changes in soil properties and humic substances after longterm amendments with manure and crop residues in dry land farming systems. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166: 31-38.
- Eichler-Lobermann, B., Kohne, S., and Koppen, D. 2007. Effect of organic, inorganic and combined organic and inorganic P fertilization on plant P and soil P pools. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 170: 623-628.
- El-Dewiny, C. Y., Moursy, Kh. S., and El-Aila, H. I. 2006. Effect of organic matter on the release and availability of phosphorus and their effects on spinach and radish plants. *Research Journal of Agriculture and Biological*

- Sciences 2(3): 103-108.
10. Erdal, I., Kepenek, K., and Kızılgöz, I. 2004. Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and some nutrient concentrations in strawberry cultivars. *Turk Journal Agriculture Forest* 28:421-427.
11. Fankem, H., Ngo Nkot, L., Deubel, A., Quinn, J., Merbach, W., and Etoa, F. X. 2008. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated from acidic soils of Cameroon. *African Journal of Microbiology Research* 2: 171-178.
12. Graeme, J. B., Rod, B. L., Dana, M., and Anderson, G. C. 1993. Modeling of sulfur oxidation from elemental sulfur. *Plant and Soil* 155/156: 379-382.
13. Hasanudin, H. 2003. Increasing of the nutrient and uptake availability of N and P and through corn yield of inoculation of Mycorrhiza and Azotobacter on ultisol organic matter. *Journal of Agriculture Sciences of Indonesia* 5 (1): 83-89.
14. Izquierdo, N. G., and Aguirrezabal, L. A. N. 2008. Genetic variability in the response of fatty acid composition to minimum night temperature during grain filling in sunflower. *Field Crops Research* 106: 116-125.
15. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M. B., and Ehyayi, H. R. 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. *Industrial Crops and Products* 43: 606- 61.
16. Kacar, B., and Katkat, A.V. 2007. *Plant Nutrition*. 3th Edn. Nobel Press; Ankara, Turkey.
17. Kaplan, M., and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in turkey. *Plant Nutrient* 21 (8): 1655-1665.
18. Kennedy, I. R., Choudhury, A. T. M. A., and Kecske's, M. L. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1229-1244.
19. Khan, K., Pankaj, U., Verma, S. K., Gupta, A. K., Singh, R. P., and Verma, R. K. 2015. Bio-inoculants and vermicompost influence on yield, quality of *Andrographis paniculata*, and soil properties. *Industrial Crops and Products* 70: 404-409.
20. Kumar, S., Pandey, P., and Maheshwari, D. K. 2009. Reduction in dose of chemical fertilizers and growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent *Pseudomonas aeruginosa* LES4. *European Journal of Soil Biology* 45: 334-340.
21. Kumar, A., Maury, B. R., and Raghuwanshi, R. 2014. . Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 3: 121-128.
22. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of higher plants*. 2nd. ed. Academic Pres; San Diego, USA.
23. Matthew, C. J., Bjorkman, M. K., David, M. K., Saito, A. M., and Zehr, P. J. 2008. Regional distributions of nitrogen-fixing bacteria in the Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr* 53: 63-77.
24. Modaihsh, S., Al-mustafa, W. A., and Metwally, A. E. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. *Plant and Soil* 116: 95-101.
25. Mohammadi, K. H., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., and Rokhzadi, A. 2011. Effect of different methods of increase soil fertility by adding organic, chemicals and biological fertilizers on grain yield and quality of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agroecology* 3 (3): 298-308. (in Persian with English abstract).
26. Mohanty, S., Paikaray, N. K., and Rajan, A. R. 2006. Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogea* L.)-corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. *Geoderma* 133: 225-230.
27. Page, A. L., Somner, C. E., and Nelson, P. W. 1996. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods*. ASA/SSSA Madison, Wisconsin, USA
28. Patrici, I. 2000. Integrated nutrient management for sustaining crop yield in calcareous soils of India. GAU-PRII-International Potash Institute. National Symposium. Junagadh. Gujarat. India.
29. Phonglosa, A., Bhattacharyya, K., Ray, K., Mandal, J., Pari, A., Banerjee, H., and Chattopadhyay, A. 2015. Integrated nutrient management for okra in an inceptisol of eastern India and yield modeling through artificial neural network. *Scientia Horticulturae* 187: 1-9.
30. Rodrigues, E. P., Santos Rodrigues, L., Martinez de Oliveira, A. L., Baldani, V. L. D., Teixeira, K., Urquiaga, S., and Reis, V. M. 2008. *Azospirillum amazonense* inoculation: Effects on growth, yield and N₂ fixation of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant and Soil* 302: 249-261.
31. Roesty, D., Gaur, R., and Johri, B. N. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial. *Community structure in rain-fed wheat fields. Journal of Plant Science* 38: 1111-1120.
32. Salimpour, S., Khavazi, K., Nadian, H., Besharati, H., and Miransari, M. 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. *Australian Journal of Crop Science* 4 (5): 330-334.
33. Shakeri, E., Amini Dehaghi, M., Tabatabaei, S. A., and Modares Sanavi, S. M. A. 2012. Effect of chemical

- fertilizer and biofertilizer on seed yield, its components, oil and protein percent in sesame varieties. Journal of agricultural science and sustainable production 22 (1): 71-86. (in Persian with English abstract).
34. Sharma, P. B. 2005. Fertilizer management in sesame (*Sesamum indicum* L.) based intercropping system in Tawa command area. Journal of Oilseeds Research 22: 63-65.
35. Shata, S. M., Mahmoud, A., and Siam, S. 2007. Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 3(6): 733-739.
36. Siami, A., and Besharaty, H. 2012. Effect of sulfur biological oxidation trend on release of iron and zinc. Iranian Journal of Soil Research 26 (3): 255- 267. (in Persian with English abstract).
37. Uzun, B., Arslan, C., and Furat, S. 2008. Variation in fatty acid compositions, oil content and oil yield in a germplasm collection of Sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of the American Oil Chemists' Society 85: 1135-1142.
38. Varzi, M. R., Habibi, D., Vazan, S., and Pakzi, A. 2011. The effect of plant growth promoting rhizobacteria and nitrogen fertilizer on grain quality of sunflower. Journal of Crop Ecophysiology 7: 156-160. (in Persian with English abstract).
39. Vessy, K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255: 571-586.
40. Weiss, E. A. 2000. Oilseed Crops, 2nd ed., Blackwell Science Ltd., Bodmin, UK.
41. Zapata, F., and Roy, R. N. 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. p. 117-122. Publication of the FAO Land and Water Development Division.



Some Soil Characters and Qualitative Traits of Sunflower Seeds to Different Nutritional Regimes

F. Soleymani¹- G. Ahmadvand^{2*} - A. A. Safari sinegani³

Received: 12-03-2016

Accepted: 12-09-2017

Introduction

To achieve the high economic yield in crops, supplying enough nutrients for plants is important, that much of it, supplied by chemical fertilizers. But excessive use of chemical fertilizers led to environmental problems that these negative effects have caused attention to healthy and ecological sustainable farming systems. One solution to reduce dependence on chemical fertilizers is application of organic and biological products for plant nutrition. Bio-fertilizers are made from one or more species of beneficial microorganisms with preservatives and/or their products. In addition, vermicompost is an organic fertilizer and mixed of very active biological bacteria, enzymes, plant residues, manure and earthworm capsule which leads to continued organic matter decomposition and development of microbial and enzymatic activities in soil. Several experiments have shown that the using of biological and organic fertilizers improve growth and quality of products.

Materials and Methods

To investigate the effect of various nutritional regimes on seed quality characteristics of sunflower (Euroflour cv.) and some soil characters, an experiment was carried out as a randomized complete block design with 3 replications in 2015 at the Agricultural Faculty of Bu-Ali Sina University. Treatments included no biological or chemical fertilizer application, 100% of the recommended NP fertilizers (250 kg urea per hectare, 50 kg triple superphosphate per hectare), ½ recommended NP fertilizers, vermicompost (15 ton per hectare mixed with soil), phosphonitrokara (including *Bacillus coagulans*, *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum lipoferum*, 110 ml to inoculate 10 kg seeds), biosulfur (including *Thiobacillus*, mix 6 kg of fertilizer with 300 kg sulphur for 1 hectare), vermicompost+ phosphonitrokara, vermicompost+ biosulfur, vermicompost+½ NP fertilizers, phosphonitrokara+½ NP fertilizers, biosulfur+½ NP fertilizers, vermicompost+ phosphonitrokara+½ NP fertilizers, vermicompost+ biosulfur+½ NP fertilizers. Concentrations of nitrogen, phosphorus and sulfur of sunflower seeds and soil were measured by standard methods. Moreover, seed oil content was determined. Data processing and graphs were performed with SAS var 9.2 and Excel software.

Results and Discussion

The results showed that nutritional treatments significantly affected all traits except seed oil content and soil pH. The maximum seed sulfur content (0.231%) belonged to biosulfur+ vermicompost treatment indicating that providing sulfur for sunflower of oxidation in soil increased the concentration of seed sulfur. The highest phosphorous (0.45) obtained from phospho nitro kara+ vermicompost and biosulfur+ vermicompost+ ½ NP fertilizers. Secretion of different enzymes such as phosphatase by rhizobacteria led to solubility and increasing available phosphate. Maximum nitrogen (2.688%) and protein (16.8%) content of seed was observed in phosphonitrokara+ vermicompost+ ½ NP fertilizers treatment. It seems that bacteria in the biological and organic fertilizer along to chemical fertilizer by nitrogen fixing provided the necessary substrate for protein synthesis. According to grain yield, the highest oil yield was achieved in chemical fertilizer that there was no significant difference with biosulfur+ vermicompost+ ½ NP fertilizers. Likely, the positive effects of thiobacillus on oil seed was related to the appropriate turnover of photosynthesis enzymes, activity improvement of acetyl-CoA and increasing availability of carbon for oil biosynthesis. Maximum total sulphate, available phosphorus and total nitrogen content of soil was observed in biosulfur+ vermicompost, phosphonitrokara+ vermicompost+ ½ NP fertilizers and phosphonitrokara+ vermicompost+ ½ NP fertilizers, respectively. In treatments includes vermicompost due to increasing soil organic matter, humus colloids and carbon availability for activity of nitrogen fixing bacteria was occurred less leaching and increased maintenance and fixation of nitrogen in the soil. Soil pH was not affected by treatments. The finding showed that reduction of pH must be done during the process of long term and sulfur to be added to soil plenty and in times.

1, 2 and 3- Respectively Graduated Ph.D. in Crop Physiology, Associate Professor of Agronomy and Professor of Soil science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

(* - Corresponding Author Email: gahmadvand@basu.ac.ir)

Conclusions

In general, we can suggest that biological (phosphonitrokar and biosulfur) and organic (vermicompost) fertilizers along with chemical fertilizers by modifying the nutritional conditions of soil and reduce the use of chemical fertilizers can be effective in stability of production and conservation of environmental health.

Keywords: Biologic fertilizer, Nutritional elements, Vermicompost



اثر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی و سمه (*Indigofera tinctoria* L.) در سطوح مختلف آبیاری در منطقه بم

نادر مدافع بهزادی^۱ - پرویز رضوانی مقدم^{۲*} - محسن جهان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳

چکیده

به منظور مطالعه ویژگی‌های رشد، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد ایندیگوکارمین گیاه دارویی و سمه (*Indigofera tinctoria* L.) در واکنش به کودهای مختلف آلی و شیمیایی و مقادیر آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی خاک، آزمایشی به صورت استریپ پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان بم در سال زراعی ۱۳۹۱-۹۲ انجام شد. سه مقدار آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی خاک) به عنوان فاکتور اصلی و پنج منبع تغذیه گیاهی شامل کود زیستی میکوریزا (*Glomus intraradices*) (۲۰۰ گرم خاک تلقیح شده در هر متر طولی)، ورمی کمپوست (پنج تن در هکتار)، کود گاوی (۳۰ تن در هکتار) و کود شیمیایی (۸۰، ۱۵۰ و ۱۵۰ به ترتیب شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و شاهد به عنوان فاکتور نواری در نظر گرفته شدند. خصوصیات رویشی و عملکرد کیفی در دو چین اندازه‌گیری شدند. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، قطر کانوپی، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ در بوته، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، عملکرد کل اندام‌های هوایی، محتوی ایندیگوکارمین در برگ و عملکرد ایندیگوکارمین بودند. نتایج نشان داد که افزایش محتوی رطوبتی خاک بر اساس ظرفیت زراعی تأثیر معنی‌داری ($p \leq 0.05$) روی ارتفاع بوته، قطر کانوپی، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد ایندیگوکارمین در هر دو چین داشت. در چین اول، وزن خشک برگ در مقدار آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی به ترتیب ۸۰۶/۶۷، ۶۸۰ و ۵۸۹/۳۳ گرم در متر مربع و در چین دوم به ترتیب ۸۲۰/۲۵، ۶۱۴/۲۱ و ۵۱۵/۷۸ گرم در متر مربع به دست آمد. بیشترین عملکرد اندام‌های هوایی در هر دو چین برای سطح آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی حاصل شد. به طوری که در چین‌های اول و دوم تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمارهای ۸۰ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی به ترتیب منجر به افزایش ۵۴ و ۳۰ درصد در چین اول و ۴۷ و ۲۳ درصد در چین دوم عملکرد اندام‌های هوایی شد. بیشترین عملکرد ایندیگوکارمین در چین‌های اول و دوم برای مقدار آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی به ترتیب با ۴/۹۷ و ۳/۷۴ گرم در متر مربع حاصل شد. بیشترین وزن خشک برگ در چین اول و دوم در تیمار ورمی کمپوست به ترتیب برابر با ۷۵۱/۱۱ و ۷۶۹/۲۴ گرم در متر مربع به دست آمد. کاربرد کودهای ورمی کمپوست، دامی، شیمیایی و میکوریزا عملکرد ایندیگوکارمین را به ترتیب ۲۳، ۱۸، ۱۴ و ۱۰ درصد در چین اول نسبت به شاهد افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: ایندیگوکارمین، کود دامی، گیاه دارویی، میکوریزا، ورمی کمپوست

مقدمه

آب در خاک، آلودگی آب‌های زیرزمینی، تجمع نیترات و سمیت عناصر سنگین را در پی داشته است (Kızılkaya, 2008). در بسیاری از موارد، کاربرد کودهای شیمیایی گران قیمت باعث بروز انواع آلودگی‌های زیست محیطی و صدمات اکولوژیکی شده که افزایش هزینه‌های تولید را نیز به دنبال دارد (Lee, 2010). یکی از راهکارهای رفع این مشکل، استفاده از اصول کشاورزی پایدار به ویژه مصرف نهاده‌های آلی در بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد. به منظور دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از نهاده‌هایی که علاوه بر تأمین نیازهای گیاه و کاهش مخاطرات زیست محیطی، جنبه‌های اکولوژیکی سیستم را بهبود بخشند، ضروری به نظر می‌رسد (Kızılkaya, 2008).

در دهه‌های اخیر، استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی مشکلات متعددی از قبیل تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری

- ۱- دانشجوی دکتری زراعت گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، پردیس بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد
- ۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: rezvani@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.54983

(*)- نویسنده مسئول:

مثبت کاربرد کودهای زیستی بر روی رشد و عملکرد گیاه کنبجد بود (Khorramdel et al., 2013).

آب مهمترین عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون ایران به شمار می‌رود (Koocheki et al., 2007). متوسط بارندگی ایران که از نظر اقلیمی در منطقه‌ای نیمه‌خشک قرار گرفته، ۲۲۵ میلی‌متر در سال است که همین بارندگی اندک نیز با توزیع مکانی نامناسبی رخ می‌دهد، به شکلی که ۵۰ درصد آن در ۲۴ درصد مساحت کشور روی می‌دهد. بررسی‌ها نشان داده است که حاصلخیزی زیاد و بالا بودن رطوبت نسی خاک از طریق افزایش آماس سلولی باعث تحریک رشد رویشی و تجمع ماده خشک شده و بر عکس، بروز تنش رطوبتی و حاصلخیزی کم محدودیت رشد رویشی و کاهش تولید ماده خشک در گیاهان را به دنبال دارد (De-Abreu and Mazzafera, 2005). در همین راستا، رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2004) گزارش کردند که با کاهش فاصله آبیاری عملکرد دانه و میزان تجمع ماده خشک در کرچک (*Ricinus communis*) افزایش یافت؛ به طوری که بیشترین عملکرد دانه (۱/۱۶ تن در هکتار) در فاصله آبیاری یک هفته و کمترین آن (۰/۳۹ تن در هکتار) در فاصله آبیاری چهار هفته مشاهده شد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) با بررسی اثر فاصله آبیاری بر رشد و عملکرد مرزنجوش (*Origanum majorana*) اظهار داشتند که با افزایش فاصله آبیاری و اعمال تنش رطوبتی، رشد و شاخص‌های رشدی این گیاه دارویی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نوروزپور و رضوانی‌مقدم (Norozpoor and Rezvani Moghaddam, 2006) گزارش کردند که فواصل آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه، درصد روغن، درصد اسانس، عملکرد اسانس و عملکرد روغن سیاهدانه داشت. به طوری که افزایش فواصل آبیاری موجب کاهش درصد و عملکرد روغن و عملکرد اسانس شد. دور آبیاری هفت روز و تراکم ۲۵۰ بوته در متر مربع بیشترین عملکرد روغن (۴۱۰/۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد اسانس (۱۴/۰۸ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد.

وسمه یا نیل با نام علمی *Indigofera tinctoria* L. گیاهی صنعتی و فراموش‌شده متعلق به خانواده حبوبات (Fabaceae) می‌باشد. این گیاه یکساله، دوساله یا چندساله (Pramod et al., 2010) بوده که ارتفاع آن به یک الی دو متر می‌رسد. برگ‌ها دارای ۲/۵ الی ۷/۵ سانتی‌متر طول و گوشواره‌های کوچک می‌باشد. گل‌های صورتی رنگ به طول چهار میلی‌متر روی دمگی به طول ۵ الی ۱۰ سانتی‌متر واقع شده‌اند. وسمه توانایی بالایی در رشد مجدد پس از برداشت داشته و حساسیت کم این گیاه نسبت به حمله آفات و بیماری‌ها در شرایط آب و هوایی گرم از جمله دلایل افزایش عملکرد این گیاه می‌باشد (Sales et al., 2006). اجزای تشکیل‌دهنده ماده مؤثره وسمه شامل آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، فلاونوئیدها، تانن‌ها و

بدون تردید، کاربرد کودهای آلی و دامی به‌خصوص در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی علاوه بر اثرات مثبت بر خصوصیات خاک شامل حفظ کیفیت و افزایش مواد آلی خاک نسبت به کاربرد کودهای معدنی، از جنبه‌های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی نیز مثر ثمر واقع شده و می‌توانند جایگزین مناسب و مطلوبی برای کودهای شیمیایی در بلندمدت باشند (Lee, 2010). علاوه بر کودهای آلی، استفاده از میکروارگانیزم‌های مفید خاکزی با هدف افزایش باروری خاک و تولید محصولات به منظور جایگزین نمودن آنها به‌جای نهاده‌های شیمیایی نیز جایگاه قابل توجهی در کشاورزی پایدار دارد (Warrier et al., 2007). کاربرد کود دامی در خاک باعث پوک شدن خاک (Gutiérrez-Miceli et al., 2008)، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک (Sallaku and Shaalan, 2005) و دانه‌بندی خاک شده و ویژگی‌های فیزیکی آن را نیز بهبود می‌بخشد، ضمن این که با افزایش قدرت حاصلخیزی خاک، رشد محصول را افزایش می‌دهد (Sabet Teimouri, 2013). خرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2015) با بررسی اثر سطوح مصرف کود دامی بر عملکرد بذر و اسانس زیره سیاه (*Bonium persicum* Bioss) بیان داشتند که با افزایش مصرف کود دامی رشد و عملکرد کمی و کیفی این گیاه ارزشمند دارویی بهبود یافت؛ به طوری که بالاترین عملکرد دانه با ۱۶۴/۲۰ گرم بر متر مربع متعلق به تیمار ۳۵ تن کود دامی در هکتار بود. همچنین نتایج آنها نشان داد که بالاترین عملکرد اسانس برای مصرف ۴۰ تن کود دامی و وزن غده بیش از چهار گرم با ۱۴/۲۵ گرم بر متر مربع به‌دست آمد. رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) نیز نشان دادند که کاربرد کودهای آلی موجب افزایش تعداد کاپیتول در واحد سطح، عملکرد کاپیتول، عملکرد گلبرگ و عملکرد دانه در همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) شد.

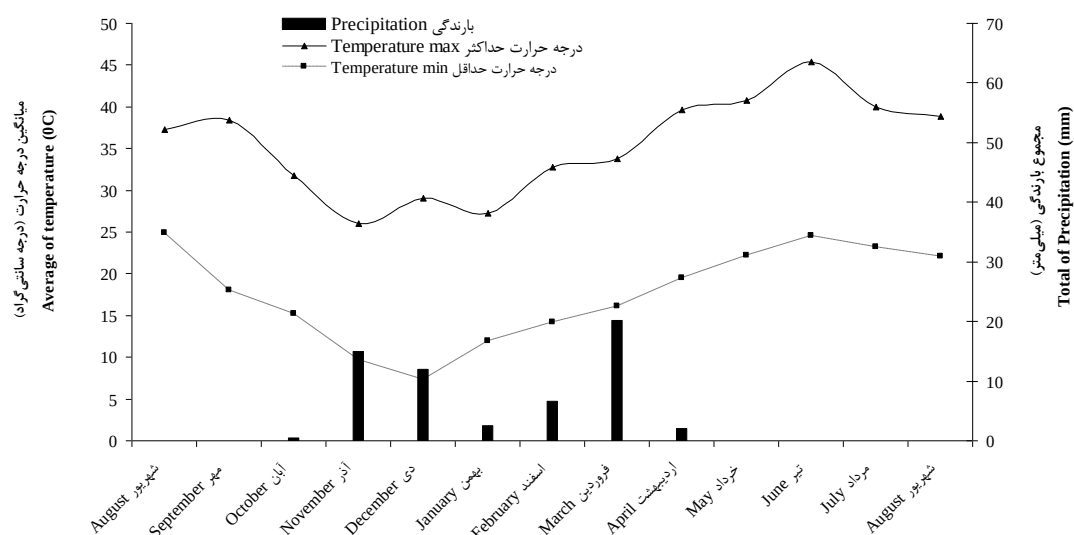
نتایج برخی مطالعات حاکی از آن است که کارایی کودهای آلی در حضور کودهای زیستی تشدید می‌گردد. به‌عنوان مثال، در یک پژوهش گزارش شد که کاربرد همزمان نیتروکسین و کودهای ورمی‌کمپوست عملکرد دانه کنبجد (*Sesamum indicum* L.) را افزایش داد، به‌طوری که کاربرد جداگانه کودهای آلی اثر چندانی بر صفات مورد مطالعه نداشت، ولی زمانی که این کود به همراه نیتروکسین استفاده شد، اکثر صفات مورد مطالعه را بهبود بخشید (Sajadi Nik and Yadavi, 2013). خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2008b) گزارش نمودند که تلقیح با انواع کودهای زیستی و قارچ میکوریزا خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa*) را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید. این محققین در مطالعه‌ای دیگر، بیان داشتند که تلقیح با این قارچ همزیست، منجر به بهبود شاخص‌های رشدی سیاهدانه شد (Khorramdel et al., 2008a). نتایج مطالعه‌ای دیگر نیز مؤید تأثیر

مناسب‌ترین منبع تغذیه‌ای و بهترین مقدار آبیاری بر مبنای ظرفیت زراعی به منظور افزایش عملکرد و خصوصیات کیفی گیاه ارزشمند دارویی - صنعتی و سمه در شرایط آب و هوایی بم طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت استریپ پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان بم با طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۵۰ متری از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۱-۹۲ به اجرا درآمد. اقلیم شهرستان بم بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه گرم و خشک و بر اساس آمار هواشناسی منطقه، حداکثر و حداقل دما به ترتیب ۴۵ و ۲- درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۱).

ترکیبات فنولیک، مواد معدنی و سایر مواد همچون خاکستر، خاکستر محلول در اسید، خاکستر محلول در آب و غیره می‌باشند. اجزای اصلی عصاره خام و سمه شامل دو رنگدانه آبی رنگ ایندیگوکارمین و قرمز رنگ ایندیروبین است (Chanayath et al., 2002). ایندیگوکارمین (Indigo) به عنوان فرآورده طبیعی، متابولیتی ثانویه است (Sales et al., 2006). از جمله خواص دارویی و سمه که اثر ملین، خلط‌آور، ضدکرم‌های انگل روده، درمان بیماری‌های دیابت، صرع، تقویت کبد، برونشیت‌های مزمن و آسم کاربرد دارد (Pramod et al., 2010). بنابراین، شناخت نیازهای به‌زراعی گیاه دارویی و صنعتی فراموش شده و سمه و نقش عوامل مدیریتی در تولید رنگ‌های طبیعی، از یک سو می‌تواند ضمن افزایش و بهبود معیشت تولیدکنندگان این محصول از خروج ارز برای تهیه رنگ‌های شیمیایی نیز تا حدود زیادی بکاهد و از سوی دیگر، بازار جهانی برخی از صنایع از جمله فرش ایرانی را دوباره پررونق کند. بدین ترتیب، این آزمایش با هدف تعیین



شکل ۱- میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل و مجموع بارندگی ماهیانه طی دوره کاشت تا رسیدگی گیاه و سمه در شرایط آب و هوایی بم طی دوره آزمایش (سال زراعی ۱۳۹۱-۹۲)

Figure 1- Average temperature of minimum and maximum and total monthly precipitation during planting and maturity of idigo in the weather of bam during experimental period (growing season of 2012-2013)

فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری به صورت تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک با استفاده از اگر انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

به منظور آماده‌سازی زمین، دو ماه قبل از کاشت عملیات آماده‌سازی بستر کاشت شامل دو نوبت شخم عمود بر هم و سپس تسطیح زمین انجام گرفت. کودهای فسفاته و پتاسه قبل از کاشت و کود نیتروژن به صورت اوره در سه نوبت همزمان با کاشت، بعد از تنک و بعد از برداشت بوته‌ها در چین اول به خاک اضافه شدند. کودهای

سه مقدار آبیاری شامل آبیاری در ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (Field Capacity) به عنوان فاکتور اصلی و پنج منبع تغذیه گیاهی شامل کود زیستی میکوریزا (۲۰۰ گرم خاک تلقیح شده در هر متر طولی)، ورمی کمپوست (پنج تن در هکتار)، کود گاوی (۳۰ تن در هکتار) و کود شیمیایی (۸۰، ۱۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و شاهد به عنوان فاکتور نواری در نظر گرفته شدند.

قبل از انجام آزمایشات مزرعه‌ای، به منظور تعیین خصوصیات

گاوی و ورمی کمپوست همزمان با اجرای عملیات آماده‌سازی زمین، داخل کرت‌های مربوطه پخش و با لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک به‌طور کامل مخلوط شد. ویژگی‌های شیمیایی کودهای دامی و

ورمی کمپوست مورد استفاده به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت

Table 1- Chemical and physical characteristics of soil before planting

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (mmohs.cm ⁻¹)	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر دسترس Available P (ppm)	پتاسیم دسترس Available K (ppm)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
7.63	2	0.7	0.5	3.8	102	14	15.8	70.2

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی کود دامی مورد استفاده

Table 2- Chemical criteria of used cow manure

هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	پتاسیم K (%)	فسفر P (%)	نیتروژن کل Total N (%)	ماده آلی Organic matter (%)
9.30	6.60	0.22	0.39	0.15	6.1

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست مورد استفاده

Table 3- Chemical criteria of used vermicompost

پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن کل Total N (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH
2391	381.2	3.15	8.3	7.7

پخش بذر وسمه، شیار ایجاد شده با خاک به‌طور کامل پوشانیده شد. اندازه‌گیری ظرفیت زراعی بر مبنای روش ارائه شده توسط علیزاده (Alizadeh, 2011) انجام شد. بر این اساس، ابتدا در مزرعه کرتی با ابعاد ۲×۲ متر مربع تهیه و بعد از مسطح شدن به‌طور کامل از آب اشباع شد (لازم به ذکر است صبر شد تا آب به‌طور کامل به درون خاک نفوذ نماید). رطوبت در اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک (به‌دلیل توسعه یافته و عمیق بودن سیستم ریشه‌ای وسمه) در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری گردید. زمان نزدیک شدن دو اندازه‌گیری متوالی به یکدیگر، این مقدار به‌عنوان ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. قابل به ذکر است که قبل از تعیین مقدار نهایی به‌عنوان ظرفیت زراعی، برای حصول اطمینان بیشتر نه‌بار نمونه‌برداری انجام شد که حدود ۲۴ ساعت به‌طول انجامید. برای جلوگیری از تبخیر سطحی، خاک با پلاستیک مشکی پوشانیده شد. بعد از اشباع، هر سه ساعت یکبار از اعماق مورد نظر نمونه‌برداری و هر دفعه نمونه‌ها از محل‌های مختلف برداشت گردید. برای گزارش عدد نهایی، میانگین درصد رطوبت در دو عمق مختلف ثبت شد. برای جلوگیری از نشت آب از کرت‌ها و همچنین یکسان و یکنواخت نگه داشتن حجم آب، کرت‌ها قبل از هر نوبت آبیاری به صورت روزانه

لازم به ذکر است محاسبه مقدار عناصر غذایی مورد نیاز گیاه وسمه بر اساس نتایج آنالیز خاک مزرعه مورد مطالعه و بر پایه توصیه کودی تحقیقات انجام شده (Sales *et al.*, 2006) اعمال گردید. همچنین مقادیر محاسبه شده بر مبنای تجزیه خصوصیات شیمیایی و میزان عناصر غذایی کودهای گاوی و ورمی کمپوست معادل و به خاک اضافه گردید. بذرهای مورد استفاده به صورت دستی از منطقه شهرستان ریگان جمع‌آوری و تا قبل از شروع آزمایش در یخچال و محیط خشک نگهداری شدند.

ابعاد کرت‌های فرعی ۳×۵ متر بود. بذرها به صورت دستی روی شش ردیف با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر (بر مبنای تراکم ۲۰ بوته در متر مربع) در ۱۵ فروردین ماه کشت شدند. به‌منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها بین کرت‌ها و بلوک‌ها به‌ترتیب یک و دو متر فاصله به‌عنوان راهرو در نظر گرفته شد. انتهای کلیه کرت‌ها با خاکریزی مسدود شد. قابل به ذکر است برای تلقیح قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*) ابتدا یک شیار به عمق ۵ سانتی‌متر روی هر ردیف ایجاد و براساس دستوالعمل شرکت مربوطه (وابسته به جهاد کشاورزی استان همدان) بر روی هر متر طولی ۲۰۰ گرم خاک تلقیح شده با میکوریزا قرار داده و پس از

لوله‌های حاوی نمونه برگ اضافه و لوله‌ها در بن ماری به مدت ۱۰ دقیقه گذاشته شدند. سپس به سرعت در حمام آب یخ سرد و به‌وسیله NaOH اسیدیته آن به ۱۱ رسانیده شد. سی ثانیه در لوله‌ها به حالت آزاد هوادهی شدند و تا رسیدن به دمای آزمایشگاه (۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد) نگه داشته شد. یک ساعت بعد از آن به‌وسیله اسید کلریدریک، اسیدیته نمونه به ۲-۱ رسانیده شد. بعد از ۳۰ دقیقه مطابق با نمودار استاندارد نمونه‌ها تهیه و بعد از پنج دقیقه سانتیفریوژ در دور ۵۰۰۰ هزار در دقیقه و در طول موج ۶۱۱ نانومتر قرائت شد. نمودار استاندارد به میزان هشت میلی‌گرم ایندیگو خالص در ۲۰ سی‌سی اسید سولفوریک و تا رسیدن به حجم ۵۰۰ آب مقطر اضافه شد و سپس از این محلول پایه غلظت‌های دیگر تهیه شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. رسم نمودارها توسط نرم‌افزار MS Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و قطر تاج‌پوشش گیاهی

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع و سمه در هر دو چین تحت تأثیر سطوح آبیاری اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($p \leq 0.05$)، در حالی که مقدار آبیاری تأثیر معنی‌داری بر قطر تاج‌پوشش گیاهی نداشت (جدول ۴). بیشترین ارتفاع و قطر تاج‌پوشش در چین اول مربوط به تیمار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب برابر با ۸۴ و ۲۵/۵ سانتی‌متر بود (جدول ۵). با کاهش میزان آب و کاهش مقدار آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰٪ ظرفیت زراعی در چین دوم ارتفاع و قطر تاج‌پوشش بوته به‌ترتیب ۶ و ۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵). دمای بالای هوا (شکل ۱) و همچنین خاک سبک و فقیر از ماده آلی در منطقه مورد آزمایش (جدول ۱) از جمله عواملی هستند که نقش به‌سزایی بر محتوای آب خاک دارند. مقدار آب آبیاری می‌تواند نقش بسیار مهمی در تأمین رطوبت مورد نیاز و در نتیجه رشد و نمو گیاه و سمه ایفاء نماید. به‌طوری‌که نتایج نشان داد بالاترین صفات مورفولوژیکی اعم از ارتفاع بوته و قطر تاج‌پوشش گیاهی برای سطح آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. البته اختلاف معنی‌داری با سطح ۸۰ درصد ظرفیت زراعی نداشت (جدول ۵).

کاربرد منابع مختلف تغذیه‌ای روی صفات رویشی و سمه شامل ارتفاع بوته و قطر تاج‌پوشش و سمه تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴)، به‌طوری‌که در چین‌های اول و دوم بیشترین ارتفاع بوته به‌ترتیب با ۸۶/۴ و ۱۰۳/۹ سانتی‌متر در شرایط کاربرد کود دامی حاصل شد. بیشترین قطر تاج‌پوشش گیاهی در این چین‌ها به‌ترتیب با ۲۷ و ۳۷

توسط کارگر به دقت ترمیم شدند. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یکبار تا مرحله ۴-۳ برگی انجام شد. از این مرحله تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌های و سمه، اقدام به اعمال تیمارهای آبیاری بر مبنای ظرفیت زراعی خاک شد. مقدار وزن مخصوص ظاهری با استفاده از استوانه برابر با ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و میزان ظرفیت زراعی بر اساس رطوبت وزنی ۰/۲۰ درصد برآورد شد.

با تعیین جرم مخصوص ظاهری و درصد جرمی رطوبت خاک، ارتفاع آب در لایه توسعه ریشه با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$d = (\Theta^m)(bp)(z) \quad (1)$$

در این معادله، bp : جرم مخصوص ظاهری خاک خشک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، Z : عمق توسعه ریشه بر حسب متر، Θ^m : نسبت جرمی رطوبت و d : ارتفاع آب موجود در عمق توسعه ریشه بر حسب متر (۰/۴) می‌باشد.

بر این اساس، میزان آب برابر با ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی با استفاده از معادله ۳-۲ محاسبه شد:

$$(2) \quad 0.12 = (1/5) \times (0.20) \times (0.4) = \text{مقدار آب در عمق توسعه ریشه (متر)}$$

میزان آب مورد استفاده در یک متر مربع مزرعه ۰/۱۲ متر مکعب و در یک هکتار ۱۲۰۰ متر مکعب آب محاسبه شد. با توجه به اینکه در طول فصل رشد گیاه ۲۴ بار آبیاری به شیوه قطره‌ای و با استفاده از کنتور حجمی انجام شد، همچنین میزان آب مورد استفاده در طول فصل رشد گیاه ۲۸۸۰۰ متر مکعب محاسبه گردید.

در طی دوره آزمایش تعدادی شته سیاه و مگس سفید مشاهده شد که بر مبنای بازدیدها مشخص گردید که با کفشدوزک هفت‌نقطه‌ای به صورت بیولوژیک کنترل شدند. لازم به ذکر است در طول دوره آزمایش از هیچ‌گونه سم شیمیایی استفاده نشد.

به منظور تعیین عملکرد اندام‌های هوایی، بوته‌ها در چین‌های اول و دوم در زمان شروع گلدهی در نیمه اول مرداد و نیمه دوم مهر ماه برداشت شدند. بوته‌ها از سطح شش متر مربع با حذف اثر حاشیه‌ای با استفاده از داس از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت شدند. سپس بوته‌ها به مدت یک ماه در سایه و هوای آزاد بر سطح زمین پخش شدند و بعد از انتقال به آزمایشگاه، وزن خشک اندام‌های هوایی به تفکیک برگ و ساقه با ترازوی با دقت یک صدم اندازه‌گیری شد. ضمن این که مقداری از برگ‌ها جهت تعیین درصد ایندیگوکارمین به آزمایشگاه ارسال شد.

محتوی ایندیگوکارمین در برگ‌ها بر مبنای روش‌های ارائه شده توسط استوکر و همکاران (Stoker et al., 1998) و سالس و همکاران (Sales et al., 2006) اندازه‌گیری و تعیین شد. برای این منظور، برگ‌ها توسط آسیاب به قطعات کوچک خرد و به میزان یک گرم توزین و در سانتیفریوژ قرار داده شد. ده سی‌سی آب مقطر به

سانتی متر مربوط به کود دامی بود. کمترین ارتفاع بوته در چین‌های اول و دوم برای شاهد به ترتیب با ۷۷/۲ و ۹۲ سانتی متر به دست آمد. کمترین قطر تاج پوشش گیاهی برای شاهد به ترتیب با ۲۱/۸ و ۲۸/۷ سانتی متر ثبت گردید (جدول ۵). به نظر می‌رسد که علت افزایش ارتفاع بوته و قطر تاج پوشش تحت تأثیر مصرف کودهای آلی مربوط به تولید مواد تحریک کننده رشد، بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکری (Arancon et al., 2005) می‌باشد. همچنین احتمالاً کود دامی و ورمی کمپوست با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک (Shabahang et al., 2013) باعث ایجاد شرایط مناسب‌تری در مقایسه با سایر تیمارهای کودی و به ویژه عدم مصرف کود برای رشد و سمة شده است. برخی مطالعات (Gutiérrez-Miceli et al., 2008) نیز به نقش مثبت کودهای آلی در بهبود پتانسیل ذخیره آب در خاک اشاره کرده‌اند.

از طرفی، با توجه به اینکه کودهای آلی و به ویژه کود دامی از نظر آزادسازی عناصر غذایی در کوتاه مدت نسبت به کودهای شیمیایی به طور نسبی تدریجی تر عمل می‌کنند (Koocheki et al., 2004)، لذا بالاتر بودن ارتفاع و قطر بوته در چین دوم نسبت به چین اول (به ترتیب برابر با ۲۱ و ۵۵ درصد) (جدول ۶)، منطقی به نظر می‌رسد. تبریزی (Tabrizi, 2005) نیز اظهار داشت که کود دامی تأثیر معنی داری بر ارتفاع بوته اسفزه نداشت. یزدانی بیوکی و همکاران (Yazdani Biuki et al., 2010) نیز نشان دادند که اثر کمپوست بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی ماریتیغال معنی دار نبود.

در پژوهشی، گزارش شد که مصرف کود دامی دارای بیشترین تأثیر بر ارتفاع گیاه دارویی آویشن بود و علت این امر به محتوی نیتروژن بالای این کود نسبت داده شد (Hendawy et al., 2010). نتایج مطالعه بالندری (Balandari, 2011) روی کاسنی پاکوتاه (*Cichorium pumilium* Jacq) نیز نشان داد که افزایش کود دامی تأثیر معنی داری بر ارتفاع و قطر بوته این گیاه دارویی نداشت. با توجه به سبک بودن بافت خاک و فقر آن از نظر ماده آلی (جدول ۱)، به نظر می‌رسد که علاوه بر کاهش محتوی رطوبتی خاک، وجود شرایط آب و هوایی نسبتاً گرم در منطقه بم (شکل ۱) شرایط را برای تأثیر بیشتر قارچ‌های میکوریزا به واسطه برقراری رابطه همزیستی نامناسب نموده است. با این وجود، همزیستی با قارچ میکوریزا در مقایسه با شاهد موجب افزایش پنج و کمتر از یک درصدی ارتفاع بوته به ترتیب طی چین‌های اول و دوم شد (جدول ۵).

تعداد شاخه جانبی

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد شاخه جانبی و سمة تحت تأثیر سطوح آبیاری اختلاف معنی داری را نشان

نداد ($p \leq 0.05$) (جدول ۴). با این وجود، در چین اول بیشترین تعداد شاخه جانبی در بوته در سطح آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی با ۵/۱ شاخه جانبی در بوته و کمترین آن در سطح آبیاری ۶۰٪ ظرفیت زراعی با ۳/۸ شاخه جانبی در بوته به دست آمد. در چین دوم نیز با کاهش مقدار آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰٪ ظرفیت زراعی تعداد شاخه جانبی در بوته ۱۴ درصد کاهش یافت (جدول ۵). شاخه‌دهی زیاد تحت شرایط خشکی یک صفت نامطلوب محسوب می‌شود، زیرا باعث مصرف بی‌هوده رطوبت خاک و اتلاف رطوبت از طریق تعرق می‌گردد. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که در و سمة نیز با کاهش مقدار رطوبت و افزایش شدت بروز تنش خشکی به دلیل کاهش آماس سلولی از رشد رویشی گیاه کاسته شده و از آنجا که در شرایط بروز تنش خشکی، استراتژی گیاه این است که با حداقل رشد رویشی وارد مرحله رشد زایشی شود و دوره رشد خود را به سرعت به اتمام برساند، بنابراین، تعداد شاخه جانبی روندی کاهشی نشان داد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2007) گزارش کردند که با افزایش فواصل آبیاری تعداد شاخه جانبی در دو گونه دارویی اسفزه^۱ و پسلیوم^۲ روند کاهشی داشت. امین غفوری (Aminghafouri, 2014) نشان داد که افزایش حجم آبیاری از ۱۰۰۰ به ۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار موجب بهبود ۲۲ درصدی تعداد شاخه جانبی کاکوتی^۳ کاکوتی^۳ چندساله گردید.

نوع منبع تغذیه‌ای تأثیر معنی داری بر تعداد شاخه جانبی و سمة در هیچ کدام از چین‌های آزمایش نداشت (جدول ۴). با این وجود، بیشترین تعداد شاخه جانبی در چین‌های اول و دوم مربوط به کود دامی (به ترتیب با ۵/۰ و ۱۰/۰ شاخه جانبی در بوته) و کمترین آن مربوط به شاهد (به ترتیب با ۳/۵ و ۸/۶ شاخه جانبی در بوته) بود (جدول ۵). اگرچه کودهای مختلف با فراهمی و دسترسی عناصر غذایی موجب بهبود رشد می‌شوند، ولی به نظر می‌رسد که تعداد شاخه جانبی در بوته صفتی ژنتیکی است که کمتر تحت تأثیر مدیریت زراعی قرار می‌گیرد. با این وجود، با توجه به وجود عناصر غذایی در کودهای آلی و تأثیری که این کودها در فراهمی و جذب عناصر غذایی و بهبود محتوی رطوبتی خاک دارند (Lee, 2010)، افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در شرایط استفاده از این کودها منطقی به نظر می‌رسد. یزدانی بیوکی و همکاران (Yazdani Biuki et al., 2010) نیز در گیاه دارویی ماریتیغال روند مشخصی را در رابطه با تعداد شاخه جانبی با کاربرد کودهای آلی مشاهده نکردند.

تعداد شاخه جانبی در چین دوم نسبت به چین اول ۱۰۰ درصد بالاتر بود (جدول ۶). به نظر می‌رسد که برداشت گیاه در چین اول از

1- *Plantago ovata*

2- *Plantago psyllium*

3- *Ziziphora clinopodioides*

طریق تحریک رشد (Yazdani et al., 2015)، تولید شاخه‌های جانبی را افزایش داده است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح آبیاری و منبع تغذیه‌ای بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد کمی و کیفی گیاه و سمه طی دو چین
Table 4- Variance analysis (mean of squares) for the effects of drought stress levels and nutrient resources on morphological criteria and qualitative yield of indigo at two cuttings

چین اول The first cutting										
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f.	ارتفاع بوته Plant height	قطر کانوبی Canopy diameter	تعداد شاخه جانبی Number of branch	تعداد برگ در بوته Number of leaf	وزن خشک برگ Dry weight of leaf	وزن خشک ساقه Dry weight of shoots	عملکرد کل اندام‌های هوانی Total yield of shoots	محتوی ایندیگوکارمین Indigocarmin content	عملکرد ایندیگوکارمین Indigocarmin yield
تکرار Replication	2	303.83 ^{ns}	18.15 ^{ns}	2.42 ^{ns}	639.26 ^{ns}	16862.00 ^{**}	84986.66 ^{ns}	227706.10 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.54 ^{ns}
سطح آبیاری Irrigation level	2	146.90 ^{**}	15.08 ^{ns}	6.03 ^{ns}	12319.55 ^{**}	84862.22 ^{**}	238160.00 ^{**}	828026.34 ^{**}	0.0012 ^{ns}	0.72 ^{**}
خطا Error	4	29.11	13.62	21.99	1528.29	53355.55	38826.66	138133.30	0.00002	1.80
منبع تغذیه‌ای Nutrient resources	4	105.65 ^{ns}	76.74 ^{ns}	4.04 ^{ns}	312.28 ^{ns}	21177.77 ^{ns}	26520.00 ^{ns}	86902.02 ^{ns}	0.001 ^{ns}	1.35 [*]
خطا Error	8	19.76	19.76	1.71	1498.56	1498.56	18153.78	49828.88	0.0003	0.64
منبع تغذیه‌ای × سطح آبیاری × Nutrient resources × irrigation level	8	44.44 ^{ns}	45.97 ^{ns}	3.49 ^{ns}	929.01 ^{ns}	8717.77 ^{ns}	32826.12 ^{ns}	93184.79 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.35 ^{ns}
خطا Error	16	19.45	22.99	3.53	661.19	14044.44	27935.45	96055.55	0.0003	0.54
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.34	15.39	10.94	4.05	6.20	7.49	5.98	10.11	3.97
چین دوم The second cutting										
تکرار Replication	2	310.46 ^{ns}	124.08 ^{ns}	2.42 ^{ns}	11618.45 ^{ns}	127191.00 ^{ns}	799564.88 ^{ns}	127191.89 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	4.64 ^{ns}
سطح آبیاری Irrigation level	2	124.67 ^{**}	56.02 ^{ns}	6.78 ^{ns}	12254.11 ^{**}	255632.11 ^{**}	313203.67 [*]	235632.11 ^{**}	0.010 ^{ns}	13.57 ^{**}
خطا Error	4	415.13	4.75	21.91	1499.55	28084.33	164359.23	28084.01	0.0001	1.24
منبع تغذیه‌ای Nutrient resources	4	174.88 ^{ns}	120.38 ^{ns}	4.02 ^{ns}	1481.75 ^{ns}	72297.40 ^{**}	291049.42 ^{ns}	75297.90 ^{ns}	0.0013 ^{ns}	2.79 ^{**}
خطا Error	8	151.10	12.42	1.77	11987.23	194444.48	144199.82	19446.88	0.0001	0.78
منبع تغذیه‌ای × سطح آبیاری × Nutrient resources × irrigation level	8	236.35 ^{ns}	12.65 ^{ns}	3.60 ^{ns}	3605.52 ^{ns}	69244.77 ^{ns}	258690.60 ^{ns}	69244.02 ^{ns}	0.0011 ^{ns}	2.28 ^{ns}
خطا Error	16	257.52	40.29	3.68	2985.20	30444.41	106168.89	30441.42	0.0002	1.34
ضریب تغییرات CV (%)		7.10	8.92	11.23	2.06	4.54	9.65	13.19	7.98	6.12

و : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.
* ، ** و ns represent significant at 5% level, Significant at 1% level and non significant, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده منبع تغذیه‌ای و مقدار آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد کمی و کیفی گیاه وسمه طی دو چین
Table 5- Mean comparison for the effects of nutrient resources and drought stress level on morphological criteria and qualitative yield of indigo at two cuttings

تیمار Treatment	چین اول The first cutting						
	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر کانوبی Canopy diameter (cm)	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branch per plant	تعداد برگ در بوته Number of leaf	وزن خشک ساقه Dry weight of shoots (g m ⁻²)	وزن خشک کل اندام‌های هوایی Dry yield of shoots (g m ⁻²)	محتوی ایندیگوارمین Indigocarmin content (%)
مقدار آبیاری Irrigation level (%FC)	100	25.46 ^a	5.06 ^a	164.83 ^a	874.67 ^a	1589.30 ^a	0.61 ^a
	80	83.80 ^a	4.50 ^a	144.93 ^{ab}	654.78 ^{ab}	1334.70 ^{ab}	0.62 ^a
	60	75.50 ^b	3.80 ^a	108.33 ^b	530.24 ^b	1120.00 ^b	0.63 ^a
منبع تغذیه‌ای Nutrient resources	شیمیایی NPK	25.88 ^a	4.83 ^a	139.11 ^a	639.33 ^a	1340.00 ^a	0.61 ^a
	دامی Cow manure	86.38 ^a	5.00 ^a	148.22 ^a	720.00	1471.11 ^a	0.64 ^a
	ورمی کمپوست Vermicompost	83.66 ^a	4.94 ^a	141.17 ^a	635.21 ^a	1413.30 ^a	0.62 ^a
	میکوریزا Mycorrhiza	80.66 ^a	4.00 ^a	135.39 ^a	633.60 ^a	1295.60 ^a	0.61 ^a
	شاهد Control	77.22 ^a	3.50 ^a	132.94 ^a	580.08 ^a	1220.00 ^a	0.61 ^a
	چین دوم The second cutting						
	مقدار آبیاری Irrigation level (%FC)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر کانوبی Canopy diameter (cm)	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branch per plant	تعداد برگ در بوته Number of leaf	وزن خشک ساقه Dry weight of shoots (g m ⁻²)	وزن خشک کل اندام‌های هوایی Dry yield of shoots (g m ⁻²)
منبع تغذیه‌ای Nutrient resources	شیمیایی NPK	101.15 ^a	35.46 ^a	10.06 ^a	171.90 ^a	1019.12 ^a	1829.30 ^a
	دامی Cow manure	97.33 ^a	34.50 ^a	9.50 ^a	133.23 ^b	845.20 ^b	1489.90 ^{ab}
	ورمی کمپوست Vermicompost	95.50 ^b	29.73 ^b	8.80 ^a	116.79 ^b	731.54 ^b	1299.91 ^b
	میکوریزا Mycorrhiza	98.98 ^a	35.11 ^a	9.83 ^a	145.32 ^a	867.03 ^a	1520.40 ^a
	شاهد Control	103.88 ^a	37.66 ^a	10.00 ^a	154.18 ^a	1151.10 ^a	1924.10 ^a
مقدار آبیاری Irrigation level (%FC)	100	100.76 ^a	36.33	9.94 ^a	147.00 ^a	869.60 ^a	1611.30 ^a
	80	92.46 ^a	31.45 ^a	9.00 ^a	138.47 ^a	770.87 ^a	1427.70 ^a
	60	92.01 ^a	28.78 ^a	8.50 ^a	119.87 ^a	670.07 ^a	1207.60 ^a

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، دارای تفاوت معنی‌داری بر مبنای آزمون دانکن نمی‌باشد (p<0.05).
* Means in each column and for each trait, with at least one similar letter are not significant different based on Duncan's test (p<0.05).

تعداد برگ در بوته: تعداد برگ در بوته از جمله شاخص‌های

مهم نشان‌دهنده وضعیت رشد و نمو در گیاه است. افزایش یا کاهش تعداد برگ به‌طور مستقیم بر میزان فتوسنتز و تولید گیاه تأثیر می‌گذارد. همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، اثر مقدار آبیاری در هر دو چین بر تعداد برگ در بوته و سمه معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$). به طوری که شرایط بدون تنش (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) در چین اول با ۱۶۴/۸ برگ در بوته بالاترین تعداد برگ را تولید نمود که افزایش ۱۴ و ۵۲ درصدی در مقایسه با کاهش مقدار آبیاری به‌ترتیب در شرایط ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی محاسبه گردید. همچنین در چین دوم و کاهش مقدار آبیاری در ۸۰٪ ظرفیت زراعی تعداد برگ در بوته ۲۱ درصد نسبت به کاهش مقدار آبیاری بر اساس ۶۰٪ ظرفیت زراعی افزایش یافت (جدول ۵). از آنجا که کاهش محتوی رطوبتی خاک سبب افزایش قدرت رقابتی بوته‌ها برای جذب آب می‌گردد، لذا سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی به اندام‌های زیرزمینی (ریشه) اختصاص داده می‌شود که این امر از طریق کاهش سهم تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی کاهش تعداد برگ در بوته را به دنبال داشته است (Carruba et al., 2002). نتایج سایر مطالعات نیز نشان داده است که در گیاهان دارویی دیگر، بروز تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های رشدی از جمله تعداد برگ می‌شود.

این مطلب در گیاهان دارویی نظیر بادنجبویه^۱ (Aliabadi Farahani et al., 2009) و آویشن^۲ (*Thymus vulgaris*) (Khazaie et al., 2008) به اثبات رسیده است.

اگرچه اثر منابع مختلف تغذیه‌ای بر تعداد برگ در بوته معنی‌دار نبود ($p \leq 0.05$) (جدول ۴). با این‌حال، مصرف کودهای آلی و شیمیایی منجر به افزایش تعداد برگ در بوته در مقایسه با شاهد شد. بیشترین تعداد برگ در بوته در چین‌های اول (۱۴۸/۲ برگ در بوته) و دوم (۱۵۴/۲ برگ در بوته) در شرایط مصرف کود دامی مشاهده شد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد که کاربرد کودهای آلی از طریق تحریک فعالیت‌های میکروبی خاک (Pramod et al., 2010)، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تأثیر بر فراهمی و جذب بیشتر عناصر غذایی (Mao et al., 2008)، سبب افزایش فتوسنتز (Atiyeh et al., 2001) شدند که این مسئله در نهایت، به واسطه بهبود شرایط رشدی برای بوته‌ها به افزایش تعداد برگ منجر شد. لیوک و پانک (Liuc and Pank, 2005) گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست در گیاه بابونه رومی^۳ باعث افزایش شاخص‌های مرفولوژیک از جمله تعداد برگ و گل در بوته گردید. تعداد برگ در بوته با مصرف کودهای

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر نوبت چین بر صفات مرفولوژیکی، عملکرد کمی و کیفی گیاه و سمه
Table 6- Mean comparison for the effect of cutting time on morphological criteria and quantitative yield of indigo

نوبت چین Cutting time	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر کانوپی Canopy diameter (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of branch	تعداد برگ در بوته Number of leaf	وزن خشک برگ Dry weight of leaf (g m ⁻²)	وزن خشک ساقه Dry weight of shoots (g m ⁻²)	وزن خشک کل اندام‌های هوایی Dry yield of above ground matter (g m ⁻²)	محتوی ایندیگوکارمین Indigocarmine content (%)	عملکرد ایندیگوکارمین Indigocarmine yield (g m ⁻²)
اول First	81.87 ^b	21.83 ^b	7.38 ^a	139.34 ^b	678.44 ^b	577.54 ^b	1347.75 ^b	0.61 ^a	4.19 ^b
دوم Second	98.72 ^a	33.88 ^a	16.38 ^b	294.31 ^a	771.37 ^a	866.85 ^a	1390.87 ^a	0.60 ^a	4.85 ^a

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، دارای تفاوت معنی‌داری بر مبنای آزمون دانکن نمی‌باشند ($p \leq 0.05$).

* Means in each column and for each trait, with at least one similar letter are not significant different based on Duncan's test ($p \leq 0.05$).

1- *Melissa officinalis* L.

2- *Thymus vulgaris*

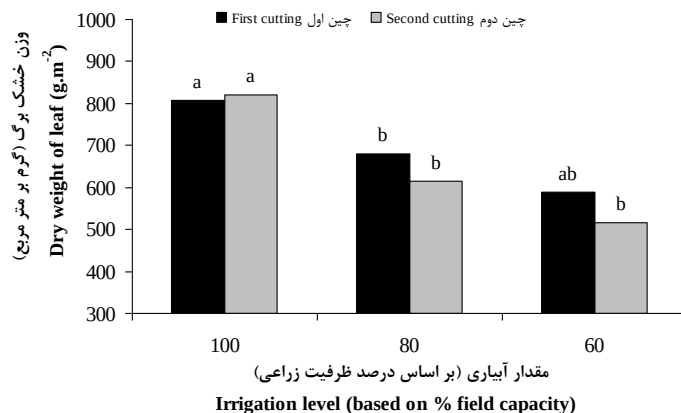
3- *Chamaemelum nobile*

خشک برگ با کاهش مقدار آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی ۲۷ درصد کاهش یافت. میزان این کاهش برای چین دوم برابر با ۳۷ درصد تعیین گردید (شکل ۲). میزان کاهش وزن خشک ساقه تحت تأثیر افت محتوی آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در چین‌های اول و دوم به ترتیب برابر با ۳۲ و ۲۸ درصد محاسبه شد. هرچند بین تیمارهای ۸۰ و ۶۰٪ محتوی رطوبتی بر اساس ظرفیت زراعی خاک از نظر وزن خشک برگ و ساقه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، البته افزایش مقدار آبیاری به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به دلیل رشد بیشتر، عملکرد بالاتر وزن خشک برگ و ساقه را موجب گردید (جدول ۵). به طور کلی، اگرچه کشاورزان محلی در منطقه بزم تأکید دارند که وسه از نظر نیاز آبی گیاهی خشکی‌پسند بوده و نیاز آبی آن پایین است، ولی نتایج این مطالعه نشان داد که این گیاه احتمالاً به دلیل سطح بالای اندام‌های رویشی به‌ویژه برگ‌های نسبتاً زیاد، پتانسیل بالایی در تعرق داشته که این امر موجب افزایش نیاز آبی آن می‌گردد. به طوری که کاهش حجم آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی خاک، افت عملکرد اندام‌های هوایی را به دنبال داشت.

شیمیایی در مقایسه با کودهای دامی و ورمی کمپوست، به‌طور میانگین در رتبه سوم قرار گرفتند (جدول ۵). این در حالی است که کاربرد نیتروژن به فرم شیمیایی می‌تواند از طریق تحریک رشد رویشی موجب افزایش تعداد و سطح برگ گردد. به نظر می‌رسد که محدودیت رطوبت و آبشویی نیتروژن به دلیل بافت سبک و شنی منطقه موجب کاهش تأثیرگذاری کود شیمیایی شده است و بر اساس قانون لیبیگ، وجود عامل محدودکننده رطوبت موجب تشدید این امر شده که در نتیجه تأثیر رطوبت و تیمارهای مؤثر بر فراهمی رطوبت همچون تیمار کود گاوی در نتایج به‌دست آمده بسیار مهمتر از تأثیر کود شیمیایی بروز نموده است.

برداشت گیاه در چین اول احتمالاً به دلیل تحریک رشد شاخه‌های جانبی افزایش تعداد برگ در چین دوم را بیش از ۱۰۰ درصد موجب گردید (جدول ۶). این نتایج با مطالعه یزدانی و همکاران (Yazdani et al., 2015) بر عملکرد یونجه همدانی^۱ تحت تأثیر نوبت چین مطابقت دارد.

وزن خشک برگ و ساقه: همانگونه که در جدول ۴ نشان داده شده است، وزن خشک برگ و ساقه وسه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفتند ($p \leq 0.05$). در چین اول، وزن



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر مقدار آبیاری بر وزن خشک برگ وسه طی دو چین

Figure 2- Mean comparisons for the effect of irrigation levels on dry weight of leaf of indigo at two cuttings

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند ($p \leq 0.05$).

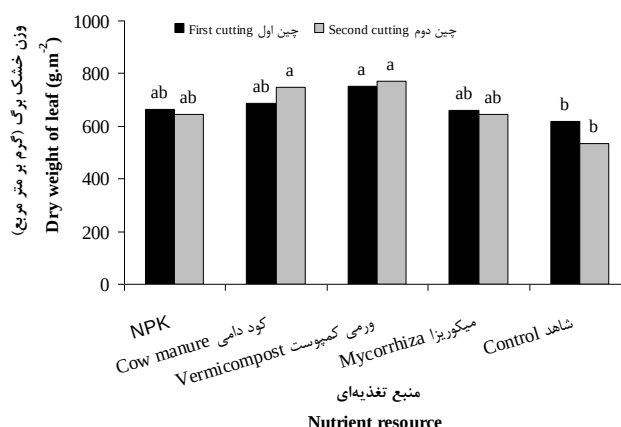
* Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($p \leq 0.05$).

ورمی کمپوست به‌ترتیب با ۷۵۱/۱۱ و ۷۶۹/۲۴ گرم در متر مربع به‌دست آمد (شکل ۳). بیشترین وزن خشک ساقه در چین‌های اول و دوم برای مصرف کود دامی به‌ترتیب با ۷۲۰/۰ و ۱۱۵۱/۱ گرم در متر مربع مشاهده شد کمترین وزن خشک برگ و ساقه به شاهد در چین اول به‌ترتیب با ۶۶۲/۲۲ و ۵۸۰/۱ گرم در متر مربع و در چین دوم با ۵۳۶/۲۱ و ۶۷۰/۷ گرم در متر مربع اختصاص داشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای آلی همچون دامی و

همانگونه که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود، وزن خشک برگ وسه تنها در چین دوم آزمایش تحت تأثیر معنی‌دار منابع مختلف تغذیه‌ای قرار گرفت ($p \leq 0.01$)، اما وزن خشک ساقه در هیچ‌کدام از چین‌ها تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی واقع نشد (جدول ۴). بیشترین وزن خشک برگ در چین اول و دوم در شرایط کاربرد

عناصر غذایی بوده (جدول‌های ۲ و ۳) که می‌توانند به مرور زمان در اختیار گیاه قرار دهند و این امر به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون بوم که خاک‌ها از ماده آلی و حاصلخیزی کمتری برخوردار هستند (جدول ۱)، به‌طور ویژه‌ای اهمیت دارد.

ورمی‌کمپوست با بهبود ساختمان خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری ضمن افزایش نفوذپذیری خاک، میزان هوموس و ظرفیت بافری خاک و فعالیت برخی آنزیم‌ها (Atiyeh, 2001) را بهبود داده که در نتیجه سبب تشدید جمعیت و فعالیت میکروبی خاک گردیده است. علاوه بر این، کودهای آلی دارای میزان زیادی ماده آلی و



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر وزن خشک برگ و سبزه طی دو چین
Figure 3- Mean comparisons for the effect of manure types on dry weight of leaf of indigo at two cuttings

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند ($p \leq 0.05$).

* Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($p \leq 0.05$).

زراعی با ۱۵۸۹/۳ گرم در متر مربع به‌دست آمد که نسبت به ۶۰٪ ظرفیت زراعی برابر با ۳۰ درصد افزایش نشان داد. در چین دوم با افزایش مقدار آبیاری از ۶۰ به ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی خاک عملکرد کل اندام‌های هوایی ۲۹ درصد افزایش یافت (جدول ۵) که این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش تعداد برگ در بوته (جدول ۵) و وزن خشک برگ و ساقه (جدول ۵ و شکل ۳) باشد. افزایش میزان رطوبت خاک احتمالاً از طریق افزایش آماس سلولی و به تبع آن بهبود توسعه سلولی موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و افزایش میزان تجمع ماده خشک اندام‌های رویشی، در نهایت، عملکرد کل اندام هوایی گردید. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) با بررسی اثر فاصله آبیاری بر رشد و عملکرد مرزنجوش اظهار داشتند که با افزایش فاصله آبیاری و اعمال تنش رطوبتی، رشد و عملکرد بیولوژیکی این گیاه دارویی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

همچنین عملکرد کل اندام‌های هوایی در چین دوم در مقایسه با چین اول ۳ درصد بالاتر بود (جدول ۶). چنین به نظر می‌رسد که بعد از برداشت بوته‌ها در چین اول، رشد شاخه‌های جانبی تحریک شده و در نتیجه تولید جوانه‌های جدید از محل طوقه افزایش یافته که این امر باعث رشد بهتر و در نتیجه عملکرد بالاتر اندام‌های هوایی در چین دوم در مقایسه با چین اول شده است. در همین رابطه زمانیان

از طرفی، مقایسه وزن خشک برگ و ساقه و سبزه در چین‌های مختلف مشخص نمود که مقادیر این صفات در چین دوم به‌ترتیب با ۱۴ و ۵۰ درصد بالاتر از چین اول بود (جدول ۶). بالاتر بودن این خصوصیات را می‌توان به این موضوع نسبت داد که کودهای آلی احتمالاً از طریق آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مورد نیاز، موجب تحریک رشد گیاه شده‌اند. از سوی دیگر، این نهاده‌های آلی علاوه بر عناصر پرمصرف به مقدار کمتر دارای عناصر کم‌مصرف نیز بوده که در درازمدت ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را به سمت تعادل پیش خواهند برد. در همین راستا، شهاب‌نگ و همکاران (Shabahang et al., 2013) نیز بهبود ۵۸ درصدی وزن خشک اندام‌های هوایی زوفا^۱ را در چین اول در مقایسه با چین دوم گزارش نمودند.

عملکرد کل اندام‌های هوایی: اعمال سطوح مختلف آبیاری

بر عملکرد کل اندام‌های هوایی و سبزه در هر دو چین آزمایش تأثیر معنی‌داری داشت ($p \leq 0.01$) (جدول ۴). به طوری که مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری در چین اول نشان داد که بیشترین عملکرد کل اندام‌های هوایی مربوط به سطح ۱۰۰ درصد آبیاری بر اساس ظرفیت

1- *Hyssopus officinalis* L.

(Zamanyan, 2009) با مطالعه بر روی عملکرد ارقام مختلف شبدر قرمز^۱ به نتایج مشابهی دست یافت.

همانگونه که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود، عملکرد کل اندام‌هوایی و سبزه تحت تأثیر معنی‌دار منابع مختلف تغذیه‌ای قرار نگرفت. با این‌وجود، بیشترین عملکرد کل اندام‌های هوایی در چین‌های اول و دوم مربوط به کود دامی به‌ترتیب با ۱۴۷۱/۱ و ۱۹۲۴/۱ گرم در متر مربع بود. کمترین مقدار این صفت در شاهد برای چین‌های اول و دوم به‌ترتیب با ۱۲۲۰/۰ و ۱۲۰۷/۶ گرم در متر مربع به‌دست آمد (جدول ۵). وزن خشک کل اندام‌های هوایی گیاهان عمدتاً به‌عنوان یکی از نشانگرهای مهم وضعیت رشدی، مدنظر محققین قرار می‌گیرد. مصرف کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست علاوه بر تأمین نسبی عناصر غذایی (Liuc and Pank, 2005)، می‌تواند منجر به افزایش ماده آلی و بهبود قابلیت نگهداری آب در خاک گردد که اهمیت این موضوع در منطقه بیه به دلیل داشتن بافت سبک و دمای بالا دوجندان است و هر عاملی که بتواند در این شرایط موجب افزایش ظرفیت رطوبتی خاک شود، می‌تواند در افزایش تولید محصول نیز به میزان زیادی مؤثر واقع گردد (Warrier et al., 2007). بررسی اثر کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی زیره سبز نشان داد که مصرف کودهای آلی و دامی باعث افزایش عملکرد کل اندام‌های هوایی شد (Saied Nejad and Rezvani Moghaddam, 2010). در همین راستا، نتایج مطالعه رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) نیز مؤید تأثیر مثبت کاربرد کودهای زیستی بر روی رشد و عملکرد کل اندام‌های هوایی گیاه دارویی مرزه^۲ بود.

محتوی ایندیگوکارمین: تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که درصد ایندیگوکارمین برگ و سبزه تحت تأثیر معنی‌دار مقادیر آبیاری و نوع منبع تغذیه‌ای قرار نگرفت (جدول ۴). با این‌وجود، افزایش مقدار آبیاری از ۶۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی باعث کاهش ۳ و ۹ درصدی محتوی ایندیگوکارمین به‌ترتیب در چین‌های اول و دوم شد (جدول ۵). در چین‌های اول و دوم بیشترین محتوی ایندیگوکارمین به‌ترتیب با ۰/۶۱ و ۰/۶۴ درصد به ۶۰٪ ظرفیت زراعی تعلق گرفت که با تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰٪ ظرفیت زراعی در یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۵). به‌طور کلی، بروز تنش خشکی و کمبود آب یکی از عوامل اصلی در افزایش درصد ماده مؤثره در گیاهان دارویی است؛ به‌طوری‌که هرچه گیاهی بیشتر در شرایط تنش رطوبتی قرار گیرد، میزان ماده مؤثره نیز افزایش خواهد یافت (De-Abreu and Mazzafera, 2005). تا زمانی که آب و در نتیجه عناصر غذایی

در دسترس گیاه است گیاه کربن را ترجیحاً برای رشد اندام‌های رویشی اختصاص می‌دهد، ولی با کاهش آب، میزان دسترسی به عناصر غذایی کمتر شده و رشد گیاه بیش از فتوسنتز محدود می‌شود و در نتیجه به منظور بقا بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید متابولیت‌های ثانویه و اسانس‌ها اختصاص می‌یابد. بروز تنش موجب تخصیص بیشتر کربن تثبیت‌شده برای تولید متابولیت‌های ثانویه می‌گردد (Vessey, 2003). دی ابریو و مازافرا (De-Abreu and Mazzafera, 2005) گزارش کردند که تنش آب موجب افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه فنلی در گیاه دارویی گل راعی^۳ گردید.

کاربرد کود دامی در چین‌های اول و دوم به‌ترتیب با ۰/۶۴ و ۰/۶۲ درصد بیشترین محتوی ایندیگوکارمین را به خود اختصاص داد (جدول ۵).

محتوی ایندیگوکارمین طی چین اول ۱۶ درصد بالاتر از چین دوم محاسبه گردید. از آنجا که مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد و سبزه و محتوی ایندیگوکارمین دمای بالا، شدت نور و بارندگی ناکافی می‌باشد (Sales et al., 2006).

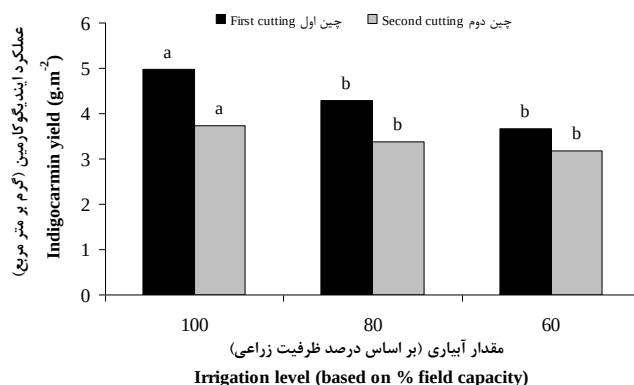
امر و همکاران (Omer et al., 1998) نشان داد که استفاده از کودهای آلی هیچ تأثیری بر درصد روغن در میوه‌ها و میزان سیلیمارین ماریتیفال نداشت.

عملکرد ایندیگوکارمین: عملکرد ایندیگوکارمین برگ و سبزه در هر دو چین تحت تأثیر معنی‌دار مقدار آبیاری قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر مقدار آبیاری بر عملکرد ایندیگوکارمین نشان داد که بیشترین عملکرد ایندیگوکارمین در چین‌های اول و دوم به‌ترتیب برای سطح آبیاری ۱۰۰٪ بر اساس ظرفیت زراعی خاک به‌ترتیب با ۴/۹۷ و ۳/۷۴ گرم در متر مربع حاصل شد که با سطوح ۸۰ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی در چین اول (به‌ترتیب با ۱۳ و ۲۶ درصد کاهش نسبت به سطح آبیاری ۱۰۰٪ بر اساس ظرفیت زراعی خاک) و در چین دوم (به‌ترتیب با ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش نسبت به سطح آبیاری ۱۰۰٪ بر اساس ظرفیت زراعی خاک) از نظر آماری تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۴). این کاهش می‌تواند احتمالاً به دلیل تجمع املاح نمک تحت تأثیر کاهش محتوی رطوبتی خاک باشد که سبب اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی به اندام‌های هوایی و در نهایت، کاهش سنتز ماده مؤثره در گیاه می‌شود (De-Abreu et al., 2005). همچنین با در نظر گرفتن اینکه عملکرد ایندیگوکارمین از حاصلضرب وزن خشک برگ در درصد ایندیگوکارمین حاصل می‌شود، می‌توان دریافت که علت اصلی بالا بودن عملکرد ایندیگوکارمین در سطح ۱۰۰٪ آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی خاک، مربوط به بالاتر بودن تعداد برگ در بوته (جدول ۵) و وزن خشک برگ (شکل ۲) می‌باشد.

1- *Trifolium pratense*

2- *Satureja hortensis* L.

3- *Hypericum brasiliense*



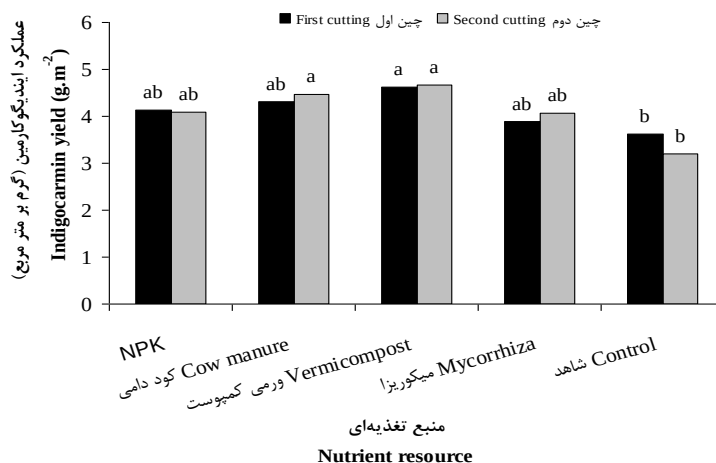
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر مقدار آبیاری بر عملکرد ایندیگوکارمین و سمه طی دو چین
Figure 4- Mean comparisons for the effect of irrigation level on Indigocarmin yield of indigo at two cuttings

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند ($p \leq 0.05$).

* Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($p \leq 0.05$).

شاهد به ترتیب ۲۸، ۱۹، ۱۴ و ۷ درصد تعیین گردید. میزان این افزایش در چین دوم به ترتیب برابر با ۴۵، ۳۹، ۲۸ و ۲۷ درصد محاسبه شد (شکل ۵).

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، عملکرد ایندیگوکارمین برگ و سمه در هر دو چین تحت تأثیر معنی‌دار نوع تیمارهای کودی قرار گرفت ($p \leq 0.05$). عملکرد ایندیگوکارمین در چین اول در شرایط مصرف ورمی کمپوست، کود دامی، شیمیایی و میکوریزا نسبت به



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر عملکرد ایندیگوکارمین و سمه طی دو چین
Figure 5- Mean comparisons for the effect of manure treatment on Indigocarmin yield indigo at two cuttings

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند ($p \leq 0.05$).

* Means with the same letter(s) have not significantly difference based on Duncan's test ($p \leq 0.05$).

نشد (شکل‌های ۳ و ۵). بالاتر بودن عملکرد برگ در چین دوم (جدول ۶) احتمالاً به دلیل تحریک تولید جوانه‌های جانبی موجب افزایش ۵۶ درصدی عملکرد ایندیگوکارمین در چین دوم در مقایسه با چین اول شد (جدول ۶).

با توجه به اینکه کاربرد ورمی کمپوست بالاترین وزن خشک برگ را نسبت به سایر منابع تغذیه‌ای تولید نمود (شکل ۵)، در نتیجه این تیمار بیشترین عملکرد ایندیگوکارمین را به خود اختصاص داد. البته از نظر هر دو صفت عملکرد برگ و عملکرد ایندیگوکارمین تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کودی ورمی کمپوست و کود دامی مشاهده

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این مطالعه مصرف منابع تغذیه‌ای آلی همچون کود دامی و ورمی کمپوست را به دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی می‌توان برای بهبود رشد و سمة مدنظر قرار داد که این امر علاوه بر بهبود عملکرد کمی و کیفی، می‌تواند در درازمدت نیز علاوه بر کاهش آلودگی‌های زیست محیطی تحت تأثیر افزایش آبشویی و در نتیجه کاهش تلفات عناصر غذایی، موجب بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها و حرکت به منظور نیل به پایداری در بوم‌نظام‌های کشور می‌شود.

به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که اثر سطوح آبیاری بر مبنای ظرفیت زراعی خاک به‌طور معنی‌داری خصوصیات رشدی و عملکرد کمی و کیفی گیاه و سمة را در چین‌های اول و دوم تحت تأثیر قرار داد. بر این اساس، با توجه به محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک و تولید مطلوب عملکرد کمی و کیفی با توجه به میزان آب مصرفی در تولید این گیاه دارویی-صنعتی، می‌توان کاهش مقدار آبیاری بر مبنای ۸۰ درصد ظرفیت زراعی را برای تولید قابل قبول عملکرد کمی و کیفی اعمال نمود.

References

1. Aliabadi Farahani, H., Valadabadi, S. A., Daneshian, J., and Khalvati, M. A. 2009. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. Journal of Medicinal Plants Research 3 (5): 329-333.
2. Alizade, A. 2011. Design of irrigation systems: Designed surface irrigation systems. Emam Reza University Publications, Mashhad, Iran. 452 pp. (in Persian).
3. Aminghafouri, A. 2014. Evaluation of seed production potential of perennial *Ziziphora* in low input cropping system. PhD Thesis, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
4. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J. D. 2005. Influence of vermicompost on field strawberries. Bioresource Technology 93: 145-153.
5. Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Sulber, S., and Metzger, J. D. 2001. Pig manure vermin compost as component of a horticultural bedding plant medium: effect on physiochemical properties and plant growth. Bioresources Technology 78: 11-20
6. Balandari, A. 2011. Study some echophysiological characteristics and investigation on cultivation aspects of dwarf chicory (*Cichorium pumilum* Jacq.) in Mashhad. PhD Thesis, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
7. Carruba, A., La Torre, R., and Matranga, A. 2002. Cultivation trials of aromatic and medicinal plants in semiarid Mediterranean environment. Proceeding of International Conference on MAP. Acta Horticulturae 576: 207-216
8. Chanayath, N., Lhieochaiphant, S., and Phutrakul, S. 2002. Pigment extraction techniques from the leaves of *Indigofera tinctoria* Linn. and *Baphicacanthus cusia* Brem. and chemical structure analysis of their major components. Chiang Mai University Journal of Natural of Sciences 1 (2): 149-160.
9. De-Abreu, I. N., and Mazzafera, P. 2005. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. Plant Physiology and Biochemistry 43: 241-248
10. Gutiérrez-Miceli, F. A., Moguel-Zamudio, B., Abud-Archila, M., and Dendooven, L. 2008. Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation. Bioresource Technology 99: 7020-7026.
11. Khazaie, H. R., Nadjafi, F., and Bannayan, M. 2008. Effect of irrigation frequency and planting density on herbage, biomass and oil production of theme (*Thymus vulgaris*) and hyssop (*Hyssopus officinalis*). Industrial Crop Production 27: 315-321.
12. Hendawy, S. F., Ezz El-Din, A. A., Aziz, E., and Omer, E. A. 2010. Productivity and oil quality of *Thymus vulgaris* L. under organic fertilization conditions. Ozean Journal of Applied Sciences 3: 203-216.
13. Kızılkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecological Engineering 33: 150-156.
14. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008a. Application effects of biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6 (2): 285-294. (in Persian with English abstract).
15. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008b. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6 (3): 758-766. (in Persian with English abstract).
16. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G. A., Seyedi, S. M., and Azizi, H. 2015. Effects of different

- levels of animal manure and bulb weights on yield and yield components of caraway (*Bunium persicum* Bioss.). Journal of Plant Production 22 (4): 133-155. (in Persian with English abstract).
17. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Aminghafouri, A., and Shabahang, J. 2013. Effects of biofertilizers and different water volumes in each irrigation on vegetative characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Agroecology 5 (2): 93-104. (in Persian with English abstract).
18. Koocheki, A., Tabrizi, L., and Nassiri Mahallati, M. 2007. The effects of irrigation intervals and manure on quantitative and qualitative characteristics of *Plantago ovata* and *Plantago psyllium*. Asian Journal of Plant Sciences 6 (8): 1229-1234.
19. Koocheki, A., Tabrizi, L., and Nassiri Mahallati, M. 2004. Organic cultivation of *Plantago ovata* and *Plantago psyllium*. Iranian Journal of Field Crops Research 2 (1):67-79. (in Persian with English abstract).
20. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Azimi, R. 2013. The effect of irrigation intervals and intercropped marjoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus*) on possible cooling effect of corm for climate change adaptation. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (3): 390-400. (in Persian with English abstract).
21. Lee, J. 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. Scientia Horticulture 124: 299-305.
22. Liuc, J., and Pank, B. 2005. Effect of vermicompost and fertility levels on growth and oil yield of Roman chamomile. Scientia Pharmaceutica 46: 63-69.
23. Mao, J., Olk, D. C., Fang, X., He, Z., and Schmidt-Rohr, K. 2008. Influence of animal manure application on the chemical structures of soil organic matter as investigated by advanced solid-state NMR and FT-IR spectroscopy. Geoderma 146: 353-362.
24. Norozpoor, G., and Rezvani Moghaddam, P. 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essence percentage of black cumin (*Nigella sativa*). Pajouhesh and Sazandegi 73: 133-138. (in Persian with English abstract).
25. Omer, E. A., Ahmed, S. S., Ezz-El-Din, A. A., and Fayed, T. B. 1998. Seed yield of *Silybum marianum* L. as affected by row spacing and fertilization in new reclaimed lands of Egypt. Egyptian Journal of Horticulture 25: 281-293.
26. Pramod, K., Tyagi Vishnu, K., Rai Ashish, S., Sambath, K., Yogendra, S., Manoj, S., and Manoj, G. 2010. Preliminary phytochemical screening and evaluation of anti-inflammatory activity of ethanolic extract of leaves of *Indigofera tinctoria* Linn. Journal of current Pharmaceutical Research 3 (1): 47-50.
27. Rezvani Moghaddam, P., Aminghafouri, A., Bakhshai, S., and Jafari, L. 2013. Effect of different manure on *Satureja hortensis* L. Iranian Journal of Field Crops Research 43: 27-33. (in Persian with English abstract).
28. Rezvani Moghaddam, P., Akbar Abadi, M., and Hassanzadeh Aval, F. 2015. Effects of different manure and sowing data on yield and yield component of (*Calendula officinalis* L.). Journal of Agroecology 6 (4): 730-740.
29. Sabet Teimouri, M. 2013. Ecological characteristics if Gol-e-Arvane (*Hymenocrater platystegius*) in natural habitats and evaluation of possibility for domestication under low input cropping system. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
30. Saied Nejad, A. H., and Rezvani Moghaddam, P. 2010. Effect of compost, vermicompost and cow manure on yield and yield component of (*Cuminum cyminum*). Journal of Agriculture 24 (2):142-148. (in Persian with English abstract).
31. Sajadi Nik, R., and Yadavi, A. R. 2013. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indices, phonological stages and grain yield of sesame. Science and Natural Resources 6 (2): 73-99. (in Persian with English abstract).
32. Sales, R., Kanhonou, C., Baixauli, A., Giner, D., Cooke, K., Gilbert, I., Arrillaga, J. S., and Ros, R. 2006. Sowing date, transplanting, plant density and nitrogen fertilization affect indigo production from *Isatis* species in a Mediterranean region of Spain. Industrial Crops and Products 23: 29-39.
33. Sallaku, G., and Shaalan, M. N. 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian Journal of Agriculture Research 83: 811-825.
34. Shabahang, J., Khoramdel, S., Siahmarguee, A., and Gheshm, R. 2013. Evaluation of integrated management of organic manure application and mycorrhiza inoculation on growth criteria, qualitative and essential oil yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under Mashhad climatic conditions. Journal of Agroecology 6 (2): 353-363. (in Persian with English abstract).
35. Stoker, K. G., Cooke, D. T., and Hill, D. J. 1998. An improved method for the large-scale processing of woad (*Isatis tinctoria*) for possible commercial production of woad indigo. Journal of Agricultural Engineering Research 71: 315-320.
36. Tabrizi, L. 2005. Effect of water stress and manure on quantitative and qualitative characteristics of Psyllium.

- M.Sc. Thesis, Faculty Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Iran. (in Persian with English abstract).
37. Vessey J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant and Soil* 255: 571-586.
38. Warriar, P. K., Nambiar, V. P. K., and Ramankatty, C. 2007. *Indian Medicinal Plants*. Published by Universities Press (India) Orient Longman Private Limited.
39. Yazdani, A., Naderi, R., Fazeli, A., and Bahrani, M. J. 2015. Effect of planting methods and seeding rates on yield of alfalfa (*Medicago sativa* L.) CV. Hamedani in Bajgah, Fars Province. *Journal of Crop Production and Processing* 5 (15): 167-175. (in Persian with English abstract).
40. Zamanyan, M. 2009. Assessment and comparison of potential forage yield of red clover cultivars. *Journal of Seed and Plant Improvement* 1: 1-25. (in Persian with English abstract).



The Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Qualitative and Quantitative Yield of Indigo (*Indigofera tinctoria* L.) at Irrigation Levels under Bam Climatic Conditions

N. Modafe Behzadi¹ - P. Rezvani Moghaddam^{2*} - M. Jahan³

Received: 09-04-2016

Accepted: 23-11-2016

Introduction

Medicinal plants are valuable resources in a wide range that scientific identification, cultivation, development and proper utilization of them can have very important role in community health, employment and non-petrol exports. Quality of medicinal plants is more important than other crops. The impact of environmental factors is significant on quality and quantity of medicinal plants. Among the environmental effective factors, irrigation and manure can be managed. Drought is considered as one of the most important factors that limited plant production in arid and semi-arid areas, where such areas are subjected to a wide range of climate variations. Water deficit stresses, permanent or temporary, limits the growth and distribution of natural vegetation and yield of cultivated plants more than any other environmental factor. Under water limitation conditions, yield of plants depend on water available content and water use efficiency. Indigo carmine is considered as a highly toxic indigoid dye. Indigo blue dye's main component is indigotine which is extracted from the leaves of indigo. *Indigo carmine* is also one of the oldest dyes and it is still one of the most used in textile industry. The aims of this study were evaluation of qualitative and quantitative criteria of indigo (*Indigofera tinctoria* L.) under Bam climatic conditions.

Materials and Methods

An experiment was conducted as strip plot based on a randomized complete block design with three replications at the Bam, Iran, during growing seasons of 2012-2013. Four nutrient resources (such as NPK, cow manure vermicompost, Mycorrhiza and control) and three drought stress levels based on %FC (including 100, 80 and 60 percent) were considered as experimental factors. Plant height, canopy diameter, number of branches, dry weight of leaf, dry weight of, dry yield of shoots (above ground matter), indigocarmin content and indigocarmin yield of indigo were measured and calculated.

Results and Discussion

The results showed that at the first and second cuttings, the highest dry weight of leaf (with 751.11 and 769.24 g m⁻², respectively) and indigocarmin yield (with 4.62 and 4.66 g.m⁻², respectively) were observed for vermicompost. Increasing soil water content from 60 to 100% FC at the first and second cuttings caused to increase dry weight of leaf (with 37 and 100%, respectively). Decreasing soil water content caused to reduce the dry matter yield of indigo and these highest yields were obtained in 100% FC with 1589.3 and 1829.3 g m⁻², respectively. Also, increasing soil water content from 60 to 100% FC caused that indigocarmin content and indigocarmin yield increased with 36 and 18%, respectively. Relationship between soil nutrients and metabolic processes of medicinal plants causes to change of yield quantity or secondary metabolites contents. Therefore, we determined that the best growth condition for indigo was observed for manure and irrigation based on 80% FC.

Conclusions

It was concluded that cow manure could be a good choice for decreasing chemical fertilization application.

Keywords: Bam, Cow manure, Indigocarmin, Medicinal Plant, Mycorrhiza, Vermicompost

1- Ph.D. Student of Agronomy (Crop Ecology), Faculty of Agriculture, International Campus, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)



تأثیر بقایای گیاهان در دو نوع بافت خاک بر ویژگی‌های خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای رقم NS640 در نظام کشاورزی کم شخم

عین اله حسامی^۱ - محسن جهان^{۲*} - مهدی نصیری محلاتی^۳ - روزبه فرهودی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۴

چکیده

حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و استفاده از نظام کم شخم که از اصول مهم پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی است، در افزایش پایداری عملکرد ذرت می‌تواند تأثیرگذار باشد. به منظور بررسی حفظ بقایای گیاهان و اختلاط آنها با خاک دو مزرعه دارای بافت متفاوت بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و اجزای عملکرد دانه ذرت رقم NS640، آزمایشی طی سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی شوشتر انجام شد. این به‌صورت تجزیه مرکب در یکسال و دو مکان در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار بررسی شد و دو مزرعه با خاک لومی‌رسی و لومی‌شنی به‌عنوان مکان و کشت قبل از ذرت شامل کشت باقلا، گندم، کلزا، کلم و آیش در قالب تیمارهای آزمایش بررسی شدند. نتایج نشان داد که در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری خاک تیمار دارای بقایای گیاهی گندم در بافت خاک لومی رسی بیشترین میزان کربن آلی (۰/۸۰ درصد) را داشت و پس از آن تیمارهای دارای بقایای گیاهی باقلا و کلزا در یک گروه معنی‌داری قرار گرفتند. تیمار شاهد بدون گیاه در بافت خاک لومی‌شنی، کمترین میزان کربن آلی خاک (۰/۳۶ درصد) را داشت. در عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری نیز بیشترین درصد کربن آلی در خاک لومی رسی دارای بقایای گندم با ۰/۴۸ درصد وجود داشت و بعد از آن تیمارهای دارای بقایای گیاهی باقلا، کلزا و کلم به‌ترتیب با ۰/۴۴، ۰/۴۲ و ۰/۳۹ بودند. در بافت لومی رسی میزان رطوبت خاک در تیمارهای برگرداندن گیاه گندم، کلزا و باقلا به‌ترتیب ۲۱/۳، ۲۰/۴ و ۲۰/۵ درصد بود، در حالی که برگرداندن بقایای کلم در مقایسه با شاهد (۱۲/۹ درصد) تأثیر معنی‌داری بر درصد رطوبت خاک نداشت. در بین تیمارهای برگرداندن بقایای گیاهی در خاک لومی‌شنی، تیمارهای شاهد و کلم با مقدار ۰/۲۳ و ۰/۲۱۲ درصد کربن آلی، کمترین مقدار ماده آلی را داشتند. تیمارهای برگرداندن بقایای گیاهی باقلا در دو نوع بافت خاک لومی‌رسی و لومی‌شنی به‌ترتیب با ۱۰۱۲۸/۶ و ۹۵۴۷/۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه و تیمار شاهد در بافت لومی‌شنی با ۶۱۱۱ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه ذرت را به‌دنبال داشتند. به‌طور کلی، بقایای گیاهی باقلا در زراعت ذرت در هر دو نوع بافت خاک لومی‌رسی و لومی‌شنی تأثیر معنی‌دار بر عملکرد دانه ذرت و همچنین بهبود برخی ویژگی‌های کیفی خاک داشت.

واژه‌های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری، شاخص برداشت، کربن آلی

مقدمه

درازدت تأمین نماید، برای نمونه شیوه‌هایی از کم‌خاک‌ورزی اجرا شود که موجب بهبود کیفیت خاک شده و آب‌فرسایی و بادفرسایی را کاهش دهد (Abbasi et al., 2010).

ذرت محصولی یک‌ساله و مهم در خوزستان می‌باشد که با گیاهانی نظیر سبزیجات، گندم، باقلا (*Vicia faba* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.) و شبدر (*Trifolium striatum* L.) در تناوب قرار می‌گیرد. سالیانه مقادیر زیادی از بقایای گیاهی از مزارع ذرت خوزستان خارج می‌گردد که از برگشت مقدار زیادی مواد آلی به خاک ممانعت به‌عمل آورده و سبب کاهش حاصلخیزی خاک می‌گردند. استان خوزستان با وجود برخورداری از خاک‌های فقیر از نظر مواد آلی خاک و کمبود آب به‌خصوص در سال‌های کم‌آب، از نظر

کیفیت خاک در کشاورزی مرسوم بر اثر عملیات خاک‌ورزی کاهش می‌یابد. از این‌رو، در کشاورزی پایدار باید نگرش‌ها و فعالیت‌هایی مدنظر باشد که باروری و کیفیت مناسب خاک را در

۱- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی (اگرواکولوژی)، پردیس بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد

۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استادیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر
(Email: jahan@um.ac.ir) (*- نویسنده مسئول)

میزان تولید و سطح زیر کشت ذرت در سال‌های مختلف حائز رتبه برتر بین سایر استان‌های ایران بوده است. باوجود اهمیت این محصول در خوزستان و محتوای ناچیز مواد آلی در خاک، از پتانسیل‌های مثبت حفظ بقایای کشت قبلی در افزایش مواد آلی خاک و حفظ رطوبت خاک به‌منظور افزایش عملکرد ذرت کمتر استفاده می‌شود و هنوز سوزاندن بقایا و اجرای روش‌های خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار، مهمترین روش برای کشت ذرت می‌باشد. از یک‌سو، نظر به اهمیت کشت ذرت در خوزستان و ضرورت افزایش مواد آلی خاک و حفظ رطوبت در خاک، و از سوی دیگر، نبود اطلاعات کافی در خصوص رابطه میان بافت خاک و نوع گیاهان پیش‌کاشت در شرایط کم‌شخم با برخی ویژگی‌های خاک و خصوصیات رشدی ذرت، پژوهش حاضر طراحی و اجرا شد.

سالیانه مقادیر قابل ملاحظه‌ای از عناصر معدنی خاک به‌صورت محصول و خیلی بیشتر از آن به‌صورت بقایای گیاهی از زمین‌های کشاورزی خارج می‌گردد. با خروج حجمی عظیم از مواد گیاهی، منابع تأمین انرژی و مواد غذایی به‌ویژه مواد آلی در خاک به‌تدریج دچار نقصان می‌شود. بازگشت بقایای گیاهی به خاک به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک از ارکان مهم و اجتناب‌ناپذیر پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی است (Sheikh Hosyni et al., 2006). افزایش شدت عملیات خاک‌ورزی، موجب کاهش مواد آلی خاک می‌شود، در صورتی که کاهش شدت آن همراه با اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک موجب افزایش مواد آلی و دستیابی به توازن مناسب مواد آلی خاک می‌گردد. افزایش مواد آلی خاک از مهمترین عوامل تأثیرگذار در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است و عاملی مهم در جهت تولید پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک که میزان مواد آلی خاک کم است، به‌شمار می‌آید. از طرف دیگر، افزودن مواد آلی مانند کودهای دامی و کمپوست در زراعت‌هایی مانند گندم و ذرت از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و راه چاره، برگشت بقایای گیاهی حاصله از تناوب به خاک به روش علمی می‌باشد.

اثر زراعت بر محصول بعدی در تناوب به عواملی همچون گونه گیاهی، طول دوره رشد گیاه، میزان رطوبت خاک، نوع شخم، روش آبیاری، میزان مصرف کود نیتروژنه در زراعت، میزان برگشت بقایای محصول به خاک و کیفیت بقایای برگشتی به خاک بستگی دارد (Soon et al., 2001). نوع گیاهان کشت شده در سال‌های قبل می‌تواند از طریق ایجاد شرایط متفاوت در خاک (فراهمی نیتروژن، ماده آلی، حجم آب قابل دسترس) موجب بهبود عملکرد گیاه بعدی شود (Miller et al., 2002). تحقیقات بیانگر آن است که محتوای بالای نیتروژن در گیاهان خانواده بقولات به‌علاوه‌ی تثبیت نیتروژن توسط آن‌ها در افزایش میزان نیتروژن کل خاک مؤثر می‌باشد (Maiksteniene et al., 2004). به‌عنوان مثال، میزان نیتروژن کل حاصل از برگرداندن بقایای منداب به خاک نسبت به ماشک تفاوت

معنی‌داری ندارد، در حالی که از مقدار نیتروژن کل حاصل از سورگوم علوفه‌ای بیشتر است (Koocheki et al., 1997). گیاهان سریع‌الرشد نظیر خردل (*Brassica alba* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.) و منداب (*Eruca sativa* L.) هنگام برگرداندن در خاک سریع تجزیه شده و از این‌رو تأثیر کمی بر افزایش محتوای ماده آلی خاک خواهند داشت، در حالی که نیتروژن ذخیره شده در اندام‌های گیاهی به خاک برگشته و به‌صورت قابل استفاده در اختیار گیاه بعد از خود قرار می‌گیرد (Koocheki et al., 1997).

به‌منظور حفظ ماده آلی در خاک ضرورت دارد که برهم زدن خاک به‌وسیله خاک‌ورزی تنها به هنگام ضرورت انجام شود و تا حد امکان از عملیات حفاظتی استفاده شود. با چنین عملیاتی قسمت اعظم بقایای گیاهی در سطح یا نزدیک سطح خاک باقی‌مانده و از این‌رو سرعت تجزیه آنها کاهش می‌یابد (Koocheki et al., 2007). برای مدیریت حاصلخیزی خاک در نظام‌های تولید پایدار و ارگانیک، تولیدکنندگان معمولاً گیاهان پوششی مناسبی را برای استفاده از بقایای گیاهی آنها و یا انواع کودهای آلی را استفاده می‌کنند. کاربرد ضایعات و بقایای گیاهی در خاک یک روش مناسب برای نگهداری ماده آلی خاک، به‌سازی خاک‌های فرسوده و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان است (Celik et al., 2007). در پژوهشی تأثیر سه روش خاک‌ورزی (حداقل خاک‌ورزی با حفظ بقایای گیاهی، حداقل خاک‌ورزی بدون وجود بقایای گیاهی و خاک‌ورزی مرسوم) بر کیفیت و عملکرد دانه ذرت و گندم طی پنج سال بررسی شد، نتایج این پژوهش نشان داد که کاهش خاک‌ورزی با حفظ بقایای گیاهی، عملکرد و کیفیت محصول را بهبود می‌بخشد (Ghuman and Sur, 2001). بررسی‌ها نشان داد که عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) به ازای افزایش هر ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار پسماند گندم، پنج تا هشت درصد افزایش یافت (Wicks et al., 1994). باقی گذاشتن کامل بقایای گندم زمستانه و ذرت در سطح خاک (عدم خاک‌ورزی) و کاشت هر دو گیاه گندم و ذرت در این مقدار بقایا سبب بهبود رشد، عملکرد گیاه زراعی و کارایی مصرف آب شد (Jin et al., 2009). نتایج آزمایشی که در آن اثر حفظ ۰، ۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد بقایای گیاهی گندم بر عملکرد ذرت مورد بررسی قرار گرفت، نشان داد که بیشترین عملکرد ذرت به میزان ۱۵/۷۳ تن در هکتار هنگامی که ۲۵ تا ۵۰ درصد بقایای گندم در خاک باقی ماند، مشاهده شد (Bahrani et al., 2007).

با توجه به اهمیت بررسی تأثیر گیاهان پیش‌کشت و بافت خاک بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین بررسی تأثیر این عوامل بر عملکرد دانه ذرت پژوهش حاضر انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات بقایای گیاهی گیاهان در شرایط شخم کاهش یافته در دو نوع بافت خاک بر ویژگی‌های زراعی گیاه ذرت دانه‌ای رقم NS640، این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ در دو مزرعه با بافت متفاوت واقع در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی شوشتر واقع در ۲ و ۳ درجه عرض شمالی و ۱۴ و ۴۹ درجه طول شرقی با ارتفاع ۶۷ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به صورت تجزیه مرکب در یکسال و دو مکان بر پایه طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. عامل اصلی دو مزرعه با دو نوع خاک لومی رسی و لومی شنی و عامل فرعی گیاهان پیش کاشت شامل: باقلا، گندم، کلزا، کلم و آیش (به عنوان شاهد) بودند.

مزارع آزمایشی قبل از کشت گیاهان، زیر آیش بودند. برخی ویژگی‌های خاک این دو مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است. مزارع مورد آزمایش در فصل زراعی زیر کشت گیاهان پیش کاشت گندم رقم چمران، کلزا رقم هایولا ۴۰۱، باقلا رقم شاخ بزی و کلم گل در شرایط کشاورزی کم شخم بود (جهت خاک‌ورزی فقط از دو دیسک

عمود بر هم استفاده شد). در زمان برداشت، محصول آن‌ها برداشت شده و بقایای گیاهی در مزرعه باقی ماند و شاهد به صورت آیش رها شد. برداشت گیاهان از اواسط اردیبهشت تا اواسط خرداد بسته به نوع محصول انجام شد. در کرت آیش (شاهد) علف‌های هرز توسط وجین دستی کنترل شدند.

بعد از برداشت گیاهان، زمین هیرم کاری شده و بعد از گاورو شدن، بقایای گیاهی با یک دیسک سبک با خاک مخلوط گردید. عملیات کشت ذرت در ۱۵ تیرماه انجام شد. بذور ذرت رقم NS640 با فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی متر و فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی متر (تراکم حدود ۸۰ هزار بوته در هکتار) توسط ردیف کار پنوماتیک کشت شد. ابعاد هر کرت ۸ متر در ۶ متر بود که شامل ۷ خط کشت ۶ متری بود. در طول فصل رشد عملیات داشت شامل آبیاری انجام شد. هیچ گونه کود شیمیایی یا دامی به خاک اضافه نشد و در کرت‌های مربوط به تیمار بدون کاشت گیاه پیش کشت، به طور مرتب علف‌های هرز وجین و کنترل شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil

مکان Site	بافت خاک soil Texture	درصد کربن آلی OC (%)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC (dS m ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترسی Available K (ppm)	فسفر قابل دسترسی Aavailable P (ppm)	اسیدیته pH
مزرعه ۱ Farm 1	لومی رسی Loamy clay	0.42	3.6	126	8	7.6
مزرعه ۲ Farm 2	لومی شنی loamy Sand	0.39	3.2	109	5	7.7

بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

پس از کاشت ذرت در اواسط فصل رشد و ابتدای مرحله کاکل دهی^۱ جهت بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق‌های ۰-۱۵ و ۳۰-۱۵ سانتی متری نمونه برداری انجام شد. از ۴ نقطه هر کرت نمونه‌گیری شد و در نهایت نمونه مرکب برای هر کرت به دست آمد. نمونه‌های خاک به طور جداگانه هوا خشک شده و از الک دو میلی متری عبور داده شدند.

کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون کربن آلی توسط دی کرومات پتاسیم در مجاورت اسیدسولفوریک غلیظ صورت گرفت و سپس توسط آمونیم فروسولفات نیم نرمال در مجاورت معرف

ارتوفانتروپین با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (Walkly and Black, 1934). نیتروژن خاک در آزمایشگاه به روش کجلدال بررسی شد (Page, 1982). نسبت کربن به نیتروژن از تقسیم کردن کربن آلی به نیتروژن خاک محاسبه گردید (Page, 1982). برای مشخص نمودن میزان رطوبت ذخیره شده در خاک، در اواسط فصل رشد ذرت از تمامی کرت‌ها (همه تکرارها) نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها در پاکت نالیونی قرار داده شد تا از هرگونه تبخیر و کاهش رطوبت اولیه در طول انتقال به آزمایشگاه جلوگیری به عمل آید. پس از آن نمونه‌ها وزن شده و در ظروف آلومینیومی مخصوص و از قبل توزین شده، قرار داده شدند. ظروف آلومینیومی به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند (Haji Abbasi, 2006). پس از آن ظروف حاوی خاک خشک مجدداً توزین شدند و در نهایت با

1- Silking

رطوبت ۱۴ درصد، به طور تصادفی بلال های ۱۰ بوته برداشت شدند و وزن شدند. سپس میانگین دانه های خشک شده بلال وزن و از حاصل ضرب عملکرد بلال و تعداد بلال در متر مربع عملکرد دانه در متر مربع به دست آمد. عملکرد از طریق محاسبه تراکم بوته در هر کرت و سپس تناسب آن با یک هکتار محاسبه شد. پس از به دست آوردن عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه، برای تعیین شاخص برداشت از معادله ۳ استفاده شد (Asoodar et al., 2006).

$$HI = \frac{EY}{BY} \cdot 100 \quad (3)$$

HI = شاخص برداشت، EY = عملکرد اقتصادی، BY = عملکرد بیولوژیک است.

در زمان برداشت دانه ذرت، مجموع میزان نیتروژن دانه - ساقه - برگ به روش کج‌لدال تعیین شد و برای محاسبه درصد پروتئین گیاه، درصد نیتروژن موجود در گیاه در عدد ثابت ۶/۲۵ ضرب گردید (Ericson et al., 1993).

تجزیه واریانس و مقایسات میانگین صفات مورد بررسی توسط نرم افزار آماری SAS Ver.9/2 و رسم شکل ها با استفاده از نرم افزار MS Excel Ver. 12 صورت گرفت. مقایسه میانگین ها با آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

استفاده از معادله ۱ درصد رطوبت وزنی خاک هر نمونه محاسبه شد.

$$\theta\% = \frac{W_w - W_s}{W_s} \cdot 100 \quad (1)$$

W_w = وزن خاک مرطوب، W_s = وزن خاک خشک، θ = درصد وزنی رطوبت خاک است.

برای اندازه گیری جرم مخصوص ظاهری خاک، ابتدا جرم مخصوص ظاهری اولیه خاک در چند نقطه اندازه گیری و متوسط آن برای عمق های مختلف به دست آمده و پس از آن جرم مخصوص ظاهری خاک توسط معادله ۲ محاسبه شد:

$$D = \frac{P}{V} \quad (2)$$

D = وزن مخصوص ظاهری بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب، P = جرم نمونه خشک خاک بر حسب گرم، V = حجم استوانه نمونه برداری خاک بر حسب سانتی متر مکعب است.

برای اندازه گیری عملکرد دانه ابتدا با حذف حاشیه، مساحت دو مترمربع از هر تیمار در هر تکرار به طور تصادفی انتخاب و بوته های موجود در این سطح به دقت کفبر شدند. پس از انتقال به آزمایشگاه و جهت تعیین عملکرد ماده خشک ابتدا نمونه ها به طور جداگانه وزن و داخل آون گذاشته شد. بعد از طی ۲۴ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس، نمونه ها دوباره توزین شدند. برای تعیین عملکرد دانه با

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات بقایای گیاهی گیاهان در بافت دو مزرعه در نظام کم شخم بر خصوصیات زراعی ذرت رقم NS640

Table 2- Analysis of variances (mean of squares) of the effects of plant residues and soil texture on corn yield cultivar NS640

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	پروتئین گیاه Protein content	شاخص برداشت Harvest index
بافت خاک Soil texture	1	10.89 **	1.83 ^{ns}	49.50 **	5.12 ^{ns}
خطای الف Ea	6	241366.54	674567.4	0.83	9.09
بقایای گیاه Residues	4	116.32 **	108.41 **	117.56 **	17.46 **
بافت خاک × بقایای گیاه Soil texture * residues	4	5.30 *	4.24 **	10.31 **	4.37 *
خطای ب Eb	24	10794.53	312308.9	0.46	1.811
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	4.04	3.15	17.89	2.94

^{ns}, * و **: غیرمعنی دار و معنی دار به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and ** are non significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و شاخص برداشت ذرت

عملکرد دانه ذرت به طور معنی داری تحت تأثیر اثر متقابل بقایای گیاهان پیش کشت با بافت خاک بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که

عملکرد دانه ذرت در مزرعه لومی رسی ۴ درصد بیشتر از مزرعه لومی شنی بود. این موضوع به دلیل حاصلخیزتر بودن مزرعه لومی رسی نسبت به مزرعه شنی بود. عملکرد دانه ذرت در مزرعه لومی رسی توسط بقایای گل کلم، کلزا و باقلا افزایش معنی دار داشت

پوششی ماشک گل خوشه‌ای و چاودار عملکرد ذرت را نسبت به شاهد بدون گیاه پوششی افزایش داد (Kuo and Jellum, 2002). به علت اینکه در بقولاتی نظیر ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) نسبت کربن به نیتروژن پایین است، خیلی سریع در خاک تجزیه شده و باعث همزمانی آزاد شدن نیتروژن از بقایای گیاهی با تقاضای گیاه زراعی برای این عنصر می‌شود. عملکرد دانه ذرت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برگرداندن بقایای گیاهی قرار گرفت و بیشترین میزان عملکرد دانه ذرت به گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای تعلق داشت و دلیل این موضوع به تثبیت نیتروژن توسط ماشک گل خوشه‌ای نسبت داده شد (Clark *et al.*, 1998). حضور بقایا بر کارایی استفاده از نیتروژن تأثیر مثبت دارد، به‌طوری که حضور بقایای گندم و کلزا به دلیل داشتن نسبت بالای کربن به نیتروژن، مقدار نیتروژن قابل استفاده را کاهش می‌دهد (Silgram and Chambers, 2002) و کاهش عملکرد دانه را به دنبال دارد.

شاخص برداشت ذرت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل گیاه پیش‌کشت و مکان آزمایش بود (جدول ۲). شاخص برداشت ذرت در مزرعه لومی‌رسی به‌طور معنی‌دار بیشتر (۴ درصد) از مزرعه لومی‌شنی بود (جدول ۳).

اما عملکرد دانه در تیمار شاهد با تیمار بقایای گندم تفاوت معنی‌داری نداشت در حالی که در مزرعه شنی بقایای کلیه گیاهان پیش‌کشت باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت شدند. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر بافت خاک و بقایای گیاهی بر عملکرد دانه ذرت معنی‌دار بود (جدول ۲). تیمارهای برگرداندن بقایای گیاهی باقلا در دو نوع بافت خاک لومی رسی و لومی شنی به‌ترتیب با ۱۰۱۲۸/۶ و ۹۵۴۷/۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه و تیمار شاهد در بافت لومی شنی با ۶۱۱۱ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه ذرت را داشت (جدول ۳).

در تیمار افزودن بقایای گیاهی گندم به خاک لومی شنی در مقایسه با خاک لومی رسی، به دلیل درصد رطوبت کم و جرم مخصوص ظاهری زیاد و از طرفی افزایش نسبت کربن به نیتروژن و کمی نیتروژن خاک (جدول ۴)، عملکرد ذرت کمتر است (جدول ۲). بسیاری از محققین افزایش عملکرد دانه ذرت در شرایطی که بقایای گیاهی در خاک حفظ شده‌اند را گزارش نموده‌اند و این افزایش عملکرد را عمدتاً ناشی از تأثیر مثبت بقایای روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین و محتوای رطوبتی خاک بیان نموده‌اند (Sayer *et al.*, 2001, Limon-Ortega *et al.*, 2002).

جدول ۳- اثر متقابل بقایای گیاهی و بافت خاک بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد پروتئین و شاخص برداشت ذرت رقم NS640
Table 3- Effects of plant residues and soil type on corn grain yield, biological yield, plant tissue protein content and harvest index of corn cultivar NS640

تیمار Treatment		عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	محتوای پروتئین گیاه Plant tissue protein content (%)	شاخص برداشت Harvest index (%)
بافت خاک Soil texture	نوع بقایای گیاهی Plant residue types				
لومی رسی Loamy clay	باقلا bean	10128.6 a	20498 a	7.6 a	49.397 a
	گندم wheat	7653.0 c	16220 d	3.9 d	47.24 b
	کلزا canola	8649.4 b	19125 b	6.5 b	46.1 bc
	کلم cabbage	8220.8 b	17552 c	5.3 c	46.8 bc
	شاهد fallow	7216.5c	16015 d	0.6 e	45.07 c
لومی شنی loamy sand	باقلا bean	9547.9 a	19998 a	5.8 b	47.7 b
	گندم wheat	6706.3 c	15295 c	1.4 d	43.8 cd
	کلزا canola	8702.3 b	18855 b	5.6 b	45.22 c
	کلم cabbage	8237.8 b	18544 b	0.90 e	44.41 cd
	شاهد fallow	6111 d	14965 c	0.1 f	40.82 d

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند
Similar letters in each column and each factor show non-significant at 5% level of probability

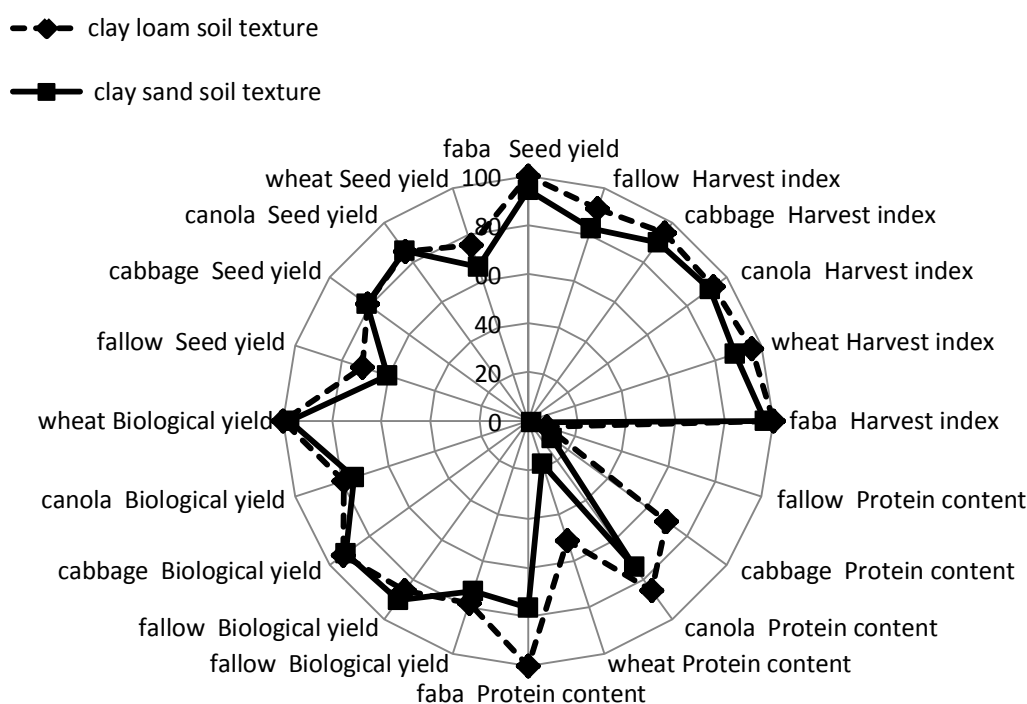
نشان داد که کلیه تیمارهای برگرداندن بقایای گیاهی در بافت خاک لوم رسی به همراه تیمار دارای بقایای گیاهی باقلا در بافت خاک لوم شنی، بیشترین درصد شاخص برداشت را داشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. دیگر تیمارهای برگرداندن بقایای گیاهی در بافت خاک

در بخش‌های قبل نیز دیده شد که عملکرد دانه ذرت در خاک لومی رسی به مراتب بهتر از خاک لومی شنی بود و به همین دلیل نیز در این بخش مشاهده شده است که شاخص برداشت ذرت در مزرعه لومی رسی بالاتر از مزرعه لومی شنی می‌باشد. نتایج آزمایش حاضر

برخی صفات اختلاف بین این دو نوع بافت خاک از نظر تأثیر بر صفت مورد مطالعه چشمگیر نبود (مثل عملکرد دانه کلزا، عملکرد دانه کلم، عملکرد بیولوژیک گندم، عملکرد بیولوژیک کلم، شاخص برداشت باقلا و شاخص برداشت کلزا). تنها در مورد عملکرد بیولوژیک ذرت تحت آیش، بافت خاک شنی رسی برتری اندکی نشان داد. تأثیر دو نوع بافت خاک بر صفت محتوای پروتئین، بیشتر از سایر صفات مشهود بود.

لومی شنی و تیمار شاهد کمترین درصد شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). دلیل افزایش آن را می‌توان بالا بودن درصد رطوبت و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک دانست (شکل ۱).

نتایج جدول ۳ به‌طور نسبی و بر مبنای درصد در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل ۱ نشان می‌دهد که به‌طور کلی و با در نظر گرفتن کلیه صفات زراعی مورد مطالعه ذرت، خاک با بافت لوم رسی نسبت به خاک با بافت شنی رسی برتری داشت، هرچند که برای



شکل ۱- تغییرات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، محتوای پروتئین گیاه و شاخص برداشت ذرت کشت شده در بقایای باقلا، گندم، کلزا، کلم و آیش، در دو نوع بافت خاک لومی رسی و شنی رسی. (مبنای مقایسه برای عملکرد دانه باقلا، برای عملکرد بیولوژیک گندم، برای محتوای پروتئین و شاخص برداشت، باقلا بود)

Figure 1- Changes in grain yield, biological yield, plant protein content and harvest index of corn cultivated in the remains of beans, wheat, canola, cabbage and fallow, in two sandy clay and clay loam soils. (Bean was the basis of comparison for bean yield, wheat biological yield, protein content and harvest index)

رسی بسیار بالاتر از نمونه مشابه در مزرعه لومی شنی بود به طوری که بالاترین درصد پروتئین گیاه ذرت با کاربرد بقایای باقلا و در مزرعه لومی رسی یافت شد. در این آزمایش دیده شد که تجمع عناصر مغذی در خاک لومی رسی بیشتر از خاک لومی شنی بود و احتمالاً همین افزایش عناصر باعث افزایش میزان نیتروژن و پروتئین ذرت در مزارع لومی رسی بوده است. از طرف دیگر عنصر نیتروژن اصلی‌ترین

پروتئین کل گیاه

نتایج نشان داد که درصد پروتئین گیاه به‌طور معنی‌داری متأثر از اثر متقابل تیمارهای پیش کشت با مکان‌های آزمایشی بودند (جدول ۲). بقایای گیاهان زراعی پیش کشت باعث افزایش معنی‌دار درصد پروتئین گیاه ذرت در هر دو مزرعه شدند و افزایش درصد پروتئین گیاه ذرت توسط بقایای گیاهان زراعی پیش کشت در مزرعه

خاک، از نظر تأثیر بر کلیه صفات دیگر (کربن آلی، نیتروژن خاک، رطوبت خاک و نسبت کربن به نیتروژن) خاک با بافت لومی رسی نسبت به خاک با بافت شنی رسی برتری داشت و این برتری در ویژگی‌هایی چون کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن، بارزتر از سایر ویژگی‌ها بود.

به‌منظور مقایسه دقیق‌تر نتایج آزمایش، نتایج ارائه شده در شکل ۲، به‌صورت مقایسه‌های مطلق و به‌همراه حروف مربوط به معنی‌داری و یا غیرمعنی‌داری مقایسات آماری در جدول ۵ آورده شده‌اند. تیمار دارای بقایای گیاهی گندم در بافت خاک لومی رسی بیشترین میزان کربن آلی (۰/۸۰ درصد) را داشت و پس از آن تیمارهای دارای بقایای گیاهی باقلا و کلزا در یک گروه آماری قرار گرفتند. تیمار شاهد بدون گیاه در بافت خاک لومی رسی، کمترین میزان کربن آلی خاک (۰/۳۶ درصد) را داشت (جدول ۵). نتایج حاضر با نتایج مطابقت دارد (Wright et al., 2004) و (Heydari et al., 2004) مطابقت دارد.

تفاوت در مقادیر محتوای کربن آلی دو خاک ناشی از تفاوت در بافت آنها است، زیرا ایجاد کمپلکس‌های آلی - معدنی در خاک‌های با بافت سنگین باعث افزایش نگهداری مواد آلی در خاک می‌شود (Pare et al., 1999). مقدار کربن خاک، حاصل برهمکنش نوع بقایای گیاهی و ستاده‌های تجزیه میکروبی و آبشویی است که به نوبه خود تحت تأثیر اقلیم و رژیم‌های خاکی و ترکیب گیاه و میکروارگانیسم‌ها در زمان، تغییر می‌یابد (Varamesh et al., 2009). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد کربن آلی خاک در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر خاک در هر دو نوع بافت خاک لومی رسی و لومی شنی تحت تأثیر نوع بافت خاک و نوع گیاهان در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های این صفات نشان داد که بیشترین درصد کربن آلی در خاک لومی رسی دارای بقایای گندم با ۰/۴۸ درصد و بعد از آن تیمارهای دارای بقایای گیاهی باقلا، کلزا و کلم به‌ترتیب با ۰/۴۴، ۰/۴۲ و ۰/۳۹ وجود داشت (جدول ۵). در خاک لومی شنی، تیمارهای شاهد و کلم با مقدار ۰/۲۳ و ۰/۲۱ درصد کربن آلی، کمترین مقدار ماده آلی را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

میزان نیتروژن خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع بافت خاک بر میزان کل نیتروژن خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر معنی‌دار نبود، اما اثر نوع بقایای گیاهی بر میزان کل نیتروژن خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در هر دو نوع بافت خاک لومی رسی و لومی شنی، تیمار بقایای گیاهی باقلا در عمق خاک ۱۵-۰ سانتی‌متری، دارای بیشترین میزان کل نیتروژن (۰/۱۲۱ درصد در خاک لومی رسی) و (۰/۱۲۲ درصد در خاک لومی شنی) بود (جدول ۵). تیمارهای بقایای

عنصر در ساختار پروتئین‌ها می‌باشد بنابراین در جایی که وفور نیتروژن باشد تولید پروتئین را نیز می‌تواند در پی داشته باشد. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نوع بقایای گیاهی در هر دو نوع خاک لومی رسی و لومی شنی بر درصد پروتئین کل گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). گیاه ذرت در تیمار دارای برگرداندن بقایای گیاهی باقلا در نوع بافت خاک لومی رسی در مقایسه با سایر تیمارها، درصد پروتئین گیاه بیشتری (۷/۶ درصد) داشت و پس از آن تیمار بقایای گیاهی کلزا با ۶/۵ درصد بیشترین میزان پروتئین بافت ذرت را به خود اختصاص داد (جدول ۳). به دلیل وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای بقایا از لحاظ پروتئین گیاه، به نظر می‌رسد که سهم بقایا در آزاد نمودن تدریجی نیتروژن و به دنبال آن افزایش پروتئین گیاه و عملکرد دانه می‌تواند مؤثر باشد. نتایج پژوهشی با هدف بررسی تأثیر کاربرد ماشک و یولاف بر خصوصیات خاک و عملکرد ذرت، نشان داد که برگشت بقایای ماشک به‌طور قابل توجهی میزان پروتئین بافت ذرت را افزایش داد (Astier et al., 2006).

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که برآیند اثر متقابل بافت خاک و نوع گیاه پیش کاشت بر خصوصیات خاک و عملکرد دانه ذرت مثبت بود (جدول ۴). برگشت بقایای گیاهی باقلا در هر دو نوع بافت خاک، عملکرد دانه ذرت را بهبود بخشید (جدول ۳) که دلیل آن را می‌توان تثبیت و افزایش نیتروژن خاک توسط باقلا و کاهش نسبت کربن به نیتروژن در خاک بیان نمود (جدول ۵). همچنین به نظر می‌رسد که سهم بقایای باقلا در آزاد نمودن تدریجی نیتروژن به خصوص در اواخر فصل رشد ذرت، در افزایش محتوای پروتئین و عملکرد آن مؤثر بوده است.

یکی از دلایل اصلی کاهش عملکرد دانه ذرت در تناوب با گیاهان کلزا و گندم (جدول ۳) می‌تواند بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن خاک باشد (جدول ۵). علاوه بر نسبت کربن به نیتروژن بالا، از دیگر دلایل احتمالی آن می‌توان به اثرات دگرآسیبی بقایای کلزا یا بقایای گندم اشاره کرد (کرامبرگر و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین، در شرایط مزرعه‌ای، نوع و مقدار بقایای گیاهی و بافت خاک در بهبود کیفیت خاک و افزایش عملکرد دانه ذرت نقش دارد. با اعمال مدیریت‌های زراعی مشابه، علاوه بر نیل به اهداف اقتصادی تولید، حرکت در راستای اهداف کشاورزی پایدار و کم‌نهاد نیز ممکن خواهد شد.

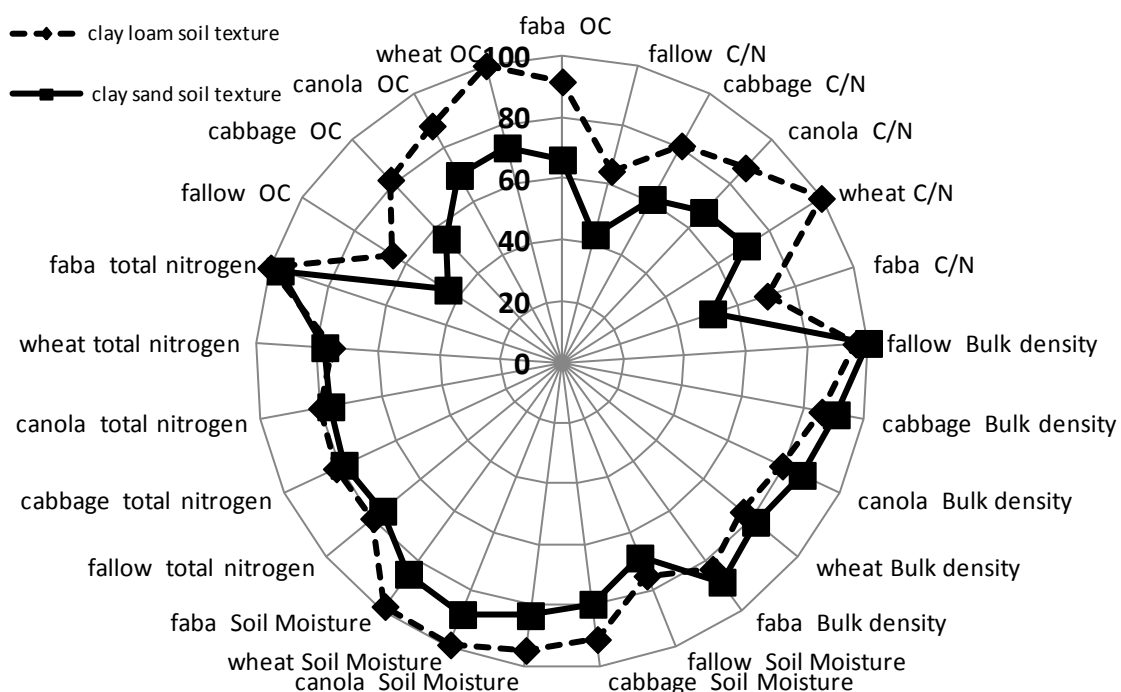
کربن آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع بافت خاک و نوع بقایای گیاهی بر میزان کربن آلی خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر خاک در سطح احتمال آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، به‌جز چگالی ظاهری

سانتی متری نشان داد که تیمار دارای بقایای گیاهی باقلا در بافت لومی رسی بیشترین میزان نیتروژن خاک (۰/۰۹۶ درصد) را داشت و سایر تیمارهای آزمایشی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که افزودن بقایای گیاهی گندم به خاک هر چند سبب افزایش مقدار نیتروژن خاک می شود، اما بیشترین میزان نیتروژن خاک تحت تأثیر برگرداندن بقایای گیاهی بقولات مانند پونجه است، زیرا بقایای گیاهی گندم علاوه بر اینکه دیرتر تجزیه و عناصر مغذی آنها آزاد می شود و به اندازه بقایای گیاهی بقولات که زودتر تجزیه می شوند غنی از نیتروژن نیستند (Sheikh Hosyni et al., 2006).

گیاهی گندم، کلزا، کلم و شاهد در هر دو نوع بافت خاک در یک گروه آماری قرار داشتند و کمترین میزان کل نیتروژن خاک را دارا بودند (جدول ۵). گزارش شده است که بقایای یونجه بیشترین مقدار نیتروژن و بقایای گیاهی گندم و تیمار بدون بقایا، کمترین میزان نیتروژن دارد (Sheikh Hosyni et al., 2006).

تجزیه واریانس داده های میزان کل نیتروژن خاک در عمق ۱۵-۳۰ سانتی متری نشان داد که میزان کل نیتروژن خاک تحت تأثیر نوع بقایای گیاهی و نوع خاک در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف آماری معنی دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین داده ها برای هر دو نوع بافت خاک لومی رسی و لومی شنی در عمق ۱۵-۳۰



شکل ۲- تغییرات کربن آلی خاک، نیتروژن کل خاک، میزان رطوبت خاک، چگالی ظاهری خاک و نسبت کربن به نیتروژن بقایای باقلا، گندم، کلزا، کلم و آیش، در دو نوع بافت خاک لومی رسی و شنی رسی. (مبنای مقایسه برای کربن آلی گندم، برای نیتروژن کل باقلا، برای میزان رطوبت گندم، برای چگالی ظاهری آیش و برای نسبت کربن به نیتروژن، گندم بود)

Figure 2- Changes of soil organic carbon, soil total nitrogen, soil moisture content, soil bulk density and carbon to nitrogen ratio of beans, wheat, canola, cabbage remains and fallow, on two sandy clay and clay loam soils. (Wheat was the basis of comparison for wheat organic carbon, total nitrogen of beans, moisture content of wheat, bulk density for fallow and the ratio of carbon to nitrogen)

جدول ۴- تجزیه واریانس برخی خصوصیات فیزیکی خاک در اواسط فصل رشد ذرت در اعماق مختلف خاک مزرعه
Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of some physical properties of at the middle of growing corn season at soil depth

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	درصد کربن الی OC (0-15)	درصد کربن الی OC 15-30	کل نیتروژن Total nitrogen 0-15	کل نیتروژن Total nitrogen 15-30	نسبت کربن به نیتروژن C/N 0-15	نسبت کربن به نیتروژن C/N 15-30	جرم مخصوص ظاهر Bulk density g/cm ³ 0-15	جرم مخصوص ظاهر Bulk density 15-30	درصد رطوبت عمق Soil Moisture% 0-15	درصد رطوبت Soil Moisture% 15-30
بافت خاک Soil texture	1	201.65 **	25.57 **	0.31 ns	6.41 *	32.3 *	33.7 *	9.07 *	22.06 *	46.27 *	05.0 ns
خطای الف Ea	6	0.00090	0.0042	0.00028	0.00006	1.01	0.68	0.0059	0.0064	071.2	44.2
بقایای گیاه Residues	4	63.02 **	9.91 **	23.38 *	4.8 *	48.9 **	7.26 **	51.39 **	14.4 **	5.27 **	6.20 **
بافت خاک × بقایای گیاه Soil texture × residues	4	1.87 ns	1.09 *	0.16 ns	0.59 *	2.66 ns	0.77 ns	0.68 ns	1.40 ns	2.01 ns	10.1 ns
خطای ب Eb	24	0.002	0.001	0.00010	0.00002	0.55	0.24	0.0016	0.0034	0.951	26.0
ضرب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.4	9.3	11.2	5.7	10.9	11.4	3.0	3.8	7.1	8.4

ns, * and ** are non significant and differences at 5 and 1% probability levels, respectively.
* و ns: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۵- اثر متقابل بقایای گیاهی و بافت خاک بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مرحله اواسط رویش ذرت
Table 5- Effects of plant residues and soil type on Physical and chemical properties of soil at the middle of growing corn

تیماژ	درصد کربن	درصد کربن آلی	کل نیتروژن	نسبت کربن به نیتروژن	نسبت کربن به نیتروژن	جرم مخصوص ظاهری	جرم مخصوص ظاهری	درصد رطوبت خاک	درصد رطوبت خاک
Treatment	OC (%)	OC (%)	Total nitrogen (%)	C:N	C:N	Bulk density g cm ³	Bulk density g cm ³	Soil Moisture% 0-15	Soil Moisture% 15-30
باقلا	0.73300 b	0.447 ab	0.121 a	6.2 c	4.65 b	1.28 cd	1.48 d	20.5 ab	14.5 a
Bean									
گندم	0.80600 a	0.484 a	0.074 b	10.8 a	5.6 a	1.19 e	1.34 e	21.3 a	14.9 a
Wheat									
کرتا	0.71950 bc	0.421 ab	0.0813 b	8.8 b	5.2 ab	1.25 cd	1.37 de	20.4 ab	13.7 b
Canola									
کلم	0.66850 c	0.39 ab	0.0875 b	7.6 b	5.1 ab	1.33 c	1.52 c	bc 16.9	13.7 b
Cabbage									
شاهد	0.42375 d	0.38 b	0.0837 b	5.05 c	4.6 b	1.44 b	1.74 a	17.8 c	10.21 c
Fallow									
باقلا	0.59200 cd	0.285 d	0.122 a	5.01 c	3.17 d	1.37 bc	1.56 c	17.85 c	13.85 b
Bean									
گندم	0.62700 c	0.324 c	0.082 b	7.6 b	4.02 b	1.23 cd	1.48 d	15.76 bc	14.7 a
Wheat									
کرتا	0.58925 cd	0.321 c	0.084 b	7.005 b	3.9 c	1.33 c	1.53 c	14.8 bc	14.02 ab
Canola									
کلم	0.50900 d	0.23 e	0.087 b	5.8 c	3.8 c	1.39 bc	1.62 b	16.86 c	13.47 b
Cabbage									
شاهد	0.35950 e	0.212 e	0.087 b	4.1 d	2.7 e	1.54 a	1.77 a	12.9 d	10.7 c
Fallow									

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.
Similar letters in each column show non-significant differences at 5% level of probability

درصد) را داشت (جدول ۵). بالا بودن محتوای کربن نسبت به نیتروژن در گندم دلیلی بر افزایش نسبت کربن به نیتروژن است و زیر خاک کردن بقایای گیاهی گندم و کلزا سبب کاهش معنی‌دار نیتروژن خاک و افزایش ناگهانی کربن آلی خاک می‌شود (Farhoodi et al., 2007).

جرم مخصوص ظاهری خاک

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار نوع بافت خاک و نوع بقایای گیاهی بر جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری بود (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار افزودن بقایای گندم در خاک لومی رسی کمترین میزان جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر (۱/۱۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب) را داشت و تیمار شاهد بدون افزودن بقایای گیاهی در بافت لومی شنی با جرم مخصوص ظاهری ۱/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، بیشترین جرم مخصوص ظاهری خاک را به خود اختصاص داد و سایر تیمارهای آزمایش از نظر جرم مخصوص ظاهری در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). نوع و میزان بقایای گیاهی در خاک می‌تواند سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شود (Zhang et al., 2007). برگرداندن بقایای گیاهی به خاک به مرور زمان سبب افزایش مواد آلی خاک و بهبود دانه‌بندی و ساختمان خاک‌دانه‌ها می‌شود که این موضوع منجر به کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌گردد (Farhoodi et al., 2007).

جرم مخصوص ظاهری نوع بافت خاک در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری در تیمارهای افزودن بقایای گیاهی گندم و کلزا در خاک لومی رسی کمترین میزان را داشت (۱/۳۴ و ۱/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و تیمار بدون افزودن بقایای گیاهی در هر دو نوع خاک لومی رسی و لومی شنی دارای بیشترین میزان جرم مخصوص و ظاهری خاک بود (جدول ۵). کمترین وزن مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری مشاهده شد و با افزایش عمق، وزن مخصوص ظاهری خاک نیز افزایش یافت. با افزایش عمق خاک، مقدار مواد آلی خاک، نیتروژن کل خاک و مقدار فسفر خاک کاهش می‌یابد (Azimzadeh et al., 2011).

درصد رطوبت خاک

اثر نوع بافت خاک و نوع بقایای گیاهی بر درصد رطوبت خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در بافت لومی رسی میزان رطوبت خاک در تیمارهای

بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن گیاهان پوششی مثل گندم می‌تواند دلیلی بر مصرف نیتروژن موجود در خاک جهت تجزیه بقایای گیاهی و در نهایت سبب کاهش عملکرد گردد (Jahan et al., 2014) با برگرداندن بقایای گیاهانی مانند گندم و کلزا به خاک میزان نیتروژن خاک کاهش می‌یابد که دلیل اصلی آن بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن در این گونه بقایا است. میکروارگانیسم‌های خاک برای تجزیه مواد آلی و ادامه فعالیت، علاوه بر کربن به نیتروژن نیاز دارند و این نیتروژن را در درجه اول از خاک تأمین می‌کنند. با افزایش کربن آلی خاک و تشدید فعالیت میکروارگانیسم‌ها، نیاز آنها به نیتروژن افزایش یافته و میزان زیادی از نیتروژن خاک توسط آنها جذب می‌گردد (Farhoodi et al., 2007).

نسبت کربن آلی به نیتروژن خاک

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نسبت کربن آلی به نیتروژن خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر به طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع بافت خاک و بقایای گیاهی قرار گرفت (جدول ۴).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار دارای بقایای گیاهی گندم در بافت خاک لومی رسی، بیشترین نسبت کربن به نیتروژن را به میزان ۱۰/۸ داشت و در بافت لومی شنی تیمار بدون بقایای گیاهی با نسبت کربن به نیتروژن ۴/۱، کمترین میزان نسبت کربن آلی به نیتروژن را داشتند (جدول ۵). بیان شده که درصد نیتروژن در بقایای یونجه، ۲/۹۸ درصد بود که بیش از ۲/۸ برابر نیتروژن بقایای ذرت (۱/۰۴ درصد) می‌باشد (Sheikh Hosyni et al., 2006). بنابراین، به نظر می‌رسد که نسبت کربن به نیتروژن و نیز نسبت لیگنین به نیتروژن نقش اصلی در میزان نیتروژن خاک‌های تیمار شده توسط بقایای گیاهی مختلف دارد (Vigil et al., 1991). همچنین با تقسیم مقادیر همی سلولز، سلولز و لیگنین بر نیتروژن کل هریک از بقایای گیاهی ترتیب همی سلولز به نیتروژن، سلولز به نیتروژن و لیگنین به نیتروژن به گونه‌ای گردید که بیشترین مقادیر آنها متعلق به ذرت می‌باشد (Sheikh Hosyni et al., 2006).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک اثر نوع بافت خاک و بقایای گیاهی بر نسبت کربن آلی به نیتروژن خاک به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار حفظ بقایای گیاه گندم در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر در خاک لومی رسی بیشترین نسبت کربن به نیتروژن را به میزان ۵/۶ درصد و پس از آن تیمار افزودن بقایای گیاهی کلزا و کلم به ترتیب با ۵/۲ و ۵/۱ درصد به خود اختصاص دادند. در بافت لومی شنی تیمار شاهد بدون افزودن بقایای گیاهی، کمترین میزان نسبت کربن آلی به نیتروژن (به میزان ۲/۷

تیمارهای بقایای گیاهی گندم و باقلا در خاک لومی رسی و تیمار گیاه گندم و کلزا در خاک لومی شنی به ترتیب با ۱۴/۹، ۱۴/۵، ۱۱/۷ و ۱۴/۲ درصد بیشترین رطوبت خاک را داشتند (جدول ۵). گزارش شده است که افزایش بقایا در شرایط حفاظتی سبب افزایش معنی دار رطوبت خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متر شد (Safari et al., 2012). بیان شده است که مقدار رطوبت خاک تابعی از وزن مخصوص ظاهری و پوشش خاک با بقایای گیاهی است (Cavalaris et al., 2002).

نتیجه گیری

به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که بافت خاک لومی رسی نسبت به خاک لومی شنی از نظر اکثر ویژگی های مورد بررسی برتری داشت به طوری که در بافت لومی رسی و وجود بقایای گیاهی باقلا نسبت به شاهد ۷۵ درصد افزایش نیتروژن داشته و عملکرد دانه در این نوع تیمار به مقدار ۱۰۱۲۸/۶ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، همان طور که انتظار می رفت برگرداندن بقایای باقلا، به عنوان یک لگوم تثبیت کننده نیتروژن، بیشترین تأثیر را بر ویژگی های رشدی ذرت و خصوصیات کیفی خاک داشت.

برگرداندن گیاه گندم، کلزا و باقلا به ترتیب ۲۱/۳، ۲۱/۴ و ۲۰/۵ درصد بود در حالی که برگرداندن بقایای کلم در مقایسه با شاهد تأثیر معنی داری بر درصد رطوبت خاک نداشت (افزایش ۱۲/۹ درصدی) (جدول ۵). بقایای گیاهی همانند سدی در سطح خاک عمل کرده و باعث کاهش رواناب شده و همچنین سبب افزایش نفوذ آب در خاک شده و در نتیجه رطوبت خاک را افزایش می شوند (Abbasi et al., 2010). برخی نتایج بیانگر وجود تفاوت معنی دار در میانگین رطوبت وزنی خاک بین تیمارهای دارای کاه و کلش و بدون کاه کلش است که علت آن وجود بقایا بر سطح و درون خاک به عنوان مانعی برای رسیدن اشعه خورشید به خاک دانسته شده است که به نوبه خود تبخیر آب را کاهش داده و در نتیجه سبب افزایش رطوبت ذخیره شده در خاک می گردد (Cavalaris et al., 2002).

مقایسه درصد رطوبت در دو نوع بافت خاک نشان داد که در هر دو عمق مورد مطالعه، بیشترین درصد رطوبت خاک مربوط به خاک با بافت لومی رسی بود (جدول ۵) و دلیل آن این است که این نوع بافت خاک کربن آلی بیش تر و جرم مخصوص ظاهری کمتر نسبت به خاک با بافت لومی شنی دارد که خود دلیلی بر تبخیر کمتر و کاهش رواناب در خاک با بافت لومی رسی است.

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر نوع بقایای گیاهی بر درصد رطوبت خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۴).

References

- Abbasi, F., and Asoodar, M. A. 2010. The effect of stem cutting and a variety of post-harvest tillage on physical properties. Journal of Agricultural Engineering, Soil Science and Agricultural Machinery, Chamran University Press, 33 (2): 25-38.
- Azimzadeh, M., and Koocheki, A., and Pala, M. 2011. Effect of different tillage methods on bulk density, soil moisture content and yield of wheat under dryland conditions. Journal of Agronomy Sciences of IRAN. 4 (3): 209-225.
- Astier, M., Maass, J. M., Etchevers-Barra, J. D., Pena, J. J., and De Leon Gonzalez, F. 2006. Short-term green manure and tillage management effects on maize yield and soil quality in an Andisol. Soil and Tillage Research 88: 153-159.
- Asoodar, M. A. Bakhshandeh, A. M., Afraseabi, H., and Shafeinia, A. 2006. Effects of press wheel weight and soil moisture at sowing on grain yield. Agronomy Journal 4: 39-47.
- Bahrani, M., Raufat, M. B., and Ghadiri, H. 2007. Influence of wheat residue management on irrigated corn grain production in a reduced tillage system. Soil and Tillage Research 94: 305-309.
- Cavalaris, C. K., and Gemtos, T. A. 2002. Evaluation of four conservation tillage methods in the sugar beet crop. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript LW 01 008, 4: 1-24.
- Clark, A. J., Decker, A. M., Meisinger, J. J., and McIntosh, M. S. 1997. Kill date of vetch, rye, and a vetchrye mixture. I. Cover crop and corn nitrogen. Agronomy Journal 89: 427-434.
- Celik, I., Ortas, I., and Kilic, S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil and Tillage Research 78: 59-67.
- Ericson, N. A. 1993. Quality and storability in relation to fertigation of apple trees cv. Summerred. Acta Horticulture 326: 73-83.
- Farhoodi, R., Cheche, M., and Majnon Hussein, N. 2007. Effect of wheat residue management on soil properties and on sunflower yield in double cropping system. Iranian Journal of field crop Science 39 (1): 11-21.
- Ghuman, B. S., and Sur, H. S. 2001. Tillage and residue management effects on soil properties in a direct drill tillage system. Soil and Tillage Research 42: 209-219.

12. Haji Abbasi, M., Bsalt pour, A., and Malale, A. R. 2006. Effect of conversion of grasslands to agricultural lands on the physical and chemical characteristics of soils in the south and southwest. *Journal of Water and Soil Science: Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 11 (42): 525-534.
13. Heydari, A. 2004. Soil fertility improvement by stubles management and soil tillage in grain corn wheat rotation system. *Proceedings of 8th Soil Sciences Congress of Iran*.
14. Jahan, M., Amir, M. B., Shabahang, J., Ahmadi, F., and Solymani, F. 2014. The effects of winter cover crops and plant growth promoting Rhizobacteria on some soil fertility aspects and crop yield in an organic production system of *Ocimum basilicum* L. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11 (4): 562-572.
15. Jin, H., Qingjie, W., Hongwen, L., Lijin, L., and Huanwen, G. 2009. Effect of alternative tillage and residue cover on yield and water use efficiency in annual double cropping system in North China Plain. *Soil and Tillage Research* 104: 198-205.
16. Koocheki, A., Nakhforosh, A. R., and Zarif Ketabi, H. 1997. *Organic farming*. Ferdowsi University of Mashhad Press. 331Pp.
17. Koocheki, A., and Khajeh Hosseini, M. 2007. *Modern agriculture*. Ferdowsi University of Mashhad Press.
18. Kuo, S., and Jellum, E. J. 2002. Influence of winter cover crop and residue management on soil nitrogen availability and corn yield. *Agronomy Journal* 94: 501-508.
19. Limon-Ortega, A., Sayer, K. D., Drijber, R. A., and Francis, C. A. 2002. Soil attributes in a furrow- irrigated bed planting system in north-west Mexico. *Soil and Tillage Research* 63: 123-132.
20. Maiksteniene, S., and Arlauskiene, A. 2004. Effect of preceding crops and green manure on the fertility of clay loam soil. *Agronomy Research* 2 (1): 87-97.
21. Miller, P., McConkey, B., Clayton, G., Brandt, S., Baltensperger, D., and Neil, K. 2002. Pulse crop adaptation in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 94: 261-272.
22. Pare, T., and Gregorich, E. G. 1999. Soil texture effects on mineralization of nitrogen from crop residues and the added nitrogen interaction. *Communications in soil science and plant analysis* 14 (6): 463-469.
23. Page, A. L. 1982. *Methods of Soil Analysis*. Agronomi 9, ASA, SSSA, Madison, Wiscosin, USA.
24. Safari, A., Asoodar, M. A., Qasmynzhad, M., and Abdali Mashhadi, A. 2012. Effect of residue management, different conservation tillage and seeding on soil physical properties and wheat grain yield. *Knowledge of sustainable agricultural production* 23 (2): 49-59.
25. Sayer, K. D., Mezzalama, M., and Martinez, M. 2001. Tillage, crop rotation and crop residue management effects on maize and wheat production for rainfed conditions in Altiplane of central Mexico. *CIMMYT*.
26. Sheikh Hosseini, A., and Nurbkhsh, F. 2006. The Effect of soil and plant residues on net nitrogen mineralization. *Pajouhesh and sazanegi* 75: 127-133.
27. Silgram, M., and Chambers, B. J. 2002. Effects of longterm straw management and fertilizer nitrogen additions on soil nitrogen supply and crop yields at two sites in eastern England. *Journal of Agricultural Sciences* 139: 115-127.
28. Soon, Y. K., Clayton, G. W., and Rice, W. A. 2001. Tillage and previous effects on dynamics of nitrogen in a wheat-soil system. *Agronomy Journal* 93: 842-849.
29. Varamesh, S., Hosseini, S. M., Abdi, N., and Akbarinia, M. 2009. Effect of afforestation to increase carbon sequestration and improving soil characteristics, *Journal of the forest* 35: 25-1.
30. Vigil, M. F., and Kissel, D. E. 1991. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. *Soil Science. Society of American Journal* 55: 757-761.
31. Walkly, A., and Black, I. A. 1934. *An Experimentation of Data*. 39pp.
32. Wicks, G. A., Crutchfield, D. A., and Burnside, O. C. 1994. Influence of wheat (*Triticum aestivum*) straw mulch and metolachlor on corn (*Zea mays*) growth and yield. *Weed Science* 42: 141-147.
33. Wright, A. L., Hons, F. M., Lemon, R. G., McFarland, M. L. and Nichols, R. L. 2007. Stratification of nutrients in soil for different tillage regimes and cotton rotations. *Soil. Till. Res.* 96: 19-27.
34. Zhang, G. S., Chan, K. Y., Oates, A., Heenan, D. P., and Huang, G. B. 2007. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. *Soil and Tillage Research* 92: 122-128.



Effects of Plant Residues in Two Types of Soil Texture on Soil characteristics and corn (*Zea mays* L.) NS640 Yield in a Reduced -Tillage cropping System

E. Hesami¹- M. Jahan^{2*}- M. Nassiri-Mahallati³- R. Farhoudi⁴

Received: 06-06-2016

Accepted: 03-01-2017

Introduction

The impact of agronomy on the subsequent product in rotational cropping systems depends on factors such as plant type, duration of crop growth, soil moisture content, tillage type, irrigation method, the amount of nitrogen fertilizer, quantity and quality of returned crop residues to the soil. Prior cultivated crops improve the next crop yield by causing different conditions (nitrogen availability, organic matter and volume of available water) in soil. This study was conducted due to importance of corn cultivation in Khuzestan and necessity of increasing the soil organic matter, moisture conservation and in the other hand the lack of sufficient information about the relationship between soil texture, type of preparatory crop in low-tillage condition and some soil characteristics and corn growth habits. The purpose of this experiment was to evaluate the effect of residue of preparatory crops in low plowing condition in two soil types on corn yield and some soil characteristics.

Materials and Methods

This experiment was carried out at Shooshtar city located in Khuzestan province. An experiment was performed by combined analysis in randomized complete block design in two fields and in two consecutive years with four replications. Two kinds of soil texture including: clay loam and clay sand. Five preparatory crops including: broad bean, wheat, canola, cabbage and fallow as control assigned as sub plots. SAS Ver. 9.1 statistical software was used for analysis of variance and comparison of means. Graphs were drawn using MS Excel software. All means were compared by Duncan test at 5% probability level.

Results and Discussion

The soil texture and the type of preparatory crop influenced the characteristics of the soil and corn grain yield. Returning the broad bean residue into two types of soil caused the highest grain yield of corn 10128.6 and 9547.9 kg ha⁻¹, respectively. The control treatment in sandy loam texture had the lowest corn seed yield (6111 kg.ha-1). Therefore, in these conditions, amount of plant residues and soil texture have played an important role in improving the soil quality and corn yield, which would be lead to economic objectives of sustainable and low input and cost production. Treatment of broad bean residues in depth of 0-15 cm resulted to the highest total nitrogen of 0.121% in clay loam soil and 0.122% in loam sand soil. The return of broad bean plant residues in both soil types improved corn grain yield which can be attributed for fixing and increasing the soil nitrogen by broad bean and decrease the ratio of carbon to nitrogen in soil. It seems that the contribution of broad bean residues released nitrogen gradually, particularly at the end of corn growing season.

The results showed that treatment of wheat residues in clay loam soil had the highest carbon to nitrogen ratio (8.10%), and in sandy loam soil, treatment without plant residues had the lowest ratio of carbon to nitrogen (1.4%). Increased carbon/nitrogen ratio was the result of high ratio of carbon content to nitrogen in wheat. Burying the remains of wheat and canola led to significant decrease in soil nitrogen during growing season and a sudden increase in soil organic carbon.

Mean comparisons showed that adding wheat residues to clay loam soil had the lowest soil bulk density in depth of 0-15 cm (1.19 g cm⁻³) and treatment of control (no adding plant residues) to sandy loam soil had the highest soil bulk density (1.54 g cm⁻³). The lowest soil bulk density was observed in depth of 0-15 cm and with increase in depth, soil bulk density increased, too. It seems that high percentage of the soil moisture can lead to low soil bulk density. Combination of clay loam soil with wheat, canola and broad bean residues caused soil moisture content of 21.3%, 20.4% and 20.5%, respectively, while returning the residue of cabbage did not have a

1- PhD Student, Ferdowsi University of Mashhad, International Campus- Dep. of Agronomy and Plant Breeding

2 and 3- Associate Professor and Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Agriculture, Dep. of Agronomy and Plant Breeding

4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Shoushtar Branch, Shoushtar, Iran

(*- Corresponding Author Email: jahan@um.ac.ir)

significant influence on soil moisture in comparison with control (12.9%).

Conclusions

In general, mixture of broad bean residues with both soil types had the positive effects on corn yield and soil characteristics compared to other crop residue.

Acknowledgment: We thank the supports of Deputy of Research and Technology, Ferdowsi University of Mashhad.

Keywords: Bulk density, Harvest index, Organic carbon



ارزیابی نشانگرهای مبتنی بر رتروترنسپوزون‌ها در شناسایی مکان‌های مرتبط با صفات مهم زراعی و مقاومت به بیماری پوسیدگی اسکلروتینیایی یقه ساقه در آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.) تحت شرایط مزرعه‌ای

رشید پاک نیا^۱ - فرج اله شهریار^{۲*} - رضا درویش زاده^۳ - سعید ملک زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۱

چکیده

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یکی از گیاهان دانه روغنی است. پوسیدگی طوقه یکی از مهمترین بیماری‌های آفتابگردان در دنیا می‌باشد که در شرایط محیطی مناسب باعث از بین رفتن کل محصول می‌شود. در این مطالعه به منظور تجزیه ارتباطی صفات مهم زراعی و مقاومت به قارچ اسکلروتینیا (*Sclerotinia sclerotiorum*) تعداد ۱۰۰ لاین خالص آفتابگردان روغنی در مزرعه‌ای در روستای وقاصلو سفلی از توابع شهرستان ارومیه در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ در ۲ تکرار کشت شدند. پنج بوته از هر ژنوتیپ در هر تکرار با جدایه قارچی جمع‌آوری شده از گیاهان آفتابگردان آلوده همان مزرعه در سال قبل تلقیح شدند. صفات درصد پیشرفت آلودگی قارچی بعد از ۴، ۸ و ۱۲ روز، وزن صد دانه گیاه آلوده نشده، وزن صد دانه گیاه آلوده شده، عملکرد گیاه آلوده نشده، عملکرد گیاه آلوده شده، افت وزن صد دانه و افت عملکرد ارزیابی شدند. از طرفی پروفیل مولکولی جمعیت با ۲۸ آغازگر مبتنی بر رتروترنسپوزون (۷ جفت آغازگر IRAP و ۷ جفت آغازگر REMAP) تهیه شد. تجزیه ساختار ژنتیکی جمعیت به‌عنوان پیش نیاز تجزیه ارتباط با روش بیزین منجر به شناسایی ۲ زیر جمعیت شد. در تجزیه ارتباط بر اساس مدل خطی مخلوط (MLM)، ۲۷ نشانگر رتروترنسپوزونی مرتبط با صفات مورد مطالعه شناسایی شدند. بیشترین تعداد نشانگر برای صفات درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۴ روز و عملکرد تک بوته گیاه آلوده شده شناسایی شد. در این مطالعه چندین مکان مشترک برای صفات مورد مطالعه شناسایی شد. وجود نشانگرهای مشترک در میان برخی صفات بررسی شده می‌تواند ناشی از اثرات پلیوتروپی و یا پیوستگی نواحی ژنومی دخیل در کنترل این صفات باشد. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه اطلاعات ارزشمندی در زمینه مبنای ژنتیکی صفات مورد مطالعه ارائه می‌دهد که از این اطلاعات می‌توان در برنامه‌های مختلف و از جمله انتخاب به کمک نشانگر (MAS) در آفتابگردان استفاده نمود. می‌توان با توالی‌یابی مکان‌هایی که تغییرات قابل توجهی از صفات را توجیه می‌نمایند، ژن‌های کدکننده مقاومت به بیماری و صفات مهم زراعی را شناسایی نمود.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، ساختار جمعیت، عدم تعادل لینکازی، نشانگرهای مولکولی، نقشه‌یابی ارتباطی

مقدمه

جمله چهار محصول مهم دانه روغنی است که برای استحصال روغن خوراکی کشت می‌شود. روغن آفتابگردان به دلیل داشتن مقدار زیادی اسید چرب لینولئیک و فقدان کلسترول از مرغوبیت بالایی برخوردار است (Onemli and Gucer, 2010). در سال‌های اخیر روغن آفتابگردان به‌طور فزاینده برای اهداف صنعتی نیز استفاده می‌شود. سطح زیر کشت گیاه در دنیا ۲۵ میلیون هکتار و تولید سالیانه در حدود ۳۶ میلیون تن است (FAO). بیماری‌ها عامل اصلی محدودیت تولید آفتابگردان در دنیا می‌باشند و این گیاه میزبان بیش از ۴۰ بیمارگر می‌باشد (Gulya et al., 1997). عمده بیماری قارچی که به‌طور قابل توجهی باروری آفتابگردان را در شرایط محیطی مناسب کاهش

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) با $2n=2x=34$ متعلق به خانواده Asteraceae می‌باشد و همراه با سویا، کلزا و بادام زمینی از

۱- دانش‌آموخته دکتری تخصصی بیوتکنولوژی کشاورزی، گروه بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، گروه بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد، گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۴- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(Email: shahriari@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

می‌دهد، پوسیدگی اسکروتینیایی است که اولین بار در سال ۱۸۷۳ معرفی شد (Purdy, 1979). قارچ عامل بیماری در تمام مناطق رشد آفتابگردان متداول و گزارش شده است. عامل بیماری متعلق به رده آسکومیست^۱ بوده و توسط میسیلیا و اسکروتیا در مرحله غیر جنسی تکثیر می‌شود (Masirevic and Gulya, 1992). گزارش شده است که این قارچ سالیانه منجر به خسارتی در حدود ۲۰۰ میلیون دلار در مزارع کشت آفتابگردان کشور آمریکا می‌شود (Bolton et al., 2006).

یکی از راهکارهای تضمین پایداری غذا برای جمعیت رو به افزایش جهان، کاهش خسارت ناشی از بیمارگرها می‌باشد (Campbell et al., 2002). بر این اساس هدف بیشتر برنامه‌های به‌نژادی آفتابگردان ایجاد مقاومت در برابر این بیماری می‌باشد. استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم بدون تردید یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های کنترل بیماری به‌شمار می‌رود با این حال تاکنون ژنوتیپ کاملاً مقاوم در برابر بیماری پوسیدگی اسکروتینیایی در آفتابگردان شناسایی نشده است هرچند که بعضی از ژنوتیپ‌ها مقاومت بیشتری در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر نشان داده‌اند (Carson, 1991). مقاومت عمودی تا به حال در مقابل قارچ اسکروتینیا در آفتابگردان زراعی شناسایی نشده است ولی تحقیقات نشان داده است که مقاومت به‌صورت افقی یا پلی‌ژنیک می‌باشد (Hahn, 2002; Ronicke et al., 2005). در طی ۲۰ سال گذشته تلاش اصلی در تغییر روند روش‌های مبتنی بر گزینش فنوتیپی به سوی گزینش ژنوتیپی از طریق شناسایی جایگاه‌های صفات کمی در آفتابگردان بوده است. پیدایش تکنولوژی نشانگرهای DNA نقشه‌یابی مکان‌های ژنومی دخیل در مقاومت به بیماری‌ها را تسهیل کرده است. نشانگرهای مولکولی به علت خنثی بودن و نداشتن آثار مستقیم بر صفت و نیز به دلیل عدم تأثیرپذیری از عوامل محیطی، ابزار مناسبی برای مکان‌یابی ژن‌های مختلف و گزینش غیرمستقیم برای صفت هدف می‌باشند (Andaya et al., 1996). تجزیه پیوستگی^۲ و تجزیه ارتباطی^۳ روش‌هایی هستند که برای مکان‌یابی جایگاه‌های کنترل‌کننده صفات کمی به کار می‌روند. در تجزیه ارتباطی با اتکا بر عدم تعادل پیوستگی، روابط واریانس فنوتیپی و چند شکلی ژنتیکی ژرم‌پلاسما بدون توسعه نقشه پیوستگی بررسی می‌شود و این روش به‌طور موفقیت‌آمیز در نقشه‌یابی صفات در گونه‌های مختلف گیاهی استفاده شده است (Bresseghele and Sorrells, 2006). اولین مطالعه تجزیه ارتباطی در خصوص شناسایی نشانگرهای پیوسته با مناطق ژنومی درگیر در زمان گلدهی و ژن dwarf8 در ذرت بوده است (Thomsberry et al., 2001). عدم تعادل پیوستگی عبارت از

ارتباط غیر تصادفی بین دو نشانگر یا دو ژن و یا یک نشانگر و یک ژن است. در جمعیت‌های طبیعی عدم تعادل می‌تواند توسط عوامل دیگری غیر از پیوستگی ژنی مانند جهش، مهاجرت، گزینش و رانده شدگی ژنتیکی طی دوره تکاملی یک جمعیت به وجود آید. ولی در جمعیت‌های مصنوعی تنها عامل ایجادکننده عدم تعادل، پیوستگی ژنی می‌باشد. موفقیت در تجزیه ارتباطی بستگی به ساختار عدم تعادل پیوستگی در ژنوم دارد (Flint-Garcia et al., 2003). در آراییدوپسیس با استفاده از تجزیه ارتباطی چهار مکان دخیل در پاسخ به ورنالیزاسیون (FRI)، و سه مکان دخیل در مقاومت به بیماری (RPMI, RPS5, RPS2) شناسایی شده است (Aranzana et al., 2005). در مقایسه با نقشه‌یابی پیوستگی، تجزیه ارتباطی بهتر است زیرا منابع ژرم‌پلاسما موجود مانند کلکسیون‌های ژنتیکی و اصلاحی می‌توانند به‌طور مستقیم مورد استفاده قرار بگیرند (Myles et al., 2009; Speed et al., 2005; Wang et al., 2012). در تجزیه ارتباطی کل ژنوم با نشانگرهای مولکولی در جهت شناسایی QTL‌های مرتبط با فنوتیپ صفت اسکن می‌شود (Rafalski, 2002a; Rafalski, 2002b; Zhu et al., 2008).

در آفتابگردان به‌عنوان یک گیاه دانه روغنی مهم و اقتصادی، پژوهش‌های زیادی در زمینه بررسی تنوع ژنتیکی و شناسایی نواحی ژنومی دخیل در صفات مهم با استفاده از نشانگرهای مولکولی صورت گرفته است (Anandhan et al., 2010; Darvishzadeh, 2012; Mandel et al., 2013; Ebrahimi and Sarrafi, 2012). می‌توان به مکان‌یابی عوامل دخیل در کنترل صفات مهم زراعی (Eyvaznejad and Darvishzadeh, 2014)، عملکرد دانه (Abdi et al., 2012) و مکان‌یابی QTL‌های مرتبط با تحمل سرما (Allinne et al., 2009) اشاره نمود. اخیراً در مطالعه‌ای با روش تجزیه ارتباطی یک ژن کاندید شناسایی شده است که ۲۰٪ از تغییرات فنوتیپی مقاومت به بیماری پوسیدگی اسکروتینیایی در آفتابگردان را توجیه می‌کند (Fusari et al., 2012). هدف از این مطالعه، شناسایی نشانگرهای مبتنی بر رتروترانسپوزون (IRAP و REMAP) پیوسته با پوسیدگی اسکروتینیایی در آفتابگردان روغنی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و ارزیابی فنوتیپی

یکصد لاین خالص آفتابگردان روغنی که از نقاط مختلف جهان (فرانسه، آمریکا، مجارستان و ایران) تهیه شده است (جدول ۱) در قالب یک طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ در مزرعه آلوده به قارچ اسکروتینیا در روستای وقاصولوی سفلی از توابع شهرستان ارومیه با دو تکرار کشت شد. هر تکرار شامل ۱۰ بلوک (ناقص) و هر بلوک شامل

- 1- Ascomycetes
- 2- Linkage analysis
- 3- Association analysis

۵ بوته از هر ژنوتیپ در هر تکرار با جدایه قارچی جمع‌آوری شده از گیاهان آفتابگردان آلوده همان مزرعه در سال قبل تلقیح شدند و پیشرفت سرعت آلودگی بعد از ۴، ۸ و ۱۲ روز یادداشت‌برداری شد. همچنین بعد از برداشت طبق‌ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، وزن ۱۰۰ دانه در گیاهان آلوده شده، وزن ۱۰۰ دانه در گیاهان آلوده نشده، عملکرد تک گیاه در گیاهان آلوده نشده، افت وزن ۱۰۰ دانه و افت عملکرد تک گیاه اندازه‌گیری و محاسبه شد.

۱۰ کرت زراعی بود. در هر کرت ۲ ردیف به طول ۵ متر با فاصله بین ردیف ۶۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. چهار روز قبل از کشت مزرعه آبیاری شد. پس از سبز شدن گیاهچه‌ها در مرحله ۴ برگگی تنک کردن به منظور نگه داشتن یک بوته در هر کپه انجام گرفت. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی و بنابه نیاز انجام گرفت. بعد از رسیدن گیاهان به مرحله ۸ برگگی کود اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک بین ردیف‌ها پخش شد و بلافاصله آبیاری انجام گرفت. در حین گلدهی، طبق‌ها جهت جلوگیری از خسارت پرندگان با پاکت‌های سفید رنگ پوشانده شدند.

جدول ۱- نام و منشأ لاین‌های آفتابگردان روغنی مورد مطالعه

Table 1- Name and origin of the studied oily sunflower lines

ردیف	لاین	کشور	مرکز تحقیقاتی	ردیف	لاین	کشور	مرکز تحقیقاتی
Row	Line	Country	Research center	Row	Line	Country	Research center
1	803-1	صربستان	IFVC	51	H100A/LC1064	فرانسه	ASGROW
2	HAR4	آمریکا	USDA	52	H100A/90R78	فرانسه	ASGROW
3	SDB1	آمریکا	USDA	53	AS613	فرانسه	ASGROW
4	SDR18	آمریکا	USDA	54	H100A	فرانسه	ASGROW
5	RHA274	آمریکا	USDA	55	H209A/H566R	فرانسه	ASGROW
6	SDB3	آمریکا	USDA	56	H100A/83HR4	فرانسه	ASGROW
7	HA335B	آمریکا	USDA	57	H205A/H543R	فرانسه	ENSAT
8	PM1-3	آمریکا	USDA	58	H209A/LC1064	فرانسه	ENSAT
9	SDR19	آمریکا	USDA	59	AS5304	فرانسه	ENSAT
10	HA337B	آمریکا	USDA	60	LP-CSYB	فرانسه	ENSAT
11	HA304	آمریکا	USDA	61	ENSAT-283	فرانسه	ENSAT
12	RHA858	آمریکا	USDA	62	AS3211	فرانسه	ENSAT
13	RHA266	آمریکا	USDA	63	AS5306	فرانسه	ENSAT
14	344	ایران	SPII	64	ENSAT-254	فرانسه	ENSAT
15	11*12	ایران	SPII	65	ENSAT-270	فرانسه	ENSAT
16	26	ایران	SPII	66	1009329 2 (100K)	فرانسه	ENSAT
17	38	ایران	SPII	67	1009337 (100K)	فرانسه	ENSAT
18	346	ایران	SPII	68	100935 0(100K)	فرانسه	ENSAT
19	260	ایران	SPII	69	ENSAT-699	فرانسه	ENSAT
20	262	ایران	SPII	70	AS3232	فرانسه	ENSAT
21	1059	ایران	SPII	71	PAC2	فرانسه	ENSAT
22	36	ایران	SPII	72	1009370-1 (100K)	فرانسه	ENSAT
23	30	ایران	SPII	73	1009370 3(100K)	فرانسه	ENSAT
24	28	ایران	SPII	74	ENSAT-695	فرانسه	ENSAT
25	5DES20QR	فرانسه	BRN	75	AS6305	فرانسه	ENSAT
26	7CR16 D PRH6	فرانسه	C.F	76	AS0-1-POP-A	فرانسه	ENSAT
27	110	فرانسه	ASGROW	77	CAY	فرانسه	ENSAT
28	LC1064C	فرانسه	ASGROW	78	703-CHLORINA	فرانسه	ENSAT
29	H158A*LC1064C	فرانسه	ASGROW	79	NS-R5	فرانسه	NOVARTIS
30	AS305	فرانسه	ASGROW	80	NS-B5	فرانسه	NOVARTIS
31	RHA265	آمریکا	USDA	81	NSF1A4*R5	فرانسه	NOVARTIS

NOVARTIS	فرانسه	NSF1A5*R5	82	ASGROW	فرانسه	H100B	32
NOVARTIS	فرانسه	AF1 POPA	83	ASGROW	فرانسه	SSD580	33
NOVARTIS	فرانسه	BF1 POPB	84	ASGROW	فرانسه	SSD581	34
INRAMONT	فرانسه	TMB51	85	ASGROW	فرانسه	5AS-F1/A2*R2	35
INRAMONT	فرانسه	QHP1	86	ASGROW	فرانسه	8ASB2	36
INRAMONT	فرانسه	D34	87	ASGROW	فرانسه	12ASB3	37
INRAMONT	فرانسه	H603R	88	ASGROW	فرانسه	15031	38
INRAMONT	فرانسه	PES	89	ASGROW	فرانسه	H158A/LC1064C	39
INRAMONT	فرانسه	SDB2	90	ASGROW	فرانسه	H543R/H543R	40
-	فرانسه	H049 C FSB	91	ASGROW	فرانسه	H156A/RHA274	41
-	مجارستان	F1250/03	92	ASGROW	فرانسه	H205A/83HR4	42
-	مجارستان	B454/03	93	ASGROW	فرانسه	H158A/H543R	43
RUSTICA	فرانسه	RT931	94	ASGROW	فرانسه	H209A/83HR4	44
RUSTICA	فرانسه	RT948	95	ASGROW	فرانسه	H157A/LC1064	45
Caussade semences	فرانسه	CSWW2X	96	ASGROW	فرانسه	H156A/H543R	46
Caussade semences	فرانسه	9CSAS	97	ASGROW	فرانسه	H100A/H543R	47
ENSAT	فرانسه	SF082	98	ASGROW	فرانسه	H100A/H543R	48
ENSAT	فرانسه	SF023	99	ENSAT	فرانسه	SF576	49
ENSAT	فرانسه	SF105	100	ENSAT	فرانسه	SF085	50

ارزیابی مولکولی

پروپیل مولکولی ژنوتیپ‌ها با نشانگرهای مبتنی بر رتروترانسپوزون در پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه ارومیه تهیه شد. استخراج DNA به روش CTAB از بافت تازه برگ گیاهچه‌های ۱۵ روزه انجام گرفت و کیفیت و کمیت DNA با استفاده از الکتروفورز ژل آگارز ۱٪ و با استفاده از اسپکتوفتومتری تعیین شد. از آغازگر مبتنی بر رتروترانسپوزون شامل ۱۴ آغازگر IRAP و ۱۴ آغازگر REMAP استفاده شد (جدول ۲). واکنش‌های PCR در حجم نهایی ۲۰ میکرولیتر، حاوی ۲۰ نانوگرم DNA ژنومی، ۲ میکرولیتر بافر ۱۰x PCR (500 mM KCl, 500 mM Tris-HCl pH 8.4)، ۰/۷ میکرولیتر کلرید منیزیم ۵۰ میلی‌مولار (شرکت سیناژن، تهران، ایران)، ۰/۲۵ میلی‌مول از هر dNTP (Biofluxbiotech)، ۱/۱ واحد آنزیم

تگ پلی مراز (شرکت سیناژن، تهران، ایران) و ۱۰ میکرومول از هر آغازگر به همراه آب دیونیزه در دستگاه ترمال سایکلر انجام گرفت. برنامه دمایی واکنش زنجیره‌ای پلیمرز به صورت: ۴ دقیقه واسرشت‌سازی اولیه در ۹۴ درجه سانتی‌گراد و ۳۶ چرخه شامل ۴۰ ثانیه در ۹۴ درجه سانتی‌گراد (جهت واسرشت‌سازی)، ۴۰ ثانیه در دمای اتصال اختصاصی مربوط به هر آغازگر (جهت اتصال) و ۲ دقیقه در ۷۲ درجه سانتی‌گراد (جهت بسط) و بسط نهایی در ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه بود. تفکیک محصولات تکثیر با استفاده از ژل آگارز ۱/۸ درصد و بافر ۰/۵x TBE با ولتاژ ۶۵ ولت به مدت ۳ ساعت انجام و رنگ‌آمیزی با اتیدیوم بروماید انجام گرفت. برای تعیین اندازه باندها از نشانگر O'GeneRuler (شرکت فرمنتاز) استفاده شد.

جدول ۲- نام و توالی آغازگرهای مورد استفاده در این تحقیق

Table 2- Name and sequence of primers used in the present study

آغازگر رتروترانسپوزون	توالی آغازگر (۵'→۳')	آغازگر ISSR	توالی آغازگر (۵'→۳')
Retrotransposon primer	Primer sequences (۵'→۳')	ISSR primer	Primer sequences (۵'→۳')
LTR- 1061	AGAGGGGAATGTGGGGGTTTCC	UBC-818	CACACACACACACACAG
LTR-1062	TCTCTATTTATAGCCGGAGAGGTG	UBC-826	ACACACACACACACACAC
LTR-1063	GATCCGGTTTCACGGGACTTAC	UBC-840	GAGAGAGAGAGAGAGAYT
LTR-1064	CGAAGAACAAACCGAATCACC	UBC-857	ACACACACACACACACYG
LTR-1065	AGCCTCTGAAAGACTCGTTCG	A13	GTGTGTGTGTGTCC
CF	GGTTTAGGTTTCGTAATCCACCGCG	UBC-812	GAGAGAGAGAGAGAGAA
CR	ACAGACACCAGTGGCACCAC	UBC-864	ATGATGATGATGATGATG
UF(U81)	TAACGGTGTTCTGTTTTGCAGG	UBC-880	GGAGAGGAGAGGAGA
UR1(U82)	AGAGGGGAATGTGGGGGTTTCC	-	-

تجزیه و تحلیل داده‌ها

باند‌های حاصل از نشانگرها به صورت یک (وجود باند) و صفر (عدم وجود باند) امتیازدهی و ماتریس حاصل برای بررسی ساختار جمعیت استفاده شد. ساختار جمعیت و دسته‌بندی دقیق ژنوتیپ‌ها به زیرجمعیت‌های مناسب و تهیه ماتریس Q^1 با استفاده از روش Bayesian در نرم‌افزار Structure نسخه ۲/۳۴ انجام گرفت (Rosenberg et al., 2002). این روش هریک از ژنوتیپ‌ها را طوری به زیرجمعیت‌های فرضی منتسب می‌کند که در هر زیرجمعیت میزان عدم تعادل پیوستگی حداقل و تعادل مرحله گامتی حداکثر باشد. مقادیر اولیه K (زیرجمعیت فرضی اولیه) بین ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته شد و جهت افزایش دقت برای هر کدام از زیرجمعیت‌ها پنج تکرار منظور گردید برای این منظور از مدل Admixture و استقلال فراوانی آلل‌ها با ۱۰۰۰۰۰ مرتبه اجرا در زمان 2^3 و 100000 MCMC استفاده شد تا منحنی حداکثر درست‌نمایی حاصل شود. نرم‌افزار Structure برای هر مقدار K (تعداد واقعی زیر جمعیت) یک ماتریس به نام Q را محاسبه می‌کند که این ماتریس شامل برآورد ضرایب احتمال عضویت هر ژنوتیپ در یکی از زیرجمعیت‌ها است. در بارپلات حاصل، وقتی درصد عضویت یک ژنوتیپ به آن کلاستر بیشتر یا مساوی ۰/۷ باشد، ژنوتیپ به آن کلاستر نسبت داده می‌شود، ولی در صورتی که درصد عضویت آن کمتر از این مقدار باشد، به عنوان ژنوتیپ ترکیبی (مخلوط شده) در نظر گرفته می‌شود (Spataro et al., 2011). تعداد واقعی زیرجمعیت توسط لگاریتم Likelihood برای هر K : $\ln P(D)=L(K)$ تعیین می‌شود (Rosenberg et al., 2002). از آنجایی که توزیع $\ln P(D)$ معمولاً عدد دقیق و واضحی از K واقعی را نشان نمی‌دهد، ΔK مبنی بر برآورد ثانویه تغییر در Likelihood جهت برآورد دقیق مقدار واقعی K استفاده می‌شود (Evanno et al., 2005). شناسایی نشانگرهای مرتبط و دارای ارتباط معنی‌دار با صفات مورد ارزیابی بر اساس مدل خطی عمومی^۴ وابسته به ماتریس Q (ماتریس ضرایب ساختار به عنوان کوواریت) و مدل خطی مخلوط^۵ وابسته به ماتریس $K+Q$ (ماتریس ضرایب ساختار جمعیت + ماتریس روابط خویشاوندی) که اثر نشانگر و ساختار جمعیت ثابت ولی اثر خویشاوندی تصادفی در نظر گرفته می‌شود (Bradbury et al., 2007) در نرم‌افزار TASSEL 2.1 انجام گرفت.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی

جنبه‌های مهم توزیع مشاهدات صفات مورد مطالعه شامل شاخص‌های حداقل، حداکثر، میانگین و ضریب تغییرات در جدول ۳ ارائه شده است. ضریب تغییرات صفات مورد مطالعه بین ۲۰/۴۴ تا ۷۸/۴۸ درصد متغیر بود. بیشترین ضریب تغییرات در افت عملکرد تک بوته و افت وزن ۱۰۰ دانه مشاهده شد (جدول ۳). به دلیل این که پارامتر ضریب تغییرات تحت تأثیر واحد اندازه‌گیری صفت و یا دامنه تغییرات آن قرار نمی‌گیرد، نسبت به دیگر معیارهای تنوع از اهمیت بیشتری برخوردار است. با توجه به بالا بودن ضریب تغییرات برای بیشتر صفات و اهمیت آن در گزینش ژنوتیپ‌های برتر، جمعیت لاین‌های مورد مطالعه می‌تواند به عنوان یک منبع اصلاحی خوب در نظر گرفته شود. بر مبنای صفت درصد پیشرفت آلودگی در مراحل مختلف یادداشت‌برداری، چهار لاین (NSF1-A4×R5، IRANI-28، B454/03 و ENSAT-254) به ترتیب با کمترین درصد پیشرفت آلودگی (۲۱/۶۷، ۲۵/۰۰، ۳۶/۴۶، ۳۶/۷۵) مقاومت جزئی در برابر قارچ عامل بیماری نشان دادند.

همبستگی‌های فنوتیپی

ساخت روابط بین صفات و برهم‌کنش آنها حداقل از دو جنبه اهمیت دارد، اول برای اصلاح غیر مستقیم عملکرد و دوم اینکه اصلاح‌گر درمی‌یابد که با اصلاح یک صفت، چه صفات دیگری خود به خود تغییر خواهند نمود. لذا در برنامه‌ریزی برای گزینش توجه به همبستگی صفات از اهمیت اساسی برخوردار است. همبستگی جزئی میزان ارتباط بین دو متغیر تصادفی را در حالی که تأثیر دیگر متغیرها حذف شده‌اند اندازه‌گیری می‌کند. صفات مربوط به درصد پیشرفت آلودگی همبستگی جزئی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ با یکدیگر نشان دادند. هر سه صفت درصد پیشرفت بیماری با سایر صفات همبستگی جزئی منفی ولی غیر معنی‌دار نشان دادند. همبستگی منفی نشان‌دهنده کاهش عملکرد با افزایش درصد پیشرفت بیماری می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه همبستگی جزئی بیشترین همبستگی مثبت بین عملکرد تک بوته گیاهان آلوده شده با عملکرد تک بوته گیاهان آلوده نشده و همچنین افت عملکرد ۱۰۰ دانه با افت عملکرد تک بوته مشاهده شد.

ارزیابی ساختار ژنتیکی

تجزیه مؤثر ساختار جمعیت و دسته‌بندی دقیق افراد به زیر جمعیت‌های مناسب با استفاده از ۲۳۱ نشانگر پلی مورف حاصل از ۱۴ آغازگر IRAP و ۱۴ آغازگر REMAP در نرم‌افزار Structure انجام

- 1- Q matrix
- 2- Burn in time
- 3- Markov Chain Monte Carlo
- 4- GLM: General linear model
- 5- MLM: Mixed linear model

(MLM) علاوه بر ماتریس ساختار جمعیت (ماتریس Q)، ماتریس روابط خویشاوندی (ماتریس K) بین افراد جمعیت نیز در تجزیه ارتباط به عنوان کواریت در نظر گرفته می شوند و بنابراین ارتباطات و پیوستگی های دروغین بین نشانگر و صفت به حداقل می رسد. نشانگرهای پیوسته با ۹ صفت بررسی شده با استفاده از دو مدل ارتباطی در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس مدل GLM، ۲۵ نشانگر که ارتباط معنی داری ($P < 0.01$) با صفات مورد مطالعه داشتند، شناسایی شدند. تعداد ۵ مکان مرتبط با درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۴ روز، ۴ مکان مرتبط با پیشرفت آلودگی بعد از ۸ روز، ۳ مکان مرتبط با وزن صد دانه گیاه آلوده شده، ۵ مکان مرتبط با عملکرد تک بوته گیاه آلوده شده، ۳ مکان مرتبط با افت عملکرد وزن صد دانه و ۲ مکان مرتبط با افت عملکرد تک گیاه شناسایی گردید. برای صفات درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۱۲ روز تعداد ۹ نشانگر و عملکرد تک بوته گیاه آلوده نشده تعداد ۷ نشانگر در سطح ۵٪ شناسایی شد. مقدار R^2 (درصد تغییرات فنوتیپی توجیه شده) در محدوده ۸/۴ (cr9) تا ۲۴/۱ درصد (62655) متغیر بود. نشانگر 64a133 در سطح احتمال ۱٪ برای هر دو صفت عملکرد تک بوته گیاه آلوده شده و افت عملکرد صد دانه به صورت مشترک شناسایی شد. توالی یابی نشانگرهای آگاهی بخش با R^2 بالا و مقایسه آنها با توالی های موجود در بانک های اطلاعاتی کارایی استفاده از آنها در برنامه های انتخاب به کمک نشانگر و همسان سازی ژن بر اساس نقشه را بالا می برد.

گرفت (شکل ۱ و ۲). با توجه به اینکه مقادیر حداکثر $\Delta K = 2$ به دست آمد، بنابراین ژنوتیپ های آفتابگردان مورد مطالعه به احتمال قوی دارای ۲ زیرجمعیت می باشند (شکل ۱). بر اساس نتایج ارائه شده در بارپلات (شکل ۲)، ۱۵ ژنوتیپ (۱۵٪) متعلق به زیر ساختار اول (سبز) و ۵۱ ژنوتیپ (۵۱٪) متعلق به زیر ساختار دوم (قرمز) می باشند و ۳۴٪ از لاین ها دارای سهم عضویت کمتر از ۰/۷ می باشند یعنی به ساختار مخلوط تعلق دارند. در مطالعات تجزیه ارتباط در حالت ایده آل نباید ساختاری در جمعیت مورد مطالعه وجود داشته باشد، یعنی جمعیت نباید به لحاظ ساختاری به زیر گروه هایی تقسیم شود، زیرا وجود ساختار در جمعیت مورد مطالعه می تواند عامل بازدارنده در جهت دستیابی به نتایج قابل اعتماد باشد و در صورتی که اثر عوامل ساختار جمعیت و روابط خویشاوندی در نظر گرفته نشوند، نتایج مثبت کاذب به وجود خواهد آمد (Carson, 1991). استفاده از مدل های آماری که اطلاعات مرتبط با ساختار ژنتیکی جمعیت (اطلاعات ماتریس Q) را در نظر می گیرند میزان خطا را کاهش می دهد.

مکان یابی ارتباطی

چالش اصلی در تجزیه ارتباط متمایز ساختن روابط حقیقی بین نشانگرها و صفات از روابط کاذب ناشی از ساختار جمعیت و روابط خویشاوندی است. در این مطالعه برای شناسایی نشانگرهای مرتبط با صفات در آفتابگردان از تجزیه ارتباط به روش مدل خطی مخلوط (MLM) و مدل خطی عمومی (GLM) استفاده شد. در مدل خطی عمومی (GLM) تنها ساختار جمعیت، ولی در مدل خطی مخلوط

جدول ۳- آماره های توصیفی برای صفات ارزیابی شده در لاین های آفتابگردان روغنی

Table 3- Simple statistics for studied traits in oily sunflower lines

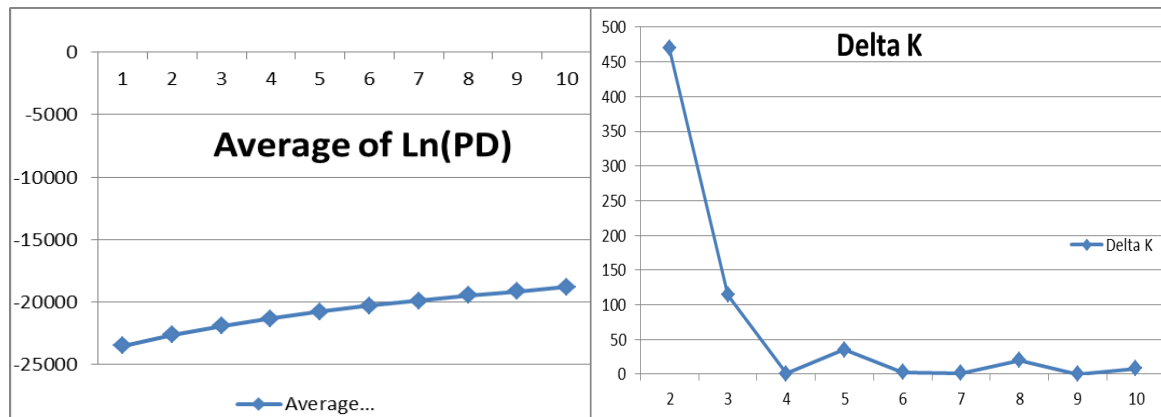
صفات Traits	میانگین $\pm$ SE Mean $\pm$ SE	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	ضریب تغییرات CV%
درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۴ روز Percentage of necrotic area after 4 days	65.43 $\pm$ 2.15	15.00	100.00	31.81
درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۸ روز Percentage of necrotic area after 8 days	74.54 $\pm$ 2.03	20.00	100.00	26.47
درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۱۲ روز Percentage of necrotic area after 12 days	82.29 $\pm$ 1.73	25.00	100.00	20.44
وزن ۱۰۰ دانه آلوده نشده 100 seeds weight of non contaminated plants	5.78 $\pm$ 0.20	2.10	10.75	32.98
وزن ۱۰۰ دانه آلوده شده 100 seeds weight of contaminated plants	4.86 $\pm$ 0.18	1.55	9.85	35.26
افت وزن ۱۰۰ دانه 100 seeds weight loss	24.95 $\pm$ 2.23	1.42	73.71	72.51
عملکرد تک بوته آلوده نشده Yield per plant in non contaminated plants	38.22 $\pm$ 2.00	8.30	113.1	49.70
عملکرد تک بوته آلوده شده Yield per plant in contaminated plants	29.54 $\pm$ 1.63	2.75	66.14	53.10
افت عملکرد تک بوته Per plant yield loss	29.91 $\pm$ 2.83	0.00	89.91	78.48

CV: Coefficient of variation

جدول ۴- ضرایب همبستگی جزئی صفات مورد مطالعه در لاین‌های خالص آفتابگردان
 Table 4- Partial correlation coefficients among studied traits in oily sunflower lines

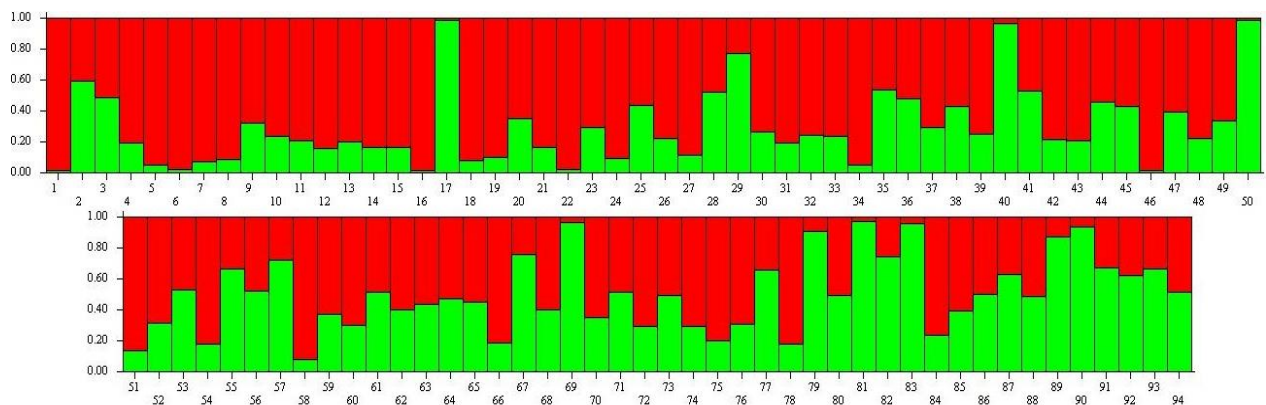
صفات Traits	درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۴ روز Percentage of necrotic area after 4 days	درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۸ روز Percentage of necrotic area after 8 days	درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۱۲ روز Percentage of necrotic area after 12 days	وزن ۱۰۰ دانه آلوده نشده 100 seeds weight of non contaminated plants	وزن ۱۰۰ دانه آلوده شده 100 seeds weight of contaminated plants	عملکرد تک بوته آلوده نشده Yield per plant in non contaminated plants	عملکرد تک بوته آلوده شده Yield per plant in contaminated plants	افت عملکرد ۱۰۰ دانه 100 seeds weight loss
درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۸ روز Percentage of necrotic area after 8 days	0.86**	-	-	-	-	-	-	-
درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۱۲ روز Percentage of necrotic area after 12 days	0.76**	0.81**	-	-	-	-	-	-
وزن ۱۰۰ دانه آلوده نشده 100 seeds weight of non contaminated plants	-0.02 ^{n.s}	-0.00 ^{n.s}	0.05 ^{n.s}	-	-	-	-	-
وزن ۱۰۰ دانه آلوده شده 100 seeds weight of contaminated plants	0.00 ^{n.s}	0.01 ^{n.s}	0.04 ^{n.s}	0.67**	-	-	-	-
عملکرد تک بوته آلوده نشده Yield per plant in non contaminated plants	-0.02 ^{n.s}	0.06 ^{n.s}	0.10 ^{n.s}	0.61**	0.43**	-	-	-
عملکرد تک بوته آلوده شده Yield per plant in contaminated plants	0.04 ^{n.s}	0.05 ^{n.s}	0.10 ^{n.s}	0.43 ^{n.s}	0.65**	0.72**	-	-
افت عملکرد ۱۰۰ دانه 100 seeds weight loss	-0.03 ^{n.s}	0.00 ^{n.s}	0.02 ^{n.s}	0.22 ^{n.s}	-0.54 ^{n.s}	0.09 ^{n.s}	-0.36**	-
افت عملکرد تک بوته Per plant yield loss	-0.02 ^{n.s}	0.01 ^{n.s}	0.00 ^{n.s}	0.14 ^{n.s}	-0.40**	0.17 ^{n.s}	-0.50**	0.68**

* و ** اختلاف معنی‌دار به ترتیب در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪، n.s اختلاف غیر معنی‌دار در سطح ۵٪.



شکل ۱- نمودارهای دوطرفه برای تعیین تعداد زیرجمعیت‌ها در ژرم پلاسما آفتابگردان روغنی مورد مطالعه ($K=2$) بر اساس نشانگرهای مبتنی بر رتروترانسپوزون در نرم افزار Structure

Figure 1- Bilateral graphs for determining optimum subpopulations in studied oily sunflower germplasm ($K=2$) based on retrotransposon markers in Structure software



شکل ۲- تجزیه کلاستر مبتنی بر مدل Bayesian ۱۰۰ لاین آفتابگردان روغنی مورد مطالعه بر اساس مکان‌های ژنی حاصل از دو نشانگر IRAP و REMAP. هر رنگ یک زیرجمعیت را نشان می‌دهد. اعداد روی محور افقی و عمودی به ترتیب شماره افراد و ضریب تعلق هر فرد به کلاستر یا زیرجمعیت را نشان می‌دهد

Figure 2- Bayesian model based-cluster analysis of 100 oily sunflower lines by using IRAP and REMAP markers data. Numbers on the y-axis indicate the membership coefficient (Q) and on the x-axis indicate the individual's number.

شناسایی نشانگرهای مشترک برای برخی صفات بررسی شده در مطالعه حاضر می‌تواند ناشی از اثرات پلیوتروپی و یا پیوستگی نواحی ژنومی دخیل در کنترل این صفات باشد (Jun et al., 2008). شناسایی نشانگرهای مشترک اهمیت زیادی در به‌نژادی گیاهان دارد، زیرا گزینش همزمان چند صفت را امکان‌پذیر می‌سازد (Tuberosa et al., 2002).

در بسیاری از مناطق رشد آفتابگردان در دنیا، اسکروتینیا (*Sclerotinia sclerotiorum*) یکی از بیماری‌های مهم آفتابگردان می‌باشد. در مطالعه‌ای مکان‌های کمی (QTL) مقاومت به بیماری پوسیدگی طبق در دو ژرم پلاسما آفتابگردان آمریکایی شناسایی شد. هر کدام از ۵ QTL شناسایی شده در حدود ۱۲/۹٪ از تغییرات فنوتیپی را توجیه می‌نمودند. بر اساس اظهار محققین این QTL ها می‌توانند

در تجزیه ارتباط بر اساس مدل MLM در سطح احتمال ($P < 0.01$) در مجموع ۲۷ مکان ژنی مرتبط با ۹ صفت مورد مطالعه شناسایی شدند (جدول ۵). از کل مکان‌های مرتبط با صفات مورد ارزیابی به ترتیب ۵ و ۴ مکان ارتباط معنی‌داری با صفات درصد پیشرفت سطح آلودگی بعد از ۴ و ۸ روز، ۲ و ۴ مکان ژنی مرتبط با صفات وزن صد دانه گیاه آلوده نشده و شده، ۲ و ۵ مکان مرتبط با صفات عملکرد تک بوته گیاه آلوده نشده و شده و ۲ و ۳ مکان مرتبط با صفات افت عملکرد صد دانه و تک بوته شناسایی گردید. در مدل MLM نیز برای صفت درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۱۲ روز تعداد ۹ نشانگر در سطح ($P < 0.05$) شناسایی گردید. در مدل MLM نشانگر 618403 به‌طور مشترک برای هر دو صفت درصد پیشرفت بیماری بعد از ۸ روز و افت وزن صد دانه در سطح احتمال ۱٪ شناسایی شد.

در برنامه اصلاح آفتابگردان مفید باشند (Yue *et al.*, 2008). در یک مطالعه دیگر، حساسیت ۳۵۱ خانواده F₃ حاصل از تلاقی بین یک لاین اینبرد مقاوم از خزانه ژنی NDBLOS و لاین حساس CM265 به بیماری پوسیدگی ساقه ارزیابی شد.

جدول ۵- نشانگرهای رتروترانسپوزون پیوسته با صفات ارزیابی شده در لاین‌های آفتابگردان روغنی مورد مطالعه بر اساس مدل‌های GLM و

MLM

Table 5- Identification of retrotransposon markers associated with studied traits in oily sunflower lines by using general and mixed linear models

صفت Trait	نشانگر رتروترانسپوزون Retrotransposon marker	مدل GLM در سطح 1% و 5%	مدل MLM در سطح 1% و 5%	صفت Trait	نشانگر رتروترانسپوزون Retrotransposon marker	مدل GLM در سطح 1% و 5%	مدل MLM در سطح 1% و 5%
		P- Value	R ²			P- Value	R ²
درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۴ روز Percentage of necrotic area after 4 days	62655 CR5 648403 UFUR15 618402	0.000 0.001 0.001 0.004 0.008	0.241 0.154 0.154 0.133 0.122	عملکرد تک بوته آلوده نشده Yield per plant in non contaminated plants	648185 618187 61658 CR9 655	0.017 0.019 0.024 0.023 0.024	0.125 0.136 0.119 0.112 0.112
درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۸ روز Percentage of necrotic area after 8 days	618572 64653 64654 CFCR6	0.000 0.002 0.007 0.008	0.180 0.167 0.142 0.131	وزن صد دانه آلوده نشده 100 seeds weight of non contaminated plants	CF8261 CRUR11 651 CR9	0.034 0.050 0.005 0.010	0.103 0.106 0.111 0.084
درصد پیشرفت آلودگی بعد از ۱۲ روز Percentage of necrotic area after 12 days	UR16 618401 651 648407 648408 618575 627 CF8261 648404	0.016 0.017 0.019 0.023 0.024 0.026 0.027 0.029 0.041	0.071 0.066 0.082 0.061 0.060 0.089 0.066 0.049	وزن صد دانه آلوده شده 100 seeds weight of contaminated plants	CFCR2 648184 648402 64A131 64A133 CF8182	0.010 0.004 0.008 0.004 0.003 0.004	0.094 0.115 0.112 0.103 0.103 0.162
افت عملکرد تک بوته Per plant yield loss	648404 618575 627 CF8261 648404 648574 63644	0.023 0.024 0.026 0.027 0.029 0.007 0.007	0.061 0.060 0.089 0.066 0.049 0.106 0.096	عملکرد تک بوته آلوده شده Yield per plant in contaminated plants	UR18403 64A1311 64A133 CF8182 618571 618189 64A133 618403	0.001 0.002 0.003 0.004 0.005 0.007 0.009 0.010	0.169 0.152 0.141 0.162 0.126 0.121 0.112 0.111

در این مطالعه، ارزیابی در شرایط آلودگی مصنوعی در مزرعه طی دو فصل زراعی انجام گرفت. برای ۳ صفت مرتبط با مقاومت (پوسیدگی برگ، پوسیدگی ساقه و سرعت رشد قارچ) و دو صفت مورفولوژیک واریانس ژنوتیپی بسیار معنی دار بود و همبستگی بالایی بین صفات مشاهده شد. QTLهایی برای هر سه صفت مقاومت شناسایی شد اما هر کدام از QTLها دارای اثرات کوچکی بودند (Micic et al., 2004). در مطالعه دیگر ژنتیک مقاومت به پوسیدگی ساقه ناشی از *S. sclerotiorum* در جمعیت حاصل از تلاقی بین دو لاین مقاوم (NDBLOS_{sel}×K04) بررسی شد. نتایج نشان داد که مقاومت به اسکروتینیا کمی و مناطق ژنومی مختلفی در این فرآیند دخیل می باشند و دو مکان کمی برای مقاومت به پوسیدگی ساقه شناسایی شد که یکی از آنها QTL بزرگ اثر بود (Wurschum et al., 2014).

پیوستگی ژنتیکی بین نشانگرها و مکان های ژنی صفات کمی، محتمل ترین توجیه برای وجود رابطه بین نشانگرهای مولکولی و نمود صفات کمی است و استفاده از پیوستگی بین نشانگرهای مولکولی و ژن های کنترل کننده صفات کمی، فرآیند اصلاح نباتات را تسریع کرده است به طوری که به جای ارزیابی صفات، گزینش غیرمستقیم به کمک نشانگرهای پیوسته صورت می گیرد. نقشه یابی ارتباطی نقش کلیدی در شناسایی عوامل مؤثر در تغییرات کمی بازی می کند. اساس طراحی و انجام روش های تجزیه ارتباط نیاز به درک و فهم ساختار LD در یک گونه گیاهی است (Flint-Garcia et al., 2003). تجزیه ژنتیک صفات کمی از طریق نقشه یابی ارتباطی در گیاهان زراعی مختلف مانند جو (Inostroza et al., 2008)، آراییدوپسیس (*Arabidopsis*) (Aranzana et al., 2005)، سورگوم (Sukumaran et al., 2012) و گندم (Liue et al., 2010) انجام شده است. در تحقیقی تجزیه ارتباط بین ۱۱ صفت زراعی در گندم و ۵۱۹ نشانگر شامل ۲۲۱ نشانگر SSR، ۴۳ نشانگر SAMPL و ۲۲۵ نشانگر AFLP بررسی شد. در نشانگرهای SSR بیشترین میزان ضریب تبیین مربوط به صفت شاخص برداشت با ۲۸٪ و در نشانگر SAMPL بیشترین میزان ضریب تبیین مربوط به صفت شاخص برداشت با ۲۰٪ و در نشانگرهای AFLP بیشترین میزان ضریب تبیین مربوط به صفت تعداد گلچه در خوشه با ۲۹٪ بود (Roy et al., 2006).

در تحقیقی واکنش ۹۴ لاین اینبرد آفتابگردان تحت شرایط مزرعه ای به صورت مصنوعی در مقابل قارچ *Sclerotinia sclerotiorum* مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه ۴۳ ژن کاندید بر اساس مطالعات پروفایل رونوشت در آفتابگردان و کلزا آلوده شده با قارچ *S. sclerotiorum* انتخاب شدند. بررسی ارتباط بین فنوتیپ پوسیدگی طبق توسط پاتوژن قارچی و چند شکلی هاپلوتایپ در ژن های کاندید با استفاده از مدل خطی مخلوط (MLM) نشان داد

که ارتباط معنی داری بین ژن کاندید *HaRIC-B* و وقوع پوسیدگی طبق توسط پاتوژن قارچی در سطح ۱٪ وجود دارد (Fusari et al., 2012). در مطالعه ای تنوع ژنتیکی ۱۵ ژنوتیپ آفتابگردان از کشورهای مختلف دنیا با استفاده از ۳۸ نشانگر SSR با هدف شناسایی نشانگرهای مرتبط با مکان های ژنی درگیر در مقاومت به پوسیدگی ساقه در برابر ۷ جدایه بیمارگر قارچی *S. sclerotiorum* ارزیابی شد. در این مطالعه ۵ نشانگر اختصاصی برای مقاومت جزئی در برابر جدایه ها شناسایی شد که دو تا از نشانگرها بین بعضی از جدایه ها مشترک بودند. نشانگر ORS1256 برای دو جدایه SSU35 و SSU87 و نشانگر ORS49 برای دو جدایه SSU53 و SSU55 به طور مشترک شناسایی شدند (Darvishzadeh, 2012). در یک تحقیق مکان های ژنی دخیل در مقاومت به پوسیدگی ساقه در آفتابگردان با استفاده از ۲۶۰ ژنوتیپ و هفت ژن کاندید شناسایی شد. در این مطالعه ۲ ژن به صورت معنی دار ($P < 0.01$) در حدود ۷/۴٪ از تغییرات فنوتیپی را در جمعیت توجیه می نمودند (Talukder et al., 2014). فوزاری و همکاران (Fusari et al., 2012) با استفاده از مدل خطی یک ژن کاندید برای مقاومت به بیماری اسکروتینیا در آفتابگردان شناسایی کردند که ۲۰ درصد از تغییرات فنوتیپی را توجیه می نمود.

اصلاح مقاومت آفتابگردان در مقابل *S. sclerotiorum* به دلیل توارث پیچیده این صفت مشکل می باشد ولی منابع مقاومت و نشانگرهای شناسایی شده در این مطالعه در جهت بهبود و تولید ژنوتیپ های مقاوم امید بخش می باشند. بر پایه نتایج این تحقیق چهار لاین (NSF1-A4×R5، ENSAT-254، B454/03، ۲۸) با سطوح مقاومت و منشاء ژنتیکی مختلف می توانند به عنوان والدین هیبرید (مقاوم) مورد استفاده قرار گیرند. در صورت اجرای آزمایش های تکمیلی از جمله اجرای آزمایش در چند محیط و برآورد تغییرات ناشی از آثار متقابل ژنوتیپ در محیط و همچنین تأیید نشانگرهای شناسایی شده، از نشانگرهای شناسایی شده می توان در برنامه های اصلاحی از جمله انتخاب به کمک نشانگر بهره برد. می توان با توالی یابی مکان هایی که تغییرات قابل توجهی از صفات را توجیه می نمایند، ژن های کدکننده مقاومت به بیماری و صفات مهم زراعی را شناسایی نمود.

نتیجه گیری

این پژوهش با استفاده از مجموعه متنوعی از لاین های آفتابگردان روغنی و آغازگرهای رتروترانسپوزون به منظور شناسایی نشانگرهای مرتبط با مقاومت به بیماری انجام گرفت. با استفاده از مدل خطی مخلوط (MLM) در مجموع ۲۷ مکان مرتبط با ۹ صفت

برنامه‌های به‌نژادی به منظور شناسایی والدین مناسب برای تهیه جمعیت‌های نقشه‌یابی، تهیه ارقام هیبرید و نیز گزینش به کمک نشانگر MAS^۱ استفاده نمود.

مورد مطالعه شناسایی شدند. مکان‌های ژنی مرتبط با صفات زراعی و مقاومت به بیماری را می‌توان از طریق تلاقی‌های کلاسیک به زمینه ژنتیکی سایر ژنوتیپ‌ها انتقال داد. با تبدیل نشانگرهای شناسایی شده در تحقیق حاضر به نشانگرهای SCAR می‌توان از آن‌ها در

References

1. Abdi, N., Darvishzadeh, R., Jafari, M., Pirzad, A., and Haddadi, P. 2012. Genetic analysis and QTL mapping of agro-morphological traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under two contrasting water treatment conditions. *Plant Omics* 5 (2): 149-158.
2. Allinne, C., Maury, P., Sarrafi, A., and Grieu, P. 2009. Genetic control of physiological traits associated to low temperature growth in sunflower under early sowing conditions. *Plant Science* 177: 349-359.
3. Anandhan, T., Manivannan, N., Vindhiyaman, P., and Jeykaumar, P. 2010. Single marker analysis in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding* 1 (4): 1227-1234.
4. Andaya, V. C., Tabanao, D., Maramara, G., and Sebastian, L. S. 1996. Correlation of molecular diversity with heterosis in nine lowland rice. *Philippine Journal of Crop Science* 21: 4.
5. Aranzana, M. J., Kim, S., Zhao, K., Bakker, E., Horton, M., Jakob, K., Lister, C., Molitor, J., Shindo, C., Tang, C., Toomajian, C., Traw, B., Zheng, H., Bergelson, J., Dean, C., Marjoram, P., and Nordborg, M. 2005. Genome-wide association mapping in *Arabidopsis* identifies previously known flowering time and pathogen resistance genes. *PLoS Genet* 1(5): e60.
6. Bolton, M. D., Thomma, B. P. H. J., and Nelson, B. D. 2006. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen. *Molecular Plant Pathology* 7: 1-166.
7. Bradbury, P. J., Zhang, Z., Kroon, D. E., Casstevens, T. M., Randoss, Y., and Buckler, E. S. 2007. TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples. *Bioinformatics* 23: 2633-2635.
8. Bressegello, F., and Sorrells, M. E. 2006. Association mapping of kernel size and milling quality in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Genetics* 172: 1165-1177.
9. Campbell, M. A., Fitzgerald, H. A., and Ronald, P. C. 2002. Engineering pathogen resistance in crop plants. *Transgenic Research* 11: 599-613.
10. Carson, M. L. 1991. Relationship between phoma black stem severity and yield losses in hybrid sunflower. *Plant Disease* 75: 1150-1153.
11. Darvishzadeh, R. 2012. Association of SSR markers with partial resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* isolates to sunflower. *Australian Journal of Crop Science* 6 (2): 276-282.
12. Ebrahimi, A., and Sarrafi, A. 2012. Genetic Variability and identification of markers in gamma-irradiation induced mutants of sunflower under water stress condition. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding* 1 (2): 1-8.
13. Evanno, G., Reganut, E., and Goudet, J. 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology* 14: 2611-2620.
14. Eyvaznejad, N., and Darvishzadeh, R. 2014. Identification of QTLs for grain yield and some agro-morphological traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) using SSR and SNP markers. *Journal of Plant Molecular Breeding* 2 (2): 68-87.
15. Flint-Garcia, S. A., Thornsberry, J. M., and Buckler, E. S. 2003. Structure of linkage disequilibrium in plants. *Annual Review of Plant Biology* 54: 357-374.
16. Fusari C. M., Rienzo J. A. D., Troglia C., Nishinakamasu V., Moreno M. V., Maringolo C., Quiroz F., Álvarez D., Escande A., Hopp E., Heinz R., Lia V. V., and Paniego N. B. 2012. Association mapping in sunflower for sclerotinia head rot resistance. *BMC Plant Biology* 12 (93): 1-13.
17. Gulya, T. J., Rashid, K. Y., and Masirevic, S. N. 1997. Sunflower diseases. In *Sunflower technology and production*, Madison, Wisconsin, USA, p. 263-379.
18. Hahn, V. 2002. Genetic variation for resistance to *Sclerotinia* head rot in sunflower inbred lines. *Field Crops Research* 77: 153-159.
19. Inostroza, L., Pozo, A. D., Matus, I., Castillo, D., Hayes, P., Machado, S., and Corey, A. 2009. Association mapping of plant height, yield, and yield stability in recombinant chromosome substitution lines (RCSLs) using *Hordeum vulgare* subsp. *spontaneum* as a source of donor alleles in a *Hordeum vulgare* subsp. *Vulgare* background. *Molecular Breeding* 23: 365-376.
20. Jun, T. H., Van, K., Kim, M. Y., Lee, S. H., and Walker, D. R. 2008. Association analysis using SSR markers to find QTL for seed protein content in soybean. *Euphytica* 62: 179-191.
21. Liue, L., Wang, L., Yao, J., Zheng, Y., and Zhao, C. 2010. Association mapping of six agronomic traits on

- chromosome 4A of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Molecular Plant Breeding* 1 (5): 1-10.
22. Mandel, J. R., Nambeesan, S., Bowers, J. E., Marek, L. F., Ebert, D., Rieseberg, L. H., Knapp, J. M., and Burk, J. M. 2013. Association mapping and the genomic consequence of selection in sunflower. *Genetics* 9 (3): 1-13.
23. Masirevic, S., and Gulya, T. J. 1992. Sclerotinia and phomopsis-two devastating sunflower pathogens. *Field Crops Research* 30: 271-300.
24. Micic, Z., Hahn, V., Bauer, E., Schon, C. C., Knapp, S. J., Tang, S., and Melchinger, A. E. 2004. QTL mapping of Sclerotinia midstalk rot resistance in sunflower. *Theoretical and Applied Genetics* 109: 1474-1484.
25. Myles, S., Peiffer, J., Brown, P. J., Ersoz, E. S., Zhang, Z., Costich, D. E., and Buckler, E. S. 2009. Association mapping: critical considerations shift from genotyping to experimental design. *Plant Cell* 21: 2194-2202.
26. Onemli, F., and Gucer, T. 2010. Response to drought of some wild species of *Helianthus* at seedling growth stage. *Helia* 33 (53): 45-54.
27. Pritchard, J. K., Stephens, M., and Donnelly, P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945-959.
28. Purdy, L. H. 1979. *Sclerotinia sclerotiorum*: History, diseases and symptomatology, host range, geographic distribution and impact. *Phytopathology* 69: 875-880.
29. Rafalski, J. A. 2002a. Applications of single nucleotide polymorphisms in crop genetics. *Current Opinion in Plant Biology* 5: 94-100.
30. Rafalski, J. A. 2002b. Novel genetic mapping tools in plants: SNPs and LD-based approaches. *Plant Science* 162: 329-333.
31. Rönicke, S., Hahn, V., and Friedt, W. 2005. Resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* of 'high oleic' sunflower inbred lines. *Plant Breeding* 124: 376-381.
32. Rosenberg, N. A., Pritchard, J. K., Weber, J. L., Cann, H. M., Kidd, K. K., Zhivotovsky, L. A., and Feldman, M. W. 2002. Genetic structure of human populations. *Science* 298: 2381-2385.
33. Roy, J. K., Bandopadhyay, R., Rustgi, S., Balyan, H. S., and Gupta, P. K. 2006. Association analysis of agronomically important traits using SSR, SAMPL and AFLP markers in bread wheat. *Current Science* 90: 5-10.
34. Spataro, G., Tiranti, B., Arcaleni, P., Bellucci, E., Attene, G., Papa, R., Spagnoletti Zeuli, P., and Negri, V. 2011. Genetic diversity and structure of a worldwide collection of *Phaseolus coccineus* L. *Theoretical and Applied Genetics* 122: 1281-1291.
35. Speed, D., Hemani, G., Johnson, M. R., and Balding, D. J. 2012. Improved heritability estimation from genome-wide SNPs. *American Journal of Human Genetics* 91: 1011-1021.
36. Sukumaran, S., Xiang, W., Bean, S. R., Pedersen, J. F., Kresovich, S., Tuinstra, M. R., Tesso, T. T., Hamblin, M. T., and Yu, J. 2012. Association mapping for grain quality in a diverse sorghum collection. *The Plant Genome* 5: 126-135.
37. Talukder, I. Z., Hulke, S. B., Qi, L., Scheffler, E. B., Pegadaraju, V., McPhee, K., and Gulya, J. T. 2014. Candidate gene association mapping of Sclerotinia stalk rot resistance in sunflower (*Helianthus annuus* L.) uncovers the importance of COI1 homologs. *Theoretical and Applied Genetics* 127: 193-209.
38. Thornsberry, J. M., Goodman, M. M., Doebley, J., Kresovich, S., and Nielsen, D. 2001. Dwarf8 polymorphisms associate with variation in flowering time. *Nature Genetics* 28: 286-89.
39. Tuberosa, R., Salvi, S., Sanguineti, M. C., Landi, P., Maccaferri, M., and Conti, S. 2002. Mapping QTLs regulating morpho-physiological traits and yield in drought-stressed maize: case studies, shortcomings and perspectives. *Annals of Botany* 89: 941-963.
40. Wang, W. Y. S., Barratt, B. J., Clayton, D. G., and Todd, J. A. 2005. Genome-wide association studies: theoretical and practical concerns. *Nature Reviews Genetics* 6: 109-118.
41. Würschum, T., Anyanga, W. O., and Hahn, V. 2014. Inheritance of *Sclerotinia* Midstalk Rot Resistance in Elite Sunflower Breeding Germplasm. *Helia* 37 (61): 193-203.
42. Yue, B., Radi, S. A., Vick, B. A., Cai, X., Tang, S., Knapp, S. J., Gulya T. J., Miller J. F., and Hu, J. 2008. Identifying quantitative trait loci for resistance to Sclerotinia head rot in two USDA sunflower germplasms. *Phytopathology* 98: 926-931.
43. Zhu, C., Gore, M., Buckler, E. S., and Yu, J. 2008. Status and prospects of association mapping in plants. *Plant Genome* 1: 5-20.



Evaluation of Retrotransposon-based Markers for Identification of Genetic Loci Associated with Agro-morphological Characteristics and Resistance to Sclerotinia Basal Stem rot in Oily Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Field Conditions

R. Paknia¹ - F. Shahriari^{2*} - R. Darvishzadeh³ - S. Malekzadeh⁴

Received: 03-09-2016

Accepted: 01-03-2017

Introduction

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is one of the most important crops grown mainly for edible oil. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary is a common and widespread pathogen of sunflower. Sclerotinia stem rot is one of the most damaging diseases of sunflower in world, causing average yield reductions of 10 to 20%. It causes total production loss under favorable environmental conditions. Hence, plant improvement projects must focus on creating of new genotypes with higher resistance against diseases. Resistance to *S. sclerotiorum* (Lib.) de Bary has been described as quantitatively inherited with additive and dominant gene effects. Identification of chromosome regions controlling partial resistance to sclerotinia stem rot can increase understanding about the genetic control of the diseases and developing cultivars with improved partial resistance. In this study, retrotransposon-based molecular markers associated with resistance to disease as well as some important agronomical traits identified using general and mixed linear models in Tassel software.

Material and Method

A collection of 100 sunflower lines, kindly provided by several research centers in Europe, Iran and the United States, were evaluated using a 10×10 simple lattice design with two replications. Each plot comprised 2 lines 5 m long, with a spacing of 65 × 25 cm between lines and plants, respectively. The experiment was conducted in 2015 at a farm in 'Vaghaslo-e-Sofla' village on Urmia. Five plants per genotype in each replication were inoculated with a fungal isolate collected from naturally infected sunflower plants of this farm in previous year. Some resistant and agronomical traits including percentage of necrotic area after 4, 8, 12 days inoculation, 100 seeds weight of non contaminated plants, 100 seeds weight of contaminated plants, yield per plant in non contaminated plants, yield per plant in contaminated plants, 100 seeds weight loss, and per plant yield loss were measured. The genetic profile of population was prepared with 28 retrotransposon markers.

Result and Discussion

Based on molecular marker data, the studied association panel was subdivided into two subpopulations (K=2). Association analysis using mixed linear model (MLM) identified 27 loci significantly ($P < 0.01$) associated with studied traits. Maximum number of markers (5) was identified for percentage of necrotic area after 4 days and yield per plant in contaminated plants. Some common markers were identified for studied traits. Common markers for traits can be due to pleiotropic effects or linkage between genomic regions involved in controlling traits. Results of the current study present useful information about the genetic basis of the studied traits and can be used in different sunflower breeding programs including marker aided selection. In future studies, coding regions of important agronomical and resistance traits could be identified by sequencing loci with highest R^2 .

1- PhD in Agricultural Biotechnology, Department of Plant Biotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Department of Plant Biotechnology, Ferdowsi University of Mashhad

3- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Urmia University

4- Associate Professor, Department of Plant Biotechnology, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: fshahria@yahoo.com.au)

Conclusions

In sum, 27 loci associated with genomic regions controlling studied agro-morphological and resistant traits were identified. By converting identified retrotranspos-based molecular markers to SCAR, it is possible to use them directly in breeding activities such as identification of appropriate parents for developing mapping population, developing hybrid cultivars as well as marker assisted selection programs.

Keywords: Association mapping, Linkage disequilibrium, Molecular marker, Population structure, Sunflower



اثر زمان محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نانو بر صفات کمی و کیفی در ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم دیم

یحیی فیروزی شاهعلی بگلو^۱ - حسن فیضی^{۲*} - اصغر مهربان^۳ - مسعود علی پناه^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۵

چکیده

با توجه به کمبود عناصر کم‌مصرف و نیاز مبرم به غنی‌سازی زیستی در گیاهان مهم و راهبردی در تغذیه جامعه انسانی همچون گندم، ضرورت ایجاد می‌کند تا هرگونه راهکاری برای بهینه کردن تولید و کیفیت این محصول مورد ارزیابی قرار گیرد. از طرف دیگر یکی از راه‌های ساده برای نیل به خودکفایی و جامعه‌ای سالم و تندرست، اضافه کردن عناصر کم‌مصرف به خاک و یا مصرف آن به صورت محلول‌پاشی می‌باشد. به منظور بررسی اثرات زمان‌های مختلف محلول‌پاشی نانو کلات سوپرپلاس بر عملکرد و اجزای آن و درصد پروتئین دانه در ارقام و لاین‌های گندم دوروم دیم، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ در منطقه مغان به صورت اسپلت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل زمان محلول‌پاشی کود نانو کلات سوپر پلاس (شرکت بیوزر) با غلظت دو در هزار در چهار زمان (زمان پنجه‌زنی، خوشه‌دهی، دانه‌بندی و شاهد (عدم محلول‌پاشی)) به عنوان عامل اصلی و رقم و لاین‌های گندم دوروم در ۱۸ سطح به عنوان عامل فرعی بودند. صفات مورد بررسی شامل طول بوته، تعداد پنجه و پنجه بارور، طول پدانکل، طول خوشه، تعداد سنبلیچه، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در خوشه، وزن کاه، وزن دانه در کل بوته، وزن کل بوته، تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدن، وزن هزار دانه، درصد پروتئین و عملکرد دانه بودند. نتایج نشان داد که زمان محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی داشت. محلول‌پاشی در زمان پنجه‌زنی مناسب‌ترین اثر و عدم محلول‌پاشی (شاهد) کمترین تأثیر معنی‌دار بر صفات اندازه‌گیری شده را داشت. ارقام نیز از نظر صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با هم نشان دادند. همچنین اثر متقابل زمان محلول‌پاشی $\times$ ارقام مختلف نشان داد که بیشترین درصد پروتئین و عملکرد دانه در محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در مرحله پنجه‌زنی به ترتیب در لاین‌های L5 (۱۲/۲۳ درصد) و L16 (۲۹۴۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. همچنین کمترین درصد پروتئین در مرحله پنجه‌زنی در رقم دهدشت (۹/۱۰ درصد) و کمترین عملکرد دانه در عدم محلول‌پاشی در رقم سیمره و مرحله دانه‌بندی در لاین L7 (۷۷۱/۷۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، پروتئین دانه، محلول‌پاشی، لاین، غلات

مقدمه

عناصر کم‌مصرف رنج می‌برند، بنابراین نیاز به غنی‌سازی زیستی در گیاه مهمی همچون گندم ایجاد می‌کند تا هرگونه راهکاری برای بهینه‌کردن تولید و کیفیت این محصول مورد ارزیابی قرار گیرد از طرف دیگر یکی از راه‌های ساده برای نیل به خودکفایی و جامعه‌ای سالم و تندرست، اضافه کردن عناصر کم‌مصرف به خاک و یا مصرف آن به صورت محلول‌پاشی می‌باشد. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی مانند نیتروژن و فسفر، عدم کاربرد کودهای دارای عناصر کم‌مصرف، وجود خاک‌های آهکی با ماده آلی کم و کشت متناوب اراضی سبب تشدید کمبود عناصر کم‌مصرف در خاک‌های زیر کشت غلات کشور گردیده است. کمبود عنصر روی هم به عنوان پنجمین عامل بیماری و مرگ در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود (Li et al., 2015). بیشتر از ۲۰ درصد مرگ‌ومیر کودکان زیر ۵ سال در دنیا به کمبود آهن و روی نسبت داده می‌شود (Velu et al., 2014).

امروزه استفاده از کودهای نانو در کشاورزی نویدبخش رهایی از

ریزمغذی‌ها عناصر معدنی ضروری مورد نیاز برای گیاه و توسعه جوامع انسانی است. با این حال، عناصر کم‌مصرف اغلب در خاک، محصول و مواد غذایی وجود ندارد. بنابراین ریزمغذی‌ها به عنوان کود برای افزایش بهره‌وری محصول، به ویژه هنگامی که استفاده از کودهای معمولی (NPK)، مؤثر نیست استفاده می‌شود (Dimkpa et al., 2016). با توجه به اینکه بیش از ۳ میلیارد نفر در دنیا از کمبود

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی تولیدات گیاهی، دانشگاه تربت حیدریه

۲- استادیار گروه تولیدات گیاهی و پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه

۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی استان اردبیل (مغان)

۴- دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربت حیدریه

(Email: h.feizi@torbath.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.59050

محدودیت‌های فنی استفاده از کودها شده است. نانو کودها به دلیل آزادسازی آهسته و کنترل شده عناصر در ناحیه مناسبی از ریشه، راندمان مصرف بالایی دارند. بهبود کارایی جذب، افزایش راندمان به دلیل سرعت جذب بیشتر، عدم اتلاف کودها به وسیله آبشویی و جذب کامل کود توسط گیاه به دلیل رهاسازی عناصر غذایی با سرعت مطلوب در تمام فصل رشد، از ویژگی‌های مطلوب این کودها محسوب می‌شود (Alavi Matin et al., 2015). سالانه ۳۰۰ تا ۴۰۰ هزار تن گندم دوروم در ایران تولید می‌شود که ۶۰ درصد آن برای تولید ماکارونی قابل استحصال است و بقیه نیاز داخلی از خارج وارد می‌شود. سرانه مصرف ماکارونی در کشور پنج کیلوگرم در سال است (حدود یک چهارم یک فرد اروپایی) و با توجه به وجود مواد مغذی چون گلوتن و بتاکاروتن در ماکارونی و ضایعات بسیار پایین آن، لازم است که میزان مصرف آن افزایش یابد. بدین منظور دولت با اعمال سیاست‌های تشویقی چون نرخ بالاتر خرید گندم دوروم (حدود ۶٪) نسبت به گندم نان و ارائه جوایز صادراتی به صادرکنندگان این محصول، سعی در افزایش تولید و صادرات آن دارد (Emam, 2011). فیضی اصل و ولیزاده (Feizi Asl and Valizadeh, 2004) حد بحرانی آهن، منگنز و روی را در خاک‌های گندم دیم شمال غرب را به ترتیب ۸/۸، ۱۱/۳ و ۰/۸۸ میلی گرم در کیلوگرم، گزارش نمودند. همچنین حمیدی اصیل و همکاران (Hamidi Asil et al., 2014) حد بحرانی آهن، روی، مس، منگنز و بر را در منطقه قزوین به ترتیب ۹، ۱/۶۵، ۰/۹ و ۳/۷۵ و ۱/۰۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک تعیین کردند. در دیگر مطالعه سیل‌سپور (Seilsepour, 2007) با مصرف توأم کودهای آهن و روی میزان عملکرد گندم به طور متوسط ۸۶۷ کیلوگرم افزایش یافت. با توجه به اهمیت گندم دوروم دیم و نیاز کارخانه‌های ماکارونی و حتی مصرف مستقیم به صورت بلغور و فریکه و جایگزین کردن مقداری از برنج وارداتی مصرفی با آن و به با توجه به اینکه تنها یک ریزمغذی در فرهنگ گندم استفاده می‌شود، این پژوهش به منظور بررسی اثر محلول پاشی نانو کلات سوپرپلاس بر عملکرد و اجزای آن و درصد پروتئین دانه در ارقام گندم دوروم دیم منطقه پارس آباد مغان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی مغان واقع در ۵۹ کیلومتری جنوب غرب شهرستان پارس آباد مغان اجرا گردید. این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های کمی سرد می‌باشد که در عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۸۸ دقیقه و در ارتفاع ۷۸ متری سطح دریا قرار دارد. برای اجرای طرح زمینی به وسعت ۲۵۰۰ متر مربع در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی مغان که سال قبل آیش بود، در نظر

گرفته شد و کشت بعد از انجام عملیات متداول تهیه زمین، پخش کود، دیسک، لولرکشی و فارو کشی با بذرکار مخصوص کشت آزمایشات ویتراشتایگر (مدل کوچک و آزمایشگاهی دستگاه‌های بذرکار دقیق است که به منظور کاشت بذر غلات در کرت‌های کوچک و آزمایشی جهت مراکز تحقیقاتی ساخته شده است و در اغلب مراکز تحقیقاتی وجود داشته و از آن در پیاده‌سازی طرح‌ها استفاده می‌شود) انجام گرفت. میزان کود مصرفی تحت شرایط دیم بر اساس عرف مناطق دیم کاری منطقه و نیاز خاک به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم به صورت پایه و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت سرک مصرف شد. در این بررسی تیمارهای آزمایشی شامل زمان محلول پاشی کود نانو کلات سوپر پلاس (شرکت بیوزر) با غلظت دو در هزار در چهار زمان (زمان پنجه زنی، ظهور سنبله، دانه بندی و شاهد (عدم محلول پاشی)) به عنوان عامل اصلی و ۱۸ ژنوتیپ گندم دوروم (انتخابی از آزمایشات بین المللی مرکز تحقیقات) به عنوان عامل فرعی در قالب طرح اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. مساحت هر کرت ۷/۲ (۶ خط به طول شش متر و فواصل خطوط ۲۰ سانتی متر و فاصله بین بذرها حدود ۳ سانتی متر) مترمربع و مساحت کرت قابل برداشت ۶ مترمربع بود. محلول پاشی کود نانو کلات سوپر پلاس بنا بر میزان پیشنهادی شرکت سازنده به میزان دو در هزار و بر اساس سطح مورد نظر، محاسبه و تهیه گردید. این کود ترکیبی غنی از عناصر میکرو، به ویژه آهن ۸٪، روی ۶٪ و منگنز ۴٪ بود. علاوه بر آن حاوی عناصر دیگر نظیر منیزیم، بور، مس، مولیبدن، کلسیم ۲٪ و اسیدهای آمینه: هیدروکسی پرولین، اسید اسپارتیک، ترئونین، سرین، پرولین، گلوتامیک اسید، گلیسین، آلانین، آرژنین، متیونین، ایزولوسین، لوسین، تیروزین، فنیل آلانین، لیزین، هیستیدین، والین، سیستین، آسپاراژین و تریپتوفان (۱٪)، اسید آسکوربیک (۳/۰٪) بود. نوع کلات و نانو ذرات استفاده شده در این کود به گونه‌ای بود که قابلیت استفاده در شرایط محلول پاشی و کودآبیاری را با اثربخشی بالا داشت و در هر مرحله از تیمارهای موردنظر محلول پاشی انجام شد.

همچنین در زمان برداشت از هر کرت تعداد ۱۰ بوته انتخاب شده و پس از انتقال به آزمایشگاه صفاتی همچون ارتفاع بوته، طول پدانکل، تعداد پنجه‌ها و پنجه‌های بارور، طول سنبله، تعداد سنبله‌ها در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، عملکرد دانه در بوته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه ۰/۵ متر از انتهای خطوط کشت به عنوان اثرات حاشیه‌ای حذف و برداشت از سطح شش مترمربع انجام و توزین گردید. همچنین از هر کرت آزمایشی یک نمونه ۱/۵ کیلوگرمی به آزمایشگاه شیمی و تکنولوژی غلات ارسال شد تا درصد پروتئین هر نمونه تعیین گردد. در نهایت داده‌های به دست آمده مرتب و پردازش شده و با استفاده از نرم افزارهای MSTATC و SPSS تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین‌ها با

استفاده از آزمون LSD پنج درصد و خوشه بندی ارقام انجام شد و نتایج نهایی ارائه گردید.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و اجزای عملکرد

عملکرد گندم و افزایش آن با اثر ترکیبی عوامل مهم رشد مانند نور، حرارت، رطوبت و تغذیه تعیین می گردد. به طور کلی برای افزایش عملکرد در واحد سطح توجه به سه موضوع تعداد سنبله در هر متر مربع، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه ضرورت دارد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل، زمان محلول پاشی و نیز ژنوتیپ های مختلف بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری داشت (جدول ۱). در این مطالعه جدول مقایسه میانگین اثر زمان های مختلف محلول پاشی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با مصرف سوپر پلاس در زمان ظهور سنبله (۲۰۶۵ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که نسبت به شاهد ۹۳/۵۳ درصد افزایش داشت (جدول ۲). عملکرد دانه در غلات دانه ریز ناشی از اثرات اجزای عملکرد دخیل یعنی تعداد پنجه های بارور، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله می باشد. در گزارشی با کاربرد عناصر کم مصرف در ۱۰ استان کشور عملکرد گندم (آبی و دیم) افزایش یافت و دامنه افزایش عملکرد بین ۱۹۰۰-۳۵۰ کیلوگرم در هکتار بود (Malakooti et al., 2009). همچنین در دیگر گزارش مشاهده شده که محلول پاشی روی و آهن در مقایسه با شاهد باعث افزایش عملکرد دانه و کیفیت آن می شود (Maralian, 2012). همچنین مقایسه اثر متقابل میانگین ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در لاین L_{16} و در محلول پاشی در مرحله پنجه زنی (۲۹۴۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که نسبت به شاهد (۷۷۱/۷۰ کیلوگرم در هکتار) ۲۸۲/۰۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). همچنین کمترین عملکرد دانه در رقم سیمره در شرایط عدم محلول پاشی و نیز لاین L_{7} و در محلول پاشی در مرحله دانه بندی (۷۷۱/۷۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که نسبت به شاهد (۱۰۲۳ کیلوگرم در هکتار) ۳۲/۶ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳).

تأمین عنصر روی همراه با سایر عناصر مورد نیاز گیاه، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و در نتیجه عملکرد دانه گندم را افزایش داده و کمبود روی به دلیل افزایش پنجه های نابارور باعث می شود که در طول دوره رشد رویشی و زایشی این پنجه ها از مواد فتوسنتزی ساقه اصلی استفاده نموده و طول دوره رشد رویشی بیشتر شده و در نتیجه عملکرد دانه در واحد سطح کاهش می یابد (Rangel and Graham, 1995). وارگا و همکاران (Varga et al., 2001) در آزمایشی نشان دادند که بین ارقام مختلف از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی داری وجود دارد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل، زمان محلول پاشی

سوپر پلاس (پنجه زنی، سنبله دهی، دانه بندی و شاهد) و نیز ارقام مختلف بر طول بوته در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری داشت (جدول ۱). همچنین جدول مقایسه میانگین اثر زمان های مختلف محلول پاشی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته با مصرف سوپر پلاس در زمان دانه بندی (۷۳/۴۴ سانتی متر) به دست آمد که نسبت به شاهد ۶/۵۰ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). سی و سه مرده و همکاران (Siosemardeh et al., 2006) رابطه منفی بین ارتفاع گیاه و تعداد دانه در گندم را تحت شرایط دیم گزارش کردند. همچنین عدم معنی دار بودن اثر مصرف عناصر ریز مغذی بر ارتفاع بوته نیز گزارش شده است (Ziaeyan, 2006). در مطالعه دیگر المجید و همکاران (El-Magid et al., 2000) مشاهده کردند که محلول پاشی ریز مغذی ها (آهن، روی و منگنز) در گندم در خاک رسی ارتفاع بوته را افزایش داد. جدول مقایسه میانگین اثر زمان های مختلف محلول پاشی نشان داد که بیشترین تعداد پنجه در زمان خوشه دهی (۲/۵۲ متر مربع) به دست آمد که نسبت به شاهد ۱۱۰ درصد افزایش نشان داد که با نتایج (Torun et al., 2001) مطابقت دارد (جدول ۲). حسین و همکاران (Hussain et al., 2005) گزارش کردند که محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله پنجه زنی و یا مرحله آبیستنی و شیری، عملکرد دانه گندم را از طریق افزایش ارتفاع بوته، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه افزایش می دهد. بیشترین تعداد پنجه بارور با مصرف سوپر پلاس در زمان خوشه دهی (۱/۸۹ عدد) به دست آمد که نسبت به شاهد ۲۸/۵۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). گزارش شده است که مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار روی (عنصر کم مصرف) به علاوه محلول پاشی سولفات روی با غلظت ۳ در هزار سبب افزایش تعداد پنجه های بارور در نتیجه افزایش تعداد سنبله در بوته شد (Ziaeyan and Malakouti, 2001). جدول نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل، زمان محلول پاشی سوپر پلاس و نیز ارقام مختلف بر طول پدانکل در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری داشت (جدول ۱). بیشترین طول پدانکل با مصرف سوپر پلاس در زمان پنجه زنی (۱۲/۶۷ سانتی متر) به دست آمد که نسبت به شاهد ۹/۷۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). بیشترین طول سنبله با مصرف سوپر پلاس در زمان پنجه زنی (۷/۳۱ سانتی متر) به دست آمد که نسبت به شاهد ۴/۴۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل، زمان محلول پاشی سوپر پلاس و نیز ارقام مختلف بر تعداد سنبله در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری داشت (جدول ۱). بیشترین تعداد سنبله با مصرف سوپر پلاس در زمان پنجه زنی (۱۴/۵۸ واحد سطح) به دست آمد که نسبت به شاهد ۷/۳۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). سیده و همکاران (Seadh et al., 2009) افزایش تعداد سنبله در هر سنبله را با محلول پاشی روی گزارش کرده اند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل، زمان محلول پاشی سوپر پلاس و نیز ارقام

مختلف بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری داشت (جدول ۱). تعداد دانه در سنبله یکی از اجزای مهم عملکرد در گندم بوده و تحت شرایط مختلف محیطی می تواند بر عملکرد دانه تأثیر متفاوتی داشته باشد. بیشترین تعداد دانه در سنبله با مصرف سوپر پلاس در زمان پنجه زنی (۳۳/۸۸ دانه) به دست آمد که نسبت به شاهد ۲۳/۹۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). پهلوان راد و پسرک لی (Pahlavan-Rad and Pessarakli, 2009) در آزمایشی با کاربرد روی، آهن و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم نشان دادند که اثر این عناصر بر صفت تعداد دانه در سنبله اثر معنی داری داشت. همچنین در گزارش های متعدد ارائه شده این مؤلفه را تا حدودی جزء ثابت عملکرد دانه دانسته اند، با این حال شرایط محیطی و زراعی بر پتانسیل آن تأثیر دارد (Fathi et al., 2002). بیشترین وزن دانه در خوشه با مصرف سوپر پلاس در زمان پنجه زنی (۱/۲۷ گرم) به دست آمد که نسبت به شاهد ۲۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). نتایج تحقیقات هماترانجان و گریچ (Hemantaranjan and Grag, 1988) نشان داد که مصرف آهن و روی موجب افزایش معنی دار تعداد خوشه در متر مربع، طول خوشه و وزن هزار دانه گندم شد. این محققان اعلام نمودند که در اثر مصرف این عناصر مقدار کل کربوهیدرات ها، نشاسته و پروتئین دانه افزایش می یابد و با افزایش کربوهیدرات ها وزن هزار دانه و تعداد دانه در خوشه نیز افزایش یافته و موجب افزایش عملکرد دانه می شود.

در مطالعه ای وزن دانه در سنبله دارای بیشترین اثر مستقیم مثبت بر عملکرد دانه گندم در طی چهار سال زراعی داشت (Yagdi, 2009). این صفت اثرهای غیر مستقیم مثبتی را نیز بر عملکرد دانه از طریق سایر صفات وارد نمود. بیشترین وزن کاه با مصرف سوپر پلاس در زمان دانه بندی (۳/۱۳ کیلوگرم در مترمربع) به دست آمد که نسبت به شاهد ۲۳/۲۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). بیشترین وزن دانه در کل بوته با مصرف سوپر پلاس در زمان پنجه زنی و خوشه دهی (۱/۸۱ گرم در متر مربع) به دست آمد که نسبت به شاهد ۳۹/۲۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل، زمان محلول پاشی سوپر پلاس و نیز ارقام مختلف بر وزن کل بوته در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری داشت (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین اثر زمان های مختلف محلول پاشی نشان داد که بیشترین وزن کل بوته با مصرف سوپر پلاس در زمان دانه بندی (۴/۹۲ کیلوگرم در مترمربع) به دست آمد که نسبت به شاهد ۲۸/۴۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). عناصر ریز مغذی احتمالاً با افزایش دوام سطح سبز گیاه باعث افزایش تولید ماده خشک می شوند (Leilah et al., 1988). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل، زمان محلول پاشی

سوپر پلاس و نیز ارقام مختلف بر تعداد روز تا ظهور سنبله^۱ (DHE) در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری داشت (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین اثر زمان های مختلف محلول پاشی نشان می دهد که بیشترین تعداد روز تا ظهور سنبله با مصرف سوپر پلاس در زمان پنجه زنی (۱۲۷/۸ روز) به دست آمد که نسبت به شاهد ۰/۶۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). در این بررسی جدول مقایسه میانگین اثر زمان های مختلف محلول پاشی نشان می دهد که بیشترین تعداد روز تا رسیدن^۲ (DMA) با مصرف سوپر پلاس در زمان پنجه زنی (۱۵۳/۷ روز) به دست آمد که نسبت به شاهد ۱/۱۸ درصد افزایش معنی دار نشان داد (جدول ۲). همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل، زمان محلول پاشی سوپر پلاس و نیز ارقام مختلف بر DMA در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری داشت (جدول ۱). در این پژوهش جدول مقایسه میانگین اثر زمان های مختلف محلول پاشی نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه^۳ (TKW) با مصرف سوپر پلاس در زمان دانه بندی (۳۳/۵ گرم) به دست آمد که نسبت به شاهد ۵/۶۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل، زمان محلول پاشی سوپر پلاس و نیز ارقام مختلف بر TKW در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری داشت (جدول ۱).

همچنین محلول پاشی عنصر بر، به دلیل نقشی که در ساختن اسید مالیک و انتقال هیدرات های کربن و آنزیم ها دارد و عنصر روی، که سبب افزایش عملکرد و اجزای آن می شود، به همراه آهن می تواند باعث افزایش عملکرد دانه شود. وجود آهن در گیاه به دلیل افزایش فتوسنتز باعث افزایش هیدرات های کربن و مواد پروتئینی می شود و از آنجایی که در نهایت ذخیره این مواد در دانه صورت می گیرد می توان اظهار داشت که محلول پاشی آهن باعث افزایش عملکرد دانه می شود (Tattari, 2004). کاربرد محلول پاشی عناصر آهن، منگنز، روی و منیزیم سبب افزایش عملکرد دانه، اجزای عملکرد و کلس و کربوهیدرات های دانه در گندم می شود (Kassab et al., 2004).

درصد پروتئین

در این تحقیق بین زمان محلول پاشی نانو کلات سوپر پلاس (پنجه زنی، خوشه دهی، دانه بندی و شاهد) و نیز ارقام مختلف بر درصد پروتئین در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار بود (جدول ۱) و جدول مقایسه میانگین اثر زمان های مختلف محلول پاشی نشان می دهد که بیشترین درصد پروتئین با مصرف سوپر پلاس در زمان پنجه زنی (۱۰/۸۵ درصد) به دست آمد که نسبت به شاهد ۳/۳۳ درصد

1- Days to heading

2- Days to maturity

3-1000 kernel weight

(Farajzadeh et al., 2009).

افزایش نشان داد (جدول ۲). طبق مطالعه‌ای استفاده مطلوب آهن و روی در گندم باعث افزایش میزان پروتئین دانه می‌گردد

جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

Table 1 - Analysis of variance results on studied traits

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	وزن کاه Straw weight	وزن دانه Seed / panicle	تعداد دانه در سنبله Grain /spike	تعداد سنبله Spikelets number	طول خوشه Panicle length	طول پدانکل Peduncle length	تعداد پنجه بارور Fertile tiller	تعداد پنجه Tiller number	طول بوته Plant height
تکرار Replication	2	1.09	0.01	3.34	1.22	0.26	1.12	0.88	0.18	4.39
محلول پاشی Foliar application	3	3.58**	0.70 n.s	422.36**	10.33**	0.92 n.s	13.98**	2.51**	3.93**	245.01**
خطای اصلی Mean error	6	0.35	0.01	6.52	0.39	0.20	0.72	0.10	0.29	4.91
رقم Cultivar	17	0.58 n.s	0.06 n.s	62.65**	3.18**	0.80 n.s	13.27**	0.39 n.s	0.65 n.s	96.59**
محلول پاشی × رقم Foliar application × Cultivar	51	1.29**	0.12 n.s	50.40**	6.08**	1.24**	11.06**	0.46 n.s	0.44 n.s	65.12**
خطای فرعی E	136	0.40	0.02	7.24	0.66	0.20	1.68	0.15	0.22	4.14
ضریب CV (%)			12.1	8.6	5.7	6.3	10.86	23.2	20.4	2.8

* و ** به ترتیب معنی داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی دار می‌باشد.

ns, * and **: non-significant and significant at 5 % and 1 % probability levels, respectively.

ادامه جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی
Continued Table 1 - Analysis of variance results on studied traits

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	Mean squares							
		تعداد	تعداد روز تا	وزن هزار دانه (گرم) TKW	درصد پروتئین Pro	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	وزن کل بوته Total plant weight (kg ha ⁻¹)	وزن دانه در کل بوته Seed / plant	
تکرار Replication	2			3.35	0.39	9.02	5.63	3.19	0.55
محلول پاشی Foliar application	3			24.04**	40.32**	1.3**	93.97**	13.45**	3.42**
خطای محلول پاشی Foliar application error	6				1.26	0.55	7.14	0.73	0.15
رقم Cultivar	17			9.48**	3.54**	1.52**	13.39**	1.39**	0.26 ^{n.s}
محلول پاشی × رقم Foliar application × Cultivar	51			6.85**	3.55**	0.88 ^{n.s}	14.49**	2.94**	0.47 ^{n.s}
خطای اصلی E	136			4.98	3.62	0.77	14.26	0.73	0.13
ضرب تغییرات CV(%)	-			1.4	5.8	8.2	72.9	18.7	21.4
						24.1			

* و ** به ترتیب معنی داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی دار می باشد.

ns, * and **: non-significant and significant at 5 % and 1 % probability levels, respectively.

نسبت به شاهد ۲۳/۵۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). همچنین کمترین درصد پروتئین در رقم دهدشت و در محلول پاشی در مرحله دانه بندی (۹/۱۰٪) به دست آمد که نسبت به شاهد (۹/۵۳٪) ۴/۷۳ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳).

همچنین در مطالعه بر روی تولید گندم نتایج نشان داد که میزان پروتئین دانه در عملکردهای بالا کاهش می یابد (Bauder, 2003). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان محلول پاشی × ارقام مختلف نشان داد که بیشترین درصد پروتئین در لاین L5 و در محلول پاشی در مرحله پنجه زنی (۱۲/۲۳ درصد) به دست آمد که

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف محلول پاشی نانو کلات سوپر پلاس بر صفات مورد مطالعه

Table 2- Means comparison of nano Super Plus application times effects on studied traits

تیمار Treatment	طول خوشه Panicle length (cm)	طول پدانکل Peduncle length (cm)	تعداد پنجه بارور Fertile tiller (No m ⁻²)	تعداد پنجه Tiller number (No m ⁻²)	طول بوته Plant height (cm)
محلول پاشی در پنجه زنی Tillering	7.31 A	12.67 A	1.472 B	2.278 A	72.51 A
محلول پاشی در خوشه دهی Booting	7.08 B	11.65 B	1.88 A	2.519 A	72.64 A
محلول پاشی در دانه بندی Seed filling	7.17 AB	11.91 B	1.86 A	2.545A	73.44 A
عدم محلول پاشی No-Spraying	7.00 B	11.54 B	1.537 b	1.918 B	68.69 B
LSD 5%	0.2106	0.3985	0.1497	0.2532	1.043

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column, followed by similar letter are not significantly different at $P \leq 0.05$

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف محلول پاشی نانو کلات سوپر پلاس بر صفات مورد مطالعه

Continued Table 2- Means comparison of nano Super Plus application times effects on studied traits

تیمار Treatment	وزن کاه Straw weight (kg m ⁻²)	وزن دانه در خوشه Seed / panicle (g)	تعداد دانه در سنبله Grain /spike	تعداد سنبله Spikelets number (m ²)
محلول پاشی در پنجه زنی Tillering	2.85 A	1.27 A	33.88 A	14.58 A
محلول پاشی در خوشه دهی Booting	3.03 A	1.19 B	31.94 B	14.32 A
محلول پاشی در دانه بندی Seed filling	3.13 A	1.18 B	32.12 B	14.38 A
عدم محلول پاشی No-Spraying	2.54 B	1.00 C	27.33 C	13.58 B
LSD 5%	0.2798	0.0557	1.202	0.2948

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column, followed by similar letter are not significantly different at $P \leq 0.05$

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف محلول پاشی نانو کلات سوپر پلاس بر صفات مورد مطالعه

Continued Table 2- Means comparison of nano Super Plus application times effects on studied traits

تیمار Treatment	تعداد روز تا ظهور سنبله DHE (Day)	وزن کل بوته Total plant weight (kg m ⁻²)	وزن دانه در کل بوته Seed weight / plant (g m ⁻²)
محلول پاشی در پنجه زنی Tillering	127.80 A	4.66 A	1.81 A
محلول پاشی در خوشه دهی Booting	126.70 A	4.83 A	1.81 A
محلول پاشی در دانه بندی Seed filling	124.70 B	4.917 A	1.79 A
عدم محلول پاشی No-Spraying	127 A	3.828 B	1.30 B
LSD 5%	1.282	0.4026	0.1848

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column, followed by similar letter are not significantly different at $P \leq 0.05$

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف محلول‌پاشی نانو کلات سوپر پلاس بر صفات مورد مطالعه

Continued Table 2- Means comparison of nano Super Plus application times effects on studied traits

تیمار Treatment	عملکرد دانه (kg ha ⁻¹) Grain yield	درصد پروتئین Pro (%)	وزن هزار دانه TKW (g)	DMA (Day) تعداد روز تا رسیدن
محلول‌پاشی در پنجه‌زنی Tillering	2014 A	10.85 A	32.06 B	153.70 A
محلول‌پاشی در خوشه‌دهی Booting	2065 A	10.58 AB	32.20 A	152.70 A
محلول‌پاشی در دانه‌بندی Seed filling	1547 AB	10.58 AB	33.50 A	152.90 A
عدم محلول‌پاشی No-Spraying	1067 B	10.50 B	31.72 B	151.90 B
LSD 5%	529.7	0.3486	0.5294	0.8175

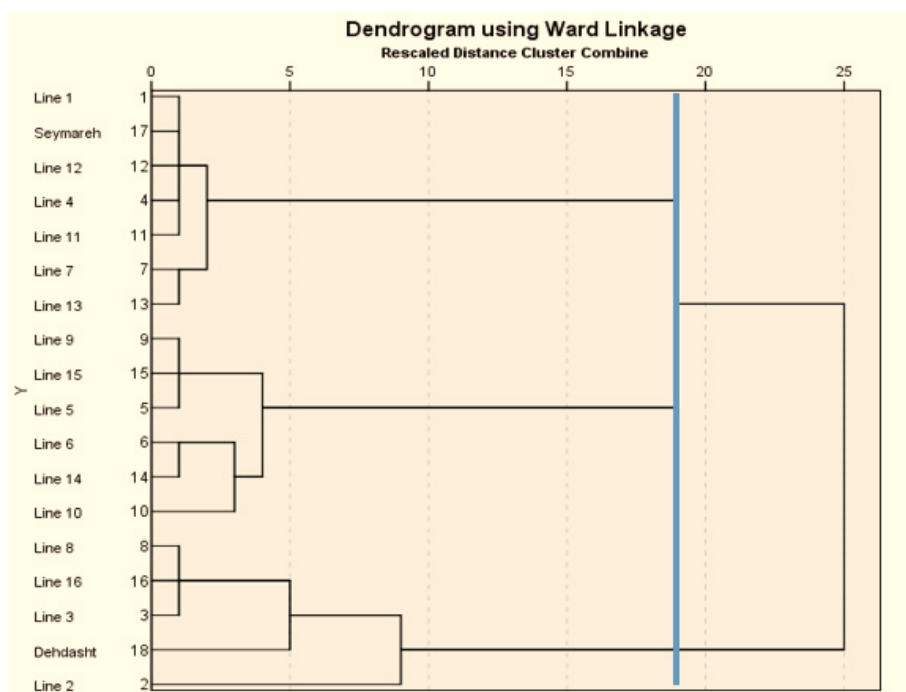
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column, followed by similar letter are not significantly different at $P \leq 0.05$

گروه‌بندی لاین‌ها براساس تجزیه خوشه‌ای

نتایج حاصل از تجزیه کلاستر (خوشه‌ای) ۱۸ ژنوتیپ و رقم گندم دوروم با برش دندروگرام حاصل در فاصله ۱۸ واحد نشان داد که ژنوتیپ‌ها در دو خوشه با خصوصیات درون گروهی مشابه و بین گروهی غیر مشابه گروه‌بندی شدند (شکل ۱). خوشه اول دارای پنج ژنوتیپ و رقم شامل ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۸، ۱۶ و رقم دهدشت که از

نظر صفات عملکرد دانه مورد بررسی در سطح بالاتری نسبت به سایر خوشه‌ها قرار داشت. خوشه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۵، ۶، ۹، ۱۰، ۱۴، ۱۵ و ژنوتیپ‌های ۱، ۴، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و رقم سیمره که جزء ژنوتیپ‌های ضعیف‌تر گروه‌بندی شده و معرفی می‌شوند. همچنین ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰، ۱۴ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از نظر درصد پروتئین برتری نسبی دارند.



شکل ۱- دندروگرام لاین‌های گندم دوروم بر مبنای صفات درصد پروتئین و عملکرد دانه

Figure 1- Dendrogram durum wheat lines based on traits, protein percentage and yield

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان محلول پاشی × ارقام مختلف بر صفات مورد مطالعه

Table 3- Mean comparison of interaction effects of Time spraying × Cultivars on studied traits

تیمار ۱ Treatment 1	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	وزن هزار دانه TKW (g)	تعداد روز تا رسیدن (روز) DMA (Day)	تعداد روز تا ظهور سنبله DHE	تعداد کل بوته Total plant weight(kg m ⁻²)	وزن کاه Straw Weight (kg m ⁻²)	تعداد دانه Grain /spike	تعداد سنبله Spikelets number (No m ⁻²)	طول خوشه Panicle length	طول پدانکل Peduncle length (cm)	طول بوته Plant height (cm)	
زمان محلول پاشی Spraying time	رقم Cultivar											
پنججاری Tillering	L ₁	1715.	31.00	153.3	129.7	7.087	4.180	44.67	15.50	8.500	12.33	78.50
پنججاری Tillering	L ₂	2751.	32.00	151.3	131.7	4.272	2.572	37.83	14.83	8.167	12.33	76.50
پنججاری Tillering	L ₃	2282.	32.33	152.3	125.0	5.255	3.505	37.17	15.33	8.167	11.00	72.50
پنججاری Tillering	L ₄	2174.	31.33	152.3	129.3	4.397	2.510	34.17	14.67	7.833	11.17	74.33
پنججاری Tillering	L ₅	1844.	33.00	155.0	123.3	4.632	2.720	31.33	12.83	7.000	14.33	70.50
پنججاری Tillering	L ₆	866.	31.67	151.0	130.7	5.275	3.965	26.33	13.17	6.333	3.00	69.83
پنججاری Tillering	L ₇	1402.	31.33	152.7	125.0	2.795	1.772	28.50	12.67	5.833	11.00	71.50
پنججاری Tillering	L ₈	2124.	34.00	151.0	126.0	4.442	2.713	36.17	16.17	8.000	13.50	80.50
پنججاری Tillering	L ₉	1904.	32.67	156.0	126.0	4.778	3.228	34.83	17.33	7.500	16.17	72.67
پنججاری Tillering	L ₁₀	2174.	30.67	154.3	128.3	4.918	2.755	38.00	15.17	8.000	13.17	68.00
پنججاری Tillering	L ₁₁	850.7	31.33	153.0	128.7	5.240	3.025	34.17	14.00	6.500	12.50	78.17
پنججاری Tillering	L ₁₂	1478.	30.67	155.0	127.3	5.843	3.517	32.17	15.00	7.167	13.67	75.00
پنججاری Tillering	L ₁₃	2382.	32.33	156.3	126.7	4.215	2.032	29.83	15.33	7.667	13.17	66.50
پنججاری Tillering	L ₁₄	1545.	34.00	155.3	125.0	4.388	2.748	36.83	14.50	7.000	12.33	66.83
پنججاری Tillering	L ₁₅	2793.	34.00	152.0	128.0	4.082	2.598	31.17	14.33	6.667	10.17	65.33
پنججاری Tillering	L ₁₆	2948.	30.67	155.0	130.3	3.793	2.367	31.50	14.50	7.167	12.67	67.33
پنججاری Tillering	Seymareh	2382.	31.67	154.0	130.0	4.160	2.248	32.00	13.50	6.667	13.00	75.50
پنججاری Tillering	Dehdasht	2641.	32.33	152.0	130.0	4.318	2.903	33.17	13.67	7.333	12.50	75.67
پنججاری Tillering	LSD 5%	651.7	3.073	3.605	6.097	1.383	1.022	4.344	1.307	0.724	2.093	3.287

ادامه جدول ۳ - مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان محلول پاشی $\times$ ارقام مختلف بر صفات مورد مطالعه

Continued-Table 3 - Mean comparison of interaction effects of Time spraying $\times$ Cultivars on studied traits

Confidence Table 3: Grain comparison of interaction effects of time spraying												
تیمار ۲ Treatment 2	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	وزن هزار دانه TKW (g)	تعداد روز تا رسیدن DMA (Day)	تعداد روز تا ظهور سنبله DHE (Day)	وزن کل بوته Total plant weight(kg m ⁻²)	وزن کاه Straw Weight(kg m ⁻³)	تعداد دانه در سنبله Grain /spike	تعداد سنبله Spikeletes number (No m ⁻²)	طول خوشه Panicle length cm)	طول پدانکل Peduncle length cm)	طول بوته Plant height cm)	
زمان محلول پاشی Spraying time	رقم Cultivar											
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₁	1738.	33.67	150.7	128.0	5.110	3.215	36.33	14.33	7.333	10.50	73.50
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₂	2498.	31.67	152.3	127.0	5.588	3.680	29.00	14.50	7.167	10.50	69.50
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₃	2373.	32.67	156.0	128.0	4.700	2.942	30.67	13.67	7.167	12.17	74.83
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₄	1753.	34.33	150.0	128.0	5.015	3.098	35.17	13.67	7.333	13.17	75.33
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₅	2523.	34.67	152.7	127.0	4.273	2.672	42.83	15.33	7.167	8.667	68.00
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₆	2209.	32.67	152.3	125.7	4.340	2.640	31.00	13.83	7.333	12.33	75.17
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₇	2563.	33.67	154.0	127.7	4.343	2.643	32.67	13.83	7.333	12.33	75.17
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₈	2043.	33.67	152.3	127.3	6.075	3.727	30.50	14.83	7.167	14.83	74.17
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₉	2380.	35.00	153.7	127.0	4.600	2.888	32.67	13.33	6.833	12.00	76.83
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₁₀	2361.	35.33	151.0	124.0	5.130	3.117	33.83	15.67	7.333	10.33	73.67
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₁₁	2203.	30.67	150.7	125.3	5.412	3.558	33.17	13.67	7.000	14.33	73.00
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₁₂	2301.	33.00	151.7	124.7	2.438	1.718	21.17	11.83	6.167	8.00	60.83
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₁₃	1093.	33.00	154.7	126.7	6.248	3.938	33.00	14.83	7.333	10.00	71.33
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₁₄	1956.	33.00	153.7	127.0	6.242	3.893	33.00	14.83	7.167	14.83	81.17
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₁₅	1507.	33.67	152.3	127.3	4.630	2.750	24.83	13.83	6.833	12.17	70.00
خوشه‌دانه‌ای Booting	L ₁₆	1786.	31.67	154.0	126.3	3.173	2.003	32.00	16.00	6.667	11.17	66.83
خوشه‌دانه‌ای Booting	Seymareh	1916.	33.00	154.7	127.3	5.307	3.522	27.67	15.00	7.333	11.33	69.00
خوشه‌دانه‌ای Booting	Dehdasht	2031.	32.33	151.7	125.7	4.330	2.542	35.33	14.83	6.833	11.00	79.17
خوشه‌دانه‌ای Booting	LSD 5%	651.7	3.073	3.605	6.097	1.383	1.022	4.344	1.307	0.724	2.093	3.287

ادامه جدول ۳ - مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان محلول یابی $\times$ ارقام مختلف بر صفات مورد مطالعه

Continued Table 2: Mean comparison of interaction effects of Line spraying treatments on studied traits													
تیمار ۲ Treatment 2	زمان محصول‌یابی Spraying time	رقم Cultivar	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	وزن هزار دانه TKW (g)	وزن رسیدن DMA (Day)	تعداد روز تا ظهور سنبله DHE	تعداد کل بوته Total plant weight(kg m ⁻²)	وزن کاه Straw Weight(kg m ⁻²)	در سنبله Grain /spike	تعداد سنبله Spikelets number (No m ⁻²)	طول خوشه Panicle length	طول پداتکل Peduncle length (cm)	طول بوته Plant height (cm)
دانه‌بندی filling	L ₁		1858.	34.33	152.0	126.0	2.395	1.689	20.50	11.67	6.167	8.000	61.00
	L ₂		2480.	31.00	151.3	125.3	4.550	2.680	35.00	14.67	6.833	10.83	80.00
	L ₃		1647.	33.00	154.0	125.3	3.417	2.170	35.50	16.33	7.000	11.17	67.00
	L ₄		1146.	31.33	152.0	126.3	4.373	2.725	41.67	15.33	7.167	9.333	68.00
	L ₅		1339.	34.00	155.7	123.3	5.458	3.607	29.67	14.83	7.167	10.50	69.33
	L ₆		1915.	31.67	152.7	126.3	4.725	2.977	29.33	13.33	6.833	11.83	74.33
	L ₇		771.7	35.00	155.3	126.0	4.715	2.963	35.67	14.33	7.167	11.00	73.67
	L ₈		1468.	34.33	152.3	127.3	4.727	2.983	32.17	13.00	6.667	13.17	77.33
	L ₉		1111.	33.00	153.7	127.3	5.190	3.165	35.33	14.00	7.500	13.83	76.67
	L ₁₀		1505.	34.33	150.7	125.3	6.082	3.867	32.67	15.00	7.500	10.00	70.83
	L ₁₁		2128.	34.33	151.7	127.7	5.680	3.628	34.00	16.00	7.500	10.67	80.00
	L ₁₂		1493.	33.67	156.0	127.3	4.400	2.665	34.00	14.33	7.500	12.17	74.17
	L ₁₃		1429.	35.33	151.3	122.3	5.470	3.458	25.83	13.83	6.833	12.00	70.50
	L ₁₄		1669.	32.00	151.7	122.3	4.920	3.187	33.17	13.67	7.000	14.33	72.33
	L ₁₅		1109.	34.67	152.0	119.7	5.233	3.445	26.83	14.83	7.167	11.17	69.50
	L ₁₆		1838.	33.67	153.3	121.3	6.073	3.993	33.50	15.33	8.667	14.83	79.67
دانه‌بندی filling	Seymareh		1298.	33.33	151.7	123.3	4.857	3.260	29.67	13.50	7.167	14.67	75.67
دانه‌بندی filling	Dehdasht		1641.	34.00	154.7	122.3	6.235	3.893	33.67	14.83	7.167	14.83	82.00
دانه‌بندی filling	USD 5%		651.7	3.073	3.605	6.097	1.383	1.022	4.344	1.307	0.724	2.093	3.287

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان محلولپاشی × ارقام مختلف بر صفات موردمطالعه
Continued Table 3 - Mean comparison of interaction effects of Time spraying × Cultivars on studied traits

تیمار 4 Treatment 4	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	وزن هزار دان (گ) TKW (g)	وزن کل بوته Total plant weight(kg/m ²)	وزن کاه Straw Weight(kg m ⁻²)	تعداد دانه در سنبله Grain /spike	تعداد سنبله Spikelets number (No m ⁻²)	طول خوشه Panicle length	طول پدانکل Peduncle length (cm)	طول بوته Plant height (cm)			
زمان محلول پاشی Spraying time	رقم Cultivar											
شاهد	L ₁	1111.	31.67	150.0	125.7	4.280	2.767	30.33	14.83	7.833	9.833	70.67
شاهد	L ₂	1196.	31.00	152.3	126.3	3.727	2.432	30.50	13.00	6.833	10.00	66.00
شاهد	L ₃	1584.	32.00	150.7	129.3	4.417	2.985	25.67	13.17	7.333	7.333	65.33
شاهد	L ₄	1030.	32.00	152.3	125.7	4.968	3.218	32.50	14.50	6.500	12.50	65.17
شاهد	L ₅	1065.	30.67	150.7	128.0	3.107	2.200	24.33	12.83	6.500	13.67	66.83
شاهد	L ₆	858.0	32.33	152.7	126.3	3.318	2.258	26.00	18.17	8.333	8.667	71.00
شاهد	L ₇	1023.	31.67	152.0	131.3	2.532	1.613	26.33	12.33	6.333	11.83	70.33
شاهد	L ₈	1734.	31.33	151.0	130.3	2.862	1.838	23.00	9.833	5.167	11.50	68.67
شاهد	L ₉	1341.	32.00	153.0	129.7	4.518	3.015	27.50	14.50	7.167	10.33	73.33
شاهد	L ₁₀	1096.	31.67	151.0	124.3	3.355	2.240	26.17	13.33	7.167	15.17	71.67
شاهد	L ₁₁	827.7	31.67	153.3	127.0	3.128	2.122	28.67	14.17	6.500	7.333	61.17
شاهد	L ₁₂	1032.	31.67	151.7	131.0	5.192	3.358	29.33	14.67	7.833	14.33	75.67
شاهد	L ₁₃	949.3	32.67	151.0	127.3	3.577	2.687	21.83	14.00	7.333	13.17	68.67
شاهد	L ₁₄	1013.	31.67	151.3	123.3	3.743	2.472	25.83	13.83	7.000	12.50	66.67
شاهد	L ₁₅	880.3	31.33	151.0	124.3	3.362	2.093	29.33	12.17	6.667	8.833	61.17
شاهد	L ₁₆	771.7	33.33	153.3	125.0	3.903	2.485	26.00	12.33	6.833	13.00	67.50
شاهد	Seymareh	775.7	31.33	150.7	124.0	3.262	2.138	24.83	10.83	6.333	13.00	65.50
شاهد	Dehdasht	926.0	31.00	155.3	127.3	5.648	3.872	33.83	16.00	8.333	14.67	81.00
شاهد	LSD 5%	651.7	3.073	3.605	6.097	1.383	1.022	4.344	1.307	0.724	2.093	3.287

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means in each column, followed by similar letter are not significantly different at $P \leq 0.05$

نتیجه گیری

محلول پاشی عناصر ریزمغذی (سوپر پلاس) سبب افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد گندم دوروم گردید و با توجه به نتایج آزمایش بهترین و مناسبترین زمان محلول پاشی سوپر پلاس برای ارقام گندم دوروم دیم در زمان پنجه زنی بود و در بین ارقام بیشترین درصد پروتئین و عملکرد دانه در مرحله پنجه زنی به ترتیب در لاین های L_5 (۱۲/۲۳ درصد) و L_{16} (۲۹۴۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد، بنابراین این لاین ها پتانسیل جایگزینی با ارقام موجود را دارند. تکرار این پژوهش طی چند سال و همچنین در مناطق دیگر نیز می تواند در تأیید نتایج حاصل مؤثر باشد. با توجه به کمبود روی و آهن در سطح وسیعی از افراد جامعه پیشنهاد می شود محلول پاشی

مزارع گندم دوروم با نانو کلات سوپر پلاس حداقل در مراحل پنجه دهی و رسیدگی دانه صورت گیرد. بنابراین، به نظر می رسد که استفاده از نانو کلات سوپر پلاس ZFM (روی، آهن، منگنز) که شامل عناصر میکرو با اسیدهای آمینه به عنوان منبع ازت و با اسید آسکوربیک به عنوان یک آنتی اکسیدان قوی می تواند بسیار مؤثر باشد و می تواند به طور قابل توجهی عملکرد و اجزای عملکرد و درصد پروتئین را در گندم دوروم دیم افزایش دهد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تربت حیدریه انجام شده است که بدین وسیله قدردانی و تشکر می شود.

References

- Alavi Matin, S. M., Rahnama, A., and Meskarbashi, M. 2015. Effect of Type and rate of potassium fertilizer on agronomic characteristics of two cultivars durum wheat under saline stress. Research in Agricultural Science 2 (1): 177-188. (in Persian with English abstract).
- Bauder, J., 2003. Wheat production. Montana State University. Water Quality and Irrigation Management web site.
- Dimkpa, C. O., and Bindraban, P. S. 2016. Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: a review. Agronomy for Sustainable Development 36 (1): 1-26.
- El-Magid, A. A. A., Knany, R. E., and El-Fotoh, H. G. A. 2000. Effect of foliar application of some micronutrients on wheat yield and quality. Annals of Agricultural Science Cairo 1: 301-313.
- Emam, Y. 2011. Cereal Production, Shiraz University Press. Fourth edition. 190 pp.
- Farajzadeh Memari Tabrizi, E., Yarnia, M., Khorshidi, M. B., and Ahmadzadeh, V. 2009. Effect of micronutrients and their application method on yield, crop growth rate and net assimilation rate of corn cv. Jeta. Journal of Food, Agriculture and Environment 7 (2): 611-615.
- Fathi, G., Mojedam, M., Siadat, S. A., and Mohammadi, G. N. 2002. Effect of Different Levels of Nitrogen and Cutting Time on Grain and Forage Yield of Karoon Cultivar of Barley. JWSS-Isfahan University of Technology, 5 (4): 97-106.
- Feizi Asl, V., and Valizadeh, Gh. R. 2004. Effects of phosphorus and zinc fertilizer applications on nutrient concentrations in plant and grain yield in cv. Sardari (*Triticum aestivum* L.) under dryland conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 6 (3): 223-238.
- Gharachorloo, M. 2011. Management system designed to monitor the quality of wheat. Grain Research Center, (in Persian).
- Hemantaranjan, A., and O. K. Garg. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *Triticum aestivum* L. J. Plant Nutr. 11: 1439-1450.
- Hamidi Asil, S., Mostashari, M., and Moez Ardalan, M. 2014. A review of the effects of the sition of some of the micro elements and the determination of the critical level on wheat in the city of Qazvin. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 9 (4): 39-46.
- Hussain, N., Khan, M. A., and Javad, M. A., 2005. Effect of foliar application of plant micronutrient mixture on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences 8 (8): 1096- 1099.
- Kassab, O. M., Zeing, H. A. E., and Ibrahim, M. M. 2004. Effect of water deficit and micronutrients foliar application on the productivity of wheat plants. Minufiya J. Agric. Res., 29:925-932.
- Leilah, A. A., Badawi, M. A., EL-Moursy, S. A., and Attia, A. N. 1988. Response of soybean plants to foliar application of zinc and different levels of nitrogen. J. Agric. Sci. (Mansoura Univ., Egypt). 13: 556-563.
- Li, M., Wang, S., Tian, X., Zhao, J., Li, H., Guo, C., Chen, Y., and Zhao, A. 2015. Zn distribution and bioavailability in whole grain and grain fractions of winter wheat as affected by applications of soil N and foliar Zn combined with N or P. Journal of Cereal Science 61: 26-32.
- Malakooti, M. J., Malakooti, A., Majidi, A., Baybourdi, A., Salari, A., and Falahi, A. 2009. Comparative efficiency of enriched wheat flouring richens plant in the field of health promotion. J. of Food Sci. 6 (3): 118 Pp. (in Persian).
- Maralian, H. 2012. Effect of supplementary nutrition with Fe, Zn chelates and urea on wheat quality and quantity. African Journal of Biotechnology 11 (11): 2661-2665.

18. Mozaffari, A., Saydat, S. A., Hashemi Dezfooli, S. A. 2006. Effect of Plant Density on Morphological and Physiological Characteristics of Four Cultivars of Durum Wheat (*Triticum turgidum var.durum*) under Dryland of Sarableh Region, Ilam. Research in Agricultural Science 2 (1): 47-56. (in Persian).
19. Pahlavan-Rad, M. R., and Pessarakli, M. 2009. Response of wheat plants to zinc, iron, and manganese applications and uptake and concentration of zinc, iron, and manganese in wheat grains. Communications in soil science and plant analysis 40 (7-8): 1322-1332.
20. Rangel, Z., and Graham, R. D. 1995. II. Importance of seed Zn content for growth on zinc-deficient soil. Plant Soil, 173: 267-274.
21. Seadh, S. E., El-Abady, M. I., El-Ghamry, A. M., and Farouk, S. 2009. Influence of micronutrients foliar application and nitrogen fertilization on wheat yield and quality of grain and seed. Journal of Biological Sciences 9 (8): 851-858.
22. Seilsepour, M. 2007. The study of Fe and Zn effects on quantitative and qualitative parameters of winter wheat and determination of critical levels of these elements in Varamin plain soils. Pajouhesh and Sazandegi In: Agronomy and Horticulture 20 (3): 123-133.
23. Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research 98: 222-229.
24. Tatari, M., 2004. The effects of various levels of salinity and irrigation times on growth and yield of cumin in Mashhad conditions. MSc thesis. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. 87p. (in Persian with English abstract).
25. Torun, A., Gültekin, I., Kalayci, M., Yilmaz, A., Eker, S., and Cakmak, I. 2001. Effects of zinc fertilization on grain yield and shoot concentrations of zinc, boron, and phosphorus of 25 wheat cultivars grown on a zinc-deficient and boron-toxic soil. Journal of Plant Nutrition 24: 1817-1829.
26. Varga, B., Svecnjak, I., and Pospisil, A. 2001. Winter wheat cultivar performance as affected by production systems in Croatia. Agronomy Journal 93: 961- 966.
27. Velu, G., Ortiz-Monasterio, I., Cakmak, I., Hao, Y., and Singh, R. P. 2014. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. Journal of Cereal Science 59: 365-372.
28. Yagdi, K. 2009. Path coefficient analysis of some yield components in durum wheat (*Triticum durum Desf.*). Pakistan Journal of Botany 41: 745-751.
29. Ziaieian, A. H., Malakouti, M. J. 2001. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. In: Plant Nutrition: Springer, pp. 840-841.
30. Ziaeyian, A. 2006. Effects of potassium and zinc application on silage corn cultivation. Journal of Soil and Water Sciences 20 (1): 36-37.



Effects of Foliar Application Time of Nano-micronutrients on Quantity and Qualitative Traits in Rainfed durum Wheat Genotypes in Moghan

Y. Firoozi¹ - H. Feizi^{2*} - A. Mehraban³ - M. Alipanah⁴

Received: 23-09-2016

Accepted: 17-10-2017

Introduction

Durum wheat (*Triticum turgidum* var. durum) because of the high protein content compared to other grain products plays a major role in providing the protein needed by humans. Different crop varieties have different performance potential even a figure from region to region does not have the same performance. Nano slow and controlled release fertilizers because of root elements in a good area, have high efficiency. In Iran, 300 to 400 tons of durum wheat annually produced which 60% is recoverable for production of pasta and other domestic needs is imported. Per capita consumption of pasta in the country is 5 kg per year (about one quarter of Europe) and with regard to nutrients such as gluten and beta-carotene in pasta and very low losses, it is necessary to increase the amount of its consumption. For this purpose, the government has taken incentive policies such as higher rates order of durum wheat (about 6%) compared to bread wheat and prizes export to exporters of this product, to increase its production and exports. This study aimed to evaluate the effect of foliar application time of Nano-chelate Super Plus on yield and its components and protein content in durum wheat varieties in Parsabad Moghan area was conducted.

Materials and Methods

The study was conducted as the form of randomly split-plot based on randomized complete block design with three replications. Treatments include the application of Nano-chelate fertilizer Super Plus (Biozar) with a concentration of two per thousand in four levels, (tilling, flowering, seed and control (no application)) as the main factor and cultivars of durum wheat lines operating in 18 level as were minor. Studied traits including plant height, number of tillers and fertile tillers, peduncle length, ear length, number of spikelets, number of seeds per plant, grain weight, straw weight, total seed weight per plant, total plant weight, number of days to heading, days to maturity, grain weight, protein content and seed yield. Each plot area of 2.7 square meters (6 lines with a length of 6 m and 20 cm spacing) and a total area of 6 square meters plot was harvested. The company proposed application of Biozar at the dose of 2 per thousand, according to the desired level, calculated and prepared and was sprayed every step of the treatments in question. At each plot also a sample of 1.5 kg of grain was sent to the laboratory to determine protein content of each sample. Finally, the obtained data collected using the SPSS and MSTAT-C statistical analysis soft wares for analysis of variance, and Interaction between treatments and figures and data clustering was performed and the results were presented.

Results and Discussion

Results showed that the highest grain yield obtained from spray at tilling stage in L16 (2948 kg ha⁻¹) compared to the control group (771.70 kg ha⁻¹) by 228.01%. Comparison of the interaction of means showed that the highest grain yield in the spray at tilling stage L16 (2948 kg ha⁻¹) as compared to the control group (771.70 kg ha⁻¹) 282.01% increase. Results of mean comparisons of the timing of application × figures also showed the highest protein content in line L5 and the spray at tilling stage (12.23 %) as compared to control 23.54% increase. The lowest percentage of protein in the DEHDASHT and spraying at the seed (9.10%) respectively compared to control (9.53%) 4.73% decreased. So, it seems that the use of Nano-chelate Super plus ZFM (zinc, iron, manganese) which contains micro elements, amino acids as nitrogen source and as a powerful antioxidant ascorbic acid can be very effective to increasing yield and its components and also the protein content of durum wheat in dry land.

1- MSc Graduated student, Plant Production Department, University of Torbat Heydarieh, Iran

2- Assistant Professor, Plant Production Department and Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Iran

3- Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardebil, Iran

4- Associate Professor, Plant Production Department, University of Torbat Heydarieh, Iran

(*- Corresponding Author Email: h.feizi@torbath.ac.ir)

Conclusions

Nano-chelated Super Plus foliar application increased grain yield and yield components of durum wheat. According to the results the most appropriate timing of application of Super Plus for Durum Wheat was at the time of tillering and among the highest protein content and yield showed in the tillering stage to arrange in lines L5 (12.23 %) and L16 (2948 kg) respectively. Repeating this study for few years of research as well as in other areas could also be useful in confirming the results.

Keyword: Cereal, Line, Protein, Spray, Yield components



تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و اجزای آن در دو ژنوتیپ و یک رقم ارزن دمروباهی

مسعود خزاعی^{۱*} - محمد گلوی^۲ - مهدی دهمرده^۳ - سید محسن موسوی نیک^۳ - غلامرضا زمانی^۴ - نفیسه مهدی نژاد^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۳۰

چکیده

در شرایط کمبود آب انتقال الگوی کشاورزی به سمت گیاهان سازگار با خشکی می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با اثرات کمبود آب باشد. ارزن دمروباهی گیاهی چهار کرنبه با سازگاری خوب به نواحی خشک است که در شرایط تنش بسته شدن جزئی روزنه، تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش داده و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و اجزای آن آزمایشی در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. سطوح تنش خشکی (شامل شاهد، تنش ملایم و شدید به ترتیب با تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌های kfm5 و kfm20 و رقم باستان به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی کارایی مصرف آب دانه را کاهش داد ولی تأثیر معنی‌داری بر کاهش کارایی مصرف آب عملکرد بیولوژیک نداشت. در تمام سطوح تنش ژنوتیپ باستان به علت شاخص برداشت بالاتر کارایی مصرف آب بالاتری از دو لاین دیگر در شرایط بدون تنش (۰/۸۱۷ در برابر ۰/۶۲۷) و تنش (۰/۵۶۳ در برابر ۰/۴۱۵ گرم بر کیلوگرم) داشت و برای شرایط تنش مناسب‌تر است. تحت تأثیر تنش کاهش عملکرد دانه به واسطه کاهش شاخص برداشت و کل ماده خشک بود. کل ماده خشک ژنوتیپ‌ها اختلافی نداشت و برتری رقم باستان به علت شاخص برداشت بالاتر بود. کارایی مصرف آب بالا در گیاه لازمه مقاومت و سازگاری در شرایط مواجهه با تنش خشکی است و به همراه شاخص برداشت که شاخصی از مقدار محصول قابل استفاده است، می‌تواند برای شناسایی ژنوتیپ‌ها و ارقام مناسب برای شرایط خشک و کمبود آب مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، ماده خشک

مقدمه

مثبت با مقاومت گیاه به تنش خشکی دارد (Erfani et al., 2013)، ولی برخی گونه‌ها با وجودی که تحمل خوبی به کمبود آب دارند، در شرایط بدون تنش نمی‌توانند استفاده کارآمد از آب داشته باشند. عوامل مدیریتی نظیر کنترل علف‌های هرز و آفات، بهبود تکنیک شخم و زمان کاشت نیز که عوامل محدودکننده رشد را کاهش می‌دهد بدون افزایش تبخیر و تعرق کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد. این عوامل هردوی عملکرد و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد (Kafi et al., 2010). تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب بسته به گونه گیاهی، مرحله فنولوژیکی مواجهه با تنش و شدت تنش متفاوت است (Keshavars et al., 2012; Kumari, 1988). اختلاف بیشتر کارایی مصرف آب بر اساس مسیر فتوسنتزی است و گونه‌های چهار کرنبه کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به سه کرنبه‌ها دارند. فتوسنتز بالا و سرعت رشد تحت شرایط نور و درجه حرارت بالا به همراه مقاومت روزنه‌ای بالاتر گونه‌های چهار کرنبه باعث کارایی مصرف آب بالاتر آن‌ها شده است. در وضعیت محدودیت آب انتقال الگوی کشاورزی به سمت

تنش خشکی به عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محسوب می‌شود که از طریق تأثیر بر عواملی که وضعیت مورفوفیزیولوژیکی گیاه را تغییر می‌دهد (Jaleel et al., 2009)، اثرات شدیدی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی در نواحی مختلف جهان می‌گذارد (Daei et al., 2012). تنش خشکی کارایی مصرف آب را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد و اغلب تحقیقات در این زمینه به منظور دست یافتن به کارایی مصرف بالا با حفظ تولید بالا متمرکز است (Gardner et al., 2010). کارایی مصرف آب گیاه همبستگی

۱- کارشناس ارشد آموزشی دانشگاه بیرجند و دانشجوی سابق دکتری زراعت گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۲ و ۳ - به ترتیب استاد، دانشیار و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
(Email: mkhazaei@birjand.ac.ir) * نویسنده مسئول:

گیاهان سازگار با خشکی می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با اثرات کمبود آب باشد (Seghataleslami et al., 2008). ارزن دمروباهی (*Setaria italica*) یک گیاه چهار کربنه با سازگاری خوب به نواحی خشک است که کارایی مصرف آب بالایی دارد (Hatfield et al., 2001). در این گیاه افزایش میزان بسته شدن روزنه تحت تأثیر تنش ملایم، تعرق را بیشتر از فتوسنتز تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد ولی تنش شدید باعث بسته شدن کامل روزنه شده و در نتیجه کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد (Kafi et al., 2010). گزارش شد که ارزن در مواجهه با تنش ملایم کارایی مصرف آب بالاتری را نسبت به شاهد نشان داد و در این شرایط افزایش فواصل آبیاری منجر به افزایش نسبت برگ به ساقه شد که همبستگی مثبت با کارایی مصرف آب دارد (Heidari Zooleh et al., 2011). (Keshavars et al., 2012) با افزایش شدت تنش در ارزن کاهش کارایی مصرف آب را گزارش کردند. همچنین ابراز داشتند که در اغلب محصولات زراعی بهبود کارایی مصرف آب باعث بهبود در زیست‌توده تولیدی نمی‌شود و علت اصلی بهبود عملکرد افزایش شاخص برداشت است.

در تحقیقی دیگر که تأثیر تنش خشکی بر رشد ارزن در دو سال مورد بررسی قرار گرفت، افزایش میزان آب مصرفی باعث افزایش کارایی مصرف آب دانه و کاهش کارایی مصرف آب زیست‌توده بالای سطح خاک شد. تأثیر تنش بر کارایی مصرف آب در دو سال آزمایش نیز متفاوت بود (Maman et al., 2003).

باوجود اهمیت استفاده از گیاهان با راندمان مصرف آب بالا، هدف نهایی از تولید محصولات عملکرد قابل برداشت بیشتر است که تحت تنش خشکی در گیاهان تغییرات متفاوتی را نشان می‌دهد (Jaleel et al., 2009). در مراحل مختلف رشد اندام‌های گیاهی برای دریافت آسیمیلات‌های فتوسنتزی باهم رقابت می‌کنند و تنش‌های محیطی علاوه بر کاهش فتوسنتز کل، تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش و یا افزایش عملکرد دانه یا از طریق تغییر کل ماده خشک تولیدی و یا تغییر در سهم عملکرد دانه صورت می‌گیرد. نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک تولیدی که به عنوان شاخص برداشت شناخته می‌شود می‌تواند یک معیار به منظور مقایسه قابلیت گونه‌های زراعی در تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه مورد استفاده قرار گیرد (Keshavars et al., 20013). عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در یولاف (*Avena fatua*) انعطاف‌پذیری دارد و لاین‌های با عملکرد بیولوژیک بالا و شاخص برداشت ۵۰-۴۰٪ بالاترین عملکرد دانه را دارند. در حالی که در اغلب غلات دانه‌ریز افزایش عملکرد دانه اساساً به علت افزایش شاخص برداشت است. گیاه هیچ ماده خشک اضافی تولید نمی‌کند و فقط ماده خشک بیشتری را به عملکرد اقتصادی اختصاص می‌دهد (Gardner et al., 2010).

خدابندلو و همکاران (Khodabandloo et al., 2014) کاهش عملکرد دانه را در زمان مواجهه با تنش در ارزن دمروباهی گزارش کردند و بخشی از کاهش عملکرد در این شرایط را به علت کاهش شاخص برداشت دانه دانستند. ثقه‌الاسلام و همکاران (Seghataleslami et al., 2008) نیز در تحقیقی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد را بر شاخص برداشت دانه در ارقام ارزن مورد بررسی قرار دادند و تغییرات متفاوتی را در شاخص برداشت دانه، پانیکول و دانه در پانیکول در ارقام مختلف ارزن گزارش کردند و ابراز نمودند که تنش در اغلب مراحل رشد باعث کاهش شاخص برداشت شد ولی تنش در مرحله ظهور خوشه کمترین شاخص برداشت را نشان داد. یاداو و باتاگار (Yadav and Bhatagar, 2001) گزارش کردند که در ارزن کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه در شرایط تنش به کاهش شاخص برداشت مربوط می‌شود. بالاترین و پایین‌ترین شاخص برداشت به ترتیب در تیمار شاهد (بدون تنش) و تنش شدید مشاهده شد. در شرایط تنش، کاهش شاخص برداشت در ارزن عموماً به علت محدودیت منبع نیست و بیشتر با ظرفیت پنجه‌زنی بالای آن مرتبط است. در شرایط محدودیت آب پنجه‌های جدید برای دریافت مواد فتوسنتزی با دانه رقابت می‌کنند و در این حالت ظرفیت پنجه‌زنی به عنوان یک خصوصیت منفی برای تولید دانه در ارزن محسوب می‌شود (Keshavars et al., 2013). تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و نقش آن در کاهش عملکرد در دو ژنوتیپ و یک رقم ارزن انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و شاخص برداشت در ارزن آزمایشی در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. سطوح مختلف تنش خشکی (شامل شاهد، تنش متوسط و تنش شدید به ترتیب بر اساس ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه) به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌های ارزن دمروباهی (شامل باستان به عنوان رقم مورد کشت در منطقه و لاین‌های امیدبخش KFM5 و KFM20) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم پاییزه و بهاره و دیسک و تسطیح در بهار ۹۳ و ۹۴ انجام شد. قبل از کاشت نمونه‌گیری از خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام و کودپاشی بر اساس نتایج آزمون خاک از منابع اوره $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ، فسفات دی آمونیم $(\text{HPO}_4)(\text{NH}_4)_2$ و سولفات پتاسیم (K_2SO_4) به ترتیب به میزان ۲۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار انجام گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1- Some physical and chemical properties of soil

K (ppm)	P (ppm)	% N	بافت Texture	رس % % Clay	سیلت % % Silt	شن % % Sand	EC mS.cm ⁻¹	pH
232	5.1	0.025	loam	24.7	30.0	45.3	7.9	7.9

آن پس از جدا نمودن اجزای عملکرد و خشک کردن نمونه‌ها در آن به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۸ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. سپس پانیکول‌ها کوبیده شد و دانه‌ها جدا و توزین گردید و عملکرد دانه و شاخص برداشت دانه، سنبله و دانه در سنبله با استفاده از معادله ۳ تعیین شد.

(۳) $100 \times (\text{ماده خشک تولیدی} / \text{عملکرد دانه}) = \text{شاخص برداشت}$
داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

برهم‌کنش بین سال، تنش و ژنوتیپ بر هیچ‌یک از صفات مورد بررسی به‌جز عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نشد (جدول ۲) که نشان می‌دهد صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های ارزن مستقل از سطوح مختلف تنش در هر یک از سال‌های آزمایش است و افزایش تنش در دو سال آزمایشی تأثیر مشابهی بر صفات مورد مطالعه در سه ژنوتیپ داشت (جدول ۲). برهم‌کنش تنش و ژنوتیپ نیز بر هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۱)، که نشان می‌دهد اثرگذاری تنش بر صفات مورد بررسی مستقل از ژنوتیپ‌های ارزن است. تنش تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب بیولوژیک در سه ژنوتیپ نداشت (جدول ۲) ولی در دو سال بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر کارایی مصرف آب بیولوژیک مشاهده شد. رقم باستان در دو سال بالاترین کارایی مصرف آب بیولوژیک را داشت و اختلاف معنی‌داری با دو ژنوتیپ دیگر داشت، ولی اختلاف دو ژنوتیپ دیگر معنی‌داری نبود (جدول ۳).

برخلاف کارایی مصرف آب بیولوژیک تأثیر تنش بر کارایی مصرف آب دانه مستقل از سال‌های آزمایش نبود به‌گونه‌ای که در سال دوم برخلاف سال اول تنش تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب دانه در مقایسه با شاهد نداشت. در دو سال افزایش تنش باعث کاهش کارایی مصرف آب دانه شد. بالاترین کارایی مصرف آب دانه در سال اول از تیمار شاهد به‌دست آمد و اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح تنش داشت. در سال دوم نیز بالاترین کارایی مصرف آب دانه

کاشت در اول تیرماه ماه صورت گرفت. هر کرت شامل چهار خط به طول شش متر، فاصله بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت چهار سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بین هر کرت فرعی و کرت مجاور یک خط نکاشت و بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. آبیاری تا مرحله چهار تا شش برگی به‌صورت معمول صورت گرفت و از مرحله چهار برگی پس از تنک کردن بوته به تراکم ۵۰ بوته در مترمربع تنش خشکی اعمال شد (Azari and Mirzaei, 2012). کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی تا مرحله چهار برگی صورت گرفت. تیمار آبیاری پس از تخلیه رطوبتی تا ۶۰ درصد آب قابل استفاده و از طریق اندازه‌گیری میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (به روش FAO) و تعیین میزان تخلیه رطوبت خاک، بر اساس میزان رطوبت تعیین شده در آزمایش خاک انجام شد. بدین ترتیب که در تیمار شاهد آبیاری تا حد ظرفیت زراعی در عمق توسعه ریشه (اضافه کردن ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبتی) و در تیمار تنش ملایم و شدید به‌ترتیب ۷۵ و ۵۰ درصد تیمار شاهد تا پایان دوره رویش انجام شد (بر اساس آزمایش خاک میزان آب مصرفی در ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی در هر نوبت آبیاری در تیمار شاهد ۶۰۰ و در تنش ملایم و شدید به‌ترتیب ۴۵۰ و ۳۰۰ لیتر در هر کرت بود).

کارایی مصرف آب دانه با محاسبه نسبت عملکرد دانه به حجم آب مصرفی و کارایی مصرف آب بیولوژیک با محاسبه نسبت کل ماده خشک تولیدشده به حجم آب مصرفی برحسب گرم ماده خشک تولیدی (دانه و کل) به‌ازای لیتر آب مصرفی با استفاده از معادلات زیر تعیین شد (Ehdaei, 1995).

$$WUE_{\text{seed}} = SY/WU \quad (۱)$$

$$WUE_{\text{biological}} = DM/WU \quad (۲)$$

در این معادله، SY عملکرد دانه و DM میزان ماده خشک برحسب گرم، WU میزان آب مصرفی برحسب لیتر، WUE کارایی مصرف آب دانه و بیولوژیک و برحسب گرم ماده خشک به‌ازای لیتر آب مصرفی است. برای تعیین عملکرد دانه، ماده خشک و شاخص برداشت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (رقم باستان ۹۰ و دو ژنوتیپ دیگر ۱۱۰ روز پس از کاشت)، پس از حذف دو خط حاشیه و نیم متر ابتدا و انتهای کرت، از سطح یک مترمربع به‌صورت تصادفی برداشت به‌صورت برش از سطح خاک انجام شد. ماده خشک تولیدی و اجزای

2013)، ولی شدت تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب علاوه بر اینکه به گونه گیاهی بستگی دارد به مرحله فنولوژیکی مواجهه با تنش و شدت تنش نیز وابسته است (Keshavars et al., 1988; Kumari, 2012).

حیدری زوله و همکاران (Heidari Zooleh et al., 2011) نیز گزارش کردند که در روش‌های مختلف آبیاری راندمان مصرف آب تحت تأثیر تنش ملایم، افزایش و در تنش شدید کاهش یافت و علت آن را افزایش نسبت برگ به ساقه و کوچک و ضخیم‌تر شدن برگ‌ها تحت تأثیر تنش بیان نموده‌اند. تغییر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه نظیر افزایش ضخامت برگ می‌تواند باعث واکنش متفاوت کارایی مصرف آب در ارقام مختلف شود و ارقام مورد مطالعه نیز از این نظر متفاوت بودند. نتایج تحقیقات دیگری کاهش کارایی مصرف آب دانه و عملکرد بیولوژیک را تحت شرایط مواجهه با تنش در ارزن گزارش کردند و ابراز داشتند در اغلب محصولات زراعی بهبود کارایی مصرف آب باعث بهبود در زیست توده تولیدی نمی‌شود و علت اصلی بهبود عملکرد افزایش شاخص برداشت است (Keshavarz et al., 2013; Khodabandloo et al., 2014).

نتایج تحقیق نشان داد در دو سال افزایش تنش در دو ژنوتیپ و رقم باستان باعث کاهش شاخص برداشت دانه شد (جدول ۳). بیشترین میزان کاهش شاخص برداشت دانه در تنش ملایم و شدید به ترتیب مربوط به رقم باستان (۳۸ درصد) و ژنوتیپ KFM5 (۳۹ درصد در مقایسه با شاهد) بود و ژنوتیپ KFM20 کمترین حساسیت را به افزایش تنش نشان داد (جدول ۳). در هیچ یک از سطوح تنش اختلاف معنی‌داری بین رقم باستان و ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. بررسی تأثیر تنش بر شاخص برداشت دانه در دو سال نشان داد در سه سطح تنش نه تنها شاخص برداشت دانه در سال اول بیشتر از سال دوم بود میزان کاهش آن تحت تأثیر تنش نیز در سال اول بالاتر بود (جدول ۳). معنی‌داری برهم‌کنش بین سال و ژنوتیپ نیز نشان می‌دهد که شاخص برداشت دانه در ژنوتیپ مستقل از سال‌های آزمایش نیست. باوجود عدم اختلاف معنی‌دار ژنوتیپ‌ها در سال اول، در سال دوم شاخص برداشت دانه رقم باستان به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر بود (جدول ۳).

بین دو سال آزمایشی اختلاف معنی‌داری از نظر شاخص برداشت دانه وجود داشت. در تمام تیمارهای آزمایشی شامل اثرات ساده و متقابل شاخص برداشت دانه در سال اول بیشتر از سال دوم بود (جدول ۳).

تأثیر تنش بر شاخص برداشت پانیکول مستقل از سال آزمایش نبود (جدول ۱) به گونه‌ای که در سال اول تنش شدید منجر به کاهش معنی‌دار شاخص برداشت پانیکول شد ولی در سال دوم کاهش شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۳).

از شاهد حاصل شد ولی اختلاف آن با سایر سطوح تنش معنی‌دار نبود (جدول ۳). در دو سال رقم باستان بالاترین کارایی مصرف آب دانه را نیز نشان داد و اختلاف معنی‌داری با دو ژنوتیپ دیگر داشت. در سال اول ژنوتیپ KFM20 از نظر کارایی مصرف آب اختلاف معنی‌داری با ژنوتیپ KFM5 نداشت ولی در سال دوم کارایی مصرف آب در این ژنوتیپ به‌طور معنی‌داری کمتر از ژنوتیپ KFM5 بود (جدول ۳). در دو ژنوتیپ و رقم باستان کارایی مصرف آب در سال اول به‌طور معنی‌داری بالاتر از سال دوم بود ولی شدت کاهش در ژنوتیپ KFM20 به میزان ۵۴ درصد نسبت به سال اول بیشتر از ژنوتیپ KFM5 و رقم باستان دیگر بود. در تحقیقی دیگر نیز تأثیر تنش بر کارایی مصرف آب در دو سال آزمایش متفاوت بود و علت افزایش کارایی مصرف آب دانه، افزایش درجه حرارت گزارش شد (Maman et al., 2003). در تحقیق حاضر میانگین درجه حرارت در سال دوم پایین‌تر از سال اول بود که می‌تواند در کاهش کارایی مصرف آب دانه در سال دوم مؤثر باشد. تغییرات اقلیمی نظیر افزایش درجه حرارت و غلظت دی‌اکسید کربن از طریق افزایش سرعت فتوسنتز می‌تواند کارایی مصرف آب را تحت تأثیر قرار دهد.

در تمام سطوح تنش کارایی مصرف آب دانه در رقم باستان بالاتر از دو ژنوتیپ دیگر بود و بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش نیز قرار گرفت به‌طوری‌که در تنش متوسط با وجود برتری اختلاف معنی‌داری با دیگر ژنوتیپ‌ها نداشت. در تمام تیمارهای آزمایشی کارایی مصرف آب دانه نیز در سال دوم به‌طور معنی‌داری کمتر از سال اول بود (جدول ۲).

تنش شدید منجر به کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب شد و رقم باستان با ۳۰ درصد کاهش نسبت به شاهد کمترین کاهش را نشان داد ولی کاهش کارایی مصرف آب بیولوژیک در هیچ یک از ژنوتیپ‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. در واقع مکانیسم تقلیل دی‌اکسید کربن در گیاهان چهار کربنه منجر به تولید ماده خشک بالاتر در شرایط خشک می‌شود (Larcher, 1995). در گیاهان چهارکربنه تنش ملایم، تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش می‌دهد و در نتیجه حتی منجر به افزایش کارایی می‌شود، ولی تنش شدید به‌واسطه بسته شدن کامل روزنه محدودیت‌های متابولیکی را نیز افزایش داده و در نتیجه کارایی مصرف آب را کاهش می‌دهد (Kafi et al., 2010; Zhang and Kirkham, 1995). تشدید و یا تداوم تنش خشکی علاوه بر محدودیت روزنه‌ای از طریق تأثیر بر سایر عوامل مؤثر بر فتوسنتز، آسیمیلاسیون چهار کربنه‌ها را نیز محدود می‌کند (Lawlor, 2002; Ripley et al., 2007). مقاومت روزنه عامل اصلی محدودکننده آسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن در شروع و تنش ملایم خشکی و در حین تنش ملایم خشکی است (Cornic, 2000). کارایی مصرف آب بالاتر رقم باستان در تمام سطوح تنش نشان‌دهنده تحمل بیشتر این رقم به تنش خشکی است (Erfani et

جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز میانگین مربعات (تجزیه مرکب) برای کارایی مصرف آب و اجزای آن و عملکرد تحت تأثیر ژنوتیپ ارزن و تنش خشکی در دو سال آزمایش
Table 2- Combine analysis of variance (mean square) for water used efficiency, harvest index and yield of millet genotypes under drought stress in two years

منابع تغییر	Source of variation	d.f	کارایی مصرف آب Water use efficiency			شاخص برداشت Harvest index			عملکرد Yield		
			بیولوژیک Biological	دانه Seed	دانه Grain	پانیکول Ear	پانیکول Seed per panicle	دانه در Grain	دانه Grain	بیولوژیک Biological	عملکرد Yield
سال	Year (Y)	1	0.226 ^{ns}	1.002*	3550**	5260**	0.1 ^{ns}	230075*	230075*	30586 ^{ns}	
خطای اصلی	Error a	6	0.306	0.169	1404	804	2020	28206	28206	279336	
تنش	Stress (S)	2	0.005 ^{ns}	0.473 ^{ns}	2556 ^{ns}	2170 ^{ns}	1372 ^{ns}	252453*	252453*	1053087*	
سال*تنش	Y*S	2	0.177 ^{ns}	0.161*	652**	183*	1182*	22355*	22355*	46262 ^{ns}	
خطای فرعی	Error b	12	0.104	0.027	321	223	1746	5121	5121	21887	
رقم	Variety (V)	2	1.462**	0.225 ^{ns}	46 ^{ns}	953 ^{ns}	2271 ^{ns}	8792 ^{ns}	8792 ^{ns}	46079 ^{ns}	
سال*رقم	Y*V	2	0.006 ^{ns}	0.043*	608**	1183**	134 ^{ns}	12595*	12595*	5662. ^{ns}	
تنش*رقم	S*V	4	0.192 ^{ns}	0.022 ^{ns}	198 ^{ns}	205 ^{ns}	190 ^{ns}	3998 ^{ns}	3998 ^{ns}	171415 ^{ns}	
سال*تنش*رقم	Y*S*V	4	0.074 ^{ns}	0.020 ^{ns}	39 ^{ns}	88 ^{ns}	*447	4868 ^{ns}	4868 ^{ns}	61197*	
خطا	Error c	36	0.041	0.015	18	16	33	2443	2443	5826	
CV%			11.37	22.82	14.33	10.07	8.02			9.78	

*, ** and ns means significant at 0.05 and 0.01 probability level and non-significant respectively
*, **, ns و به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی داری

جدول ۳- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب، شاخص برداشت و عملکرد تحت تأثیر رقم باستان و دو ژنوتیپ ارزن و تنش خشکی در سالهای ۹۳ و ۹۴

Table 3- Mean comparison of simple and interaction effects on water use efficiency, harvest index and yield in bastan and two genotypes of millet and drought stress levels in two years

سال Year	تنش Stress	ژنوتیپ Genotype	کارایی مصرف آب Water use efficiency		شاخص برداشت Harvest index			عملکرد Yield	
			بیولوژیک Biological g L ⁻¹	دانه Seed g L ⁻¹	دانه Grain	پانیکول Ear	دانه در پانیکول Seed per panicle	دانه Seed (g m ⁻²)	بیولوژیک Biological (g m ⁻²)
93			1.739	0.659	36.60	49.08	72.33	297.2	759.11
94			1.851	0.422	22.56	31.98	72.66	184.1	800.33
LSD (0.05)			0.319	0.236	21.61	0.1635	25.91	96.85	304.78
	S ₁		1.811	0.692	37.79	47.80	78.41	353.2	931.3
	S ₂		1.781	0.497	27.13	39.25	68.76	216.0	772.5
	S ₃		1.733	0.432	23.82	34.53	69.57	152.4	635.4
LSD (0.05)			0.522	0.498	0.3171	16.80	42.70	140.1	267.17
	S ₁	Bastan	1.952	0.817	41.34	52.33	78.32	368.0	878.50
	S ₂		2.055	0.550	25.25	38.87	63.31	213.0	796.58
	S ₃		2.016	0.576	25.04	36.32	68.28	187.2	720.25
	S ₁	KFM5	1.818	0.668	37.17	50.71	71.87	367.4	1000.2
	S ₂		1.770	0.521	28.87	44.10	64.85	241.0	818.71
	S ₃		1.523	0.349	22.86	36.21	63.69	131.2	571.42
	S ₁	KFM20	1.664	0.589	34.86	40.40	85.03	324.1	915.33
	S ₂		1.518	0.421	27.50	33.81	85.54	194.9	694.25
	S ₃		1.638	0.369	23.58	31.07	76.76	138.7	614.42
LSD (0.05)			0.205	0.196	8.66	13.02	29.34	167.7	343.36
93	S ₁		1.827	0.901	49.06	58.48	83.82	461.89	936.33
93	S ₂		1.749	0.590	32.31	46.08	67.62	258.53	760.78
93	S ₃		1.611	0.483	28.44	42.68	65.25	171.1b	580.22
94	S ₁		1.796	0.482	26.52	37.10-	72.99	244.41	926.33
94	S ₂		1.813	0.404	21.95	32.43	69.90	174.3	784.16
94	S ₃		1.914	0.380	19.20	26.39	73.89	133.67	690.50
LSD (0.05)			0.286	0.146	15.94	13.28	37.17	98.13	131.61
93		Bastan	2.004	0.736	34.21	46.34	70.43	293.49	786.89
93		KFM5	1.630	0.613	36.27a	51.74	68.16	296.87	764.11
93		KFM20	1.553	0.626	36.33	49.16	78.10	277.1	726.33
94		Bastan	2.085	0.559	26.87	38.67	69.49	218.8	810.00
94		KFM5	1.778	0.413	23.00	35.58	65.44	196.25	729.41
94		KFM20	1.661	0.294	17.81	21.69	81.85	137.33	761.58
LSD (0.05)			0.167	0.101	3.552	3.32	4.76	61.78	63.31

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاهS₁, S₂ and S₃ are 100, 75 and 50 percent plant water requirement respectively

کاهش شاخص برداشت پانیکول به ترتیب در رقم باستان (۳۲ درصد) و ژنوتیپ KFM20 (۲۵ درصد در مقایسه با شاهد) بود و ژنوتیپ KFM20 از این نظر حساسیت کمتری به افزایش تنش نشان داد (جدول ۳). در تمام سطوح تنش شاخص برداشت پانیکول در رقم باستان بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر بود ولی در تنش شدید اختلاف ارقام معنی‌دار نبود که نشان می‌دهد باستان بیشتر تحت تأثیر تنش قرار

شاخص برداشت پانیکول در ژنوتیپ نیز مستقل از سال‌های آزمایش نبود به طوری که در سال اول رقم باستان کمترین ولی در سال دوم بیشترین شاخص برداشت پانیکول را داشت (جدول ۳). شاخص برداشت در این رقم کمتر از دو ژنوتیپ دیگر تحت تأثیر سال آزمایش بود. با افزایش شدت تنش شاخص برداشت پانیکول در دو ژنوتیپ و رقم باستان کاهش نشان داد. بیشترین و کمترین میزان

نیز طول دوره رشد با هم اختلاف داشتند و به همین علت تأثیرپذیری متفاوتی را در شرایط تنش نشان دادند (Vadez et al., 2012). در دیگر ارقام ارزن نیز واکنش متفاوتی به تنش گزارش شد (Khazaei et al., 2005).

کاهش عملکرد دانه تحت تأثیر تنش در مرحله رشد رویشی می‌تواند به علت کاهش کل ماده خشک تولیدی به واسطه کاهش سطح برگ فعال فتوسنتزی برگ باشد. عکس‌العمل برگ‌پرچمی بیشتر از سایر برگ‌ها است و در غلات بیشتر نقش را در رشد اندام‌های زایشی گیاه دارد. بنابراین عملکرد دانه را بیش از عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه کارایی مصرف آب نسبت به کارایی تبخیر و تعرق بیشتر تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد (Hui-Ping et al., 2012). علاوه بر این اعمال تنش در دوره رشد زایشی می‌تواند از طریق کاهش رشد طولی و قطر پانیکول به‌علت کاهش طول دوره زایشی باعث کاهش عملکرد دانه شود (Alizadeh et al., 2007) و نه تنها از طریق کاهش سرعت فتوسنتز و کاهش سرعت انتقال مواد، رشد اندام‌های زایشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد از این طریق نیز باعث کاهش رشد اندام‌های زایشی شود. در تحقیق حاضر اعمال تنش در دو مرحله رشد رویشی و زایشی از طریق کاهش سرعت فتوسنتز تغییر در سهم عملکرد دانه باعث کاهش عملکرد دانه شد. کاهش سرعت فتوسنتز به علت واکنش بسته شدن روزنه صورت می‌گیرد و یکی از مکانیسم‌های مقاومت، به علت کاهش میزان آب در سلول است. افزایش طول ریشه به‌منظور نفوذ عمقی ریشه در جستجوی آب و اجتناب از تنش و نیز سنتز اسمولیت‌های پرولین و هیدرات‌کربن تحت تنش خشکی منجر به کاهش سهم عملکرد دانه از آسیمیلات‌های فتوسنتزی می‌شود. در مطالعه حاضر کاهش شاخص برداشت دانه، سنبله و دانه در سنبله شاخصی از کاهش تخصیص آسیمیلات‌های فتوسنتزی به اندام‌های زایشی تحت شرایط تنش است. البته شاخص برداشت به‌اندازه بوته، شرایط محیطی و رقم نیز وابسته است ولی اعتقاد بر این است که کاهش اندازه گیاه، به‌واسطه تنش در تعیین شاخص برداشت تأثیر دارد و به‌خودی‌خود نقشی در کاهش شاخص برداشت ندارد (Prihar and Stewart, 1991). تعداد سنبله بیشتر در ژنوتیپ KFM20 خصوصاً در شرایط محدودیت آب باعث شده پنجه‌های جدید برای دریافت مواد فتوسنتزی با دانه رقابت کنند. در این شرایط تنش پنجه‌های جدید توانایی پایینی برای تولید خوشه‌های بارور دارند که می‌تواند علت کاهش بیشتر شاخص برداشت دانه و در نتیجه عملکرد پایین دانه در مقایسه با ژنوتیپ و رقم دیگر شود (Gardner et al., 2010). دیگر تحقیقات نیز کاهش شاخص برداشت دانه، پانیکول و دانه در پانیکول را تحت شرایط تنش خصوصاً در مرحله ظهور خوشه در ارقام مختلف ارزن گزارش کردند و ابراز نمودند که میزان کاهش شاخص برداشت در ارقام مختلف متفاوت بود (Khodabandloo et al., 2014; Seghateslami et al., 2008).

گرفت. در تمام تیمارهای آزمایشی شامل اثرات ساده و متقابل شاخص برداشت پانیکول در سال اول بیشتر از سال دوم بود (جدول ۳).

در دو سال ژنوتیپ KFM20 بیشترین شاخص برداشت دانه در پانیکول را داشت و از این نظر اختلاف معنی‌داری با ژنوتیپ و رقم دیگر داشت (جدول ۳). ژنوتیپ KFM5 در هر دو سال کمترین شاخص برداشت دانه در پانیکول را داشت ولی اختلاف معنی‌داری با رقم باستان نداشت. در هر سه ژنوتیپ و رقم با افزایش شدت تنش شاخص‌های برداشت دانه در پانیکول کاهش یافت ولی اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود. در هیچ‌یک از سطوح تنش اختلاف معنی‌داری از نظر شاخص برداشت دانه بین ژنوتیپ‌ها و رقم باستان نیز مشاهده نشد (جدول ۳). اثر اصلی تنش خشکی و سال بر شاخص برداشت دانه در پانیکول از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۲).

در هر دو سال با افزایش شدت تنش عملکرد دانه کاهش معنی‌داری نشان داد ولی عملکرد دانه و میزان کاهش آن تحت تأثیر تنش در سال اول بیشتر از سال دوم بود. دو سال از نظر عملکرد بیولوژیک اختلافی معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). اثرگذاری تنش بر عملکرد دانه مستقل از سال‌های آزمایش نبود (جدول ۲). در سال اول اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها و رقم باستان مشاهده نشد ولی در سال دوم عملکرد دانه در ژنوتیپ KFM20 به‌طور معنی‌داری کمتر از ژنوتیپ و رقم دیگر بود (جدول ۳). در دو ژنوتیپ و رقم باستان با افزایش تنش عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ولی کاهش کل ماده خشک تولیدی معنی‌دار نبود (جدول ۳). در هیچ‌یک از سطوح تنش اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد بین دو ژنوتیپ و رقم باستان مشاهده نشد. اثر اصلی تنش خشکی بر عملکرد دانه و ماده خشک از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه و ماده خشک در دو سال آزمایش مربوط به تیمار بدون تنش (۱۰۰٪ درصد تأمین نیاز رطوبتی) بود و اختلاف معنی‌داری با تنش شدید داشت (جدول ۳). در هر سطح تنش اختلاف معنی‌داری بین ماده خشک کل در دو سال وجود نداشت ولی عملکرد دانه در سال اول به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال دوم بود (جدول ۳).

تنش خشکی تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف را نیز تحت تأثیر قرار داده (Gardner et al., 2010) و از طریق توسعه ریشه به بخش‌های عمیق‌تر خاک توسعه اندام‌های هوایی را کاهش می‌دهد (Anjum et al., 2011). جلوگیری از توسعه اندام‌های هوایی، سهم بیشتری از آسیمیلات‌ها را به ریشه اختصاص می‌دهد (Kafi et al., 2010). یکسان نبودن تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه و شاخص برداشت در ارقام ارزن می‌تواند به‌علت تنوع ژنتیکی بالای ارزن دمروباھی از نظر خصوصیات مورفولوژیکی باشد (Brunda et al., 2014). ژنوتیپ‌ها و رقم مورد مطالعه نیز از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی نظیر اندازه برگ، طول سنبله، قطر سنبله، قطر ساقه و

برداشت دانه بالاتر و در شرایط تنش ارقام با کارایی مصرف آب دانه و ماده خشک بالا مناسب باشند.

تجزیه همبستگی عملکرد دانه برای هریک از ارقام نیز نشان داد در همه ارقام کارایی مصرف آب دانه و شاخص برداشت دانه، پانیکول و ماده خشک به ترتیب بالاترین همبستگی را با عملکرد دانه نشان داد. رگرسیون گام به گام متغیرهای مؤثر بر عملکرد دانه نشان داد در ژنوتیپ KFM20 و KFM5 کارایی مصرف آب دانه و ماده خشک و در رقم باستان به ترتیب شاخص برداشت دانه، کارایی مصرف آب دانه و ماده خشک بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند و کارایی مصرف آب بیولوژیک و شاخص برداشت پانیکول در همه ارقام تأثیر منفی داشت.

نتیجه گیری

انتظار می رود در شرایط مواجهه با تنش ارقام و ژنوتیپ های با کارایی مصرف آب دانه و شاخص برداشت دانه بالاتر، عملکرد دانه بالاتری تولید کنند و بنابراین در بین ژنوتیپ ها و رقم مورد مطالعه رقم باستان به دلیل کارایی مصرف آب دانه و شاخص برداشت دانه بالا در شرایط تنش مناسب تر باشد. در این رقم همبستگی بیشتر شاخص برداشت دانه با عملکرد دانه نیز به استفاده کارآمدتر از آب کمک می کند، حال آن که این شاخص در دو ژنوتیپ دیگر اهمیت کمتری دارد. در شرایط آبیاری مناسب ژنوتیپ KFM5 به واسطه بالاتر بودن شاخص برداشت دانه از نظر عملکرد دانه وضعیت خوبی داشت ولی از این نظر اختلاف معنی داری با رقم باستان نداشت و لذا هر دو برای این شرایط قابل توصیه هست.

یاداو و باتاگار (Yadav and Bhatagar, 2001) گزارش کردند که کاهش ۵۰ درصدی عملکرد در شرایط تنش به کاهش شاخص برداشت مربوط می شود. بالاترین و پایین ترین شاخص برداشت به ترتیب در تیمار شاهد (بدون تنش) و تنش شدید مشاهده شد. کاهش شاخص برداشت ارزن در سال دوم را می توان به علت کاهش درجه حرارت در حین گلدهی دانست.

تجزیه همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص های مورد بررسی به تفکیک سال آزمایش، سطوح تنش و ژنوتیپ ها نشان داد در دو سال آزمایش عملکرد دانه بالاترین همبستگی را به ترتیب با شاخص برداشت دانه، کارایی مصرف آب دانه و کل ماده خشک نشان دادند. رگرسیون گام به گام متغیرهای مؤثر بر عملکرد دانه نیز در دو سال نشان داد به ترتیب کارایی مصرف آب دانه و شاخص برداشت دانه بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند. در سال اول اثرگذاری شاخص برداشت دانه بیشتر از سال دوم نشان داد.

تجزیه همبستگی عملکرد دانه برای سه سطح تنش نیز نشان داد در تمام سطوح تنش به ترتیب کارایی مصرف آب، شاخص برداشت دانه، شاخص برداشت پانیکول و ماده خشک بالاترین همبستگی را با عملکرد دانه نشان داد. رگرسیون گام به گام متغیرهای مؤثر بر عملکرد دانه نیز در هر یک از سطوح تنش نشان داد به ترتیب کارایی مصرف آب دانه و شاخص برداشت دانه و ماده خشک بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند. با افزایش شدت تنش سهم کارایی مصرف آب دانه و کل ماده خشک تولیدی افزایش و در عوض سهم شاخص برداشت دانه و پانیکول در عملکرد دانه کاهش نشان داد. در تمام سطوح تنش کارایی مصرف آب بیولوژیک منفی بر عملکرد دانه داشت. به نظر می رسد در شرایط آبیاری مناسب ارقام با شاخص

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با برخی صفات مورد بررسی به تفکیک سال، سطوح تنش خشکی و ژنوتیپ ارزن
Table 4- Correlation coefficient between seed yield with water used efficiency and its component in divided for each years, stress levels and Genotype

عملکرد دانه	Seed yield	کارایی مصرف آب		شاخص	شاخص	شاخص	ماده خشک DM
		Water Use Efficiency		برداشت دانه	برداشت	برداشت دانه	
		بیولوژیک	دانه	Seed HI	پانیکول	در پانیکول	
		Biological	Seed		panicle HI	Seed per.ear	
دو سال	Two years	0.40*	0.94**	0.94**	0.85**	0.53**	0.74**
سال اول	First yeas	0.58**	0.94**	0.94**	0.91**	0.85**	0.93**
سال دوم	Second year	0.41*	0.86**	0.89**	0.82**	-0.19 ^{ns}	0.81**
بدون تنش	No stress	0.44*	0.96**	0.95**	0.92**	0.49*	0.37 ^{ns}
تنش ملایم	Medium stress	0.63**	0.98**	0.94**	0.83**	0.50*	0.61**
تنش شدید	Severe stress	0.64**	0.99**	0.83**	0.64**	0.43*	0.74**
رقم باستان	Bastan	0.45*	0.96**	0.97**	0.94**	0.82**	0.83**
KFM5	KFM5	0.56**	0.97**	0.93**	0.82**	0.69**	0.76**
KFM20	KFM20	0.28 ^{ns}	0.97**	0.92**	0.85**	0.47*	0.63**

*, ** و ^{ns} به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی داری

*, ** and ns means significant at 0.05 and 0.01 probability level and non-significant respectively

DM: Dry matter, WUE (Water used efficiency), HI (Harvest index)

References

1. Alizadeh, O., Majidi, E., Nadian, H., Noor Mohammadi, Gh., and Amerian, M. 2007. Effects of drought stress and nitrogen rate on corn yield and components of yield. Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University 13 (23): 427-434. (in Persian).
2. Anjum, F., Yaseen, M., Rasul, E., Wahid, A., and Anjum, S. 2003. Water stress in barley, effect on chemical composition and chlorophyll content. Pakistan Journal of Agriculture Science 40: 45-49.
3. Azari, A., Mirzaei, M. R. 2012. Effect of sowing date on grain yield and yield components of Foxtail millet promising Lines. Seed and Plant Production Journal 1: 2-28.
4. Brunda, S. M., Kamatar, M. Y., Naveenkumar, K. L., and Hundekar, R. 2014. Study of genetic variability, heritability and genetic advance in foxtail millet in both rainy and post rainy season. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science 7 (11): 34-37.
5. Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomata aperture not by affecting ATP synthetase. Treed in Plant Science 5 (5): 187-188.
6. Dai, H. P., Shan, C. J., Wei, A. H., Yang, T., Sa, W. Q., and Feng, B. L. 2012. Leaf senescence and photosynthesis in foxtail millet (*Setaria italica* L.) varieties exposed to drought conditions. Australian Journal of Crop Science 6 (2): 232-237.
7. Ehdaie, B., 1995. Variation in water-use efficiency and its components in wheat: II. Pot and field 121talic121ent. Crop Sci.35:1617-1626.
8. Erfani, M., Alizadeh, O., and Miri, H. R. 2013. Physiological aspects of panicum under different water supply, weeding and growth regulators for competitive ability against weed. International Journal of Farming Allied Sciences 2: 1241-1254.
9. Gardner F. P., Brenet Pearce, R., and Mitchell, R. L. 2010. Physiology of crop plants. Scientific Publishes, Hainglaj Offset Printers, Jodhpur. (India). Pp: 327.
10. Hatfield, J. L., Saure, T. J., and Prueger, J. H. 2001. Managing soil to achieve greater water use efficiency: A review. Agronomy 93: 271-280.
11. Heidari-zooleh, H., Jahansooz, M. R., Yunusa, I., Hosseini, S. M. B., Chaichi, M. R., and Jafari, A. A. 2011. Effect of alternate irrigation on root-divided Foxtail Millet. Australian Journal of Crop Science 5: 205-213.
12. Hui-Ping, D. *et al.* 2012. Leaf senescence and photosynthesis in foxtail millet (*Setaria italica* L.) varieties exposed to drought conditions. Australian Journal of Crop Science 6 (2): 232-237.
13. Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R., and Panneerselvam. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology 11: 100-105.
14. Kafi, M., Borzoe, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2010. Physiology of Environmental Stress in Plant. Ferdowsi University of Mashhad publication. 502p. (in Persian).
15. Keshavars, L., Farahbakhsh, H., and Golkar, P. 2012. The effects of drought stress and absorbent polymer on morph-physiological traits of Pear Millet. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3 (1): 148-154.
16. Keshavars, L., Farahbakhsh, H., and Golkar, P. 2013. Effects of different irrigation and superabsorbent levels on physio-morphological traits and forage yield of Millet. American-Eurasian Journal Agriculture and environment Science 13 (7): 1012-1018.
17. Khodabandloo, Sh., Sepehri, A., Ahmadvand, G., and Keshtkar, A. H. 2014. Effect of silicon on millet grain yield and water use efficiency under drought stress. Crops Improvement. 16 (2): 416-399.
18. Kumari, S. 1988. The effect of soil moisture stress on the development and yield of millet. Agronomy Journal 57: 480-487.
19. Lawlor, D. W., and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plant. Plant Cell and Environment 25 (2): 275-294.
20. Larcher, W. P. 1995. Physiological plant ecology. New York, USA. 506 p.
21. Maman, N., Lyon, D. J., Mason, S., Galusha, T. D., and Higgins, R. 2003. Pearl millet and grain sorghum yield response to water supply in Nebraska. Agronomy Journal 95: 1618-1624.
22. Prihar, S. S., and Stewart, B. A. 1991. Sorghum harvest index in relation to plant size, environment, and cultivar. Agronomy Journal 83: 603-608.
23. Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., and Majidi, E. 2008. Effect of drought stress at different growth stages

- on yield and water use efficiency of five proso Millet. (*Panicum milliaceum*) genotypes. Pakistan Journal of Botany 40 (4): 1427-1432.
24. Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., Majidi, E., Darvish, F., and Nourmohammadi, Gh. 2008. Effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of three millet species. Journal of Agricultural sciences Islamic Azad University 11 (4): 121-131.
 25. Vadez, V., Hash, T., Binder, F., and Kholova, J. 2012. Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. Plant Physiology 3: 158-169.
 26. Yadav, O. P., and Bhatnagar, S. K. 2001. Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non-stress conditions. Field Crops Research 70 (3): 201-208.
 27. Zhang, J., and Kirkham, M. B. 1995. Water relations of water-stressed, split-root C4 (*Sorghum binocolor*) and C3 (*Helianthus annuus*) plants. American Journal of Botany 82 (10): 1220-1229.



Effect of Drought Stress on Water Use Efficiency and Its Components in Several Genotypes and Cultivars of Foxtail Millet (*Setaria italica* L.)

M. Khazaei^{1*} - M. Galavi² - M. Dahmardeh³ - S. M. Moosavi-Nik³ - Gh. Zamani⁴ - N. Mahdi-Nejad⁵

Received: 25-09-2016

Accepted: 19-04-2017

Introduction

According to NASA reports about atmospheric earth conditions, in the 30 years later, 45 countries will face with severe droughts and Iran is in the fourth place in this list. Water shortage is one of the most important limiting factors of production that affects plants growth by changing physiological conditions. Using adapted plants is a proper strategy to deal with the effects of water shortage on the status of water restrictions. Foxtail millet is a C₄ plant with good compatibility to dry areas and it has high water use efficiency. In medium stress partial stomata closure reduces transpiration more than photosynthesis in this plant and as a result, increase water use efficiency.

Materials and Methods

This experiment was carried out as split-plot layout based on randomized complete blocks design with four replications at the Agricultural Research Station, University of Birjand in 2014-2015. The main factor was drought stress in three levels including 100, 75 and 50 percent of plant water requirement (no stress as control, moderate stress and severe stress, respectively) and the sub-factor was millet genotype in three levels (including Bastan, KFM5 and KFM20). At four leaf stage, 75 plants per square meter were maintained and applied stress. Water use efficiency, evapotranspiration efficiency, harvest index for seed and ear, economic and biological yield were measured at maturity. Data were analyzed with the SAS software ver 9.1 and the means were compared with Tukey's test.

Results and Discussion

The results showed that water use efficiency (WUE) was significantly decreased with increasing the intensity of drought stress in all three genotypes but not evapotranspiration efficiency (ETE, ratio of total dry matter to water used). Bastan cultivar had higher water use efficiency in all stress levels and was more affected under moderate stress while it was less affected under severe stress (33 and 31 percent compared to the control, respectively). The evapotranspiration efficiency (ETE) was similar in all three genotypes and did not change under stress condition. The water use efficiency was different in two years but drought stress had a similar effect on its. The drought stress reduced seed yield through its impact on water use efficiency, harvest index and total dry matter within two years. The highest and lowest seed yield were observed in control (152 g m⁻²) and severe stress (171 g m⁻²), respectively. Significant genotypic variation was observed for WUE (ratio of grain yield to water used), and harvest index (HI, ratio of grain yield to total dry matter). Bastan cultivar had higher WUE than two other lines in well-watered (0.82 vs. 0.63 g kg⁻¹) and drought (0.56 vs. 0.42 g kg⁻¹) field conditions, due mainly to higher HI in well-watered (41.04 vs. 36.01 percent) and drought (26.2 vs. 25.5 percent). Drought stress had not a similar effect on harvest index in three genotypes. At all stress levels, water use efficiency, harvest index and dry matter had a higher direct effect on seed yield, respectively. Also, the results showed that the negative correlation between seed yield and evapotranspiration was not significant.

1- PhD student of Department of Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Zabol University and MSc Birjand University

2, 3, 5- Professor and Associated professor and Assistant professor of Faculty of Agriculture, Zabol University

4- Associated Professor of Faculty of Agriculture, Birjand University

(*- Corresponding Author Email: mkhazaei@birjand.ac.ir)

Conclusions

Total dry matter was similar in the three genotypes but Bastan cultivar was better than the other lines and it is advisable to drought stress conditions due to higher water use efficiency and harvest index. As respects high crop water use efficiency is necessary for adaptation and resistance to drought stress and harvest index is an indicator of the amount of product to be used, WUE and HI can be used to identify suitable genotypes and cultivars for water shortages and drought conditions.

Keywords: Dry matter, Evapotranspiration efficiency, Harvest index, Seed yield



اثر محلول پاشی کود روی بر عملکرد دانه و محتوی روی دانه برنج رقم سازندگی

احمد رمضانی^{۱*} - محمود صلیحی^۲ - مصلح‌الدین رضایی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۱

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی کود روی بر عملکرد دانه و میزان روی دانه برنج رقم سازندگی، آزمایشی بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ اجرا شد. تیمارها شامل: نانو اکسید روی با غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر، سولفات روی با غلظت‌های سه و شش گرم در لیتر، آب مقطر (شاهد اول) و بدون محلول پاشی (شاهد دوم) بود. نتایج نشان داد حداکثر عملکرد دانه (۸۹۶۸/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات روی به دست آمد که نسبت به شاهد اول ۱۰/۱ درصد و نسبت به شاهد دوم ۱۱/۸ درصد بیشتر بود. همچنین حداکثر مقدار روی دانه (۳۷/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات روی به دست آمد که نسبت به شاهد اول ۱۶/۶ درصد و نسبت به شاهد دوم ۱۹/۵ درصد بیشتر بود. این در حالی بود که بین مقدار روی دانه دو تیمار سولفات روی و دو تیمار نانو اکسید روی، تفاوت معنی داری مشاهده نشد. بر اساس نتایج این پژوهش محلول پاشی نانو اکسید روی و سولفات روی می تواند سبب افزایش عملکرد و بهبود محتوای روی دانه در راستای غنی سازی زیستی دانه برنج گردد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه برگی، سولفات روی، غنی سازی زیستی، کمبود روی، نانو اکسید روی

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) غذای اصلی ۲/۵ میلیارد نفر از جمعیت جهان است و در بین محصولات آبی، تنها محصولی است که بیشترین زمین را برای تولید مواد غذایی اشغال کرده است، به طوری که ۹ درصد از زمین‌های زراعی دنیا زیر کشت این محصول قرار دارد (Depar et al., 2011).

کمبود روی پس از نیتروژن، فسفر و پتاسیم مهم ترین عامل کاهش عملکرد (Rehman, 2014) و کیفیت تغذیه ای برنج است (Cakmak et al., 1999). نتایج برخی مطالعات نشان می دهد محلول پاشی سولفات روی در جبران کمبود عنصر روی و افزایش غلظت روی دانه برنج مؤثر بوده است (Jiang et al., 2008; Stomph et al., 2011). گزارش شده در یک خاک رسی شنی

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲ و ۳- به ترتیب استادیار و مربی پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

(Email: Ramazaani@yahoo.com)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.59475

متماثل به قلیایی با میزان روی کافی در شرایط غرقابی، محلول پاشی با سولفات روی ۵ درصد در آغاز خوشه دهی در مقایسه با مصرف آن در خاک در همان مرحله، باعث افزایش مقدار روی دانه برنج به میزان ۱/۸ برابر شد (Rehman et al., 2012). در تحقیقی دیگر چاکرال‌الحسینی و همکاران (Chakeralhosseini et al., 2009) با بررسی اثرات میزان، منبع و روش مصرف کود روی بر صفات کمی و کیفی برنج رقم چرام گزارش کردند مصرف روی به طور معنی داری باعث افزایش عملکرد (۵۶/۹ درصد) شد و بیشترین عملکرد با محلول پاشی سولفات روی (با غلظت سه گرم در لیتر) توأم با مصرف ۴۰ کیلوگرم سولفات روی در خاک، حاصل شد. در یک آزمایش مزرعه ای که به منظور بررسی اثر کاربرد مجزا و ترکیبی عناصر روی، آهن و منگنز به دو صورت مصرف خاکی و محلول پاشی بر رشد و عملکرد برنج رقم ساخا^۴ ۱۰۱ در مصر انجام شد، نتایج نشان داد که استفاده از عناصر کم مصرف به صورت مجزا یا ترکیبی افزایش قابل توجهی بر رشد برنج داشت و کاربرد ترکیبی عناصر روی، آهن و منگنز بیشترین اثر مثبت را در گیاه، در هر دو روش مصرف خاکی و محلول پاشی داشت (Zayed et al., 2011).

یکی از کاربردهای علم نانو در کشاورزی مدیریت تغذیه گیاه

تحقیق حاضر با توجه به اهمیت روی در تغذیه انسان و کمبود آن در کشورهایی که غلات غذای اصلی مردم را تشکیل می‌دهند (Rehman, 2014) با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانو اکسید روی و سولفات روی بر غلظت عناصر روی، منگنز و آهن در شاخساره گیاه، عملکرد دانه و مقدار روی دانه برنج رقم سازندگی در اصفهان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت‌های سه و شش گرم در لیتر (Shivay et al., 2008) نانو اکسید روی با غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر (Prasad et al., 2012) آب مقطر (شاهد اول) و عدم محلول‌پاشی (شاهد دوم) بود. محلول‌پاشی در مراحل پنجه‌زنی و شیرازی دانه (Rehman et al., 2012; Cakmak et al., 2010) انجام شد. نانو اکسید روی مورد استفاده تولید شرکت تحقیقاتی نانو مواد آمریکا^۱ با خلوص ۹۹ درصد (حاوی ۸۰ درصد عنصر روی) و متوسط قطر ذرات ۳۰-۱۰۰ نانومتر و سطح ویژه مخصوص آن بیشتر از ۳۰ مترمربع بر گرم بود. همچنین سولفات روی به کار رفته از نوع آبدار $(7H_2O \cdot SO_4Zn)$ (حاوی ۲۲/۷ درصد عنصر روی و ۱۱/۲ درصد عنصر گوگرد بود) با خلوص ۹۹ درصد تولید شرکت فولکا^۲ سوئیس بود.

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ نشان داده شده‌است. بر اساس اطلاعات جدول ۱ خاک محل آزمایش دارای بافت لومی رسی و مقدار روی کمتر از حد بحرانی بود (Malakouti and Kavousi, 2004). رقم برنج مورد استفاده در این آزمایش رقم سازندگی بود، که رقم تجاری مورد کشت در اصفهان است. خزانه‌گیری به روش جعبه‌ای با مصرف ۱۲۰ گرم بذر به ازای هر سینی نشا انجام شد و گیاهچه‌ها پس از ۳۰ روز با آرایش کاشت 25×25 سانتی‌متر به صورت چهار تا شش گیاهچه در کپه توسط کارگر در زمین اصلی کاشته شد. به منظور تقویت خاک مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره بر اساس آزمون اولیه خاک مصرف گردید.

است. با بهره‌گیری از نانوکودها، عناصر غذایی به آرامی و با سرعت مناسب در تمام طول فصل رشد گیاه آزاد می‌شوند و به دلیل کاهش شدید آبشویی عناصر، گیاهان قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی خواهند بود. به علاوه از مهمترین مزیت‌های نانو کودها، می‌توان به راندمان بالا و کاهش مقدار کود مصرفی اشاره کرد که باعث کاهش آلودگی آب و خاک و محیط زیست می‌گردد (Amirjani et al., 2014). با این حال کاربرد نانو مواد در زمینه کشاورزی، نسبتاً جدید و نیازمند تحقیقات بیشتری است و لازم است در این رابطه، چالش‌هایی نظیر غیر قابل پیش‌بینی بودن واکنش گیاهان مختلف به مواد نانو، مسمومیت گیاهی ناشی از به کارگیری غلظت‌های بالای مواد نانو، کاهش مقدار جذب و فتوسنتز گیاه با کاربرد مواد نانو با ابعاد بزرگ را در نظر بگیرند. همچنین خواص ترکیبات نانو (ابعاد و اندازه‌ها) نفوذ و جذب آنها از طریق پوست را نیز تشدید کرده و ممکن است خطراتی را برای انسان و محیط زیست ایجاد کند (Khot et al., 2012). کمرب و همکاران (Kamari et al., 2014) با بررسی اثر محلول‌پاشی نانو اکسید روی در پنج غلظت (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم در لیتر) نشان دادند که عملکرد، سرعت ظهور برگ، عملکرد و اجزای عملکرد دانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی با نانو اکسید روی قرار گرفت. پراساد و همکاران (Prasad et al., 2012) با محلول‌پاشی بادام زمینی با محلول سولفات روی به میزان ۲ گرم در لیتر و نانو اکسید روی با غلظت ۱۳۳/۳ میلی‌گرم در لیتر ۳۵ و ۷۰ روز پس از کاشت گزارش کردند مصرف نانو اکسید روی و سولفات روی به ترتیب باعث افزایش ۲۹/۵ و ۲۶/۳ درصدی عملکرد غلاف شد. این در حالی بود که وقتی غلظت تیمار نانو دو برابر شد اثر آن بازدارنده بود.

تحقیقات متعددی در موسسه تحقیقات برنج کشور در رابطه با مصرف روی در زراعت برنج انجام شده‌است. گزارش شده آغشته کردن نشاهای برنج قبل از نشاکاری در محلول چهار در هزار اکسید روی باعث افزایش عملکرد در شالیزارهای مازندران شد (Soleimani, 1999). در پژوهشی دیگر گزارش شده آغشته کردن نشاهای برنج در محلول دو درصد اکسید روی قبل از انتقال به خزانه و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تأثیری بر عملکرد برنج در گیلان نداشت (Safarpour, 1997). ساداتی (Saadati, 1998) با آغشته کردن نشاهای برنج در محلول ۲، ۴ و ۴ درصد به ترتیب اکسید روی، سولفات روی و سکوسترین قبل از انتقال به خزانه و مصرف خاکی این ترکیبات به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرد روی باعث افزایش عملکرد برنج در مازندران شد و بیشترین عملکرد در تیمار ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به دست آمد. همچنین گزارش شده مصرف ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در مناطق مختلف استان گیلان باعث افزایش و در برخی دیگر باعث کاهش عملکرد برنج گردید (Davatgar, 2005).

1- US Research Nanomaterials, Inc.

2- Fulka

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of field soil before experiment

mg kg ⁻¹						(%)		pH	Texture	EC (dS m ⁻¹)	Depth (cm)
Fe _(ava)	Mn _(ava)	Zn _(ava)	Cu _(ava)	K _(ava)	P _(ava)	N	OC				
28.8	6.05	0.76	2.8	210	12.54	0.09	0.89	7.3	Clay loam	2.65	0-30

و ۳۷/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) در مرحله پنجه زنی و شیری دانه در تیمار شش میلی گرم بر لیتر سولفات روی و حداقل آن به ترتیب (۲/۲۴ و ۵/۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار شاهد اول و شاهد دوم حاصل شد (جدول ۳). در مرحله پنجه زنی تأثیر هر دو سطح تیمار سولفات روی به همراه سطح دوم نانو اکسید روی بر افزایش غلظت عنصر روی در شاخساره گیاه معنی دار بود ولی اثر ۱۵۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید روی معنی دار نبود. در مرحله شیری دانه نیز اثر هر دو سطح نانو اکسید روی و هر دو سطح سولفات روی بر افزایش غلظت عنصر روی در شاخساره مؤثر بود (جدول ۳). بنابراین محلول پاشی باعث افزایش غلظت روی در بافت های گیاه شد. افزایش غلظت روی در بافت های گیاه به ویژه بعد از گلدهی می تواند به عنوان یک منبع قوی، مقدار روی دانه (مقصد) را بهبود بخشد.

نکته قابل توجه این است که علی رغم اینکه غلظت محلول سولفات روی نسبت به تیمارهای نانو مورد استفاده در آزمایش ۲۰ برابر بیش تر بود، ولی تفاوت معنی داری بین مقدار روی جذب شده توسط شاخساره گیاه در تیمارهای نانو و سولفات روی در مرحله شیری دانه وجود نداشت. امیرجانی و همکاران (Amirjani *et al.*, 2014) و پراساد و همکاران (Prasad *et al.*, 2012) نیز جذب بیشتر نانو اکسید روی را در مقایسه با سولفات روی و کلات روی در گیاه گزارش کرده اند. رحمان و همکاران (Rehman, 2014) گزارش کردند که مصرف خاکی سولفات روی در زمان پنجه زنی یا آغاز خوشه دهی باعث افزایش مقدار روی در خاک، گیاه و دانه شد. به طوری که افزایش غلظت روی در بافت های سبز گیاه باعث افزایش ۲/۵ برابری محتوای روی دانه نسبت به تیمار شاهد بود. این افزایش با بالا رفتن میزان روی قابل جذب خاک، بهبود جذب روی توسط گیاه و افزایش انتقال مجدد روی از برگ ها به دانه در دوره پرشدن دانه همراه بود.

سطح مطلوب روی در برگ های برنج ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شده است (Malakouti and Kavousi, 2004). این محققین پیشنهاد کردند غلظت روی در برگ های برنج از ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم بیشتر باشد. مقدار عنصر روی اندازه گیری شده در شاخساره برنج در این آزمایش قبل از محلول پاشی در زمان پنجه زنی در دامنه ۲۳-۲۰ میلی گرم در کیلوگرم بود که اندکی کمتر از حد مطلوب بود، واکنش مثبت گیاه به محلول پاشی نیز موید این مطلب است (جدول ۲ و ۳).

تمامی کود فسفر و پتاسیم و نیمی از کود نیتروژن در زمان تهیه بستر استفاده شد. ۵۰ درصد اوره باقیمانده در مراحل پنجه زنی و آغاز ظهور سنبله جوان به طور مساوی تقسیم و به صورت سرک مصرف شد. برای تعیین غلظت عناصر آهن، منگنز و روی نمونه گیری از شاخساره گیاه در مراحل پنجه زنی و ظهور خوشه (یک روز قبل از محلول پاشی و ۱۰ روز پس از محلول پاشی) و از دانه برنج در زمان برداشت انجام شد. در هر مرحله تعداد ۴ کپه از هر کرت کف بر شد. نمونه ها ابتدا به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد خشک شد و سپس بروش هضم تر در بالن ژوژه توسط اسید سولفوریک^۱، اسید سالیسیلیک^۲ و آب اکسیژنه^۳ عصاره آن ها تهیه گردید (Emami, 1996). غلظت عناصر آهن، منگنز و روی شاخساره و میزان روی دانه برنج سفید به وسیله دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. برای تعیین عملکرد دانه ۵ مترمربع از مرکز هر کرت برداشت شد و عملکرد دانه (بر اساس رطوبت ۱۴ درصد) محاسبه شد. تجزیه های آماری و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزارهای اس. ا. اس و اکسل و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) انجام شد. همچنین با انجام آزمون بارتلت و اطمینان از یکنواختی اشتباهات آزمایشی تجزیه مرکب داده ها برای دو سال آزمایش انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد غلظت عناصر آهن، منگنز و روی شاخساره گیاه در مراحل پنجه زنی و شیری دانه و مقدار روی دانه و عملکرد دانه به طور معنی داری تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی قرار گرفتند (جدول ۲).

تأثیر محلول پاشی کود روی بر غلظت عنصر روی در شاخساره گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد تأثیر محلول پاشی کود روی بر غلظت عنصر روی شاخساره گیاه در مراحل پنجه زنی و شیری دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین ها نشان داد که حداکثر غلظت روی شاخساره به ترتیب (۲۸/۸

- 1- H₂SO₄
- 2- C₇H₆O₃
- 3- H₂O₂

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر محلولپاشی کود روی بر غلظت عناصر آهن، منگنز و روی شاخساره در مراحل پنجه‌زنی و شیری دانه، عملکرد دانه و مقدار روی دانه طی دو سال
Table 2- Analysis of variance of zinc foliar application effects on shoots Fe, Mn and Zn concentration at tillering and grain milk stages, grain yield and grain zinc content of rice during two years

منابع تغییرات	S.O.V	d.f	Fe			Mn			Zn			Grain zinc content	Grain Yield
			آهن		پنجه‌زنی	منگنز		شیری دانه	روی		شیری دانه	میزان روی دانه	عملکرد دانه
			Tillering	Milk stage		Tillering	Milk stage		Tillering	Milk stage			
سال	Year	1	576.12 ^{ns}	148.66 ^{ns}	444.11 ^{ns}	113.76 ^{ns}	113.76 ^{ns}	9.66 ^{ns}	11.26 ^{ns}	9.49 ^{ns}	277808.06 ^{ns}		
تکرار (در سال)	Rep(year)	4	1904.34	457.02	1195.80	343.77	343.77	3.14	3.68	3.65	3301445.87		
محلول‌پاشی	Foliar spray	5	692.81 ^{**}	945.86 ^{**}	378.57 ^{**}	256.51 [*]	256.51 [*]	12.94 ^{**}	15.19 ^{**}	3.87 ^{**}	894940.41 [*]		
سال×محلول‌پاشی	Foliar spray ×year	5	29.44 ^{ns}	49.30 ^{ns}	69.85 ^{ns}	16.37 ^{ns}	16.37 ^{ns}	3.01 ^{ns}	3.28 ^{ns}	0.53 ^{ns}	1838.66 ^{ns}		
خطا	Error	20	17.45	74.54	65.55	14.23	14.23	1.31	1.35	1.24	1928.74		
ضریب تغییرات	CV (%)	-	21.2	16.1	10.1	9.8	9.8	16.1	11.7	13.4	12.2		

^{ns}، * و **؛ Not significant and significant at 5% and 1% probability levels respectively; df: Degrees of freedom; S.O.V: Source of Variation; Rep: Replication

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر آهن، منگنز و روی (میلی گرم بر کیلوگرم) شاخساره گیاه در زمان پنجه زنی و شیرری دانه تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی طی دو سال

Table 3- Mean comparison of shoots Fe, Mn and Zn concentrations (mg kg^{-1}) at tillering and grain milk stages under zinc foliar application treatments during two years

تیمارهای آزمایشی Treatments	روی / Zn		آهن / Fe		منگنز / Mn	
	پنجه زنی	شیرری دانه	پنجه زنی	شیرری دانه	پنجه زنی	شیرری دانه
	Tillering	Milk stage	Tillering	Milk stage	Tillering	Milk stage
ZnO-150mg L ⁻¹	26.5 ^{bc}	35.3 ^{ab}	208.4 ^b	96.3 ^b	186.1 ^{ab}	95.4 ^{ab}
ZnO-300mg L ⁻¹	28.3 ^{ab}	35.1 ^{ab}	202.3 ^c	92.4 ^b	179.4 ^{bc}	91.3 ^b
SO ₄ Zn-3g L ⁻¹	28.4 ^{ab}	37.6 ^a	198.2 ^d	92.3 ^b	174.3 ^c	80.7 ^c
SO ₄ Zn-6g L ⁻¹	28.8 ^a	37.8 ^a	194.6 ^d	87.8 ^b	171.2 ^c	84.1 ^c
Control 1	24.2 ^d	31.6 ^c	216.8 ^a	119.4 ^a	190.9 ^a	99.7 ^a
Control 2	25.2 ^{dc}	30.5 ^c	221.9 ^a	113.9 ^a	187.6 ^{ab}	96.2 ^a

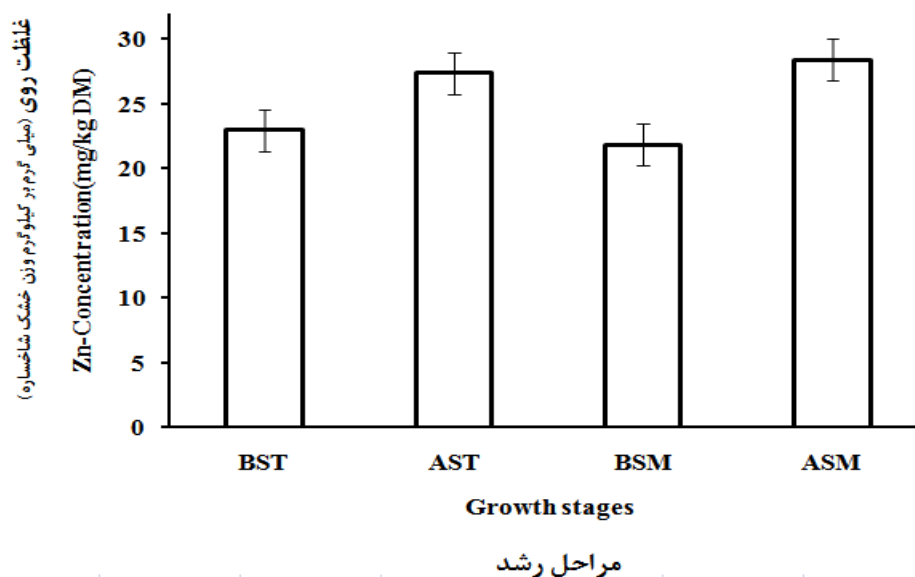
در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD Test

گزارش کرده‌اند.

نتایج تجزیه واریانس اضافی با در نظر گرفتن محلول پاشی به عنوان عامل اصلی و زمان نمونه گیری به عنوان عامل فرعی در قالب طرح اسپلیت پلات نشان داد، اثر زمان در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد. به عبارت دیگر بین میزان روی تیمارها قبل و بعد از محلول پاشی اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شد (شکل ۱).

مقدار روی مناسب در مرحله پنجه زنی را در برگ‌های جوان و اندام هوایی ۲۵ تا ۵۰ و حد بحرانی آن را برای کمبود و سمیت به ترتیب کمتر از ۱۰ و بیشتر از ۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم گزارش کرده‌اند (Dobermann and Fairhurst, 2000). مقادیر مشابهی نیز در مرحله پنجه زنی توسط ملکوتی و کاووسی (Malakouti and Kavousi, 2004) گزارش شده است. فورنو و همکاران (Forno, et al., 1975) نیز سطح بحرانی روی در اندام هوایی ارقام حساس به کمبود روی را ۱۵ و برای ارقام غیر حساس ۱۸ میلی گرم در کیلوگرم



شکل ۱- تأثیر محلول پاشی کود روی بر میزان عنصر روی شاخساره برنج در مراحل مختلف رشد طی دو سال

Figure 1- Effect of zinc foliar application on rice shoots zinc concentration in different growth stages during two years.

BST: قبل از محلول پاشی در مرحله پنجه زنی، AST: بعد از محلول پاشی در مرحله پنجه زنی، BSM: قبل از محلول پاشی در مرحله شیرری دانه و ASM: بعد از محلول پاشی در مرحله شیرری.

BST and AST: Respectively before and after spray at tillering stage, ASM and BSM: Respectively before and after spray at milk stage

آهن بافت‌های گیاه می‌تواند ناشی از افزایش وزن خشک یا کاهش جذب منگنز و آهن باشد. یعنی جذب این دو عنصر به‌وسیله برنج در حضور روی کاهش می‌یابد. این در حالی است که دامنه کفایت آهن و منگنز بخش هوایی برنج به‌ترتیب ۱۰۰-۶۰ و ۱۵۰-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گزارش شده‌است (Dobermann and Fairhurst, 2000).

تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه

تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). محلول‌پاشی نانواکسید روی و سولفات روی باعث افزایش عملکرد نسبت به دو تیمار شاهد شد. این افزایش در هر دو تیمار نانواکسید روی (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و هر دو تیمار سولفات روی (سه و شش گرم در لیتر) نسبت به تیمارهای شاهد معنی‌داری بود. حداکثر عملکرد دانه (۸۹۶۸/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات روی حاصل شد و تیمارهای ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانواکسید روی، سه گرم در لیتر سولفات روی و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانواکسید روی به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و بین شاهد اول و شاهد دوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲).

از آنجا که عنصر روی یک بخش ساختمانی آنزیم‌های کربونیک آنهیدراز، الکل دهیدروژناز، مس- روی- سوپراکسید دسموتاز و RNA پلیمرز بوده (Auld, 2001) و سنتز اکسین در گیاهان نیز توسط آن کنترل می‌شود (Skoog, 1940) وجود روی کافی باعث افزایش سنتز آنزیم‌ها و هورمون‌ها در کنار متابولیسم عناصر اصلی شده که سبب تحریک مؤلفه‌های رشد گیاه و افزایش عملکرد می‌شود. همچنین اثر مطلوب روی به دلیل تأثیر مستقیم آن بر کیفیت اکسین تولیدی است که رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (Wijebandara et al., 2009).

گزارشات متعددی مبنی بر افزایش عملکرد برنج در اثر مصرف کود روی به‌صورت آغشته کردن گیاهچه‌ها در محلول اکسید روی (Saadati, 1998; Soleimani, 1999) و مصرف خاکی سولفات روی (Saadati, 1998; Davatgar, 2005) و محلول‌پاشی اکسید و سولفات روی وجود دارد (Soleimani, 1999; Chakeralhosseini, 2009). چاکرال‌حسینی و همکاران (Chakeralhosseini, 2009) گزارش کردند که مصرف کود روی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد با تغذیه برگی (با غلظت سه در هزار) توأم با مصرف ۴۰ کیلوگرم در خاک سولفات روی، حاصل شد. کاراک و داس (Karak and Das, 2006) با محلول‌پاشی سولفات روی و کلات روی بر عملکرد برنج، نشان دادند که محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد و بیش‌ترین

همچنین تفاوت معنی‌داری از نظر نوع و میزان محلول به‌کار رفته مشاهده نشد. به عبارت دیگر هر دو سطح سولفات روی و هر دو سطح نانو اکسید روی توانستند در مقایسه با دو تیمار شاهد غلظت روی شاخساره گیاه را افزایش دهند. در شکل ۱ مشاهده می‌شود که در زمان پنجه‌زنی، مقدار روی در اندام‌هوایی گیاه در تیمارهای مختلف در دامنه ۲۰/۷ تا ۲۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که بعد از محلول‌پاشی به ۲۶/۷ تا ۲۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافته‌است. در حالی که این مقدار در زمان شیرری دانه کاهش یافته (۱۸/۶ تا ۲۳/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است و مجدداً بعد از محلول‌پاشی افزایش یافته‌است (۲۷/۵ تا ۲۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم). به نظر می‌رسد علت کاهش مقدار روی در شاخساره گیاه در فاصله زمانی دو محلول‌پاشی رشد و توسعه سریع بیوماس گیاه بوده که باعث ترقیق غلظت روی در بافت‌های گیاه شده‌است (اثر رقت).

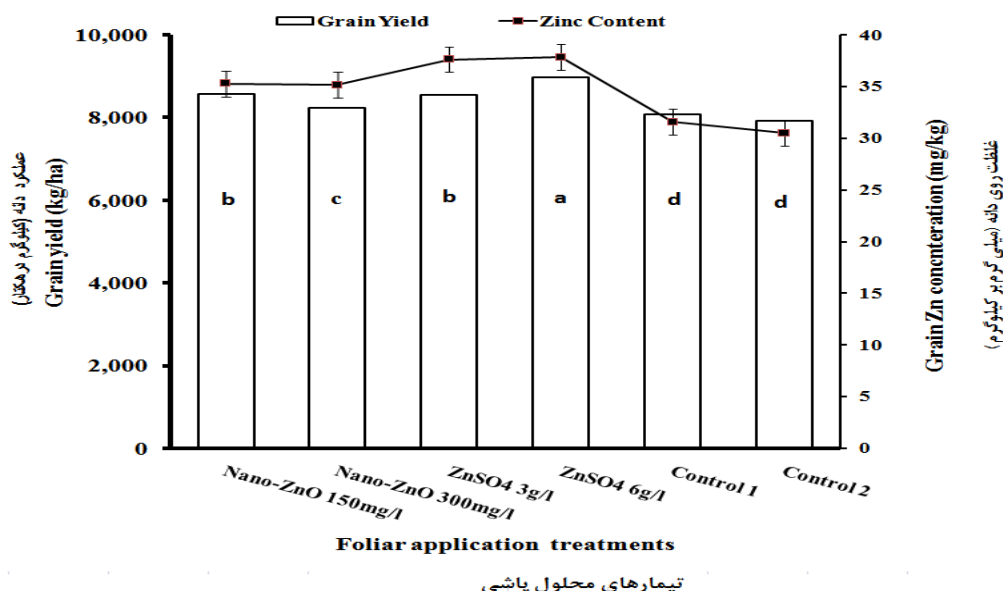
تأثیر محلول‌پاشی کود روی بر غلظت منگنز و آهن در شاخساره گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر محلول‌پاشی بر غلظت آهن شاخساره گیاه در مراحل پنجه‌زنی و شیرری دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر غلظت آهن شاخساره در مرحله پنجه‌زنی (۲۱۶/۸ و ۲۲۱/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌ترتیب در تیمار شاهد اول و شاهد دوم به‌دست آمد و حداقل آن (۱۹۸/۲ و ۱۹۴/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌ترتیب در تیمار ۶ و ۳ میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی حاصل شد. در مرحله شیرری دانه نیز تقریباً روند مشابهی مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش جذب غلظت روی در اندام هوایی در اثر محلول‌پاشی کود روی باعث کاهش غلظت آهن در ساقه و برگ‌ها شده‌است. به عبارت دیگر افزایش غلظت روی باعث کاهش غلظت آهن گردیده‌است.

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد تأثیر محلول‌پاشی بر غلظت منگنز شاخساره گیاه در مرحله پنجه‌زنی در سطح احتمال یک درصد و در مرحله شیرری دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر غلظت منگنز شاخساره در مرحله پنجه‌زنی (۱۹۰/۹ و ۱۸۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌ترتیب در تیمار شاهد اول و شاهد دوم به‌دست آمد و حداقل آن (۱۷۱/۲ و ۱۷۴/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌ترتیب در تیمار شش و سه میلی‌گرم بر لیتر سولفات روی حاصل شد. در مرحله شیرری دانه نیز روند تقریباً مشابهی مشاهده شد (جدول ۳). گزارش شده با افزایش غلظت روی در بافت‌های برنج مقدار منگنز و آهن شاخساره کاهش یافت (Reinhold, 1971). به اعتقاد این محققین کاهش مقدار منگنز و

همکاران (Prasad et al., 2012) گزارش کردند مصرف نانو اکسید روی و سولفات روی به ترتیب باعث افزایش عملکرد غلاف در بادام زمینی گردید. اگرچه در این آزمایش عملکرد دانه در تیمار محلول پاشی با ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر نانو اکسید روی بیشتر از تیمار ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر بود ولی این تفاوت معنی دار نبود. کاهش عملکرد دانه در تیمار محلول پاشی با ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر نانو اکسید روی در مقایسه با ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر را می توان به اثرات آنتاگونیستی روی و فسفر نسبت داد. چون معمولاً با افزایش غلظت روی جذب فسفر کاهش می یابد. به علاوه افزایش روی باعث افزایش ساختار پروتئینی گیاه شده و در حضور نیتروژن زیست توده را افزایش می دهد ولی به علت به هم خوردن تعادل هورمونی (افزایش اکسین و کاهش جبرلین) عملکرد دانه کاهش یافته است (John et al., 2014).

افزایش با محلول پاشی کلات روی به دست آمد. گزارش ولی نژاد (Valinejad, 2001) حاکی از افزایش عملکرد دانه برنج در ۴۵ درصد از اراضی شرق استان مازندران در اثر محلول پاشی سولفات روی بود. این افزایش در مناطقی بود که میزان روی خاک کمتر از حد بحرانی گزارش شده بود. کمربری و همکاران (Kamari et al., 2014) نیز گزارش کردند که عملکرد دانه به طور معنی داری تحت تأثیر محلول پاشی نانو اکسید روی قرار گرفت. افزایش عملکرد دانه در اثر محلول پاشی کود روی در محصولات دیگر از جمله گندم و بادام زمینی نیز گزارش شده است. محلول پاشی سولفات روی و اکسید آهن و ترکیبی از سولفات روی و اکسید آهن، باعث افزایش عملکرد دانه گندم و کیفیت آن در مقایسه با شاهد شد و بیشترین عملکرد و کیفیت دانه در تیمار ترکیبی آهن و روی به دست آمد (Habib, 2009). پراساد و



شکل ۲- تأثیر محلول پاشی کود روی بر عملکرد دانه و مقدار روی دانه برنج

Figure 2- Effect of zinc foliar application on rice grain yield and grain zinc content

ستون هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD Test

Nano-ZnO = نانو اکسید روی، ZnSO₄ = سولفات روی، Control 1 = شاهد اول و Control 2 = شاهد دوم

Nano-ZnO: Nano Zinc Oxide, ZnSO₄: Zinc Sulfate

محلول پاشی نسبت به تیمارهای شاهد معنی دار بود ولی بین تیمارهای سولفات روی و نانو اکسید روی تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳). به نظر می رسد که افزایش محتوای روی دانه در اثر محلول پاشی ترکیبات روی ناشی از افزایش انتقال مجدد روی از برگ ها در طول دوره پر شدن دانه بوده است. به علاوه بیش تر بودن محتوای روی دانه در تیمارهای سولفات روی می تواند به بالاتر بودن غلظت محلول سولفات روی مرتبط باشد. به اعتقاد رحمان و همکاران (Rehman et al., 2012) محلول پاشی با ترکیبات روی باعث افزایش انتقال مجدد

تأثیر محلول پاشی عنصر روی بر محتوای روی در دانه

بین تیمارهای مختلف محلول پاشی کود روی از نظر محتوای روی دانه تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین ها حاکی از افزایش محتوای روی دانه در تمام تیمارها در مقایسه با دو تیمار شاهد بود. به طوری که بیشترین میزان روی دانه به ترتیب در تیمارهای سولفات روی با غلظت شش و سه گرم در لیتر، تیمارهای نانو اکسید روی با غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر به دست آمد. این افزایش در تمام تیمارهای

et al., 2012). نتایج این تحقیق نشان داد بیشترین میزان روی دانه (۳۷/۶ میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار سولفات روی شش گرم در لیتر به دست آمد که نسبت به شاهد اول و دوم به ترتیب ۱۰/۲ و ۱۳/۷ درصد بیشتر بود (جدول ۳).

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج این بررسی نشان داد، در میان تیمارهای روی، بهترین تیماری که منجر به تولید حداکثر عملکرد و مقدار روی دانه گردید، مصرف شش گرم در لیتر سولفات روی بود. این در حالی بود که بین تیمارهای سولفات روی و نانواکسید روی از نظر محتوای روی دانه تفاوت معنی داری مشاهده نشد. از آنجا که از ویژگی های مواد نانو استفاده از میزان بسیار کم این مواد است، این فناوری می تواند ضمن افزایش عملکرد، محتوای روی دانه برنج را نیز ارتقا دهد، به نحوی که باعث جبران کمبود روی در رژیم غذایی افراد، صرفه جویی در میزان روی مصرفی و کاهش آلودگی محیط زیست گردد. از طرفی با توجه به اینکه سرانه مصرف برنج در کشور در سال حدود ۴۰ کیلوگرم (۱۱۰ گرم در روز) (Anonymous, 2016) و متوسط نیاز روزانه افراد به عنصر روی ۱۵-۱۰ میلی گرم گزارش شده است (Rengel et al., 1998)، می توان با غنی سازی زیستی برنج با مصرف کودهای روی و افزایش محتوای روی برنج به طور متوسط به ۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم، حدود یک سوم نیاز روزانه به عنصر روی (۳/۵ میلی گرم) را تأمین کرد. بر اساس نتایج این پژوهش می توان با محلول پاشی سولفات روی و نانو اکسید روی عملکرد و محتوای روی دانه را بهبود بخشید، به علاوه با مصرف نانو اکسید روی مقدار مصرف کود را به طور قابل توجهی کاهش داد. با این حال با توجه به اینکه کاربرد نانو مواد در زمینه کشاورزی، نسبتاً جدید است، تحقیقات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است.

روی از برگ ها به دانه در طول دوره پرشدن دانه می شود. گزارش شده محلول پاشی کود روی در مرحله آبستنی و مرحله گرده افشانی برنج سبب انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه، هم در ژنوتیپ های با میزان روی دانه بالا و هم در ژنوتیپ های با مقدار روی پایین شد (Wu et al., 2010).

افزایش محتوای روی دانه برنج در اثر محلول پاشی کود روی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Jiang et al., 2008; Stomph et al., 2011). در پژوهشی افزایش معنی دار محتوای روی دانه برنج با محلول پاشی کود روی از نوع سولفات روی و کلات روی را گزارش کردند (Karak and Das, 2006). در تحقیق مشابهی که با محلول پاشی سولفات روی ۵ درصد در مرحله شروع خوشه دهی برنج انجام شد گزارش شده که محلول پاشی در افزایش دو برابری مقدار روی دانه مؤثر بود (Phattarakul et al., 2011). همچنین گزارش شده است که محلول پاشی با سولفات روی ۵ درصد در آغاز خوشه دهی در مقایسه با مصرف کود روی در خاک در همان مرحله غلظت روی دانه را ۱/۸ برابر بیشتر کرد. به اعتقاد این پژوهشگران محلول پاشی می تواند از مشکلات باند شدن روی در خاک جلوگیری کرده، اما زمان محلول پاشی برای افزایش غلظت روی دانه باید در اطراف زمان گل دهی باشد (Rehman et al., 2012).

میزان افزایش محتوای روی دانه به عوامل متعددی از جمله ژنوتیپ، نوع کود و غلظت آن و زمان مصرف آن بستگی دارد. در تحقیقی مورت و همکاران (Morete et al., 2011) در محلول غذایی آگار، تنوع زیادی برای مقدار روی دانه در بین ارقام برنج هم در شرایط وفور روی (۳۸-۱۸ میلی گرم در کیلوگرم) و هم در شرایط کمبود روی در بافت ها (۳۱/۸-۱۱/۸ میلی گرم در کیلوگرم) در شرایط کشت غرقابی برنج گزارش کرده اند. همچنین گزارش شده که تنوع ژنوتیپی در غلظت روی دانه برنج ممکن است به علت تفاوت در فرایندهای فیزیولوژیکی تعیین کننده تجمع روی در دانه باشد (Gao

References

1. Amirjani, M. R., Askari, M., and Askari, F. 2014. Effect of nano zinc oxide on alkaloids, enzymatic and antienzymatic antioxidant contents and some physiological parameters of *Catharantus roseus*. Cell and Tissue Journal 5 (2): 173-183. (in Persian with English abstract).
2. Anonymous. 2016. Iranian Ministry of Jihad-Agriculture. first volume. Crops. Available at <http://www.maj.ir/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=95a8e7d0-e5f0-4f2d-a241-92106c74dccc>.
3. Auld, D. S. 2001. Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. In Zinc Biochemistry, Physiology, and Homeostasis. Springer. Netherlands.
4. Cakmak, I., Kalayci, M., Ekiz, H., Braun, H. J., and Yilmaz, A. 1999. Zinc deficiency as an actual problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO Science for Stability Project. Field Crops Research 60: 175-188.
5. Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A. A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., and Ozturk, L. 2010. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58 (16): 9092-9102.
6. Chakeralhosseini, M. R., Mohtashami, R., and Owliaie, H. R. 2009. Effects of rate, source, and method of zinc fertilizer application on quantitative and qualitative characteristics of rice (Choram 1). Journal of Research in Agricultural Science 5 (1): 33-43. (in Persian with English abstract).

7. Davatgar, N. 2005. Estimation of different form of Zinc in wetland soils and their availability to plant rice. Rice Research Institute. Agricultural research, education & extension organization. Registration number: 1045569. (in Persian with English abstract).
8. Dobermann, A., and Fairhurst, T. 2000. Rice: nutrient disorders & nutrient management (Vol. 1). International Rice Research Institute.
9. Depar, N., Rajpar, I., Memon, M. Y., and Imtiaz, M. 2011. Mineral nutrient densities in some domestic and exotic rice genotypes. Pakistan Journal of Agriculture: Agricultural Engineering Veterinary Sciences.
10. Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. First volume. Technical Bulletin No. 982. Soil and Water Research Institute. Tehran, Iran. (in Persian).
11. Forno, D. A., Yoshida, S., and Asher, C. J. 1975. Zinc deficiency in rice. Plant and Soil. 42 (3): 537-550.
12. Gao, X., Hoffland, E., Stomph, T., Grant, C. A., Zou, C., and Zhang, F. 2012. Improving zinc bioavailability in transition from flooded to aerobic rice. A review. Agronomy for sustainable development 32 (2): 465-478.
13. Habib, M. 2009. Effect of foliar application of Zn and Fe on wheat yield and quality. African Journal of Biotechnology 8 (24).
14. Jiang, W., Struik, P. C., Van Keulen, H., Zhao, M., Jin, L. N., and Stomph, T. J. 2008. Does increased zinc uptake enhance grain zinc mass concentration in rice? Annals of Applied Biology 153 (1): 135-147.
15. John, L. W., Jamer, D. B., Samuel, L. T., and Warner, L. W. 2014. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Person Education. Delhi. pp. 106-153.
16. Kamari, H., Seyed Sharifi, R., and Sedeghi, M. 2014. The effect of foliar application of nano-zinc oxide and free-living nitrogen-fixing bacteria on yield and morpho-physiological characteristics of triticale. Crop Physiology Journal 22 (4): 52-37. (in Persian with English abstract).
17. Karak, T., and Das, D. 2006. Effect of foliar application of different sources of Zn application on the changes in Zn content, uptake and yield of rice (*Oryza sativa* L.). In 18th World Congress of Soil Science. Philadelphia., Pennsylvania. USA.
18. Khot, L. R., Sankaran, S., Maja, J. M., Ehsani, R., and Schuster, E. W. 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. Crop Protection 35: 64-70.
19. Malakouti, M. J., and Kavousi, M. 2004. Balanced nutrition of rice. First Edition. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy Agronomy Affairs. Press the Senate. Tehran. (in Persian).
20. Morete, M. J., Impa, S. M., Rubianes, F., and Beebout, S. E. J. 2011. Characterization of zinc uptake and transport in rice under reduced conditions in agar nutrient solution. 14th Philippines Society of Soil Science and Technology. In Scientific Conference (pp. 25-27).
21. Phattarakul, N., Mongon, J., and Rerkasem, B. 2011. Variation in rice grain zinc and their response to zinc fertilizer. In 3rd International Zinc Symposium (pp. 10-14). Hyderabad. India.
22. Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K. R., Sreeprasad, T. S., Sajanlal, P. R., and Pradeep, T. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition 35 (6): 905-927.
23. Quijano-Guerta, C., Kirk, G. J. D., Portugal, A. M., Bartolome, V. I., and McLaren, G. C. 2002. Tolerance of rice germplasm to zinc deficiency. Field Crops Research. 76: 123-130.
24. Rehman, H. U. 2014. N-Zn dynamics under different rice production systems (Doctoral dissertation. University of Agriculture. Faisalabad).
25. Rehman, H. U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A., and Rengel, Z. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. Plant and soil 361 (1-2): 203-226.
26. Reinhold, J. G. 1971. High phytate content of rural Iranian bread: a possible cause of human zinc deficiency. The American journal of clinical nutrition 24 (10): 1204-1206.
27. Rengel, Z., Römhild, V., and Marschner, H. 1998. Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in tolerance to zinc deficiency. Journal Plant Physiology 152: 433-438.
28. Saadati, N. 1998. The effect of different sources of zinc (Zn) on yield of rice, (var. Tarom) in peat lands. Rice Research Institute. Agricultural research, education & extension organization. Final report of research project 12 pages. (in Persian).
29. Safarpour, R., and Naqhavi, S. 1997. Determination of zinc requirement of rice in paddies of Guilan province. Rice Research Institute. Agricultural research, education & extension organization. Extension issue, 42 pages. (in Persian with English abstract).
30. Soleimani, A. 1999. Effects of zinc on rice farming. Gorgan and Gonbad Agricultural Organization. Rice Research Institute. Extension issue, 8 pages. (in Persian).
31. Shivay, Y. S., Kumar, D., Prasad, R., and Ahlawat, I. P. S. 2008. Relative yield and zinc uptake by rice from zinc sulphate and zinc oxide coatings onto urea. Nutrient Cycling in Agroecosystems 80 (2): 181-188.
32. Skoog, F. 1940. Relationships between zinc and auxin in the growth of higher plants. American Journal of Botany 939-951.
33. Stomph, T. J., Hoebe, N., Spaans, E., and Van der Putten, P. E. L. 2011. The relative contribution of post-flowering

- uptake of zinc to rice grain zinc density. In 3rd International Zinc Symposium. (pp. 10-14). Hyderabad. India.
34. Valinejad, M. 2001. Determination of critical level of potassium and zinc in several paddy fields of Mazandaran province. Soil Science master's thesis. Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran. Tehran, Iran. (in Persian with English abstract).
35. Wijebandara, D. M. D. I., Dasog, G. S., Patil, P. L., and Hebbar, M. 2009. Effect of nutrient levels and biofertilizer on growth and yield of paddy under System of Rice Intensification (SRI) and conventional methods of cultivation. Tropical Agricultural Research 20: 343-353.
36. Wu, C.Y., Lu, L. L., Yang, X. E., Feng, Y., Wei, Y. Y., Hao, H. L., Stoffella, P. J., and He, Z. L. 2010. Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities. Journal of agricultural and food chemistry 58 (11): 6767-6773.
37. Zayed, B. A., Salem, A. K. M., and El Sharkawy, H. M. 2011. Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. World Journal of Agricultural Sciences 7 (2): 179-184.



Effects of Foliar Application of Zinc Fertilizer on Grain Yield and Zinc Content of Rice Grain cv. Sazandegi

A. Ramazani^{1*} - M. Solhi² - M. Rezaei³

Received: 10-10-2016

Accepted: 01-03-2017

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the major staples feeding more than half of the world population. It is grown in more than 100 countries, predominantly in Asia and provides 21% of energy and 15% of protein requirements of human populations globally. Zinc deficiency is one of the important abiotic factors limiting rice productivity worldwide and also a widespread nutritional disorder affecting human health. Chakeralhossein *et al.*, (2009) evaluated the effects of rate, sources and application methods of zinc fertilizer on quantity and quality of rice and reported that, application of zinc fertilizer significantly increased yield and grain Zn content. The greatest yield enhancement (56.9%) was obtained in 3 g L⁻¹ ZnSO₄ along with application of 40 kg ha⁻¹ ZnSO₄ as soil application methods. In slightly alkaline sandy clay soil with sufficient Zn under flooded conditions, soil and plant Zn concentration were increased 1.8 times with foliar spray of 0.5 %w/v ZnSO₄ which was applied at panicle initiation compared to soil application of ZnSO₄ at the same stage. In a field experiment during two years in Egypt, the effects of Zn, Fe and Mn as single or combined application in soil and foliar spray to the rice growth and yield were evaluated. The results showed that the single or combine application of Zn, Fe and Mn significantly improved rice growth and yield. According to Zn deficiency is a widespread nutritional disorder affecting human health in many countries, especially where people rely on cereal-based food, the aim of this study was to investigate the effect of foliar application of nano-ZnO and zinc sulfate on yield and grain zinc content of rice.

Materials and Methods

A field experiment was conducted as randomized complete block design with three replications at the Isfahan Agricultural Research Center during 2013-2014. Treatments were consisted of six zinc foliar application levels: 150 and 300 mg L⁻¹ nano-ZnO, 3 and 6 g L⁻¹ ZnSO₄, distilled water as the first control (Control 1) and no spray as the second control (Control 2). Rice plants were foliar sprayed until runoff using a hand-sprayer, at the tillering and grain milk stages. Nano-zinc oxide had a purity of greater than 99%, average particle diameter of 10-30 nm and specific surface area of > 30 m² g⁻¹. Also zinc sulfate was used with purity of 99%.

Results and Discussion

The results showed that Fe, Mn and Zn concentrations of plant shoot at tillering and grain milk stages, and also grain yield and grain zinc content were significantly affected by zinc foliar application ($P < 0.05$). Foliar application of nano-zinc oxide and zinc sulfate increased zinc concentration of plant shoot at tillering and grain milk stages. The highest shoot zinc concentration of 28.8 and 37.8 mg kg⁻¹ were obtained in 6 mg L⁻¹ zinc sulfate at tillering and grain milk stages, respectively. While the lowest shoot zinc concentration (24.2 and 30.5 mg kg⁻¹) were observed in the first control treatment at tillering stage and in the second control treatment at grain milk stage, respectively. At tillering stage, foliar application of 3 and 6 mg L⁻¹ zinc sulfate and 300 mg L⁻¹ nano-zinc oxide increased shoot zinc concentration, whereas there was no significant difference between 150 mg L⁻¹ nano-zinc oxide and two controls treatments. At grain milk stage, all zinc foliar application treatments increased shoot zinc concentration compared to the control treatments. The maximum grain zinc content (37.8 mg kg⁻¹) was obtained with 6 g L⁻¹ zinc sulfate which was 16.6 and 19.5% higher than first and second control treatments, respectively. Zinc foliar application significantly ($P < 0.05$) increased grain yield. Foliar application of nano-zinc oxide and zinc sulfate significantly improved grain yield compared to the control treatments. The highest grain yield was obtained in 6 g L⁻¹ zinc sulfate followed by 150 mg L⁻¹ nano zinc oxide, 3 g L⁻¹ zinc sulfate and 300

1- Assistant Professor of Horticultural Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

2 and 3- Respectively, Assistant Professor and Researcher of Soil and Water Department, Isfahan Agricultural and Natural resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

(*- Corresponding Author Email: Ramazani@yahoo.com)

mg L⁻¹ nano-zinc oxide, respectively. Also, there were no significant difference between first and second controls. Zinc is a structural part of carbonic anhydrase, alcohol dehydrogenase, Cu/Zn-superoxide dismutase and RNA polymerase and serves as a cofactor for all 6 classes of enzymes (oxidoreductases, transferases, hydrolases, lyases, isomerase and ligases) and auxin synthesis in plants is also controlled by Zn. Adequate zinc in plants increases the synthesis of enzymes and hormones, metabolism of essential elements and stimulates plant growth and yield.

Conclusions

According to rice consumption per capita in Iran is 40 kg (110 g day⁻¹) and the average daily human zinc requirement is 10-15 mg, zinc biofortification of rice and improving zinc of rice grain to 35 mg kg⁻¹ will provide about one third of people's daily zinc requirement (3.5 mg).

Keywords: Biofortification, Foliar application, Nano-ZnO, Zinc deficiency, ZnSO₄



تغییرات نسبت کربن به نیتروژن خاک و پاسخ رشدی گیاه دارویی شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) در واکنش به سطوح مختلف کودهای دامی و شیمیایی

سمانه لاله^{۱*} - مجیدجامی الاحمدی^۲ - سهیل پارسا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸

چکیده

یکی از نکات مهم در بهبود مدیریت زراعی و تولید گیاهان دارویی، ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است. جهت بررسی تأثیر سطوح مختلف کودهای دامی و شیمیایی بر گیاه دارویی شاهدانه، آزمایشی در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳ به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام گرفت. تیمارهای مورد آزمایش شامل کود دامی (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود گاوی پوسیده شده) به عنوان کرت اصلی و کود نیتروژن (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع کود اوره) به همراه کود فسفر (صفر و ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار از منبع کود سوپرفسفات تریپل) به صورت فاکتوریل به عنوان کرت فرعی بودند. نمونه برداری در دو مرحله‌ی رویشی و زایشی گیاه انجام گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که اثر کود دامی در مرحله‌ی رویشی بر ارتفاع و قطر ساقه، وزن خشک ساقه و برگ معنی‌دار نبود، اما کود شیمیایی نیتروژن اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های رشد داشت. در سطوح صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کود دامی با افزایش سطح کود نیتروژن، عملکرد بیولوژیک و دانه افزایش یافت. با افزایش سطح کود دامی و نیتروژن شاخص برداشت کاهش یافت، به طوری که کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، از طریق افزایش بیشتر رشد رویشی این شاخص را به ترتیب ۱۸/۲۰ و ۱۳/۰۷ درصد کاهش دادند. افزایش سطح کودهای نیتروژن و دامی در کاهش نسبت C/N خاک در مرحله زایشی مؤثر بود. اضافه نمودن فسفر سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه (۱۳ درصد)، وزن خشک ساقه (۶/۴۲ درصد) و برگ (۱۵/۲۱) در مرحله زایشی شد. بر طبق نتایج آزمایش کاربرد تلفیقی ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و همچنین ۲۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن سطوح مناسبی برای تغذیه‌ی شاهدانه هستند.

واژه‌های کلیدی: اوره، سوپرفسفات تریپل، کود گاوی

مقدمه

گیاه دارویی شاهدانه یا بنگ (*Cannabis sativa* L.) متعلق به خانواده Cannabinaceae، بومی ایران است که جهت استفاده از الیاف، ساخت کاغذ، استخراج روغن، تولید ترکیبات دارویی و مخدر در مناطق گرم کشت می‌شود (Zaman, 2003). این گیاه علفی، یکساله و دو پایه می‌باشد. دانه شاهدانه در تغذیه انسان به دلیل کاهش کلسترول و فشار خون اهمیت دارد (Oomah et al., 2002). یکی از نکات مهم در زمینه‌ی کاشت گیاهان دارویی توجه به

تغذیه‌ی گیاهان دارویی و حاصلخیزی خاک است. در میان عناصر غذایی مختلف، نیتروژن نقش اساسی در دستیابی به عملکرد بالای کمی و کیفی گیاهان دارویی ایفا می‌کند. نیتروژن عنصری ضروری و اساسی است که در ترکیب با سایر عناصر، مواد بسیار ارزشمندی نظیر آمینواسیدها، نوکلئیک اسیدها، کلروفیل، آلکالوئیدها و بازهای پورینی را نیز تولید می‌کند (Wahba et al., 2014). فسفر بعد از نیتروژن یکی از عناصر اصلی مورد استفاده گیاهان است که در تجمع و تولید اسیدهای چرب، گسترش ریشه، فتوسنتز، گل‌دهی و گرده‌افشانی تأثیر دارد. این عنصر با دخالت در تمام فرآیندهای بیوشیمیایی، در ترکیبات انرژی‌زا و در مکانیسم‌های انتقال انرژی نقش دارد. تأثیر فسفر در تولید محصول بهتر و با کیفیت برتر، تشکیل و پایداری گلدهی، مقاومت به ورس و در نهایت بالابردن عملکرد دانه نیز تأیید شده است (Valadabadi et al., 2007). در گیاه دارویی بارهنگ (*Plantago major*) کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

(*) - نویسنده مسئول: (Email: Samaneh_Laleh@birjand.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.60300

(Mallanagouda, 1995).

نسبت کربن به نیتروژن نقش مهمی در تولید محصول، کیفیت خاک از نظر تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک از قبیل نگهداری آب خاک، سیکل مواد غذایی، جریان گاز و رشد ریشه گیاه در سیستم‌های کشاورزی پایدار دارد (Pouryousef *et al.*, 2010). یکی از عوامل تأثیرگذار در نسبت C/N خاک، اضافه نمودن ورودی کربن از طریق کودهای آلی به‌ویژه کود دامی به تنهایی یا ترکیب با کودهای غیرآلی است (Jokubauskaite *et al.*, 2015). بررسی خرازی و همکاران (Kharrazi *et al.*, 2012)، با اعمال کود دامی به خاک، میزان کل کربن آلی و همچنین نسبت C/N در خاک کاهش و میزان نیتروژن موجود در بستر با گذشت زمان افزایش یافت. افزایش میزان نیتروژن با گذشت زمان، به حضور کرم‌های خاکی در خاک و ضایعات نیتروژنی ترشح شده، هورمون‌های محرک رشد و آنزیم‌های تولید شده از آن‌ها در خاک نسبت داده شد و از طرفی تجزیه مواد آلی به‌وسیله کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها و تبدیل کربن آلی به گاز دی اکسید کربن و خروج آن از بستر، در کاهش نسبت C/N مؤثر بود.

شکل‌گیری عملکرد در گیاهان در بردارنده‌ی مجموعه‌ای از فرآیندهای مؤثر در مراحل مختلف رشد گیاه است که بررسی این مراحل و نقش تغذیه در آن، در شناخت عوامل مؤثر بر تولید، مؤثر خواهد بود. امروزه با وجود استفاده روز افزون از گیاهان دارویی و نقش تغذیه‌ای خاک در تولید آن‌ها، نیاز است مطالعات بیشتری در زمینه تأثیر تغذیه بر گیاهان دارویی انجام گیرد. شاهدانه یکی از گیاهان دارویی مهم در این زمینه است که به دلیل ممانعت‌های قانونی، جایگاه اصلی خود را در بین گیاهان زراعی به‌ویژه در ایران پیدا نکرده است. لذا هدف این تحقیق، بررسی تأثیر کودهای شیمیایی (نیتروژن و فسفر) و آلی (گاوی) بر گیاه دارویی شاهدانه در مراحل رویشی و زایشی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند (عرض جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۱۳ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا) روی گیاه دارویی شاهدانه (*Cannabis sativa* L. (توده‌ی بومی خوسف) انجام گرفت. آب و هوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی اقلیم دوماستن با ضریب خشکی ۶/۴ جزء اقلیم‌های خشک با تابستان‌های گرم می‌باشد (Khamchin moghaddam and Rezaee pajand, 2009). آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. از چهار سطح کود دامی (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن

تریپل، سبب افزایش وزن خشک و تر کل بوته و سطح برگ آن شد (abdipoor *et al.*, 2013). گزارش شده است که تأمین این عناصر مهم غذایی برای گیاه تنها از طریق کودهای شیمیایی به مرور زمان سبب تخریب ساختمان خاک، کاهش شدید در مقدار مواد آلی و در نهایت سبب کاهش نسبت کربن به نیتروژن و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک‌های زراعی خواهد شد (Javaheri *et al.*, 2016). در اراضی زراعی ایران به علت وضعیت بیولوژیک نامطلوب خاک، کاربرد کودهای آلی به تنهایی نیز ممکن است مشکلاتی از جمله کاهش عملکرد را در پی داشته باشد (Pourazizi and Fallah, 2013). هرچند که کاربرد کودهای آلی در کشاورزی پایدار، مزایای زیادی نظیر افزایش کیفیت محصول، باروری و حاصلخیزی خاک، افزایش ماده آلی و ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک و بهبود pH و فعالیت میکروبی آن دارد. با توجه به این‌که کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی باعث بروز مشکلات و خسارات جدی به محیط زیست شده است و مصرف کودهای دامی به تنهایی نیز به علت فراوانی کم، هزینه بالا، متعادل نبودن مواد غذایی و اسیدی نمودن خاک محدود شده است (Akande *et al.*, 2010)، در سال‌های اخیر توجه زیادی به استفاده تلفیقی از کودهای آلی و شیمیایی شده است. مطالعاتی نیز در زمینه تأثیر استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی و دامی روی گیاهان دارویی انجام گرفته است. به‌طور مثال در گیاه رزماری (*Rosemarinus officinalis* L.) ارتفاع بوته، وزن تر و خشک برگ و عملکرد گیاه تحت تأثیر معنی‌دار تیمار ترکیبی کود شیمیایی و دامی قرار گرفت و کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی تأثیر بیشتری بر این صفات داشت (Hosseini valiki and Ghanbari, 2014). در بررسی مقادیر مختلف کود دامی، کودهای شیمیایی و نیز کاربرد تلفیقی آن‌ها در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) مشخص شد که مصرف کود دامی و شیمیایی (NPK) به‌ترتیب موجب افزایش ۷۸ و ۶۹ درصدی محصول رازیانه گردید، در حالی که کاربرد تلفیقی آن‌ها تولید را تا ۱۲۲ درصد افزایش داد (Eslami khalili *et al.*, 2014). در بررسی چهار سطح کودی شامل: شاهد (عدم مصرف کود)، کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم)، کود دامی (۱۵ تن در هکتار) و تیمار تلفیقی (۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم + ۷/۵ تن در هکتار کود دامی) در کشت بهاره گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.)، بیشترین شاخص برداشت در تیمار تلفیقی (۷۹/۵۰ درصد) و کمترین آن در شاهد (۶۶/۸۱ درصد) گزارش شد (Shams *et al.*, 2012). رشد و عملکرد گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum*) در تیمار تلفیقی کود شیمیایی (NPK) و کود دامی بیشتر از کاربرد جداگانه هر یک از آن‌ها بود، دلیل این افزایش به نقش کود دامی در افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت داده شده است

متر و طول ردیف‌ها نیز چهار متر در نظر گرفته شد. عملیات کشاورزی به‌ترتیب شامل شخم، دیسک، لولر و اضافه کردن کود دامی و شیمیایی سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در هر کرت اصلی) در محدوده‌های تعیین شده، ایجاد جو و پشته توسط فاروئر و حفر نه‌ر آبیاری و زه‌آب توسط نه‌رکن انجام شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش و کود دامی مصرفی در جدول ۱ ارائه شده است.

در هکتار کود گاوی پوسیده شده) به‌عنوان کرت اصلی و سه سطح کود نیتروژن (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع کود اوره) به همراه دو سطح فسفر (صفر و ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار از منبع کود سوپرفسفات تریپل) به‌عنوان کرت‌های فرعی و به صورت فاکتوریل استفاده شد. به منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها، فاصله‌ی بین کرت‌های اصلی دو متر، فاصله بین کرت‌های فرعی دو ردیف کاشت نشده، فاصله‌ی بین تکرارها چهار

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کود دامی قبل از شروع آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil and animal manure before the start of the experiment

عمق	بافت	شن	رس	سیلت	فسفر	نسبت کربن به نیتروژن	نیتروژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته
depth (cm)	Texture	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	Phosphorus (ppm)	C/N	Total nitrogen (%)	Organic carbon (%)	EC (dS m ⁻¹)	pH
لومی شنی رسی Loamy sandy clay 0-20		54	20	26	6.3	8.66	0.06	0.52	9.75	7.98
-	-	-	-	-	1280	19.09	0.66	12.6	6.9	8.5
کود دامی (Animal manure)										

نمونه‌گیری، ارتفاع و قطر ساقه، وزن خشک ساقه و برگ گیاهان در سطح یک مترمربع از کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شد، که در مرحله‌ی زایشی نمونه‌برداری تنها از بوته‌های ماده صورت گرفت. در مرحله‌ی زایشی همچنین عملکرد بیولوژیک و دانه به همراه شاخص برداشت دانه در یک متر مربع از هر کرت مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به کل وزن خشک تعیین شد. در مرحله‌ی زایشی ضرایب تخصیص برگ، ساقه و دانه از تقسیم وزن خشک هر کدام از این اجزاء بر وزن خشک کل بوته به‌دست آمد. نمونه‌برداری مرکب خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر با سه نمونه‌گیری در هر کرت در مراحل رویشی و زایشی انجام گرفت. نیتروژن کل گیاه و خاک به روش کج‌لدال (Bremner, 1965) و کربن خاک به روش والکی بلاک (Jafari Haghighi, 2003) تعیین شد.

بررسی نرمال بودن داده‌ها و همچنین همبستگی صفات مورد ارزیابی توسط IBM SPSS Statistics 22 انجام گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS (V.9.1) و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

کاشت شاهدانه در اوایل خرداد ماه با فواصل بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر در پنج ردیف با عمق کاشت سه تا چهار سانتی‌متر انجام شد. کاشت با دست و به صورت ردیفی در کنار پشته‌ها انجام گرفت. اعمال تمامی کود سوپر فسفات تریپل و نیمی از کود اوره قبل از کاشت و به صورت خطی با روش کود کاری دستی انجام شد. تنک اول در مرحله‌ی دو تا چهار برگی و تنک دوم دو هفته پس از تنک اول انجام گرفت. پس از اتمام تنک نیز نیمی دیگر از تیمارهای کود اوره به صورت سرک (به‌جز شاهد) اعمال شد. وجین علف‌های هرز در دو مرحله همزمان با تنک گیاه صورت گرفت. در طی آزمایش هیچ نوع کود شیمیایی دیگری به‌جز تیمارهای کودی و یا علف‌کش و قارچ‌کشی مصرف نشد. آبیاری اول به صورت سنگین بلافاصله پس از کاشت اعمال شد و آبیاری دوم به فاصله چهار روز پس از آبیاری اول جهت تسهیل جوانه‌زنی انجام گرفت و پس از آن تا زمان رسیدگی دانه‌ها دور آبیاری ۱۰ روز تنظیم شد.

در مرحله رویشی (ظهور یازدهمین جفت برگ) و زایشی یعنی در مرحله رسیدگی دانه‌ها (همزمان با مرحله رشدی سخت شدن ۵۰ درصد دانه‌ها) (Mediavilla et al., 1998) نمونه‌گیری از گیاه و خاک انجام گرفت. رسیدگی دانه‌ها در آبان‌ماه بود. در هر دو مرحله

نتایج و بحث

ارتفاع ساقه

در مرحله رویشی اثر کود نیتروژن و در مرحله زایشی اثر کودهای نیتروژن و دامی بر ارتفاع ساقه بسیار معنی‌دار بود (جداول ۲ و ۳). در مراحل رویشی و زایشی با افزایش سطح نیتروژن ارتفاع ساقه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به‌ترتیب سبب افزایش ۱۵/۳۵ و ۳۰/۲۸ درصد در مرحله رویشی و ۲۳ و ۳۷/۴۵ درصد در مرحله زایشی گیاه در مقایسه با شاهد شدند (جدول ۴). به عبارت دیگر با پیشرفت رشد گیاه، اختلاف ارتفاع بوته بین سطوح بالا و پایین نیتروژن به‌ویژه به‌علت کاهش رشد در شرایط عدم مصرف نیتروژن در گیاهان شاهد، افزایش یافت. دسترسی به مواد غذایی کافی، به‌خصوص نیتروژن از طریق تأثیر بر تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها در افزایش ارتفاع بوته مؤثر است (Pouryousef et al., 2010). دیپ بروک (Diepen Brock, 2000) افزایش مصرف نیتروژن را در افزایش طول سلول‌های ساقه گیاه مؤثر دانستند و محرومیت از نیتروژن را نیز در ایجاد گیاهانی با ارتفاع کوتاه، شاخ و برگ‌های زرد و در نتیجه تولید عملکرد پایین تأثیرگذار ذکر کردند.

در مرحله زایشی کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی توانستند به‌ترتیب سبب افزایش ۴/۵۶، ۱۸/۲۸ و ۱۹/۹۵ درصدی ارتفاع ساقه نسبت به شاهد شوند. این در حالی بود که سطوح ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان ندادند (جدول ۴). یکی از عوامل تعیین‌کننده ارتفاع بوته، تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است، کودهای آلی با تأمین تدریجی عناصر غذایی این عمل را به‌خوبی انجام داده و باعث افزایش ارتفاع بوته می‌شوند (Tahami et al., 2010). با توجه به عدم تأثیرپذیری ارتفاع بوته از کود دامی در مرحله رویشی و تأثیرپذیری آن در مرحله زایشی، به نظر می‌رسد که با وجود استفاده از کود دامی پوسیده شده در این آزمایش، نیاز به گذشت زمان جهت تأثیرپذیری تدریجی گیاه از کودهای دامی بوده است. سینگ و همکاران (Singh and Chauhan, 1994) کمبود مواد غذایی را یکی از عوامل مؤثر در تعیین ارتفاع جو (*Hordeum vulgare*) دانستند و در شرایط عدم کمبود مواد غذایی، افزایش ارتفاع بوته را ناشی از افزایش تعداد و طول میانگره‌ها بیان نمودند.

قطر ساقه

قطر ساقه در مرحله رویشی تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار نگرفت (جدول ۲)، در حالی که در مرحله زایشی کودهای نیتروژن و دامی بر قطر ساقه اثر معنی‌داری به‌ترتیب در سطوح یک و پنج

درصد داشتند (جدول ۳). قطر ساقه در مرحله زایشی تحت تأثیر سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌ترتیب ۱۴/۲۴ و ۳۰ درصد افزایش یافت (جدول ۴). سطوح ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان ندادند در حالی که این دو سطح اختلاف معنی‌داری در مقایسه با شاهد نشان دادند (جدول ۴). ساقه شاهدانه یک بخش چوبی در برگرفته شده با کامبیوم آوندی (بافت رویشی) و یک حلقه بیرونی از سلول‌های آبکشی، بافت اپیدرمی و کورتکس دارد (Saadati et al., 2015). لذا احتمال می‌رود که افزایش قطر ساقه مرتبط با افزایش رشد سلول‌های اپیدرمی و یا کامبیوم آوندی و یا افزایش هر دو باشد. همچنین وجود همبستگی مثبت قطر ساقه با وزن خشک ساقه (۰/۶۱) و برگ (۰/۴۲) (جدول ۹) می‌توان نتیجه گرفت که افزایش وزن خشک و رشد بهتر گیاه با ساخت و تجمع بیشتر مواد در ساقه همراه بوده است و این عامل سبب افزایش قطر ساقه در شاهدانه شده است. یزدانی و همکاران (Yazdani et al., 2015) نیز کاربرد کودهای آلی را در افزایش ارتفاع و قطر ساقه و وزن خشک پیکر رویشی گیاه دارویی مرزنجوش (*Majorana hortensis* L.) مؤثر دانستند.

وزن خشک ساقه

در مرحله رویشی وزن خشک ساقه تنها تحت تأثیر کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). در مرحله زایشی اثر کودهای دامی و نیتروژن در سطح یک درصد، کود فسفر و همچنین اثر متقابل کود دامی و نیتروژن در سطح پنج درصد بر وزن خشک ساقه معنی‌دار بودند (جدول ۳). وزن خشک ساقه پاسخ مثبتی به افزایش کود فسفر نشان داد و میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر در مقایسه با عدم کاربرد فسفر توانست ۶/۴۲ درصد وزن خشک ساقه را افزایش دهد (جدول ۴). در آزمایشی روی گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) نیز کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر توانست وزن گیاه را افزایش دهد، همچنین فسفر در جذب نیتروژن و تشکیل بافت‌های گیاهی نقش داشته و کمبود آن در کاهش محصول مؤثر است (Zeinali et al., 2014). در مراحل رویشی و زایشی اگرچه وزن خشک ساقه متأثر از ارتفاع و قطر ساقه بود، اما در مرحله رویشی وزن خشک ساقه همبستگی قوی‌تری با ارتفاع بوته (۰/۳۱) و در مرحله زایشی همبستگی قوی‌تری با قطر ساقه (۰/۶۱) داشت (جداول ۸ و ۹). به نظر می‌رسد که در مرحله رویشی گیاه از طریق افزایش طول ساقه سعی در افزایش ماده خشک ساقه نموده تا از این طریق بتواند در این مرحله از رشد، استفاده بیشتری از نور داشته باشد و در مرحله زایشی پس از رسیدن به حدی که ارتفاع مطلوب گیاه است، با افزایش بیشتر قطر ساقه بتواند در ایجاد ساقه مستحکم‌تر جهت رشد بیشتر و تحمل بیشتر بخش‌های زایشی خود اقدام نماید.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در مرحله روشنی شاهدانه
Table 2- Analysis of variance for the measured traits in vegetative stage of hemp
میانگین مربعات

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	قطر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	وزن خشک	کربن خاک	نیتروژن خاک	نسبت کربن به نیتروژن خاک
Source of variation	d.f	Shoot height	Shoot diameter	Shoot dry weight	Leaf dry weight	Leaf dry weight	Soil carbon	Soil nitrogen	Soil C/N ratio
تکرار	2	79.09 ^{ns}	1.39 ^{ns}	0.83 ^{ns}	78.15 ^{ns}		0.001 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	4.19 ^{ns}
کود دامی	3	80.73 ^{ns}	1.06 ^{ns}	0.71 ^{ns}	5.53 ^{ns}		0.098 ^{**}	0.00005 ^{ns}	35.67 ^{ns}
Animal manure (A)									
خطای اصلی	6	77.35	0.67	0.65	3.65		0.003	0.00001	5.12
Error a									
نیتروژن	2	513.59 ^{**}	1.32 ^{ns}	5.59 ^{**}	61.54 ^{**}		0.010 ^{ns}	0.00077 [*]	16.54 ^{ns}
Nitrogen fertilizer (B)									
فسفر	1	107.55 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.64 ^{ns}	11.22 ^{ns}		0.016 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	5.30 ^{ns}
Phosphorus fertilizer (C)									
A × B	6	37.96 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.62 ^{ns}	1.55 ^{ns}		0.002 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	26.19 ^{ns}
A × C	3	66 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.20 ^{ns}	9.56 ^{ns}		0.009 ^{ns}	0.00016 ^{ns}	16.59 ^{ns}
B × C	2	39.84 ^{ns}	0.33 ^{ns}	1.63 ^{ns}	2.45 ^{ns}		0.001 ^{ns}	0.00018 ^{ns}	10.35 ^{ns}
A × B × C	6	10.73 ^{ns}	0.26 ^{ns}	1.09 ^{ns}	1.99 ^{ns}		0.007 ^{ns}	0.00019 ^{ns}	9.63 ^{ns}
خطای فرعی	40	66.20	0.69	0.66	4.77		0.005	0.00015	13.62
Error b									
ضریب تغییرات	-	23.1	30.7	19.5	17.7		11.1	18.2	31.3
CV (%)									

عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * و ** به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد
ns: Non-significant, * and ** significant at 1% and 5% levels, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در مرحله زایشی شاهدانه
Table 3- Analysis of variance for the measured traits in reproductive stage of hemp

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Measured traits									
		ارتفاع Shoot height	قطر ساقه Shoot diameter	وزن خشک Shoot dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کربن خاک Soil carbon	نیترژن خاک Soil nitrogen	نسبت کربن به نیترژن خاک Soil C/N ratio
تکرار Replication	2	527.46 ^{ns}	0.33 ^{ns}	8.80 ^{ns}	361.32 ^{ns}	7790.902 ^{ns}	907918.1 ^{ns}	33.58 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.52 ^{ns}
کود دامی Animal manure (A)	3	1189.62 [*]	0.70 [*]	86.30 ^{**}	6104.96 ^{**}	908520.38 ^{**}	26989652.5 ^{**}	85.05 [*]	0.0354 ^{**}	0.001 ^{**}	6.36 ^{**}
خطای اصلی Error a	6	177.28 ^{ns}	0.19	10.12	237.97	56383.001	705494.4	11.69	0.0027	0.00012	1.66
نیترژن Nitrogen fertilizer (B)	2	4876.57 ^{**}	3.74 ^{**}	428.35 ^{**}	12490.24 ^{**}	2593403.301 ^{**}	67710979.5 ^{**}	83.84 [*]	0.0066 ^{ns}	0.0002 [*]	1.002 ^{ns}
فسفر Phosphorus Fertilizer (C)	1	81.70 ^{ns}	0.28 ^{ns}	45.72 [*]	2493.41 ^{**}	862275.831 ^{**}	14163231.6 ^{**}	7.01 ^{ns}	0.0078 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.1 ^{ns}
A × B	6	278.59 ^{ns}	0.04 ^{ns}	13.24 [*]	526.81 ^{ns}	301240.082 ^{**}	2786038.6 ^{**}	23.82 ^{ns}	0.0031 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	1.63 ^{ns}
A × C	3	210.87 ^{ns}	0.40 ^{ns}	1.16 ^{ns}	618.99 ^{ns}	63734.433 ^{ns}	1528519 ^{ns}	20.84 ^{ns}	0.0015 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	1.09 ^{ns}
B × C	2	329.30 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.37 ^{ns}	76.26 ^{ns}	16121.192 ^{ns}	95683.8 ^{ns}	13.7 ^{ns}	0.0032 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.68 ^{ns}
A × B × C	6	415.23 ^{ns}	0.15 ^{ns}	1.03 ^{ns}	247.67 ^{ns}	17615.217 ^{ns}	607858.4 ^{ns}	8.25 ^{ns}	0.0037 ^{ns}	0.00008 ^{ns}	2.86 ^{ns}
خطای فرعی Error b	40	288.99	0.24	5.08	337.48	38846.54	784938.4	24.01	0.0039	0.00006	1.29
ضریب تغییرات CV (%)	-	18.7	16.4	13.8	22.1	12	12.2	19.1	10.5	11.4	13.3

ns : عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * و ** به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد
ns : Non-significant, * and ** significant at 1% and 5% levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده کودهای دامی، نیتروژن و فسفر بر صفات اندازه‌گیری شده در مراحل رویشی و زایشی شاهدانه
Table 4- Mean comparisons of simple effects of animal manure, nitrogen and phosphorus on measured traits in vegetative and reproductive stages of hemp

		ارتفاع ساقه		قطر ساقه		وزن خشک ساقه		وزن خشک برگ	
		Shoot height		Shoot diameter		Shoot dry weight		Leaf dry weight	
		(cm)		(cm)		(g plant ⁻¹)		(g plant ⁻¹)	
		1	2	1	2	1	2	1	2
کود دامی	0	32.61a	81.92b	1.44a	2.76b	3.91a	22.83b	11.66a	63.27b
Animal manure (ton ha ⁻¹)	10	34.50a	85.66b	1.86a	2.97ab	3.91a	25.24ab	12.11a	72.16b
	20	36.38a	96.90a	1.87a	3.17a	4.07a	26.90a	12.70a	96.05a
	30	37.38a	98.27a	2a	3.17a	4.28a	27.82a	12.81a	101.45a
کود نیتروژن	0	30.54b	75.48c	1.55a	2.63c	4.35a	20.91c	10.57b	57.80c
Nitrogen fertilizer (kg ha ⁻¹)	50	35.33a	92.84b	1.80a	3.01b	3.71b	27.28b	12.64a	90.00b
	100	39.79a	103.75a	2.02a	3.42a	4.09b	28.91a	13.72a	101.87a
کود فسفر	0	36.44a	91.75a	1.73a	2.96a	4.06a	24.90b	11.91a	77.35b
Phosphorus fertilizer (kg ha ⁻¹)	80	34.00a	89.62a	1.85a	3.08a	4.25a	26.50a	12.70a	89.12a

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

۱ و ۲ به ترتیب مراحل رویشی و زایشی شاهدانه هستند.

The columns that share at least one letter have no significant differences according to LSD test at 5 percent of probability. 1 and 2 are vegetative and reproductive stages of hemp respectively.

دامی و تطابق بیشتر نیتروژن قابل دسترس با نیاز گیاه موجب شده تا وزن خشک ساقه افزایش یابد (Mooleki *et al.*, 2004). افزایش میزان کود نیتروژن در تلفیق با کود دامی بسته به میزان کود مصرفی تا حدی می‌تواند ضمن افزایش ماده خشک تولیدی گیاه، تعادل بین تولید متابولیت‌های اولیه و ثانویه را حفظ نماید و با افزایش بیشتر آن به دلیل تنش شدید املاح، وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد (Abbaszadeh *et al.*, 2007).

وزن خشک برگ

وزن خشک برگ در مرحله رویشی تحت تأثیر کود نیتروژن افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۲)، به‌طوری‌که سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مقایسه با شاهد به‌ترتیب سبب افزایش ۱۹/۵۸ و ۲۹/۸۰ درصد وزن خشک برگ شدند (جدول ۴). در مرحله زایشی اثرات کودهای دامی، نیتروژن و فسفر بر وزن خشک برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). اگرچه وزن خشک برگ در تیمارهای ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان ندادند اما در مقایسه با شاهد به‌ترتیب سبب افزایش ۵۱/۸۰ و ۶۰/۳۴ درصد وزن خشک برگ در بوته شدند.

پاسخ وزن خشک ساقه به کود نیتروژن برای سطوح مختلف کود دامی نشان داد که استفاده تلفیقی کود دامی به همراه کود شیمیایی نیتروژن اثر مثبتی در مقایسه با کاربرد تنها کود دامی داشت (جدول ۵). با افزایش سطح کود نیتروژن در سطوح ۰، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کود دامی، وزن خشک ساقه نیز افزایش یافت. در تیمار ۳۰ تن در هکتار کود دامی، با افزایش نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار، وزن خشک ساقه افزایش، ولی با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار این صفت اندکی کاهش یافت (جدول ۵). کودهای دامی با تأمین مواد آلی مورد نیاز میکروارگانیزم‌های خاک سبب تکثیر آن‌ها شده و با افزایش جمعیت میکروارگانیزم‌ها، روند تجزیه مواد آلی تسریع می‌یابد و با تسریع این روند، منجر به افزایش آزادسازی مواد مورد نیاز گیاه به سیستم خاک-گیاه می‌شوند (Jahanban and Lotfifar, 2011). کودهای آلی با ایجاد تغییرات مثبت بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین به موقع عناصر مورد نیاز گیاه در طی رشد، می‌توانند شرایط بهینه‌ای را برای افزایش وزن گیاه فراهم آورند. نتایج مشابهی در رابطه با اثر مثبت کود دامی بر گیاهان دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (Tahami *et al.*, 2010) و بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) (Fallahi, 2009) نیز گزارش شده است. کاربرد کود دامی به همراه کود شیمیایی نیتروژن با افزایش قابلیت دسترسی گیاه به مواد غذایی و همچنین بهبود معدنی شدن نیتروژن توسط کود

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل کود دامی و نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری شده شاهدانه

Table 5- Mean comparisons for interaction effects of animal manure and nitrogen levels on measured traits in hemp

کود دامی Animal manure (ton ha ⁻¹)	نیتروژن Nitrogen fertilizer (kg ha ⁻¹)	وزن خشک ساقه Shoot dry weight (g plant ⁻¹)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)
0	0	16.97 g	4286.53 g	1284.37 e
	50	22.45 ef	5988.52 f	1491.46 de
	100	27.09 bc	7309.11 de	1931.99 c
10	0	20.7 f	4542.14 g	1397.58 de
	50	26.48 cd	6550.06 ef	1818.34 c
	100	29.56 ab	7994.35 cd	1859.12 c
20	0	21.93 ef	5678.46 f	1491.51 de
	50	27.48bc	8898.99 bc	2201.74 b
	100	30.13 a	10099.33 a	2539.65 a
30	0	24.06 de	6327.90 ef	1517.13 d
	50	30.73 a	9697.22 ab	2204.87 b
	100	28.69 abc	8935.57 bc	1845.80 c

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

The columns that share at least one letter have no significant differences according to LSD test at 5 percent of probability.

ضرایب تخصیص برگ، ساقه و دانه

ضرایب تخصیص گیاه در مرحله زایشی نشان داد که به‌طور کلی با افزایش سطح کود دامی، تخصیص مواد به ساقه و دانه کاهش و به برگ‌ها افزایش یافت. به‌طوری که کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۸/۲۰ و ۱۵/۰۳ درصد تخصیص مواد به دانه و ساقه را کاهش داد. این در حالی بود که این سطح از کود دامی سبب افزایش ۱۵/۳۶ درصد تخصیص مواد به برگ‌های گیاه شد (جدول ۶). نتایج نیز نشان داد که سطح کود دامی ۲۰ تن در هکتار در مقایسه با شاهد نیز سبب کاهش ۱۵/۰۳ درصد تخصیص مواد به ساقه شد، ولی تخصیص مواد به برگ‌های گیاه در این تیمار افزایش یافت که این افزایش، اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان نداد (جدول ۶). نتایج این آزمایش با نتایج خرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2016) مطابقت داشت. این محققان با بررسی اثر کود دامی بر رشد گیاه دارویی زیره سیاه (*Bunium persicum* Bioss)، افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به جوانه‌های رویشی و برگ‌های زیره سیاه را تحت تأثیر کود دامی گزارش کردند.

با افزایش سطح نیتروژن تخصیص مواد به برگ‌ها افزایش یافت، به‌طوری که سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۸/۸۷ و ۱۲/۸۳ درصد اختصاص مواد به برگ‌های گیاه شدند. این در حالی بود که ضریب تخصیص مواد به ساقه نیز در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۹/۸۷ و ۱۵/۱۱ درصد کاهش یافت و تنها سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در مقایسه با شاهد ۱۳/۰۷ درصد تخصیص

در مرحله زایشی سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مقایسه با شاهد به‌ترتیب سبب افزایش ۵۵/۷۰ و ۷۶/۲۴ درصد وزن خشک برگ شد (جدول ۴). این افزایش در مرحله زایشی بیشتر از مرحله رویشی بود. به نظر می‌رسد که با افزایش رشد، اختلافات ایجاد شده بین سطوح تیمارهای مربوط به نیتروژن و کود دامی به علت نیاز بیشتر به عناصر غذایی با پیشرفت رشد گیاه و همچنین کاهش سطح مواد غذایی خاک در شاهد افزایش یافته باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که عنصر نیتروژن با افزایش تقسیم و توزیع سلول‌های مریستمی سبب افزایش رشد رویشی در گیاهان می‌شود (Makkizadeh et al., 2012).

سطح ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در مقایسه با عدم مصرف کود فسفر، وزن خشک برگ را ۱۵/۲۱ درصد افزایش داد. محققان نقش مثبت فسفر بر افزایش رشد و قوی‌تر شدن ریشه‌ها را در افزایش رشد اندام‌های هوایی گیاه مؤثر می‌دانند. در شرایط عدم استفاده از کود فسفر و یا سطوح پایین آن طول ریشه کوتاه‌تر، سطح ریشه کوچک‌تر و زیست‌توده ریشه کمتر می‌شود در حالی که فراهمی آن از طریق افزایش رشد ریشه سبب افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی در خاک و در نتیجه افزایش فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود. افزایش رشد بخش‌های هوایی گیاه در اثر کود فسفر می‌تواند ناشی از نقش فسفر در تولید ATP و تأمین انرژی لازم برای تثبیت کربن و نیتروژن در گیاه باشد (Markaryan et al., 2016).

تخصیص مواد به برگ‌ها شده باشند (Khorramdel *et al.*, 2016). این در حالی است که کاربرد ۳۰ تن در هکتار مشابه کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن با کاهش تخصیص مواد از ساقه و دانه سبب افزایش تخصیص مواد به برگ‌ها شده است.

مواد به دانه را کاهش داد (جدول ۶). به نظر می‌رسد که کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود دامی و همچنین سطح ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن با وجود کاهش جزئی تخصیص مواد به دانه که معنی‌دار نبودند، بیشتر از طریق تخصیص مواد از ساقه به برگ‌ها سبب افزایش

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات ساده کود دامی، نیتروژن و فسفر بر صفات اندازه‌گیری شده در مرحله زایشی شاهدانه
Table 6- Mean comparisons of simple effects of animal manure, nitrogen and phosphorus on measured traits in reproductive stage of hemp

		تخصیص برگ Leaf allocation (%)	تخصیص ساقه Shoot allocation (%)	تخصیص دانه Seed allocation (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
کود دامی	0	52.34b	20.08a	27.58a	5861.4c	1555.94c	27.58a
Animal manure (ton ha ⁻¹)	10	53.31b	20.08a	26.60a	6562.2b	1691.68bc	26.60a
	20	57.24ab	17.06b	25.70a	8225.6a	1855.93b	25.70a
	30	60.38a	17.06b	22.56b	8320.2a	2077.63a	22.56b
کود نیتروژن	0	52.05b	20.25a	27.69a	5358.8c	1422.65c	27.69a
Nitrogen fertilizer (kg ha ⁻¹)	50	56.67a	18.25b	25.07ab	7783.7b	1919.10b	25.07ab
	100	58.73a	17.19b	24.07b	8584.6a	2044.14a	24.07b
کود فسفر	0	54.79a	19.28a	25.92a	6798.8b	1685.86b	25.92a
Phosphorus fertilizer (kg ha ⁻¹)	80	56.84a	17.85a	25.30a	7685.9a	1904.73a	25.30a

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.
The columns that share at least one letter have no significant differences according to LSD test at 5 percent of probability.

نیتروژن در این سطح از کود دامی عملکرد بیولوژیک را ۴۱/۲۰ درصد افزایش داد، اما در مقایسه با سطح ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن عملکرد بیولوژیک را ۷/۸۵ درصد کاهش داد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که در سطح ۳۰ تن در هکتار کود دامی، افزودن مقادیر بیش از ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از طریق افزایش نیتروژن گیاه، سبب کاهش رشد گردیده باشد. چرا که وضعیت نیتروژن اثرات قابل توجهی بر مقدار کربوهیدرات‌های گیاه دارد. احیای نیتريت و نیترات و ساخت اسیدهای آمینه، نیازمند سوخت و ساز هیدرات‌های کربن طی عمل تنفس است، پس افزایش نیتروژن سبب کاهش هیدرات‌های کربن و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود (Ghobanli *et al.*, 2005).

برتری نقش مکملی کودهای تلفیقی دامی و شیمیایی در گیاه از آن جهت است که در ابتدای رشد گیاهان، کود شیمیایی مواد غذایی قابل جذب را برای رشد گیاه فراهم می‌کند و در دوره‌های بعدی رشد، کود دامی مواد غذایی پرمصرف و کم‌مصرف لازم را در اختیار گیاه قرار می‌دهد. با بهبود معدنی شدن عناصر غذایی در تغذیه تلفیقی کود زیستی گاوی و کود شیمیایی نیتروژن برای گیاه، ریشه توسعه بیشتری می‌یابد. ریشه‌های توسعه یافته گیاه با افزایش جذب بهتر آب و عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در افزایش سنتز ترکیباتی مانند

وقتی شرایط محیطی مناسب باشد و عناصر غذایی کافی در اختیار گیاه باشد تئوری^۱ GDB (موازنه‌ی رشد-تمایز) به سمت تولید رویشی سوق می‌یابد و تخصیص مواد فتوسنتزی و تولید پروتئین اندام رویشی افزایش می‌یابد (Jabbari *et al.*, 2009).

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک بیانگر این است که گیاه چه مقدار فتوسنتز حقیقی خود را قادر است به صورت فتوسنتز خالص درآورد (Majidian *et al.*, 2008). اثر کودهای دامی، نیتروژن، فسفر و اثر متقابل کودهای دامی و نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). عملکرد بیولوژیک با کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر در مقایسه با عدم کاربرد آن ۱۳ درصد عملکرد بیولوژیک را افزایش داد (جدول ۶). در سطوح صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کود دامی استفاده از سطوح مختلف نیتروژن در افزایش عملکرد بیولوژیک شاهدانه مؤثر بود. در سطح ۳۰ تن در هکتار کود دامی کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در مقایسه با عدم اعمال

پروتئین، کربوهیدرات‌ها و غیره مؤثر است (Moradi, 2015). عملکرد بیولوژیک با وزن خشک ساقه (۰/۷۴)، (۰/۹۷) و عملکرد دانه (۰/۸۱) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۹).

عملکرد دانه

تأثیر کودهای دامی، نیتروژن، فسفر و اثر متقابل کود دامی و نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر در مقایسه با عدم کاربرد آن ۱۳ درصد عملکرد دانه را افزایش داد (جدول ۶). با مصرف فسفر نیز توسعه ریشه افزایش یافته و در نتیجه جذب آب و املاح بیش‌تر شد، که خود سبب افزایش رشد رویشی و گسترش بوته و در نهایت افزایش عملکرد دانه گردید (Valadabadi et al., 2007).

در سطوح صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کود دامی استفاده از سطوح مختلف نیتروژن در افزایش عملکرد دانه‌ی گیاه مؤثر بود. در سطح ۳۰ تن در هکتار کود دامی کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مقایسه با سطح شاهد همین سطح از کود دامی ۲۱/۶۶ درصد عملکرد دانه را افزایش داد، اما در مقایسه با سطح ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در این سطح از کود دامی، عملکرد بیولوژیک ۱۶/۲۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵). این موضوع اولاً نشان‌دهنده‌ی

اثر مثبت کاربرد کودهای دامی در تلفیق با کود شیمیایی نیتروژن در مقایسه با کاربرد تنها کود دامی بود و ثانیاً اهمیت سطوح تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن با کود دامی را نشان داد، به طوری که با کاربرد کود دامی مصرفی برای گیاه دارویی شاهدانه به مقدار ۳۰ تن در هکتار، مصرف کود نیتروژن کاهش یافت و افزایش سطح نیتروژن در این سطح از کود دامی نه تنها باعث افزایش اتلاف کود مصرفی شد، بلکه سبب افت عملکرد بیولوژیک و دانه نیز گردید.

نیتروژن نقش اساسی در ساختمان کلروفیل دارا بوده و از طرفی مهم‌ترین عنصر در ساخت پروتئین‌ها می‌باشد و افزایش آن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی، موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد. با افزایش پروتئین‌ها، گیاه به توسعه‌ی بخش‌های رویشی خود می‌پردازد که افزایش این بخش‌ها، افزایش مواد فتوسنتزی را به دنبال دارد. با افزایش مواد فتوسنتزی، عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد (Daneshian et al., 2013). اسدی و خادمی (Asadi and Khademi, 2014) مصرف کودهای شیمیایی کمتر از نیاز واقعی و نیز در مقادیر بالاتر از نیاز واقعی را منجر به کاهش عملکرد گیاهان دانستند.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات ساده کود دامی، نیتروژن و فسفر بر صفات اندازه‌گیری شده خاک در مراحل رویشی و زایشی شاهدانه

Table 7- Mean comparisons of simple effects of animal manure, nitrogen and phosphorus on measured traits of soil in vegetative and reproductive stages of hemp

		کربن خاک Soil carbon (%)		نیتروژن خاک Soil nitrogen (%)		نسبت کربن به نیتروژن خاک Soil C/N ratio	
		1	2	1	2	1	2
کود دامی	0	0.54c	0.55c	0.061a	0.057b	8.32a	9.34a
Animal manure (ton ha ⁻¹)	10	0.61b	0.57bc	0.067a	0.07a	9.40a	8.23b
	20	0.68a	0.59b	0.068a	0.075a	10.24a	7.97b
	30	0.70a	0.65a	0.069a	0.077a	11.65	8.57ab
کود نیتروژن	0	0.61a	0.57a	0.063b	0.067b	10.72a	8.75a
Nitrogen fertilizer (kg ha ⁻¹)	50	0.64a	0.61a	0.066b	0.071a	9.93a	8.48a
	100	0.65a	0.59a	0.074a	0.073a	9.06a	8.35a
کود فسفر	0	0.62a	0.58a	0.065a	0.069a	10.17a	8.57a
Phosphorus fertilizer (kg ha ⁻¹)	80	0.65a	0.60a	0.069a	0.072a	9.63a	8.49a

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

۱ و ۲ به ترتیب مراحل رویشی و زایشی شاهدانه هستند.

The columns that share at least one letter have no significant differences according to LSD test at 5 percent of probability. 1 and 2 are vegetative and reproductive stages of hemp respectively.

است و بیانگر چگونگی تسهیم مواد پرورده بین اندام‌های رویشی گیاه و دانه می‌باشد (Majidian et al., 2008). اثر کودهای دامی و نیتروژن بر شاخص برداشت در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول

شاخص برداشت

شاخص برداشت تحت تأثیر دو عامل عملکرد بیولوژیک و دانه

نسبت کربن به نیتروژن خاک

نسبت کربن به نیتروژن خاک در مرحله رویشی تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار نگرفت (جدول ۲)، اما در مرحله زایشی کود دامی در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر این نسبت داشت (جدول ۳). با وجود کربن کم خاک مورد آزمایش (جدول ۱)، استفاده از کودهای دامی در افزایش کربن آلی خاک مؤثر بودند (جدول ۷). وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار این صفت با کربن خاک و همبستگی منفی و معنی‌دار آن با نیتروژن خاک در مراحل رویشی و زایشی حاکی از چگونگی تأثیر کربن و نیتروژن خاک بر این نسبت است (جدول ۸ و ۹). با توجه به فقیر بودن خاک مورد آزمایش از نظر درصد کربن، نیتروژن و نسبت C/N، به نظر می‌رسد که اضافه نمودن کود دامی با درصد بالاتر کربن، نیتروژن و نسبت C/N، توانست در افزایش نسبت کربن به نیتروژن خاک مؤثر باشد (جدول ۱).

۳). به‌طور کلی با افزایش سطح کود دامی شاخص برداشت کاهش یافت که این کاهش تنها در سطح ۳۰ تن در هکتار کود دامی با کاهش ۱۸/۲۰ درصد در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود (جدول ۶). با افزایش کود نیتروژن نیز شاخص برداشت شاهدانه کاهش یافت، به طوری که سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در مقایسه با شاهد ۱۳/۰۷ درصد این شاخص را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۶). با توجه به اینکه در سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در مقایسه با شاهد افزایش هر دو صفت عملکرد بیولوژیک و دانه مشاهده گردید، به نظر می‌رسد کاهش معنی‌دار شاخص برداشت ناشی از افزایش بیشتر رشد رویشی در مقایسه با افزایش عملکرد دانه باشد (جدول ۶). شهسواری و شریفی (Shahsawari and Saffari, 2005) نیز بیان کردند که با وجود افزایش هر دو عامل مؤثر بر شاخص برداشت تحت تأثیر نیتروژن، کاهش شاخص برداشت به علت افزایش بیشتر مخرج کسر (عملکرد بیولوژیک) به نسبت افزایش صورت کسر (عملکرد دانه) است.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در مرحله رویشی شاهدانه

Table 8- Correlation coefficient between measured traits in reproductive stage of hemp

	ارتفاع ساقه Shoot height (1)	قطر ساقه Shoot diameter (2)	وزن خشک ساقه Shoot dry weight (3)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (4)	کربن خاک Soil carbon(5)	نیتروژن خاک Soil nitrogen (6)	نسبت کربن به نیتروژن خاک Soil C/N ratio (7)
(1)	1						
(2)	0.374**	1					
(3)	0.318**	0.214*	1				
(4)	0.307**	0.042 ^{ns}	0.305**	1			
(5)	0.302*	0.186 ^{ns}	0.301*	0.239*	1		
(6)	0.254*	0.163 ^{ns}	0.183 ^{ns}	0.107 ^{ns}	0.133 ^{ns}	1	
(7)	-0.015 ^{ns}	0.108 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.054 ^{ns}	0.421**	-0.687**	1

ns : عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * و ** به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

ns : Non- significant, * and ** significant at 1% and 5% levels, respectively.

آمونیمی و نیتروژن نیتراتی و محدودیت نیتروژن معدنی قابل جذب برای گیاه به دلیل افزایش نسبت C/N این کودها دانستند، اما با گذشت زمان و کاهش موجودی نیتروژن در خاک در سطح صفر کود دامی و آزادسازی تدریجی نیتروژن از کود دامی سبب شد تا سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۲/۶۶، ۲۵ و ۲۸/۳۳ درصد نیتروژن خاک را افزایش دهند که خود در کاهش نسبت کربن به نیتروژن خاک در این مرحله از رشد مؤثر بود (جدول ۷). افزایش میزان نیتروژن خاک با گذشت زمان، به حضور کرم‌های خاکی در خاک و ضایعات نیتروژنی ترشح شده، هورمون‌های محرک رشد و آنزیم‌های تولید شده از آن‌ها در خاک نسبت داده شد و از طرفی تجزیه مواد آلی به‌وسیله کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها

وجود مقادیر پایین نسبت کربن به نیتروژن در هر دو مرحله رویشی و زایشی نیز به دلیل استفاده از کود پوسیده شده در این آزمایش بود. اضافه نمودن کود دامی در مرحله رویشی سبب افزایش معنی‌دار کربن خاک شد به طوری که سطوح کود دامی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار مقایسه با شاهد به‌ترتیب سبب افزایش ۱۲/۹۶، ۲۵/۹۲ و ۲۹/۶۲ درصدی کربن خاک شدند. همچنین در مرحله رویشی با وجود افزایش نسبت C/N خاک تحت تأثیر افزایش سطح کود دامی مصرفی، اختلاف معنی‌داری بین سطوح کود دامی با شاهد مشاهده نشد (جدول ۷). پورعزیز و همکاران (Pourazizi and Fallah, 2013) کارایی کمتر کودهای گاوی در اوایل فصل رشد را ناشی از رقابت بین میکروارگانیسم‌های خاک و گیاه برای جذب نیتروژن

و تبدیل کربن آلی به گاز دی اکسید کربن و خروج آن از بستر، در کاهش نسبت C/N مؤثر بود (Kharrazi et al., 2012).

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در مرحله زایشی شاهدانه

Table 9- Correlation coefficient between measured traits in reproductive stage of hemp

شاخص برداشت Harvest index (10)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (9)	عملکرد دانه Seed yield (8)	نسبت کربن به نیتروژن خاک Soil C/N ratio (7)	نیتروژن خاک Soil nitrogen (6)	کربن خاک Soil carbon (5)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (4)	وزن خشک ساقه Shoot dry weight (3)	قطر ساقه Shoot diameter(2)	ارتفاع ساقه Shoot height (1)
(1)									1
(2)								0.553**	
(3)							1	0.610**	
(4)						1	0.627**	0.420**	
(5)					1	0.369**	0.350**	0.192 ^{ns}	
(6)				1	0.457**	0.447**	0.419**	0.298*	
(7)			1	-0.689**	0.305**	-0.192 ^{ns}	-0.174 ^{ns}	-0.159 ^{ns}	
(8)		1	-0.213 ^{ns}	0.419**	0.293*	0.682**	0.750**	0.503**	
(9)	1	0.815**	-0.211 ^{ns}	0.476**	0.383**	0.976**	0.749**	0.495**	
(10)	-0.59**	0.073 ^{ns}	0.122 ^{ns}	-0.265*	-0.210 ^{ns}	0.705**	-0.326**	0.186 ^{ns}	0.359**

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * و ** به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد
ns: Non- significant, * and ** significant at 1% and 5% levels, respectively.

نتیجه‌گیری

مربوط به آن در خاک و جذب توسط گیاه، نیاز به گذشت زمان باشد تا مواد بتوانند مورد استفاده گیاه قرار گیرند، لذا کود دامی در مرحله‌ی رویشی اثر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری شده نداشت، اما در مرحله‌ی زایشی علاوه بر تأثیر مثبت کود شیمیایی نیتروژن، تأثیر مثبت کود دامی بر صفات رشد مشاهده گردید. اضافه نمودن فسفر به خاک اثر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی رویشی نشان نداد، اما در مرحله‌ی زایشی بر افزایش وزن خشک ساقه، برگ و عملکرد دانه و بیولوژیک مؤثر بود. با توجه به اهمیت گیاه دارویی شاهدانه در زمینه‌های تولید بذر، الیاف، روغن، ترکیبات دارویی و همچنین توانایی رشد آن در اقلیم‌های گوناگون نیاز است تا در تحقیقات و توسعه کشاورزی پایدار بیشتر مورد استفاده و بررسی قرار گیرد.

کاهش مصرف کودهای شیمیایی و استفاده از کودهای آلی در تولید گیاهان دارویی و فرآورده‌های آن‌ها، شرط اصلی سالم و طبیعی بودن آن‌هاست. نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از سطح ۳۰ تن در هکتار کود دامی در تلفیق با مقادیر مناسبی از کود نیتروژن می‌تواند در کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژن در مرحله‌ی زایشی مؤثر باشد. نتایج نشان داد که مصرف بیش از ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن برای سطح کود دامی ۳۰ تن در هکتار، سبب کاهش وزن خشک ساقه، عملکرد بیولوژیک و دانه شد. کود دامی در مرحله‌ی زایشی در کاهش نسبت C/N مؤثر بود. در مرحله‌ی رویشی تنها کود شیمیایی نیتروژن تأثیر مثبت معنی‌داری بر ارتفاع، وزن خشک ساقه و برگ داشت، به نظر می‌رسد با وجود استفاده از کود پوسیده دامی در این آزمایش، برای آزادسازی مواد معدنی از کود دامی و انجام واکنش‌های

References

1. Abbaszadeh, B., Sharifi, E., Aedakani, M. R., Aliabadi, H., and Alizadeh, A. 2007. Effect of nitrogen fertilizer on quantities and qualities yield of medicinal plant balm (*Melissa officinalis* L.). 2nd National Conference of Ecological Agriculture. Iran, Gorgan, 16-17 October: 927-939. (in Persian).
2. Abdipoor, M., Farahbakhsh, J., and Panahi, Kh. 2013. The effects of different levels of nitrogen phosphorous on *Plantago major* extract in Yasouj. National Conference on Water and Wastewater Engineering. Iran, Tehran. (in Persian).
3. Akande, M. O., Olwatoyinbo, F. I., Makinde, E. A., Adepoju, A. S., and Adepoju, I. S. 2010. Response of okra to organic and inorganic fertilization. Journal of Nature and Science 8 (11): 261-266.

4. Asadi, F., and Khademi, Z. 2014. Changes in Nutrients (N, P, K) Concentration in Various Parts of Corn during Different Growth Stages. Iranian Journal Soil Research 24 (4): 485- 498. (in Persian with English abstract).
5. Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. Methods of soil analysis. Part 2. American of Agronomy. Mandison. WI, P. 1148-1158.
6. Daneshian, J., Rahmani, N., and Alimohammadi, M. 2013. Effects of nitrogen and manure fertilizer application on yield and yield components of calendula (*Calendula officinalis* L.) under water deficit stress conditions. Journal of Crop Production Research 5 (3): 251-260. (in Persian with English abstract).
7. Diepen Brock, W. 2000. Yield analysis of winter oil seed rape: A review. Field Crops Research 67: 35-49.
8. Eslami khalili, F., Pirdashti, H., Bahmanyar, M. A., and Taghavi Ghsemkheili, F. 2014. Effect of organic and chemical fertilizer on soil properties and nutrient concentration in pot marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30 (3): 476-485. (in Persian with English abstract).
9. Fallahi, J. 2009. Effects of biofertilizers and chemical fertilizers on quantity and quality characterize of Chamomile (*Matricaria Chamomilla* L.) as a medicinal plant. Thesis. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian).
10. Ghobanli, M., Hashem moghaddam, Sh., and Fallah, A. 2005. Study of Interaction Effects of Irrigation and Nitrogen on Some Morphological and Physiological Characteristic of Rice Plant (*Oryza sativa* L.). Journal of Agricultural Sciences 12 (2): 415- 428. (in Persian with English abstract).
11. Hosseini valiki, R., and Ghanbari, S. 2015. Comparative examination of the effect of manure and chemical fertilizers on yield and yield components of rosemary (*Rosemarinus officinalis* L.). International Journal of Agronomy and Agricultural Research 6 (2): 29-37.
12. Jabbari, R., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavy, M. A., and Kordenaeej, A. 2009. Effects of application methods of nitrogen fertilizer in semi arid and moderate cool conditions on morphological and composition on Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Journal of Crop Breeding 1 (3): 78-94. (in Persian with English abstract).
13. Jafari Haghighi, M. 2003. Soil analysis methods- sampling and analysis physical and chemical with emphasis on Theory and Applied principles. Neday Zahi Publication 236p. (in Persian).
14. Jahanban, L., and Lotfifar, O. 2011. Study of the effective organism (EM) application effect on efficacy of chemical and organic fertilizers in corn cultivation (*Zea maiz* S.C704). Plant Production Technology 11 (2): 43-52. (in Persian with English abstract).
15. Javaheri, A. M., Rashidi, N., and Baghizadeh, A. 2016. Influence of organic farm yard manure, potassium and boron on quantity and quality of sugar beet in Bardsir region. Journal of Sugar Beet 21 (1): 43-56. (in Persian with English abstract).
16. Jokubauskaite, I., Slepeliene, A., and Karcauskiene, D. 2015. Influence of different fertilization on the dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus accumulation in acid and limed soils. Eurasian Journal of Soil Science 4 (2): 137-143.
17. Kharrazi, M., Unesi, H., and Abedini, J. 2012. Effect of corn waste blended with cow dung and paper on vermicompost qualities using *Eisenia fetida*. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 103: 179-191. (in Persian with English abstract).
18. Khamchin moghaddam, F., and Rezaee pajand, H. 2009. Criticising de morttone regionalization method according to linear moments for maximum daily precipitation in Iran. Journal of Technical- Engineering 2 (2): 93-103. (in Persian with English abstract).
19. Khorramdel, S., Rezvani moghadam, P., and Asady, Gh. A. 2016. Effects of different levels of animal manure and bulb weights on yield and yield components of caraway (*Bunium persicum* Bioss.). Journal of Plant Production Research 22 (4): 133-155. (in Persian with English abstract).
20. Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., and Kamgar haghghi, A. A. 2008. Effects of nitrogen different amounts, manure and irrigation water on yield and yield components of corn. Electronic Journal of Crop Production 1 (2): 67-85. (in Persian with English abstract).
21. Makkizadeh, M., Chaichi, M., Nasrollahzadeh, S., and Khavazi, K. 2012. Effect of different types of nitrogen fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Satureja hortensis* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28 (2): 330- 341. (in Persian with English abstract).
22. Mallanagouda, B. 1995. Effects of NPK and FYM on growth parameters of onion, garlic and coriander. Journal of Medical and Aromatic Plant Science 4: 916-918. (in Persian with English abstract).
23. Markaryan, Sh., Najafi, N., Asgharnejad, N., and Avestan, Sh. 2016. Interactive effects of Ensifer meliloti (*Sinorhizobium meliloti*) and phosphorus on some growth characteristics of alfalfa under soil water deficit conditions. Journal of Soil Biology 3 (2): 163-178. (in Persian with English abstract).
24. Mediavilla, V., Jonquera, M., Schmid-Slembrouck, I., and Soldati, A. 1998. Decimal code for growth stage of hemp (*Cannabis sativa* L.). Journal of the International Hemp Association 5 (2): 65, 68-74.
25. Mooleki, S. P., Schoenau, J. J., Chales, J. L., and Wen, G. 2004. Effect of rat, frequency and incorporation of freedlot cattle manure on soil nitrogen availability, crop performance and nitrogen use efficiencyn in east-central Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science 84: 199-210.

26. Moradi, S. 2015. Impact of sheep manure, urea and triple superphosphate on onion morphological properties. *International Journal of Farming and Allied Sciences* 4 (2): 167-170.
27. Oomah, B., Busson, M., Godfrey, D., and Drover, J. 2002. Characteristics of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil. *Food Chemistry* 76: 33-43.
28. Pourazizi, M., and Fallah, S. 2013. Optimization of application of nitrogen fertilizers for growth and yield of forage sorghum under low- input conventional farming systems. *Journal of Crop Production and Processing* 3 (9): 81-91. (in Persian with English abstract).
29. Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaiechi, M. R., Rahimi, A., and Tavakoli, A. 2010. Effect of different soil fertilizing treatments on some of agro morphological traits and mucilage of isabgol (*Plantago ovata* Forsk). *Electronic Journal of Crop Production* 3: 193-213. (in Persian with English abstract).
30. Saadati, A., Pourtahmasi, K., Salami, S. A., and Oladi, R. 2015. Xylem and bast fiber properties of six Iranian hemp populations. *Iranian Journal of Natural Resources* 68 (1): 121-132. (in Persian with English abstract).
31. Shahsawari, N., and Saffari, M. 2005. The effect of different levels of nitrogen on the function and elements of the varieties of wheat in Kerman. *Pajouhesh and Sazandegi* 66: 82-87. (in Persian with English abstract).
32. Shams, A., Abadian, H., Akbari, Gh., Koliai, A., and Zeinali, H. 2012. Effect of organic and chemical fertilizers on Amount of Essence, biological yield and harvest index of *Matricaria chamomile*. *Annals of Biological Research* 3 (8): 3856-3860.
33. Singh, R. V., and Chauhan, S. P. S. 1994. Response of barley to the levels and sources of nitrogen with and without zinc in relation to yield and water use under dryland conditions. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika* 6: 43-48.
34. Tahami, S. M. K., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M. 2010. Comparison the effect of organic and chemical fertilizers on yield and essential oil percentage of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology* 2 (1): 70-82. (in Persian with English abstract).
35. Wahba, H. E., Motawe, H. M., and Ibrahim, A. Y. 2014. Effect of nitrogen fertilizers on productivity of *Urtica pilulifera* plant. *Bioscience* 6 (1): 49-56.
36. Valadabadi, S. A., Alimohammadi, M., and Daneshian, J. 2007. The evaluation of nitrogen (N) and phosphorous (P) consumption on yield and growth of sweet corn (*Zea mays* var *saccharata*). *Plant and Ecosystem* 12: 53-65. (in Persian with English abstract).
37. Yazdani biouki, R., Bannayan avval, M., Khazaei, H. R., and Sodaeeizadeh, H. 2015. Investigating some quantitative and qualitative characteristics of wild marjoram (*Oriqanum vulgare* sub sp. Virid.) as affected by different levels of azocompost and urea. *Agroecology Journal* 6 (4): 798-811. (in Persian with English abstract).
38. Zaman, S. 2003. Plant medicinales. *Ghoghnos, iran*, p: 134. (in Persian).
39. Zeinali, H., Moslehi Yazddeli, A., Safaei, L., Jaberlansar, Z., Akhondi, A., and Skanderi, Z. 2014. Effects of different N.P.K fertilizer levels on quantitative and qualitative traits of *Matricaria chamomilla* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 30 (4): 511-518. (in Persian with English abstract).



Changes in Soil C/N Ratio and Response of Growth of Hemp (*Cannabis sativa* L.) to Different Levels of Animal Manure and Chemical Fertilizers

S. Laleh^{1*} - M. Jami Al-Ahmadi² - S. Parsa³

Received: 13-11-2016

Accepted: 08-05-2017

Introduction

Hemp is used in the food, drug, and natural fibers. Assessment of various systems of plant nutrition is one of the ways to improve field management and production of medicinal plants. Nitrogen is considered a necessary element in plant nutrition. Nitrogen uptake as ammonium compounds form, serves as starting material for amino acid biosynthesis and additional N-containing compound such as pyrimidine, purine bases, chlorophyll, proteins, nucleic acid, vitamins and other organic compounds, therefore, the higher plants require larger amount of nitrogen. Phosphorus is the second most important nutrient in plants. Studies show that application of animal manure provides different nutrients for plants. Application of animal manure in soil at the optimal level for plant growth provides a opportunities for soil fertility, conservation, sustainability, and protection against degradation but they need time to release their nutrient. Various studies showed that the combined usage the animal manure and chemical fertilizers (like N and P) has positive effects on soil, growth and yield of plant with the aim of protecting the environment. Organic and inorganic fertilizers are effective on soil C/N ratio. Soil C/N ratio is important factor for plant and soil. It is important to study the different stages of plant growth responses to organic and chemical fertilizers for plants production. Therefore, the present study was undertaken to evaluate the effect of organic amendments enriched with chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus and studying changes of soil C/N ratio in vegetative and reproductive stages of hemp.

Materials and Methods

To study the effect of different levels of animal manure and chemical fertilizers, a split factorial experiment, based on complete randomized blocks design with three replications was conducted at the Research Farm of Faculty of agriculture, University of Birjand, during the growing season 2013-2014. Experimental factors were animal manure (0, 10, 20 and 30 ton ha⁻¹ well-rotted farmyard manure) as the main plot, and factorial application of three levels of N (0, 50 and 100 kg N ha⁻¹ as Urea) with two levels of P (0 and 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ as triple superphosphate) as sub-plot. Hems were planted on rows 60 cm apart, with 30 cm distance between plants within a row, at the depth of 3-4 cm. In during experiment didn't use any poison and pesticide. Measurements were performed in both vegetative (11th leaf pair) and reproductive (50% of seeds hard) stages. Measured traits included leaf, shoot weight, shoot height and diameter per square meter in sub-plot for female plants of hemp in vegetative and reproductive stages. Seed weight measured in reproductive stage too. Nitrogen of soil was determined by Kjeldahl method and soil carbon was measured by Walleky & Black method. Finally, all variables were analyzed by SAS software ver 9.1. The means were compared using LSD test at the 0.05 probability level.

Results and Discussion

The results showed that the measured traits were not affected by animal manure in the vegetative stage, but nitrogen fertilizer had significant effect on growth traits in this growth stage. Using manure and nitrogen fertilizers increased height and shoot diameter, leaf and shoot dry weight in reproductive stage. Biological and seed yield increased with increasing of nitrogen levels in different treatments of 0, 10 and 20 ton ha⁻¹ animal manure. Combined usage of 30 ton ha⁻¹ animal manure and 100 kg N ha⁻¹ decreased biological and seed yields. Combined usage of 30 ton ha⁻¹ animal manure and 50 kg N ha⁻¹ and 20 ton ha⁻¹ animal manure and 100 kg N ha⁻¹ increased biological and seed yields. Harvest index decreased with increasing rate of animal manure and nitrogen fertilizers. So harvest index decreased 18.20 and 13.07 % in treatments of 30 ton ha⁻¹ animal manure and 100 kg N ha⁻¹ respectively, due to increasing the growth of hemp. Leaf allocation increased with increasing

1- PhD student, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Birjand, Iran

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Birjand, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Birjand, Iran

(*- Corresponding Author Email: Samaneh_Laleh@birjand.ac.ir)

animal manure and nitrogen fertilizer levels. Phosphorus increased seed yield (13%), shoot dry weight (42.6%) and leaf dry weight (15.21%) in the reproductive stage. Soil C/N ratio decreased with increasing growth of hemp. In reproductive stage, using animal manure decreased C/N ratio due to release of nitrogen to the soil.

Conclusions

Combined usage of manure and chemical fertilizer were more effective than manure alone. Animal manure and nitrogen fertilizer were effective on soil C/N ratio. Results indicated that combined use of animal manure and chemical fertilizers must be done carefully and use of appropriate amounts of animal manure and chemical fertilizer can be effective in reducing the use of chemical fertilizers.

Keywords: Cow manure, Triple superphosphate, Urea



کاربرد مفهوم زمان گرمایی جهت مدل‌سازی پاسخ جوانه‌زنی کلزا (*Brassica napus* L.) به دما

ابوالفضل درخشان^۱ - عبدالمهدی بخشنده^{۱*} - سید عطاءالله سیادت^۱ - محمد رضا مرادی تلاوت^۱ - بهرام اندرزیان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱

چکیده

مدل‌های مبتنی بر مفهوم زمان گرمایی ابزار مفیدی برای توصیف و پیش‌بینی جوانه‌زنی و رهایی بذر از خواب در رابطه با زمان و دما هستند. هدف از این مطالعه ارزیابی دقت پیش‌بینی رهیافت‌های مختلف زمان گرمایی در توصیف جوانه‌زنی سه رقم بهاره کلزا (ساری‌گل، دلگان و RGS003) بود. آزمون جوانه‌زنی برای هر رقم در ۱۱ دمای ثابت ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۲۸، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد و چهار تکرار انجام شد و کل آزمایش سه مرتبه تکرار گردید. معیارهای نکویی برازش (RMSE و AICC) نشان داد که وقتی T_b (دمای پایه) و θ_{Tm} (زمان گرمایی لازم برای تکمیل جوانه‌زنی در دماهای بیش‌بینه) برای کل جمعیت بذری ثابت فرض شد و توزیع نرمال برای توصیف تنوع $\theta_{T(g)}$ (زمان گرمایی لازم برای تکمیل جوانه‌زنی هر کسر بذری معین در دماهای زیر بهینه) در دماهای زیر بهینه و $T_{m(g)}$ (دمای بیشینه برای هر کسر بذری معین) در دماهای بیش‌بینه به کار رفت، مدل برازش بهتر و دقیق‌تری از دوره‌های زمانی جوانه‌زنی هر سه رقم کلزا داشت. T_b برای ارقام ساری‌گل، دلگان و RGS003 به ترتیب ۵/۶۶، ۷/۱۳ و ۵/۸۶ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. برآورد θ_{Tm} برای ارقام مختلف بین ۳۱/۶۲ تا ۳۴/۵۵ درجه سانتی‌گراد ساعت متغیر بود. در رقم ساری‌گل $\theta_{T(50)}$ و $T_{m(50)}$ به ترتیب ۳۶۹/۲۷ درجه سانتی‌گراد ساعت و ۳۴/۳۲ درجه سانتی‌گراد، در رقم دلگان به ترتیب ۳۷۸/۷۶ درجه سانتی‌گراد ساعت و ۳۳/۹۸ درجه سانتی‌گراد و در رقم RGS003 به ترتیب ۳۵۷/۸۹ درجه سانتی‌گراد ساعت و ۳۴/۴۲ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد. دمای بهینه برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی ($T_{o(g)}$) ثابت نبود. $T_{o(50)}$ برای ارقام ساری‌گل، دلگان و RGS003 به ترتیب ۳۱/۸۵، ۳۱/۷۸ و ۳۲/۰۶ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: تابع توزیع تجمعی، توزیع نرمال، دمای کاردینال، شاخص آکائیک، واحدهای گرمایی

مقدمه

دما یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جوانه‌زنی بذر است. دماهای پایه (T_b)، بهینه (T_o) و بیشینه (T_m) گستره‌ای از این عامل زیست‌محیطی را تعریف می‌کنند که در آن جوانه‌زنی بذر یک گونه معین رخ می‌دهد. بذرها در دماهای کمتر از T_b یا بیشتر از T_m قادر به جوانه‌زنی نیستند، درحالی‌که سرعت و درصد جوانه‌زنی در T_o در حداکثر است. روابط گوناگونی برای توصیف اثر دما بر جوانه‌زنی با هدف تعیین تاریخ کاشت بهینه گیاهان زراعی یا زمان سبز شدن گونه‌های علف‌هرز در محیط‌های مختلف ارائه شده است (Soltani et al., 2014; Mesgaran et al., 2006; al., 2006). در همه این روابط، زمان

گرمایی^۳ یا واحدهای حرارتی^۴ همواره به‌عنوان یک اصل پذیرفته شده برای کمی‌سازی رشد گیاه و فرآیندهای نمو مطرح بوده (Soltani and Sinclair, 2011) و به‌طور گسترده برای مدل‌سازی تغییرات خواب (Steadman, 2004)، جوانه‌زنی بذر (Garcia-Huidobro et al., 1982; Covell et al., 1986)، سبز شدن گیاهچه (Qiu et al., 2006) و سایر مراحل نمو فنولوژیک (Soltani and Sinclair, 2011) استفاده شده است.

در مدل‌های جوانه‌زنی-گرمایی^۵ فرض می‌شود که سرعت جوانه‌زنی برای هر کسر بذری معین (GR_g) با افزایش دما از T_o تا T_b به‌طور خطی افزایش و با افزایش بیشتر دما تا T_m به‌طور خطی کاهش می‌یابد (Bradford, 2002). در بیشتر این مدل‌ها، تنوع زمان جوانه‌زنی برای هر کسر معین (g) از جمعیت بذری در دامنه دماهای زیر بهینه به‌عنوان پیامدی از تنوع مقادیر زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه‌زنی آن کسر ($\theta_{T(g)}$) فرض شده است. در این حالت، T_b برای

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

(Email: bakhshandeh@ramin.ac.ir) * - نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.60457

3- Thermal time

4- Heat unit

5- Thermal-germination model

فرض‌های مدل زمان گرمایی در مورد جوانه‌زنی سه رقم بهاره کلزا مورد آزمون قرار گرفت و در نهایت بهترین فرض‌ها جهت مدل‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال برای این ارقام به کار رفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۵ در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان اجرا شد. در این مطالعه پاسخ جوانه‌زنی بذر سه رقم بهاره کلزا (ساری‌گل، دلگان و RGS003) به دما مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون جوانه‌زنی در انکوباتورهایی با دماهای ثابت ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۲۸، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و (± 0.5) درجه سانتی‌گراد انجام شد. این رژیم‌های دمایی هم دامنه دمایی زیر بهینه و هم دامنه دمایی بیش‌بهینه برای جوانه‌زنی ارقام کلزا را پوشش داد. برای هر رقم، آزمون جوانه‌زنی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. در هر تکرار، ۱۰۰ بذر روی کاغذ صافی واتمن شماره یک در پتری‌دیش پلاستیکی ۹ سانتی‌متری قرار گرفت و سپس کاغذهای صافی با هفت میلی‌لیتر آب مقطر مرطوب شدند. برای کاهش تلفات آب از طریق تبخیر، پتری‌دیش‌ها با پارافیلیم پوشانده شدند و آبیاری پتری‌دیش‌ها در صورت نیاز انجام شد. به‌منظور هم‌دمایی آب مقطر با دمای انکوباتور، آب مقطر ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش در انکوباتور قرار گرفت. بذرهایی که ریشه‌چه آنها به اندازه دو میلی‌متر یا بیشتر خارج شده بود، جوانه‌زده در نظر گرفته شدند. تعداد بذرهایی جوانه‌زده روزانه چهار یا پنج مرتبه به مدت ۲۱ روز شمارش شد. کل آزمایش سه مرتبه تکرار شد و میانگین داده‌های جوانه‌زنی هر رقم در هر دما برای تجزیه آماری مورد استفاده قرار گرفت.

درصد جوانه‌زنی تجمعی برای هر رقم و رژیم دمایی در هر ساعت شمارش محاسبه گردید. سپس، زمان صرف شده برای رسیدن جوانه‌زنی تجمعی به زیرجمعیت‌های ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد از حداکثر جوانه‌زنی در هر رژیم دمایی با درون‌یابی از منحنی پیشرفت این فرآیند در برابر زمان محاسبه شد (Soltani et al., 2006). سرعت جوانه‌زنی (GR_g ؛ عکس زمان جوانه‌زنی برای هر کسر بذری معین به‌عنوان تابعی از دما به‌طور جداگانه برای هر رقم و کسر جوانه‌زنی ترسیم شد و داده‌ها جهت اجرای رویه‌های رگرسیون غیر خطی توسط بازرسی بصری به دو گروه دماهای زیر بهینه و بیش‌بهینه تقسیم شدند (Covell et al., 1986; Hardegree, 2006). جوانه‌زنی بذرها درون یک جمعیت بذری به دلیل تنوع پاسخ هر بذر به دما (یا تنوع سرعت جوانه‌زنی بذرها در یک دمای ثابت و کل دماهای مورد آزمون)

کل جمعیت بذری ثابت در نظر گرفته می‌شود (Covell et al., 1986; Ellis et al., 1986; Bradford, 2002). در دامنه دمایی بیش‌بهینه، تنوع در GR_g در میان کسرهای بذری پیامدی از تنوع T_m در درون آن جمعیت ($T_{m(g)}$) است، درحالی‌که زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه‌زنی همه بذرها (θ_{Tm}) ثابت در نظر گرفته می‌شود (Ellis et al., 1986). بنابراین، در دامنه دمایی زیر بهینه،

$$\theta_{T(g)} = (T - T_b) t_g \quad (۱)$$

از آنجا که GR_g به‌عنوان عکس زمان جوانه‌زنی کسر g جمعیت بذری (t_g) تعریف می‌شود، معادله (۱) را می‌توان به‌صورت زیر بازنویسی کرد:

$$GR_g = 1/t_g = (T - T_b) / \theta_{T(g)} \quad (۲)$$

در دامنه دمایی بیش‌بهینه،

$$\theta_{Tm} = (T_{m(g)} - T) t_g \quad (۳)$$

یا

$$GR_g = 1/t_g = (T_{m(g)} - T) / \theta_{Tm} \quad (۴)$$

برای هر کسر جوانه‌زنی، GR_g را می‌توان با استفاده از دو خط راست توصیف کرد. شیب این دو خط معادل $\theta_{T(g)}$ و θ_{Tm} است و نقطه تقاطع آنها به‌عنوان T_0 تعریف می‌شود. همچنین، دو نقطه‌ای که در آن GR_g معادل صفر است به‌ترتیب به‌عنوان T_b و T_m کسر جوانه‌زنی معین g ($T_{m(g)}$) تعریف می‌شوند (Covell et al., 1986; Ellis et al., 1986). این مدل به‌طور گسترده برای مقایسه زمان جوانه‌زنی گونه‌های مختلف یا برای یک گونه در زیستگاه‌ها و شرایط آب و هوایی مختلف (Alvarado and Bradford, 2002)، کمی‌سازی خواب بذر (Chantre et al., 2009) و تعیین اثر تیمارهای پرایمینگ (Hardegree and Van Vactor, 2000) استفاده شده است. با این وجود، فرضیات این مدل در مورد جوانه‌زنی برخی گونه‌های گیاهی صادق نبوده است. برای مثال، چنتر و همکاران (Chantre et al., 2009) گزارش کردند که پاسخ جوانه‌زنی سنگدانه (*Lithospermum arvense* L.) به دما با در نظر گرفتن توزیع نرمال برای هر دو T_b و T_m جمعیت بذری به‌طور دقیق‌تری شبیه‌سازی شد. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2012) از توزیع نرمال برای توصیف تنوع T_b درون جمعیت بذری گونه‌های چچم یکساله (*Lolium multiflorum* Lam.) و چندساله (*Lolium perenne* L.) استفاده کردند. هاردگری (Hardegree, 2006) نیز گزارش کرد که هنگامی‌که T_m ثابت فرض شد و θ_{Tm} در داخل جمعیت بذری بر مبنای توزیع لوگ‌نرمال تغییر کرد، مدل برازش بهتری به جوانه‌زنی چهار گونه علف مرتعی در پاسخ به دما داشت.

درک بهتری از الگوهای جوانه‌زنی بذر در غربال ارقام و گیاهان زراعی از نظر دامنه تحمل به دماهای پایین و بالا و همچنین برای شناسایی مناطق جغرافیایی که در آن یک گونه یا ژنوتیپ قادر به جوانه‌زنی و استقرار موفقیت‌آمیزی است، مفید می‌باشد. در این مطالعه،

مدل ۳. در این مدل T_m و θ_T برای کل جمعیت بذری ثابت در نظر گرفته شد. درحالی که، تنوع $T_{b(g)}$ در دماهای زیر بهینه و $\theta_{Tm(g)}$ در دماهای بیش بهینه بر حسب توزیع نرمال توصیف شد. برای این مدل، پیشرفت جوانه زنی در طی زمان در دماهای زیر بهینه با استفاده از رابطه زیر پیش بینی شد:

$$p(T_{b(g)}) = \phi[(T_{b(g)} - T_{b(50)}) / \sigma_{Tb}] \quad (۹)$$

که در این معادله p ، نسبت جوانه زنی بذرها برای هر T_b معین؛ $T_{b(50)}$ ، میانگین توزیع نرمال (دمایی که در آن جوانه زنی ۵۰ درصد از جمعیت بذری متوقف می شود) و σ_{Tb} ، انحراف استاندارد توزیع نرمال (اندازه پراکنش توزیع $T_{b(g)}$) است. در این مدل، پیشرفت جوانه زنی در طی زمان در دماهای بیش بهینه با استفاده از معادله (۶) پیش بینی شد.

مدل ۴. در این مدل θ_{Tm} و θ_T برای کل جمعیت بذری ثابت در نظر گرفته شد. درحالی که، تنوع $T_{b(g)}$ در دماهای زیر بهینه و $T_{m(g)}$ در دماهای بیش بهینه بر حسب توزیع نرمال توصیف شد. در این مدل، پیشرفت جوانه زنی در طی زمان در دماهای زیر بهینه با استفاده از معادله (۹) و در دماهای بیش بهینه با استفاده از معادله (۸) پیش بینی شد.

برازش مدل های جوانه زنی-گرمایی به داده های تجمعی ارقام مختلف کلزا با استفاده از نرم افزار SAS و با رویه NLMIXED PROC و به روش بهینه سازی پیش فرض Dual Quasi-Newton در این نرم افزار انجام شد. برای ارزیابی برازش مدل ها از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^F$) و برای انتخاب بهترین تابع توزیع از شاخص آکائیک (AIC^A) استفاده شد (Burnham and Anderson, 2002).

$$AIC = n \times \ln(RSS / n) + 2K \quad (۱۰)$$

که RSS^E جمع مربعات باقیمانده؛ n ، تعداد نمونه و k ، تعداد پارامترهای مدل مورد نظر می باشد. بهترین مدل در مقایسه مدل ها، مدلی است که کمترین میزان AIC محاسبه شده را دارا باشد.

نتایج و بحث

بذر هر سه رقم کلزا در دمای ۳۲ درجه سانتی گراد سرعت جوانه زنی بیشتری نسبت به رژیم های دمایی کمتر و بیشتر از این حد دارا بودند. بنابراین، دمای بهینه برای جوانه زنی (T_0) جهت انجام رویه های رگرسیون غیر خطی و برآورد پارامترهای هر یک از مدل ها معادل ۳۲ درجه سانتی گراد فرض شد. برآورد پارامترها با استفاده از هر یک از مدل ها و همچنین معیارهای ارزیابی نکویی برازش برای هر سه رقم کلزا در جدول ۱ ارائه شده است. بر مبنای مدل های ۱ و ۲،

از یک تابع توزیع تجمعی^۱ دو جمله ای^۲ تبعیت می کند. از این رو، جوانه زنی مشاهده شده بر اساس تابع توزیع تجمعی توزیع نرمال بر حسب قضیه حد مرکزی^۳ شبیه سازی شد (Chantre et al., 2009). چهار مدل جوانه زنی-گرمایی جهت مدل سازی پاسخ جوانه زنی ارقام بهاره کلزا به دما مورد مقایسه قرار گرفت:

مدل ۱. در این مدل T_b و T_m برای کل جمعیت بذری ثابت در نظر گرفته شد. درحالی که، تنوع $\theta_{T(g)}$ در دماهای زیر بهینه و $\theta_{Tm(g)}$ در دماهای بیش بهینه با استفاده از یک تابع توزیع نرمال توصیف شد. برای این مدل، پیشرفت جوانه زنی در طی زمان در دماهای زیر بهینه با استفاده از معادله زیر پیش بینی شد:

$$p(\theta_{T(g)}) = \phi[(\theta_{T(g)} - \theta_{T(50)}) / \sigma_{\theta T}] \quad (۵)$$

که در این معادله p ، نسبت جوانه زنی بذرها برای هر θ_T معین؛ Φ ، تبدیل لاپلاس انتگرال یا تابع توزیع تجمعی برای توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و خطای استاندارد یک؛ $\theta_{T(50)}$ ، میانگین توزیع نرمال (زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه زنی ۵۰ درصد از جمعیت بذری در دماهای زیر بهینه) و $\sigma_{\theta T}$ ، انحراف استاندارد توزیع نرمال (اندازه پراکنش توزیع $\theta_{T(g)}$) است. برای دماهای بیش بهینه، جوانه زنی با استفاده از معادله (۶) پیش بینی شد:

$$p(\theta_{Tm(g)}) = \phi[(\theta_{Tm(g)} - \theta_{Tm(50)}) / \sigma_{\theta Tm}] \quad (۶)$$

که در این معادله p ، نسبت جوانه زنی بذرها برای هر θ_{Tm} معین؛ $\theta_{Tm(50)}$ ، میانگین توزیع نرمال (زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه زنی ۵۰ درصد از جمعیت بذری در دماهای بیش بهینه) و $\sigma_{\theta Tm}$ ، انحراف استاندارد توزیع نرمال (اندازه پراکنش توزیع $\theta_{Tm(g)}$) است. در این معادله Φ به صورت زیر تعریف می شود:

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt \quad (۷)$$

مدل ۲. در این مدل T_b و θ_{Tm} برای کل جمعیت بذری ثابت در نظر گرفته شد. درحالی که، تنوع $\theta_{T(g)}$ در دماهای زیر بهینه و $T_{m(g)}$ در دماهای بیش بهینه با استفاده از یک تابع توزیع نرمال توصیف شد. در این مدل، پیشرفت جوانه زنی در طی زمان در دماهای زیر بهینه با استفاده از رابطه (۵) پیش بینی شد. جوانه زنی ارقام کلزا در پاسخ به دماهای بیش بهینه با استفاده از معادله (۸) توصیف شد:

$$p(T_{m(g)}) = 1 - [\phi[(T_{m(g)} - T_{m(50)}) / \sigma_{Tm}]] \quad (۸)$$

که در این معادله p ، نسبت جوانه زنی بذرها برای هر T_m معین؛ $T_{m(50)}$ ، میانگین توزیع نرمال (دمایی که در آن ۵۰ درصد از جمعیت بذری بازدارندگی گرمایی جوانه زنی نشان می دهند) و σ_{Tm} ، انحراف استاندارد توزیع نرمال (اندازه پراکنش توزیع $T_{m(g)}$) است.

4- Root Mean of Squares of Error

5- Akaike Information Criterion

6- Residual Sum of Square

1- Cumulative distribution function

2- Binomial

3- Central limit theorem

پراکنش $T_{m(g)}$ (σ_{Tm}) در رقم دلگان (۰/۲۵) درجه سانتی گراد) به طور معنی داری کوچکتر از σ_{Tm} دو رقم دیگر کلزا برآورد شد (جدول ۱). معیارهای نکویی برازش (RMSE و AICc) نشان دادند که وقتی T_b و θ_{Tm} برای کل جمعیت بذری ثابت فرض شد و توزیع نرمال برای توصیف تنوع $\theta_{T(g)}$ در دماهای زیر بهینه و $T_{m(g)}$ در دماهای بیش بهینه به کار رفت (مدل جوانه زنی-گرمایی ۲)، مدل برازش بهتر و دقیق تری به داده های جوانه زنی هر سه رقم کلزا داشت. برعکس، در هر سه رقم کلزا بیشترین مقادیر RMSE و AICc وقتی به دست آمد که هر دوی θ_T و T_m برای کل جمعیت بذری ثابت فرض شد (مدل ۳) (جدول ۱). روابط بین $\theta_{T(g)}$ مشاهده شده و پیش بینی شده (مدل های ۱ و ۲)، $T_{b(g)}$ مشاهده شده و پیش بینی شده (مدل های ۳ و ۴)، $\theta_{Tm(g)}$ مشاهده شده و پیش بینی شده (مدل های ۱ و ۳) و $T_{m(g)}$ مشاهده شده و پیش بینی شده (مدل های ۲ و ۴) برای ارقام مختلف کلزا در شکل های (۳-۱) ارائه شده است. چنانچه مقادیر واقعی و پیش بینی شده منطبق بر هم باشند، بدیهی است که مدل به درستی الگوهای جوانه زنی مشاهده شده را توضیح می دهد. تطابق بیشتر رابطه بین θ_T واقعی و پیش بینی شده و T_m واقعی و پیش بینی شده برای کسرهای مختلف جوانه زنی در این اشکال حاکی از آن است که مدل جوانه زنی-گرمایی ۲ در هر سه رقم کلزا دوره های زمانی جوانه زنی در پاسخ به دما را بهتر از سایرین توضیح داده است.

بر اساس توزیع تجمعی وارونه توزیع نرمال و خروجی های مدل ۲، زمان گرمایی مورد نیاز در دماهای زیر بهینه برای رسیدن درصد جوانه زنی نهایی به ۱۰ ($\theta_{T(10)}$) و ۹۰ درصد ($\theta_{T(90)}$) از حداکثر در رقم ساری گل به ترتیب معادل ۲۷۳/۳۲ و ۴۶۵/۲۲ درجه سانتی گراد ساعت برآورد شد (شکل ۱). همچنین، T_m برای احتمال جوانه زنی ۱۰ ($T_{m(10)}$) و ۹۰ درصد ($T_{m(90)}$) برای این رقم به ترتیب معادل ۳۵/۰۷ و ۳۳/۵۷ درجه سانتی گراد پیش بینی شد (شکل ۱). برای رقم دلگان، $\theta_{T(10)}$ و $\theta_{T(90)}$ به ترتیب معادل ۲۴۱/۵۲ و ۵۱۶/۰۰ درجه سانتی گراد ساعت و $T_{m(10)}$ و $T_{m(90)}$ به ترتیب معادل ۳۴/۳۰ و ۳۳/۶۶ درجه سانتی گراد پیش بینی شد (شکل ۲). در رقم RGS003، $\theta_{T(10)}$ و $\theta_{T(90)}$ به ترتیب معادل ۲۶۳/۵۲ و ۴۵۲/۲۶ درجه سانتی گراد ساعت و $T_{m(10)}$ و $T_{m(90)}$ به ترتیب معادل ۳۵/۲۷ و ۳۳/۵۶ درجه سانتی گراد پیش بینی شد (شکل ۳). این پارامترها به همراه سایر خروجی های مدل جوانه زنی-گرمایی ۲ جهت محاسبه سرعت جوانه زنی زیرجمعیت های ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد (روابط (۲) و (۴)) مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴). همچنین، مقادیر T_o برای هر رقم کلزا در هر زیرجمعیت از طریق محاسبه نقطه قطع توابع پاسخ دمایی زیر بهینه و بیش بهینه تعیین شد (Hardegree, 2006). بر این اساس، مقادیر T_o محاسبه شده برای زیرجمعیت های مختلف ثابت نبود. مقدار T_o برای ۱۰ ($T_{o(10)}$)، ۵۰ ($T_{o(50)}$) و ۹۰ درصد ($T_{o(90)}$) جوانه زنی رقم ساری گل به ترتیب معادل ۳۱/۷۷، ۳۱/۸۵ و ۳۱/۶۴ درجه سانتی گراد تعیین شد (شکل ۴A).

حداقل دمای لازم برای جوانه زنی (T_b) رقم دلگان معادل ۷/۱۳ درجه سانتی گراد برآورد شد که این مقدار به طور معنی داری بزرگتر از برآورد T_b برای رقم ساری گل (۵/۶۶ درجه سانتی گراد) و RGS003 (۵/۸۶ درجه سانتی گراد) بود. بر اساس همین دو مدل، زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه دار شدن نیمی از جمعیت بذری در دماهای زیر بهینه ($\theta_{T(50)}$) برای ارقام مختلف کلزا بین ۳۵۷/۸۲ (دلگان) تا ۳۷۸/۷۶ (RGS003) درجه سانتی گراد ساعت متغیر بود. همچنین، اندازه پراکنش $\theta_{T(g)}$ ($\sigma_{\theta T}$) در رقم دلگان (۱۰۷/۰۹ درجه سانتی گراد ساعت) به طور معنی داری بیشتر از ارقام ساری گل (۷۴/۸۷ درجه سانتی گراد ساعت) و RGS003 (۷۳/۶۴ درجه سانتی گراد ساعت) بود (جدول ۱). زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه زنی همه بذرها در دماهای زیر بهینه در مدل های جوانه زنی-گرمایی ۳ و ۴ ثابت فرض شد. بر این اساس، ثابت θ_T برای ارقام ساری گل، دلگان و RGS003 به ترتیب معادل ۳۷۱/۹۰، ۳۸۳/۸۱ و ۳۶۲/۶۵ درجه سانتی گراد ساعت برآورد شد که از این نظر تنها بین ارقام دلگان و RGS003 اختلاف معنی داری وجود داشت (جدول ۱). میانگین توزیع T_b جمعیت بذری ($T_{b(50)}$) بر مبنای این مدل ها برای ارقام ساری گل و RGS003 (به طور متوسط ۵/۵۶ درجه سانتی گراد) به طور معنی داری کوچکتر از رقم دلگان (۷/۴۱ درجه سانتی گراد) برآورد شد. همچنین، برآورد اندازه پراکنش توزیع $T_{b(g)}$ (σ_{Tb}) برای رقم دلگان (۱/۴۶ درجه سانتی گراد) به طور معنی داری بزرگتر از دو رقم دیگر کلزا (به طور متوسط ۰/۹۵ درجه سانتی گراد) بود (جدول ۱).

برآورد دمای بیشینه برای جوانه زنی (T_m) بر مبنای مدل های ۱ و ۳ برای ارقام مختلف کلزا بین ۳۴/۱۷ (دلگان) تا ۳۴/۲۳ (ساری گل) درجه سانتی گراد متغیر بود. بر مبنای این مدل ها، زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه زنی نیمی از جمعیت بذری در دماهای بیش بهینه ($\theta_{T(50)}$) برای رقم RGS003 معادل ۲۷/۸۳ درجه سانتی گراد ساعت برآورد شد که به طور معنی داری کمتر از $\theta_{Tm(50)}$ برآورد شده برای رقم ساری گل (۳۳/۰۸ درجه سانتی گراد ساعت) و برای این رقم نیز به طور معنی داری کمتر از برآورد $\theta_{Tm(50)}$ برای رقم دلگان (۳۹/۰۴ درجه سانتی گراد ساعت) بود. اندازه پراکنش توزیع $\theta_{Tm(g)}$ ($\sigma_{\theta Tm}$) برای رقم دلگان (۱۰/۰۳ درجه سانتی گراد ساعت) به طور معنی داری کوچکتر از ارقام ساری گل و RGS003 (به طور متوسط ۱۹/۳۵ درجه سانتی گراد ساعت) برآورد شد (جدول ۱).

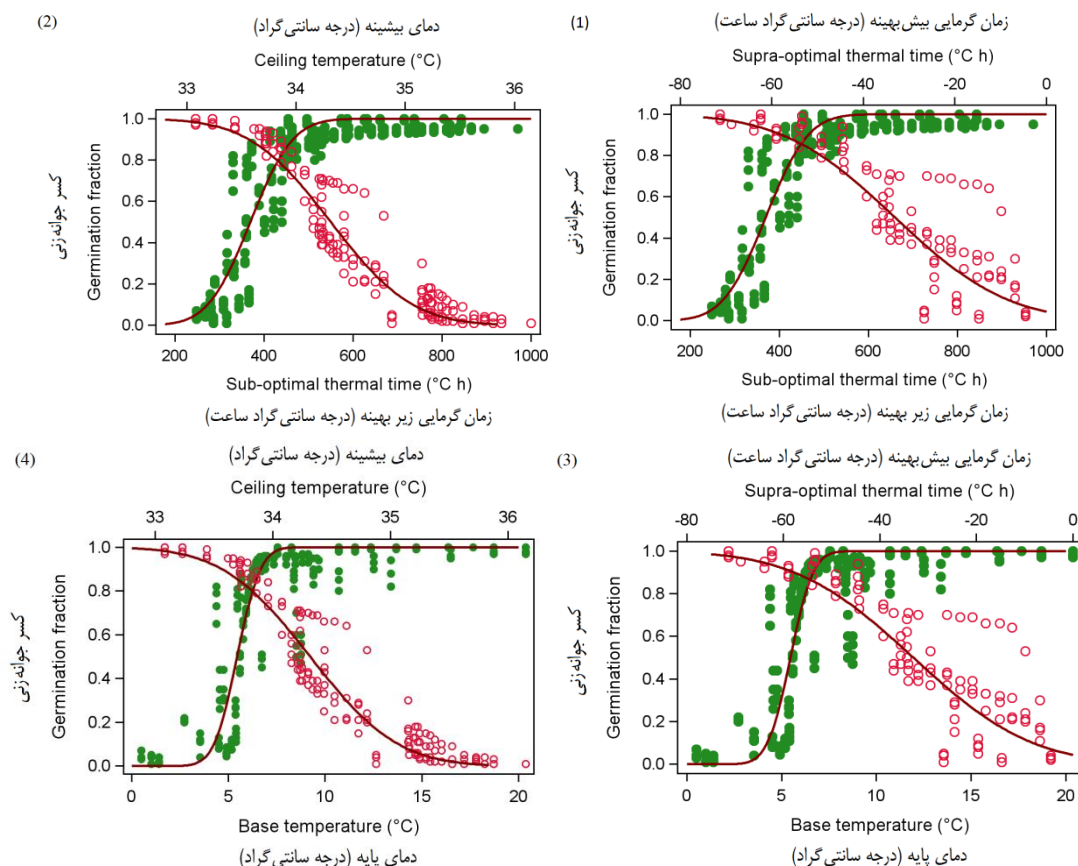
میان ارقام کلزا از نظر ثابت θ_{Tm} برآورد شده با مدل های جوانه زنی-گرمایی ۲ یا ۴ اختلاف معنی داری وجود نداشت و به طور متوسط برای همه ارقام حدود ۳۳/۳۱ درجه سانتی گراد ساعت به دست آمد. بر اساس این دو مدل، برآورد میانگین T_m ($T_{m(50)}$) برای رقم دلگان (۳۳/۹۸ درجه سانتی گراد) به طور معنی داری کوچکتر از برآورد این پارامتر برای رقم ساری گل (۳۴/۳۲ درجه سانتی گراد) یا RGS003 (۳۴/۴۲ درجه سانتی گراد) بود. به طور مشابه، اندازه

جدول ۱- برآورد پارامترها و ارزیابی تکوینی برازش برای مدل های مختلف جوانه زنی-گرمایی براشته به جوانه زنی تجمعی ارقام کلزا در دامنه ای از دماهای ثابت
Table 1- Parameters estimates and goodness of fit assessment for different thermal-germination models fitted to cumulative germination of oilseed rape cultivars across a range of constant temperatures

Parameter s*	Sarigol				Dalgan				RGS003			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
T_b (°C)	5.66±0.04	5.66±0.04	-	-	7.13±0.02	7.13±0.02	-	-	5.86±0.04	5.86±0.04	-	-
$\theta_{T(50)}$ (°C h)	369.27±3.55	369.27±3.55	-	-	378.76±4.01	378.76±4.01	-	-	357.89±3.51	357.89±3.51	-	-
$\sigma_{\theta T}$ (°C h)	74.87±3.23	74.87±3.23	-	-	107.09±4.52	107.09±4.52	-	-	73.64±3.19	73.64±3.19	-	-
θ_T (°C h)	-	-	371.90±2.57	371.90±2.57	-	-	383.81±7.74	383.81±7.74	-	-	362.65±2.17	362.65±2.17
$T_{b(50)}$ (°C)	-	-	5.46±0.05	5.46±0.05	-	-	7.41±0.08	7.41±0.08	-	-	5.66±0.05	5.66±0.05
σ_{Tb} (°C)	-	-	0.95±0.06	0.95±0.06	-	-	1.46±0.10	1.46±0.10	-	-	0.95±0.05	0.95±0.05
T_m (°C)	34.23±0.01	-	34.23±0.01	-	34.17±0.01	-	34.17±0.01	-	34.22±0.01	-	34.22±0.01	-
$\theta_{Tm(50)}$ (°C h)	33.08±1.02	-	33.08±1.02	-	39.04±0.73	-	39.04±0.73	-	27.83±1.03	-	27.83±1.03	-
$\sigma_{\theta Tm}$ (°C h)	19.31±1.10	-	19.31±1.10	-	10.03±0.88	-	10.03±0.88	-	19.40±1.11	-	19.40±1.11	-
θ_{Tm} (°C h)	-	34.55±0.83	-	34.55±0.83	-	33.76±0.77	-	33.76±0.77	-	31.62±0.83	-	31.62±0.83
$T_{m(50)}$ (°C)	-	34.32±0.03	-	34.32±0.03	-	33.98±0.25	-	33.98±0.25	-	34.42±0.03	-	34.42±0.03
σ_{Tm} (°C)	-	0.59±0.03	-	0.59±0.03	-	0.25±0.02	-	0.25±0.02	-	0.67±0.03	-	0.67±0.03
RMSE	0.1122	0.0952	0.1250	0.1100	0.1174	0.1158	0.1391	0.1377	0.1206	0.0984	0.1292	0.1087
AICc	-938.8	-1142.0	-805.0	-963.4	-1022.0	-1042.0	-778.9	-793.1	-821.1	-1066.0	-738.4	-945.7

* T_b = The base temperature for the entire seed population; $\theta_{T(50)}$ = The thermal time required for 50% germination at sub-optimal temperatures; $\sigma_{\theta T}$ = Standard deviation of the normal distribution of sub-optimal thermal time; θ_T = The thermal time required to complete germination at supra-optimal temperatures; $T_{b(50)}$ = The base temperature for 50% germination of seed population; σ_{Tb} = Standard deviation of the normal distribution of base temperatures in seed population; T_m = The maximum temperature for the entire seed population; $\theta_{Tm(50)}$ = The thermal time required for 50% germination of seed population at supra-optimal temperatures; $\sigma_{\theta Tm}$ = Standard deviation of the normal distribution of supra-optimal thermal time; θ_{Tm} = The thermal time required to complete germination at supra-optimal temperatures; $T_{m(50)}$ = The maximum temperature to inhibit 50% germination of seed population; σ_{Tm} = Standard deviation of the normal distribution of maximum temperatures in seed population; RMSE=Root Mean Square Error; AICc= Akaike Information Criteria.

نرمال دمای پیشینه جمعیت بذری: RMSE= ریشه میانگین مربعات خطا؛ AICc= شاخص آکایک تصحیح شده.
نرمال دمای پیشینه جمعیت بذری: $\theta_{T(50)}$ = زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه زنی ۵۰ درصد از جمعیت بذری در دماهای زیر بهینه؛ $\sigma_{\theta T}$ = انحراف استاندارد توزیع نرمال زمان گرمایی زیر بهینه؛ θ_T = زمان گرمایی لازم برای تکمیل جوانه زنی در دماهای زیر بهینه؛ $T_{b(50)}$ = زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه زنی ۵۰ درصد از جمعیت بذری در دماهای زیر بهینه؛ σ_{Tb} = انحراف استاندارد توزیع نرمال دمای پایه جمعیت بذری؛ T_m = دمای پیشینه کل جمعیت بذری؛ $\theta_{Tm(50)}$ = زمان گرمایی مورد نیاز برای جوانه زنی ۵۰ درصد از جمعیت بذری در دماهای زیر بهینه؛ $\sigma_{\theta Tm}$ = انحراف استاندارد توزیع نرمال زمان گرمایی بیش بهینه؛ θ_{Tm} = زمان گرمایی لازم برای تکمیل جوانه زنی در دماهای بیش بهینه؛ $T_{m(50)}$ = زمان گرمایی برای معاملت از جوانه زنی ۵۰ درصد از جمعیت بذری؛ σ_{Tm} = انحراف استاندارد توزیع



شکل ۱- روابط بین زمان گرمایی زیر بهینه مشاهده شده (دایره‌های پر) و پیش‌بینی شده، دمای پایه مشاهده شده (دایره‌های پر) و پیش‌بینی شده، زمان گرمایی بیش‌بهینه مشاهده شده (دایره‌های خالی) و پیش‌بینی شده و دمای بیشینه مشاهده شده (دایره‌های خالی) و پیش‌بینی شده برای کسرهای مختلف جوانه‌زنی رقم ساری گل بر مبنای مدل‌های جوانه‌زنی-گرمایی ۱ تا ۴.

Figure 1- Relations between observed (filled circles) and predicted sub-optimal thermal time, observed (filled circles) and predicted base temperature, and observed (open circles) predicted supra-optimal thermal time and observed (open circles) and predicted maximum temperature for different germination models of cv. Sarigol based on the thermal-germination models 1-4.

بازدارندگی گرمایی^۱ جوانه‌زنی نشان می‌دهند، یعنی چنانچه دما از حد معینی فراتر رود جوانه‌زنی کسر معینی از جمعیت بذری متوقف خواهد شد. به این ترتیب، احتمال جوانه‌زنی هر زیر جمعیت حاصل ترکیبی از دو توزیع نرمال تجمعی برای هر دوی زمان گرمایی و دماهای بیشینه خواهد بود.

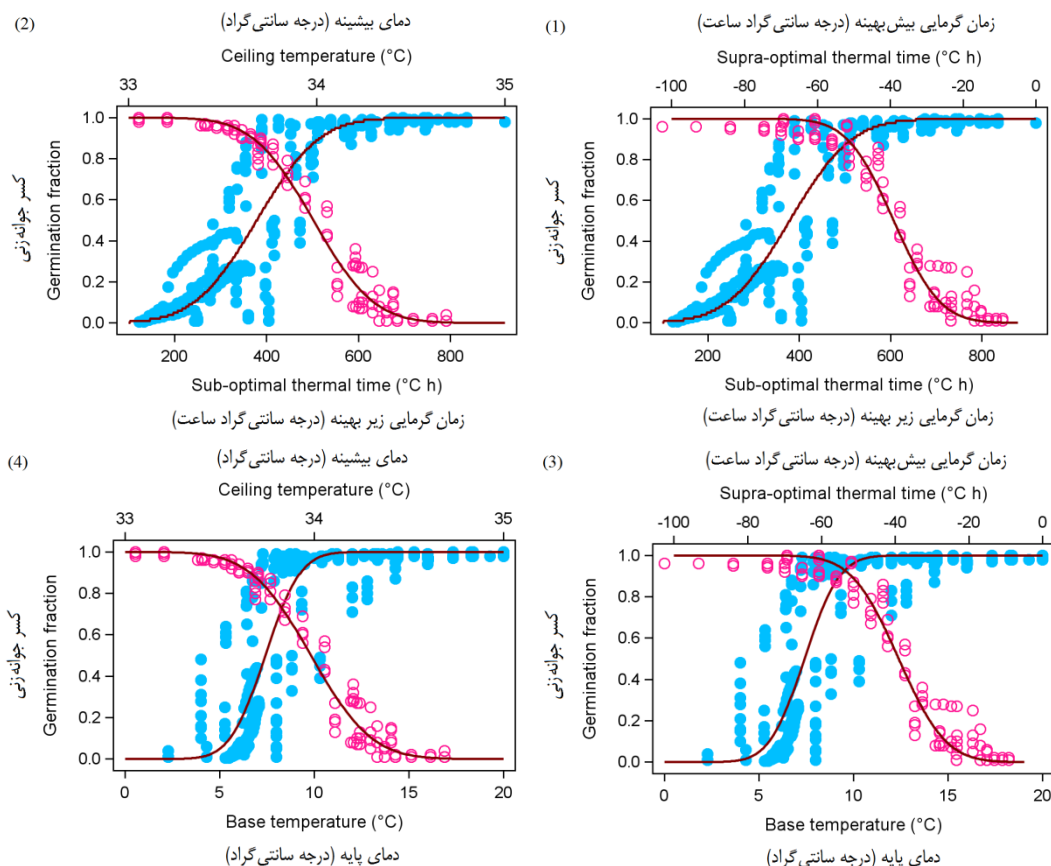
برخلاف نتایج این پژوهش، چنتر و همکاران (Chantre et al., 2009) گزارش کردند که T_b برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی علف‌هرز سنگدانه متغیر بود و از این‌رو مدل زمان گرمایی مشمول این فرض پیش‌بینی دقیق‌تری از پیشرفت جوانه‌زنی ارائه داد. عدم ثبات و تنوع T_b درون جمعیت بذری در چندین مطالعه دیگر گزارش شده است (Forcella et al., 2000; Wang et al., 2004; Hardegree, 2006). اما، نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این

همچنین، $T_{o(10)}$ ، $T_{o(50)}$ و $T_{o(90)}$ برای رقم دلگان به ترتیب معادل ۳۰/۹۶، ۳۱/۷۸ و ۳۲/۰۱ درجه سانتی‌گراد (شکل ۴B) و برای رقم RGS003 به ترتیب معادل ۳۲/۰۸، ۳۲/۰۶ و ۳۱/۷۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد (شکل ۴C).

بر اساس نتایج مشاهده شده، دقیق‌ترین رهیافت زمان گرمایی برای شبیه‌سازی پاسخ جوانه‌زنی هر سه رقم بهاره کلزا به دماهای ثابت با فرض توزیع نرمال برای هر دوی زمان گرمایی زیر بهینه و دماهای بیشینه در جمعیت بذری به‌دست آمد. بر مبنای این رویکرد، یک حداقل دما برای جوانه‌زنی کل بذرها هر جمعیت لازم است. در حالی‌که، در دماهای بیش‌بهینه یک مقدار ثابت زمان گرمایی برای جوانه‌زنی کل جمعیت بذری وجود دارد، جوانه‌زنی هر کسر معین از جمعیت بذری در دماهای زیر بهینه به تجمع واحدهای معین زمان گرمایی وابسته است. بذرها در دماهای بیش‌بهینه فرایند

است که در اغلب این گزارش ها مدل های جوانه زنی-گرمایی برای گونه های غیر زراعی توسعه یافته اند. در حالی که، در همه مدل های ارائه شده برای ارقام گیاهان زراعی T_b به عنوان یک ویژگی ثابت جمعیت بذری گزارش شده است (Garcia-Huidobro *et al.*, 1982; Covell *et al.*, 1986; Bradford, 2002). تنوع T_b درون جمعیت های بذری غیر زراعی ممکن است با تنوع ژنتیکی داخل این جمعیت ها (Wang *et al.*, 2004) یا ناهمگونی شرایط محیطی در دوره بلوغ بذر (Baskin and Baskin, 1998) در ارتباط باشد.

است که در اغلب این گزارش ها مدل های جوانه زنی-گرمایی برای گونه های غیر زراعی توسعه یافته اند. در حالی که، در همه مدل های ارائه شده برای ارقام گیاهان زراعی T_b به عنوان یک ویژگی ثابت جمعیت بذری گزارش شده است (Garcia-Huidobro *et al.*, 1982; Covell *et al.*, 1986; Bradford, 2002). تنوع T_b درون جمعیت های بذری غیر زراعی ممکن است با تنوع ژنتیکی داخل این جمعیت ها (Wang *et al.*, 2004) یا ناهمگونی شرایط محیطی در دوره بلوغ بذر (Baskin and Baskin, 1998) در ارتباط باشد.



شکل ۲- روابط بین مقادیر زمان گرمایی مشاهده شده (دایره های پر) و پیش بینی شده در دماهای زیر بهینه، دمای پایه مشاهده شده (دایره های پر) و پیش بینی شده، زمان گرمایی بیش بهینه مشاهده شده (دایره های خالی) و پیش بینی شده و دمای بیشینه مشاهده شده (دایره های خالی) و پیش بینی شده برای کسرهای مختلف جوانه زنی رقم دلگان بر مبنای مدل های جوانه زنی-گرمایی ۱ تا ۴.

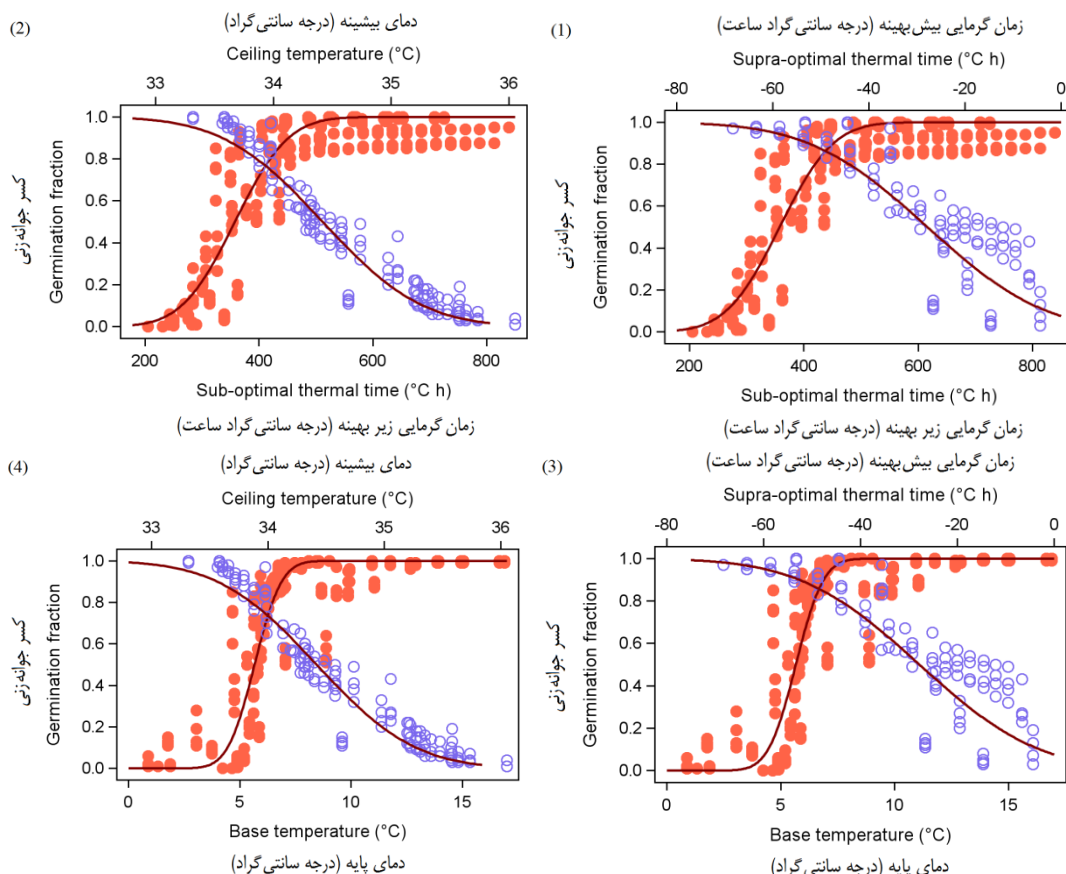
Figure 2- Relations between observed (filled circles) and predicted sub-optimal thermal time, observed (filled circles) and predicted base temperature, and observed (open circles) predicted supra-optimal thermal time and observed (open circles) and predicted maximum temperature for different germination fractions of cv. Dalgan based on the thermal-germination models 1-4.

همه خروجی های مدل زمان گرمایی از نظر زیست شناختی معنی دار هستند و از این رو می توانند برای مقایسه واکنش جوانه زنی ارقام و گونه ها به دما مورد استفاده قرار گیرند. پاسخ جوانه زنی ارقام کلزای مورد مطالعه به دماهای پایین متفاوت بود، به طوری که T_b برای جوانه زنی رقم دلگان (۷/۱۳ درجه سانتی گراد) بیشتر از ارقام ساری گل و RGS003 (۵/۷۱ درجه سانتی گراد) به دست آمد. در این خصوص، T_b برای ظهور گیاهچه ارقام بهار کلزا در سطح خاک بین ۷/۸۹ تا ۱۰/۹۴ درجه سانتی گراد گزارش شده است (Jafari *et al.*, 2012). در هر سه رقم کلزا فرآیند بازدارندگی گرمایی جوانه زنی بذر در گستره

دمایی کوچکی رخ داد. به طوری که، در رقم دلگان تنها با ۲/۲ درجه سانتی گراد افزایش دما از دمای بهینه ($T_{o(50)}$; ۳۱/۷۸ درجه سانتی گراد) پاسخ بازدارندگی گرمایی جوانه زنی در ۵۰ درصد از جمعیت بذری مشاهده شد. همچنین، در ارقام ساری گل و RGS003 به ترتیب ۲/۴۷ و ۲/۳۶ درجه سانتی گراد افزایش دما از $T_{o(50)}$ برای کاهش ۵۰ درصدی جوانه زنی جمعیت بذری لازم بود. پاسخ بازدارندگی گرمایی جوانه زنی بذر اغلب با چرخه زندگی سالانه متداول در اقلیم های مدیترانه ای با زمستان های مرطوب و تابستان های خشک در ارتباط است (Nascimento *et al.*, 2013). در این مناطق،

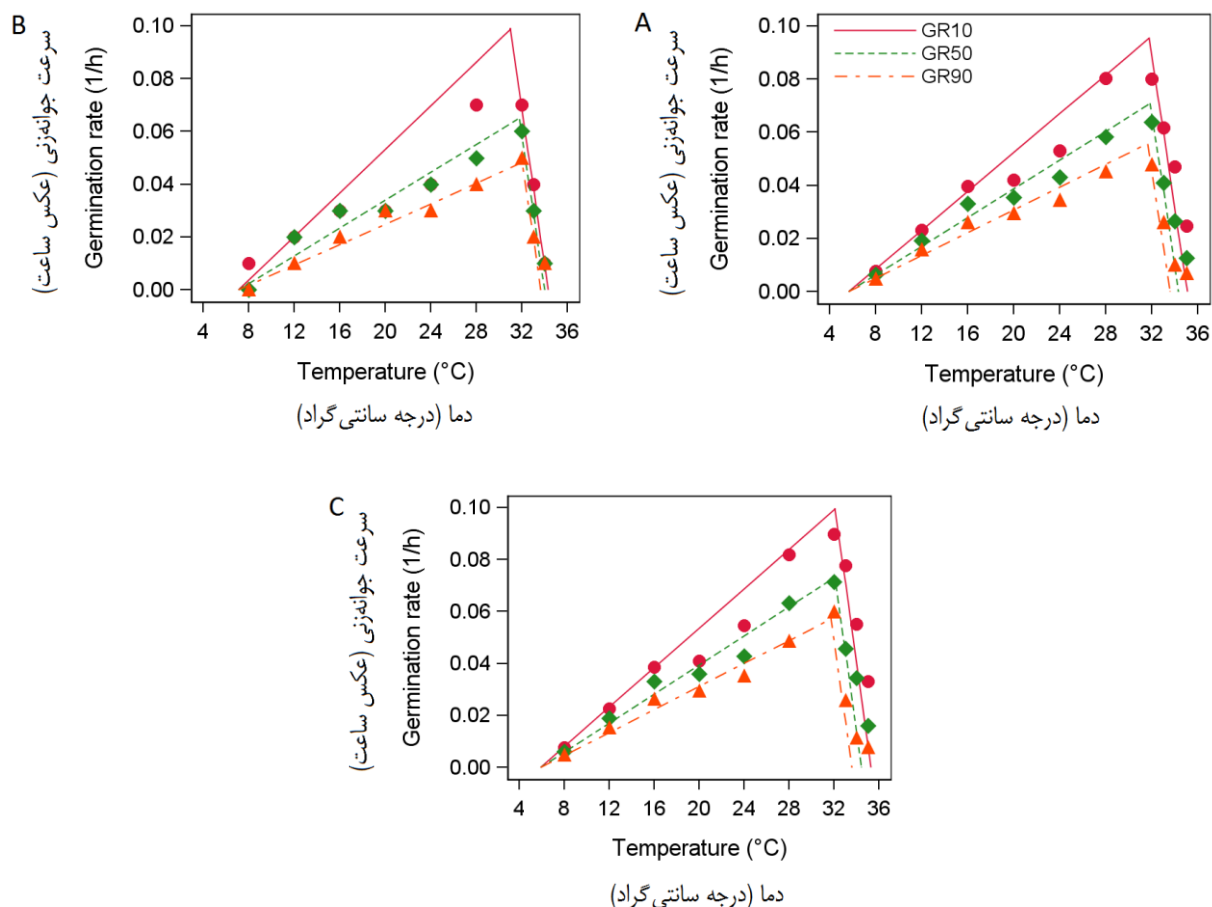
تعیین کننده زمان تا جوانه زنی کسرهای مختلف جمعیت بذری است. بنابراین، هرچه این پارامترها کوچکتر باشند گستره یا اندازه پراکنش زمان جوانه زنی کسرهای مختلف بذری کوچکتر و در نتیجه یکنواختی جوانه زنی جمعیت بذری در دماهای زیر بهینه بیشتر می باشد. σ_{Tm} گستره ای از دماهای بیش بهینه را نشان می دهد که در آن دماها جوانه زنی جمعیت بذری محتمل است. بنابراین، هرچه این پارامتر کوچکتر باشد گستره دماهایی که بذرها قادر به جوانه زنی هستند کوچکتر و یکنواختی جوانه زنی جمعیت بذری در دماهای بیش بهینه بیشتر است. هرچند تفاوت چشمگیری میان ارقام کلزا از نظر سرعت جوانه زنی در سطوح دمایی زیر بهینه یا بیش بهینه مشاهده نشد، اما یکنواختی جوانه زنی جمعیت بذری رقم دلگان در سطوح دمایی زیر بهینه کمتر از ارقام دیگر و گستره دماهای محتمل برای جوانه زنی این رقم کوچکتر از ارقام دیگر کلزا بود.

جوانه زنی بذرهایی که در اوایل تابستان ریزش می کنند تا فرا رسیدن دماهای خنک تر و بارش های مطمئن تر فصل پاییز به تأخیر می افتد (Huo and Bradford, 2015). بنابراین، این پاسخ بازدارندگی جوانه زنی در ارقام کلزا، هرچند در دامنه دمایی کوچک، نوعی تطبیق پذیری اکولوژیکی محسوب می شود و می تواند به بقاء بذرها تحت شرایط متغیر دمای خاک در طی فصل تابستان و ظهور به عنوان علف هرز خودرو در فصل پاییز کمک کند. پارامترهای θ_{Tm} و $\theta_{T(50)}$ به ترتیب معیاری از سرعت جوانه زنی جمعیت بذری در سطوح دمایی زیر بهینه و بیش بهینه هستند. هرچه این پارامترها کوچکتر باشند سرعت جوانه زنی جمعیت بذری در سطوح گوناگون دمایی بیشتر است. همچنین، پارامترهای σ_{Tm} و $\sigma_{\theta T}$ به ترتیب معیاری از یکنواختی جوانه زنی جمعیت بذری در سطوح دمایی زیر بهینه و بیش بهینه هستند. در مدل جوانه زنی-گرمایی تنوع θ_T در دماهای زیر بهینه



شکل ۳- روابط بین مقادیر زمان گرمایی مشاهده شده (دایره های پر) و پیش بینی شده در دماهای زیر بهینه، دمای پایه مشاهده شده (دایره های پر) و پیش بینی شده، زمان گرمایی بیش بهینه مشاهده شده (دایره های خالی) و پیش بینی شده و دمای بیشینه مشاهده شده (دایره های خالی) و پیش بینی شده برای کسرهای مختلف جوانه زنی رقم RGS003 بر مبنای مدل های جوانه زنی-گرمایی ۱ تا ۴.

Figure 3- Relations between observed (filled circles) and predicted sub-optimal thermal time, observed (filled circles) and predicted base temperature, and observed (open circles) predicted supra-optimal thermal time and observed (open circles) and predicted maximum temperature for different germination fractions of cv. RGS003 based on the thermal-germination models 1-4.



شکل ۴- رابطه بین سرعت جوانه زنی مشاهده شده (نمادها) و پیش بینی شده (خطوط) و دما برای کسرهای ۱۰ (GR10)، ۵۰ (GR50) و ۹۰ درصد (GR90) جوانه زنی در ارقام ساری گل (A)، دلگان (B) و RGS003 (C)

Figure 4- Relation between observed (symbols) and predicted (lines) germination rate and temperature for fractions 10, 50 and 90% germination in Sarigol (A), Dalgan (B) and RGS003 (C) cultivars

وقتی T_b و θ_{Tm} برای کل جمعیت بذری ثابت فرض شد و توزیع نرمال برای توصیف تنوع $\theta_{T(g)}$ در دماهای زیر بهینه و $T_{m(g)}$ در دماهای بیش بهینه به کار رفت، مدل برازش بهتر و دقیق تری به دوره های زمانی جوانه زنی هر سه رقم بهاره کلزا در پاسخ به دماهای ثابت داشت. این مدل جوانه زنی-گرمایی الگوهای جوانه زنی مشاهده شده در ارقام مختلف کلزا را به خوبی توصیف کرد. آستانه های گرمایی که در این مطالعه برای ارقام کلزا تعیین شد تفاوت جوانه زنی این جمعیت های بذری در پاسخ به دما را به خوبی توضیح می دهد.

آستانه های گرمایی که در این مطالعه برای ارقام بهاره کلزا تعیین شد مقادیر اولیه مورد نیاز برای پیش بینی زمان از آبتوشی تا جوانه زنی بذر را به عنوان نخستین مرحله نمو گیاه زراعی در اختیار قرار می دهد. برای پیش بینی دقیق سبز شدن این گیاه می توان زمان گرمایی مورد نیاز برای این مرحله را به مقدار مورد نیاز از جوانه زنی تا ظهور در سطح خاک اضافه کرد.

نتیجه گیری

در مجموع، ارزیابی فرض های مدل زمان گرمایی نشان داد که

References

1. Alvarado, V., and Bradford, K. J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell & Environment* 25 (8): 1061-1069.
2. Baskin, C. C., and Baskin, J. M. 1998. *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. San Diego, CA: Academic Press.

3. Bradford, K. J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science* 50 (2): 248-260.
4. Burnham, K. P., and Anderson, D. R. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer, New York, USA.
5. Chantre, G. R., Batlla, D., Sabbatini, M. R., and Orioli, G. 2009. Germination parameterization and development of an after-ripening thermal-time model for primary dormancy release of *Lithospermum arvense* seeds. *Annals of Botany* 103 (8): 1291-1301.
6. Covell, S., Ellis, R. H., Roberts, E. H., and Summerfield, R. J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soybean, and cowpea at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany* 37 (5): 705-715.
7. Ellis, R. H., Covell, S., Roberts, E. H., and Summerfield, R. J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany* 37 (10): 1503-1515.
8. Forcella, F., Benech-Arnold, R. L., Sanchez, R., and Ghera, C. M. 2000. Modelling seedling emergence. *Field Crops Research* 67 (2): 123-139.
9. Garcia-Huidobro, J., Monteith, J. L., and Squire, G. R. 1982. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). I. Constant temperature. *Journal of Experimental Botany* 33 (2): 288-296.
10. Hardegree, S.P. 2006. Predicting germination response to temperature. III. Model validation under field-variable temperature conditions. *Annals of Botany* 98 (4): 827-834.
11. Hardegree, S. P., and Van Vactor, S. S. 2000. Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperature regimes. *Annals of Botany* 85 (3): 379-390.
12. Huo, H., and Bradford, K. J. 2015. Molecular and hormonal regulation of thermoinhibition of seed germination. PP 3-33 in J.V. Anderson ed. *Advances in Plant Dormancy*. Springer International Publishing Switzerland.
13. Jafari, N., Esfahani, M., and Sabouri, A. 2012. Assessment of non-linear regression models to evaluate response of seedling emergence rate to temperature in three oil seed rape seed cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42 (4): 857-868. (in Persian with English abstract).
14. Mesgaran, M. B., Rahimian Mashhadi, H. R., Alizadeh, H., Ohadi, S., and Zare, A. 2014. Modeling the germination responses of wild barley (*Hordeum spontaneum*) and littleseed canary grass (*Phalaris minor*) to temperature. *Iranian Journal of Weed Science* 9 (2): 105-118. (in Persian with English abstract).
15. Nascimento, W. M., Huber, D. J., and Cantliffe, D. J. 2013. Carrot seed germination and respiration at high temperature in response to seed maturity and priming. *Seed Science and Technology* 41 (1): 164-169.
16. Qiu, J., Bai, Y., Coulman, B., and Romo, J. T. 2006. Using thermal time models to predict seedling emergence of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) under alternating temperature regimes. *Seed Science Research* 16 (4): 261-271.
17. Soltani, A., and Sinclair T. R. 2011. A simple model for chickpea development growth and yield. *Field Crops Research* 124 (2): 252-260.
18. Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology* 138 (1-4): 156-167.
19. Steadman, K. J. 2004. Dormancy release during hydrated storage in *Lolium rigidum* seeds is dependent on temperature, light quality, and hydration status. *Journal of Experimental Botany* 55 (398): 929-937.
20. Wang, R., Bai, Y., and Tanino, K. 2004. Effect of seed size and sub-zero imbibitions temperature on the thermal time model of winterfat (*Eurotia lanata* (Pursh) Moq.). *Environmental and Experimental Botany* 51 (3): 183-197.
21. Zhang, H., McGill, C. R., Irving, L. J., Kemp, P. D., and Zhou, D. 2012. A modified thermal time model to predict germination rate of ryegrass and tall fescue at constant temperatures. *Crop Science* 53 (1): 240-249.



Application of Thermal-time Concept to Modeling Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) Seed Germination Response to Temperature

A. Derakhshan¹- A. Bakhshandeh^{1*}- S. A. Siadat¹- M. R. MoradiTlavat¹- B. Andarzian²

Received: 21-11-2016

Accepted: 12-07-2017

Introduction

In seed plants, seed germination is one of the important life history events, because it determines the time when a new life cycle is initiated. Temperature (T) is one of the most important environmental determinants of capacity and rate of germination. Base, optimum and ceiling T (cardinal temperatures) characterize the limit of this environmental factor over which the germination of a particular species can occur. The thermal-time approach has been successful in describing germination time courses in response to T, and most models predicting crop phenological development use a thermal-time scale to normalize for T variation over time. A clear understanding of the seed germination patterns is helpful in screening for tolerance of crops and cultivars to either low or high temperatures and in identifying geographical areas where a species or genotype can germinate and establish successfully by using the critical lower and upper temperatures for germination. Information on cardinal temperatures is lacking for germination of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.), as one of the world's major oilseed crops. The aim of the present work was to evaluate the relative accuracy of different thermal-time approaches for the description of germination in three cultivars of spring oilseed rape.

Materials and Methods

Germination responses of three spring oilseed rape cultivars were investigated at different constant temperatures. The seeds were incubated in the dark using germinators with controlled environments at eleven constant T regimes of 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 33, 34, 35 and 36 °C with a range of ± 0.2 °C over a 21-day period. These T regimes cover both the sub- and supra-optimal T ranges. The trial was replicated three times with 4 Petri-dishes in each replication, for a total of 12 Petri-dishes for each cultivar at each T regime. The germinated seeds (criterion, radicle protrusion of > 2 mm) were counted and removed at frequent time intervals (every 4-8 h). Germination counts at each replicate of each T regime were pooled by cultivar across trials for data analysis. Cumulative germination percentage was calculated for every cultivar and T regime for every count-hour. The time taken for cumulative germination to reach subpopulation percentiles of 10, 50 and 90% of maximum in each T regime were calculated by interpolation from the progress of germination (%) versus time curve. Experimentally obtained cumulative-germination curves were used to perform a non-linear regression procedure to assess the relative accuracy of different thermal-germination models in predicting germination response under constant incubation temperatures. Assessment of goodness-of-fit was performed by the Akaike information criterion (AIC).

Results and Discussion

The most accurate approach for simulating the thermal-germination response of all three spring oilseed rape cultivars achieved by assuming a normal distribution of both thermal-time required to complete the germination of each given seed fraction in sub-optimal T range ($\theta_{T(g)}$) and maximum germination temperatures ($T_{m(g)}$), while base T (T_b) or supra-optimal thermal-time (θ_{Tm}) were considered constant for the entire population. According to this model, the base T for different cultivars ranged from 5.66 (cv. Sarigol) to 7.13 °C (cv. Dalgan). Estimated θ_{Tm} varied between 31.62 to 34.55 °C h for different spring oilseed rape cultivars. A $\theta_{T(50)}$ of 369.27 °C h and a $T_{m(50)}$ of 34.32 °C were identified for seed population of cv. Sarigol. The $\theta_{T(50)}$ was estimated to be 378.76 °C h for cv. Dalgan and 357.89 °C h for cv. RGS003. The $T_{m(50)}$ for germination of cv. Dalgan and cv. RGS003 was estimated to be 33.98 and 34.42 °C, respectively. In all three cultivars, calculated values for optimum T (T_o) were not constant across subpopulations. The $T_{o(50)}$ was estimated to be 31.85 °C for cv. Sarigol, 31.78 °C for cv. Dalgan and 32.06 °C for cv. RGS003. Thermal-time analysis, although an empirical method, is considered by

1- Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2- Seed and Plant Improvement Department, Research and Education Center of Agricultural and Natural Resources of Khuzestan, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO)

(*- Corresponding Author Email: Abakhshandeh@ramin.ac.ir)

many researchers to have physiologically and ecologically relevant parameters and, in its standard form, provides several useful indices of seed germination behavior in response to T. Despite its popularity, the generality of its assumptions has not been examined systematically. If these assumptions do not hold, at least approximately, in a particular situation, misleading interpretations can easily arise.

Conclusions

The thermal thresholds for seed germination identified in this study explain the differences in seed germination detected among populations of different spring oilseed rape cultivars. The thermal-time model described here gave an acceptable explanation of the observed seed germination patterns.

Keywords: Akaike information criterion, Cardinal temperatures, Cumulative distribution function, Normal distribution, Thermal units



اثرات تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (رقم افلاک)

حسین کمائی^۱ - حمیدرضا عیسوند^{۲*} - فرهاد نظریان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثرات تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (رقم افلاک)، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ در شهرستان رامهرمز اجرا گردید. عامل‌های آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح مناسب (۳۰ آبان) و تأخیری (۱۵ دی) به عنوان عامل اصلی و کاربرد کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات در دو سطح عدم بذر مال و بذر مال و محلول‌پاشی عناصر روی و بور در چهار سطح با آب (شاهد)، روی، بور و روی + بور (هر کدام سه لیتر در هکتار) به صورت فاکتوریل به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که با تأخیر در کاشت به دلیل تنش گرمای انتهایی غیر از میزان پرولین برگ کلیه صفات شاخص کلروفیل برگ (SPAD)، شاخص پایداری غشای سلول، حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به طور معنی‌داری کاهش یافت. اثر متقابل تلقیح بذر با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور غیر از شاخص برداشت، صفات شاخص کلروفیل برگ (SPAD)، میزان پرولین برگ، شاخص پایداری غشای سلول، Fv/Fm، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را به ترتیب به طور معنی‌داری به میزان ۱۲/۲۹٪، ۳/۳۷٪، ۶/۴۸٪، ۳/۰۲٪، ۱۷/۲۵٪ و ۲۲/۰۴٪ تحت تاریخ کاشت تأخیری بهبود بخشید. در این آزمایش مشاهده شد که تیمار تلقیح بذر با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات نسبت به تیمار محلول‌پاشی عناصر روی و بور و همچنین محلول‌پاشی عنصر روی نسبت به بور تأثیر بیشتری در بهبود صفات فیزیولوژیک و افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک گندم نان (رقم افلاک) در هر دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری داشت.

واژه‌های کلیدی: تنش گرما، عناصر ریزمغذی، غلات، کلروفیل

مقدمه

جنوبی از جمله خوزستان با تنش گرمای انتهایی فصل در طی گل‌دهی و دوره پر شدن دانه مواجه می‌شود که باعث کاهش ۵ تا ۴۰ درصدی عملکرد در این مناطق می‌شود (Jalal Kamali and Duveiller, 2008). تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ (SPAD) و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Graham and McDonald, 2001)، افزایش تجمع پرولین (Kumar et al., 2012)، تجمع ROS و کاهش شاخص پایداری غشای سلول (Molassiotis et al., 2006)، تسریع در رسیدگی و کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت (Mohammadi, 2012; Moshattati et al., 2010) گردید.

برای رفع کمبود فسفر مورد نیاز گیاهان، این عنصر ضروری و پرمصرف به صورت کودهای شیمیایی فسفردار به خاک اضافه می‌شود که مقادیر زیادی از فسفر موجود در این کودها بعد از ورود به خاک نامحلول شده و در خاک‌های آهکی به ترکیبات نامحلول کلسیم و منیزیم و در خاک‌های اسیدی به فسفات آهن و آلومینیوم تبدیل شده

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) یکی از منابع مهم غذایی در میان محدود گیاهان زراعی عمده جهان به‌شمار می‌رود (Modhej and Fathi, 2008). گندم از نظر میزان تولید، مهمترین گیاه زراعی در جهان بوده و تولید آن در سال زراعی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ به حدود ۷۱۷ میلیون تن رسید (Mansouri and Hosseinpour, 2015).

در ایران سالانه حدود ۶/۵ میلیون هکتار به زیر کشت گندم می‌رود (۲/۵ میلیون هکتار آبی و ۴ میلیون هکتار دیم) که حدود ۱۰ درصد از این سطح زیر کشت (حدود ۶۵۰ هزار هکتار) در مناطق

۱- دانش‌آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه لرستان

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

۳- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

(Email: eisvand.hr@lu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.61058

ROS (Cakmak et al., 1996)، محافظت غشاء در مقابل (Marschner, 1995)، افزایش شاخص پایداری غشاء سلول (Yadavi et al., 2014)، افزایش کارایی فتوسنتز (Wang et al., 2012)، افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی (Ghasemian et al., 2010)، افزایش فلورسانس کلروفیل در شرایط تنش (Graham and McDonald, 2001) و افزایش عملکرد گندم نان (Abdoli et al., 2014) گزارش دادند. این آزمایش با هدف بررسی اثرات تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (*Triticum aestivum* L.) (رقم افلاک) اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان رامهرمز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. عامل‌های آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح مناسب (۳۰ آبان‌ماه) و تأخیری (۱۵ دی‌ماه) به منظور مصادف شدن مرحله پر شدن دانه با تنش گرمای انتهایی (Radmehr, 1997) به عنوان عامل اصلی و کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات در دو سطح عدم بذر مال و بذر مال با کود زیستی فسفات (بارور-۲) و چهار سطح محلول‌پاشی با آب (شاهد)، روی (سه لیتر در هکتار)، بور (سه لیتر در هکتار) و روی (سه لیتر در هکتار) + بور (سه لیتر در هکتار) بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان در سه مرحله پنجه‌زنی (Aown et al., 2012)، غلاف رفتن (Zoz et al., 2012) و گرده‌افشانی (Asthir et al., 2012) به صورت فاکتوریل به عنوان عامل فرعی بودند. برای محلول‌پاشی عنصر غذایی روی از کلات - روی هفت و نیم درصد و برای محلول‌پاشی عنصر غذایی بور از بور پنج درصد (محصولات شرکت زرافشان) استفاده گردید. در این آزمایش از رقم گندم افلاک استفاده گردید. رقم افلاک گندم دارای ویژگی‌هایی هم‌چون تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۹۴ سانتی‌متر، متوسط رس، میانگین وزن هزار دانه ۴۰ گرم، نیمه مقاوم به خوابیدگی، متحمل به ریزش، متحمل به گرما، نیمه حساس به خشکی و میانگین عملکرد دانه ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده و مخصوص کشت در مناطق گرم و خشک جنوب می‌باشد (Modhej and Fathi, 2008). خاک محل آزمایش دارای بافت رسی سیلتی با نفوذپذیری اندک بود. از مشخصات این خاک می‌توان به میزان پایین پتاسیم، عناصر ریزمغذی و ماده آلی و میزان بالای فسفر، اسیدیته و شوری اشاره کرد (جدول ۱). آمار ایستگاه

و از دسترس گیاه خارج می‌شود (Naiman et al., 2009). کود زیستی فسفات (بارور-۲) شامل مجموعه‌ای از باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جنس‌های مختلف *Bacillus* و *Pseudomonas* می‌باشد که قادرند فسفر نامحلول در خاک را به فرم محلول قابل دسترس گیاه تبدیل کنند (Yousefpoor and Yadavi, 2013). آزمایش‌های مختلف نشان داد که تلقیح بذور گندم با کود زیستی فسفات حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات نسبت به عدم تلقیح موجب افزایش عملکرد دانه (Bahari Saravi and Pyrdashti, 2013) و افزایش مقاومت گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی شد (Koochaki et al., 2008).

در اکثر مناطق ایران pH خاک بالا بوده و آنها آهکی هستند. بنابراین، در این نوع از خاک‌ها حلالیت عناصر غذایی کم مصرف کمتر می‌باشد و این موضوع جذب عناصر غذایی کم مصرف توسط گیاه را کاهش می‌دهد و در نهایت نیاز گیاهان به این عناصر افزایش می‌یابد (Mousavi et al., 2007). بنابراین، بهتر است این عناصر به صورت محلول روی برگ‌ها پاشیده شوند. علاوه بر این، محلول‌پاشی عناصر غذایی را سریعتر در مقایسه با کاربرد خاکی برای گیاهان فراهم می‌کند (Yassen et al., 2010). مقاومت به تنش‌های مختلف از طریق محلول‌پاشی عناصر غذایی کم مصرف افزایش می‌یابد (Ghasemian et al., 2010). روی یک عنصر غذایی ضروری کم مصرف برای گیاهان است که نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیسمی سلول، محافظت غشاء در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها داشت (Marschner, 1995). محلول‌پاشی عنصر غذایی روی موجب افزایش شاخص پایداری غشاء سلول نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی شد (Yadavi et al., 2014). بور، به عنوان یک عنصر غذایی کم مصرف، به طور مستقیم یا غیرمستقیم در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در طول رشد گیاه مانند طویل شدن سلول، تقسیم سلولی، بیوسنتز دیواره سلولی، فعالیت غشاء و فرآیندهای غشایی، متابولیسم نیتروژن، فتوسنتز برگ و سنتز اوراسیل دخیل می‌باشد (Zhao, 2011). محلول‌پاشی بور موجب افزایش تجمع پرولین در برگ شد، که تجمع پرولین می‌تواند یک مکانیزم سریع برای حفاظت سلولی و تورژسانس بافت‌ها در پاسخ به تنش باشد (Moeinian et al., 2011). بور می‌تواند فعالیت آنتی اکسیدانت‌های گیاهی را افزایش دهد و در نتیجه آسیب انواع اکسیژن فعال (ROS) ناشی از تنش دما را کاهش دهد (Waraich et al., 2012). محلول‌پاشی روی و بور و اثر متقابل آنها بر روی گیاه گندم موجب افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نسبت به عدم کاربرد محلول‌پاشی شد (Ali et al., 2009). دانشمندان بسیاری تأثیر مثبت عناصر غذایی کم مصرف به خصوص عنصر غذایی روی را بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت

هواشناسی شهرستان رامهرمز به‌منظور نشان دادن مواجهه‌ی مراحل حساس رشد و نمو گندم با دمای بالای انتهای فصل در جدول ۲ آورده شده است. هر کرت، شامل هفت ردیف کاشت سه متری با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع بود. در این آزمایش براساس نتایج آزمون خاک مقادیر ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار (در سه مرحله یک سوم قبل از کاشت همراه با کود سولفات پتاسیم و گوگرد، یک سوم در شروع طویل شدن ساقه و یک سوم آخر در آغاز گل‌دهی)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مصرف گردید. در این آزمایش به‌دلیل بالا بودن میزان فسفر از دادن کودهای فسفره به زمین زراعی اجتناب گردید. از حدود ۵ کیلوگرم بذرهای گندم رقم افلاک مورد نیاز جهت کاشت در هر دو تاریخ کاشت، حدود ۲/۵ کیلوگرم آن قبل از کاشت ابتدا روی نایلون‌های جداگانه در سایه پهن شد و با کمی آب آنها را مرطوب و سپس با محتوای مورد نیاز یک بسته ۱۰۰ گرمی کود زیستی فسفات (بارور-۲) (حدود ۱/۲۵ گرم) مخلوط و اجازه داده شد خشک شود. سپس اقدام به کشت کلیه بذرها به روش دستی و در عمق سه سانتی‌متری شد. آبیاری، کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز و آفات به‌گونه‌ای انجام شد که گیاه با تنش دیگری غیر از تنش گرمای انتهایی مواجه نگردد. صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل شاخص کلروفیل برگ (SPAD)، میزان پروتئین برگ، شاخص پایداری غشای سلول، ماکزیمم عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) بودند. برای تعیین شاخص کلروفیل برگ در شرایط مزرعه‌ای تعداد ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی در مرحله پر شدن دانه به‌طور تصادفی انتخاب و از هر بوته ۵ برگ و از هر برگ ۳ نقطه با دستگاه کلروفیل‌سنج دیجیتالی مدل SPAD-502 عدد را قرائت و عدد میانگین به‌عنوان شاخص کلروفیل برگ (SPAD) ثبت گردید. به‌منظور اندازه‌گیری میزان پروتئین ۰/۲ گرم از بافت سبز برگ‌های پرچم ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت در مرحله پر شدن دانه به‌همراه ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون کوبیده و از کاغذ صافی واتمن شماره ۲ عبور داده شد. به ۲ میلی‌لیتر از این محلول، ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص و ۲ میلی‌لیتر اسید ناین هیدرین اضافه و به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه قرار داده شد. ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و به مدت ۲۰-۱۵ ثانیه به‌شدت به‌هم زده و میزان نور جذبی در ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. میزان پروتئین استخراجی براساس میلی‌مول بر گرم وزن تر از جدول استاندارد به‌دست آمد (Bates et al., 1973). شاخص پایداری غشای سلول از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌های برگ ارزیابی شد. برای این منظور ۱۰ برگ پرچم توسعه یافته به‌طور تصادفی در مرحله پر شدن دانه، از هر کرت برداشت و به آزمایشگاه انتقال و از هر کدام به‌وسیله پانچ، دیسک‌های ۲۰ میلی‌متری تهیه شد. قطعات حاصل پس از آن که سه مرتبه شسته شدند به لوله‌های آزمایش حاوی

۱۰ میلی‌متر آب مقطر انتقال یافت. این نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) بر روی شیکر با ۱۰۰ دور در دقیقه برای مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و EC₁ (نشت اولیه) آن‌ها با استفاده از دستگاه هدایت الکتریکی تعیین گردید. سپس نمونه‌ها در اتوکلاو و در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند و EC₂ (نشت ثانویه) آن‌ها اندازه‌گیری و شاخص پایداری غشای سلول (CMSI) با استفاده از معادله ۱ تعیین شد (Lutts et al., 1996).

$$CMSI = (1 - (EC_1 / EC_2)) \times 100 \quad (۱)$$

که در این معادله EC₁ هدایت الکتریکی اولیه (نشت اولیه) و EC₂ هدایت الکتریکی ثانویه (نشت ثانویه) می‌باشد. برای اندازه‌گیری حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) از دستگاه فلئورسانس متر کلروفیل مدل (walz, Germany) و طبق معادله ۲ استفاده شد. اندازه‌گیری تنها یک‌بار در مرحله پر شدن دانه و بلافاصله پس از اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ از برگ‌های مورد نظر در ساعات اولیه صبح و بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص انجام شد (Van Kooten and Snel, 1990).

$$Fv/Fm = (Fm - F_0) / Fm \quad (۲)$$

که در این معادله Fm فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی، F₀ فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی و Fv فلئورسانس متغیر (Fm-F₀) می‌باشد. به‌منظور محاسبه عملکرد دانه، کل سنبله‌های برداشت شده از سطح یک متر مربع در هر کرت پس از حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای خطوط کشت مورد نظر با دست خرمن‌کوبی و سپس دانه‌های به‌دست آمده توزین و عملکرد دانه به‌دست آمده در سطح یک متر مربع به هکتار تبدیل شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک در مرحله رسیدگی گیاه، پس از حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای خطوط کشت مورد نظر در سطح یک متر مربع کل بوته‌ها کف بر و برای هر کرت به‌طور جداگانه وزن گردید. هم‌چنین شاخص برداشت از طریق تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک به‌صورت درصد محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن مقادیر F، میانگین‌ها با آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل برگ (SPAD)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول پاشی عناصر روی و بور بر شاخص کلروفیل برگ (SPAD) گندم نان (رقم افلاک) در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه

کاربرد مجزای عنصر غذایی روی در این آزمایش همخوانی داشت، اما با نتایج به دست آمده از اثرات متقابل این عنصر با کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات مطابقت نداشت.

میزان پرولین برگ

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات و محلول پاشی عناصر روی و بور بر میزان پرولین برگ گندم نان (رقم افلاک) در سطح ۱٪ معنی دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات × محلول پاشی عناصر روی و بور بر میزان پرولین برگ گندم نان (رقم افلاک) نشان داد که بیشترین میزان این صفت در اثرات متقابل تاریخ کاشت تأخیری ۱۵ دی ماه × بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات × محلول پاشی عناصر روی با کمترین آن ۱۹/۷۷ میلی مول بر گرم وزن تازه برگ و کمترین آن با ۴۷/۷۴ درصد کاهش در اثرات متقابل تاریخ کاشت مناسب ۳۰ آبان ماه × عدم بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات × محلول پاشی با آب (شاهد) با میانگین ۱۰/۳۳ میلی مول بر گرم وزن تازه برگ به دست آمد (شکل ۲).

میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات × محلول پاشی عناصر روی و بور بر شاخص کلروفیل برگ (SPAD) گندم نان (رقم افلاک) نشان داد که بیشترین میزان این صفت در اثرات متقابل تاریخ کاشت مناسب ۳۰ آبان ماه × بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات × محلول پاشی عناصر روی با میانگین ۶۳/۷ و کمترین آن با ۲۴/۳۳ درصد کاهش در اثرات متقابل تاریخ کاشت تأخیری ۱۵ دی ماه × عدم بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات × محلول پاشی عناصر بور با میانگین ۴۸/۲ به دست آمد (شکل ۱).

این نتایج با یافته های Graham and McDonald, 2001 مبنی بر کاهش شاخص کلروفیل برگ (SPAD) در ژنوتیپ های مختلف گندم تحت تنش گرما و Abd El-Gawad, 2008 مبنی بر افزایش شاخص کلروفیل برگ (SPAD) در نتیجه کاربرد باکتری های حل کننده فسفات در ذرت مطابقت داشت. Graham and McDonald, 2001 گزارش دادند که اثر متقابل کاربرد روی و تنش گرما بر شاخص کلروفیل برگ (SPAD) معنی دار نبود اگرچه با افزایش غلظت روی شاخص کلروفیل برگ (SPAD) افزایش نشان داد. این یافته Graham and McDonald, 2001 با نتایج حاصل از

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

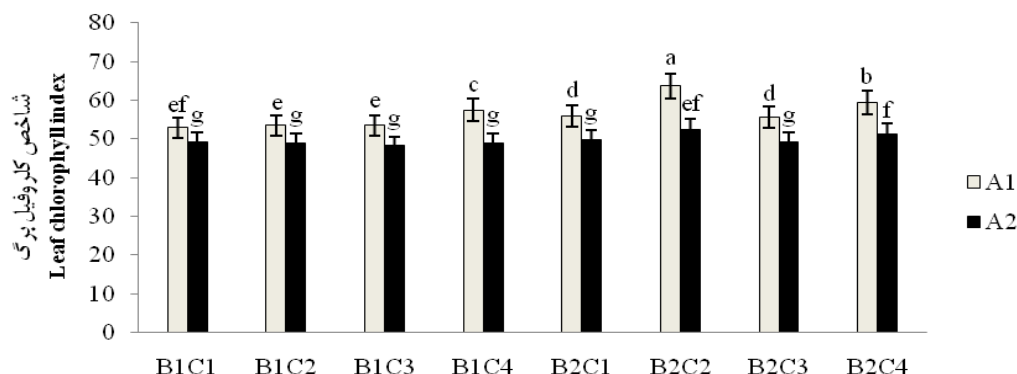
Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental location

بافت خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته	مواد آلی	فسفر	پتاسیم	رس	سیلت	شن	مس	آهن	روی	بور
Soil texture	E.C (dS m ⁻¹)	pH	O.C (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)
رسی سیلتی Silty clay	5.8	7.64	0.92	18.6	140	47	42	11	0.90	2.80	0.63	0.71

جدول ۲- آمار ایستگاه هواشناسی در طی دوره آزمایش در شهرستان رامهرمز (۱۳۹۴-۹۵)

Table 2- Weather station statistics during the experimental period in the Ramhormoz city (2015-16)

میانگین دمای هوا Mean of air temperature (°C)				
ماه Month	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	رطوبت نسبی RH (%)	بارندگی Precipitation (mm)
آبان November	31.5	17.2	42	20.7
آذر December	25.3	11.1	59	86.4
دی January	18.1	8.8	67	67.7
بهمن February	19	9.1	62	49.7
اسفند March	24.7	12.2	52	40.4
فروردین Aprill	32.5	16.7	43	29.4
اردیبهشت May	38.1	23.2	43	29.6



شکل ۱- اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر شاخص کلروفیل برگ (SPAD) گندم نان (رقم افلاک)

Figure 1- Interaction of planting date × bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria × elements foliar application of zinc and boron on leaf chlorophyll index (SPAD) of bread wheat (Aflak cultivar)

A1: تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان)، A2: تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی)، B1: عدم بذر مال، B2: بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، C1: محلول‌پاشی با آب، C2: محلول‌پاشی با روی (سه لیتر در هکتار)، C3: محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار) و C4: محلول‌پاشی با روی (سه لیتر در هکتار) + محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار).

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

A1: optimum planting date (21 November), A2: late planting date (5 January), B1: seed non-inoculated, B2: seed inoculation with phosphate bio-fertilizer, C1: foliar application by water (control), C2: foliar application by Zinc (3 lit h⁻¹), C3: foliar application by Boron (3 lit h⁻¹) and C4: foliar application by Zinc (3 lit h⁻¹) + Boron (3 lit h⁻¹).

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level by LSD test.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (رقم افلاک) تحت تأثیر تیمارهای مختلف

Table 3- Analysis of variance physiological and agronomic traits of bread wheat (Aflak cultivar) affected by of different treatments

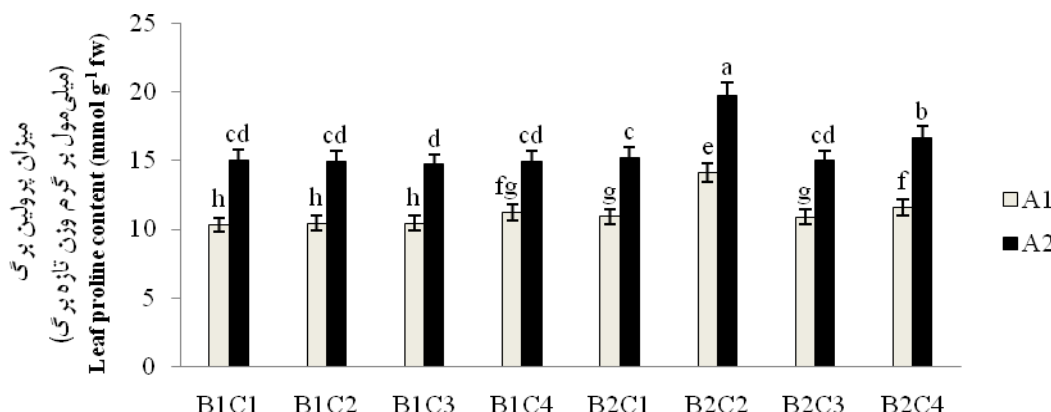
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	شاخص کلروفیل برگ Leaf chlorophyll index	میزان پرولین برگ Leaf proline content	شاخص پایداری غشای سلول Cell membrane stability index	حداکثر عملکرد کواتومی فتوسنتز (II) Fv/Fm	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار (Replication)	2	0.0447 ^{ns}	0.0019 ^{ns}	0.104 ^{ns}	0.000003 ^{ns}	166.71 ^{ns}	6432.41 ^{ns}	0.078 ^{ns}
A (تاریخ کاشت) (Planting date)	1	543.784 ^{**}	148.657 ^{**}	1695.276 ^{**}	0.00335 ^{**}	27503421.81 ^{**}	86240112.31 ^{**}	186.71 ^{**}
Error a خطای الف	2	0.278	0.015	0.442	0.000006	5552.94	43262.32	0.836
B (کود زیستی) (bio-fertilizer)	1	113.098 ^{**}	27.195 ^{**}	343.684 ^{**}	0.0051 ^{**}	2452134.72 ^{**}	31242116.23 ^{**}	26.31 ^{**}
C (محلول‌پاشی) (Foliar application)	3	29.336 ^{**}	10.863 ^{**}	97.601 ^{**}	0.00036 ^{**}	2341657.21 ^{**}	3814251.54 ^{**}	38.21 ^{**}
A×B	1	19.840 ^{**}	0.637 ^{**}	0.136 ^{ns}	0.00002 [*]	123028.58 ^{**}	851132.006 ^{**}	2.01 ^{ns}
B×C	3	18.722 ^{**}	10.285 ^{**}	68.205 ^{**}	0.00052 ^{**}	2573523.96 ^{**}	9276412.22 ^{**}	9.23 ^{**}
A×C	3	7.613 ^{**}	0.413 ^{**}	8.569 ^{**}	0.00001 [*]	692.64 ^{ns}	111356.47 ^{ns}	1.57 ^{ns}
A×B×C	3	6.931 ^{**}	0.600 ^{**}	9.505 ^{**}	0.000014 ^{**}	24652.34 [*]	531897.08 ^{**}	3.61 ^{**}
Error b خطای ب	28	0.965	0.066	1.62	0.00007	8614.23	52321.6	0.86
CV ضریب تغییرات (%)		1.8	1.9	1.8	0.2	5.8	7.8	2.5

ns, * و **: به ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: Non significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively

خشکی مطابقت داشت. Karmollachaab and Gharineh, 2013 کاهش میزان پرولین در نتیجه کاربرد عنصر روی را در هر دو شرایط تنش و عدم تنش و Moeinian *et al.*, 2011 افزایش تجمع پرولین در نتیجه محلول پاشی عنصر بور را در شرایط تنش خشکی گزارش دادند، که با نتایج این آزمایش همخوانی نداشت.

این نتایج با یافته‌های Dhyani *et al.*, 2013 مبنی بر افزایش میزان پرولین در برگ گندم با تأخیر در کاشت و قرار گرفتن در معرض تنش گرمای انتهایی و Parvazi Shandi *et al.*, 2013 مبنی بر افزایش تجمع پرولین در برگ گیاه گندم در نتیجه تلقیح بذر با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات تحت شرایط تنش



شکل ۲- اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول پاشی عناصر روی و بور بر میزان پرولین برگ گندم نان (رقم افلاک)

Figure 2- Interaction of planting date × bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria × elements foliar application of zinc and boron on leaf proline content of bread wheat (Aflak cultivar)

A1: تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان)، A2: تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی)، B1: عدم بذر مال، B2: بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، C1: محلول پاشی با آب، C2: محلول پاشی با روی (سه لیتر در هکتار)، C3: محلول پاشی با بور (سه لیتر در هکتار) و C4: محلول پاشی با روی (سه لیتر در هکتار) + محلول پاشی با بور (سه لیتر در هکتار).

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

A1: optimum planting date (21 November), A2: late planting date (5 January), B1: seed non-inoculated, B2: seed inoculation with phosphate bio-fertilizer, C1: foliar application by water (control), C2: foliar application by Zinc (3 lit h⁻¹), C3: foliar application by Boron (3 lit h⁻¹) and C4: foliar application by Zinc (3 lit h⁻¹) + Boron (3 lit h⁻¹).

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level by LSD test.

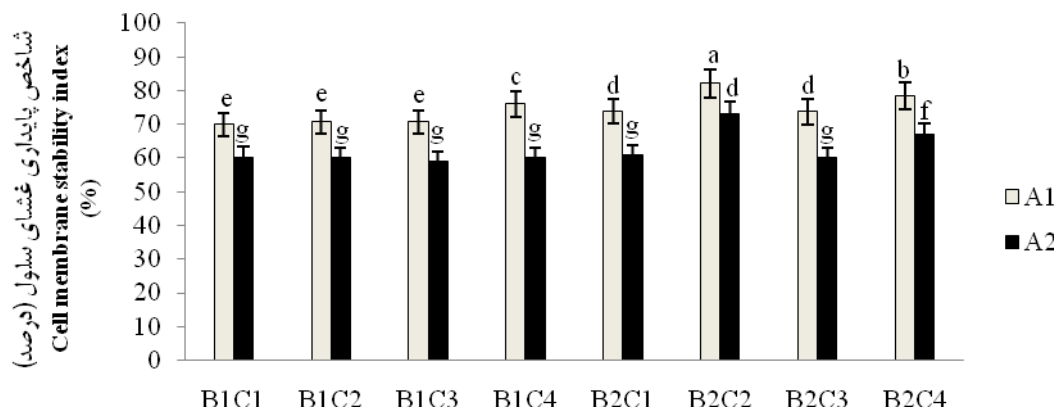
متقابل تاریخ کاشت تأخیری ۱۵ دی ماه × عدم بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول پاشی عنصر بور با میانگین ۵۹/۰۶ درصد به‌دست آمد (شکل ۳). این نتایج با یافته‌های Lee *et al.*, 2005 مبنی بر کاهش شاخص پایداری غشای سلول (افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها) در شرایط درجه حرارت بالا مطابقت داشت. (Parvazi Shandi *et al.*, 2013) در آزمایش خود نشان دادند که تلقیح بذر با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب کاهش شاخص پایداری غشای سلول (افزایش نشت الکترولیت‌ها) برگ پرچم گیاه گندم تحت شرایط تنش خشکی شد، که با نتایج این آزمایش همخوانی نداشت. (Yadavi *et al.*, 2014) گزارش دادند که محلول پاشی عنصر روی موجب افزایش شاخص پایداری غشای سلول (کاهش نشت الکترولیت‌ها) نسبت به شرایط عدم محلول پاشی شد. بور می‌تواند فعالیت آنتی اکسیدانت‌های گیاهی

شاخص پایداری غشای سلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول پاشی عناصر روی و بور بر شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم نان (رقم افلاک) در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول پاشی عناصر روی و بور بر شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم نان (رقم افلاک) نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل تاریخ کاشت مناسب ۳۰ آبان ماه × بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول پاشی عنصر روی با میانگین ۸۲/۱۳ درصد و کم‌ترین آن با ۲۳/۰۷ درصد کاهش در اثرات

هم‌خوانی نداشت، بلکه تأثیر این عناصر در افزایش شاخص پایداری غشای سلول بیشتر به‌صورت اثرات متقابل با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات بود.

را افزایش دهد و در نتیجه آسیب ROS ناشی از تنش دما بر شاخص پایداری غشای سلول را کاهش دهد (Waraich *et al.*, 2012). یافته‌های محققین فوق مبنی بر افزایش شاخص پایداری غشای سلول در نتیجه کاربرد مجزای عناصر روی و بور با نتایج این آزمایش



شکل ۳- اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر شاخص پایداری غشای سلول گندم نان (رقم افلاک)

Figure 3- Interaction of planting date × bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria × elements foliar application of zinc and boron on cell membrane stability index of bread wheat (Aflak cultivar)

A1: تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان)، A2: تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی)، B1: عدم بذر مال، B2: بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، C1: محلول‌پاشی با آب، C2: محلول‌پاشی با روی (سه لیتر در هکتار)، C3: محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار) و C4: محلول‌پاشی با روی + محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار).

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

A1: optimum planting date (21 November), A2: late planting date (5 January), B1: seed non-inoculated, B2: seed inoculation with phosphate bio-fertilizer, C1: foliar application by water (control), C2: foliar application by Zinc (3 lit h^{-1}), C3: foliar application by Boron (3 lit h^{-1}) and C4: foliar application by Zinc (3 lit h^{-1}) + Boron (3 lit h^{-1}).

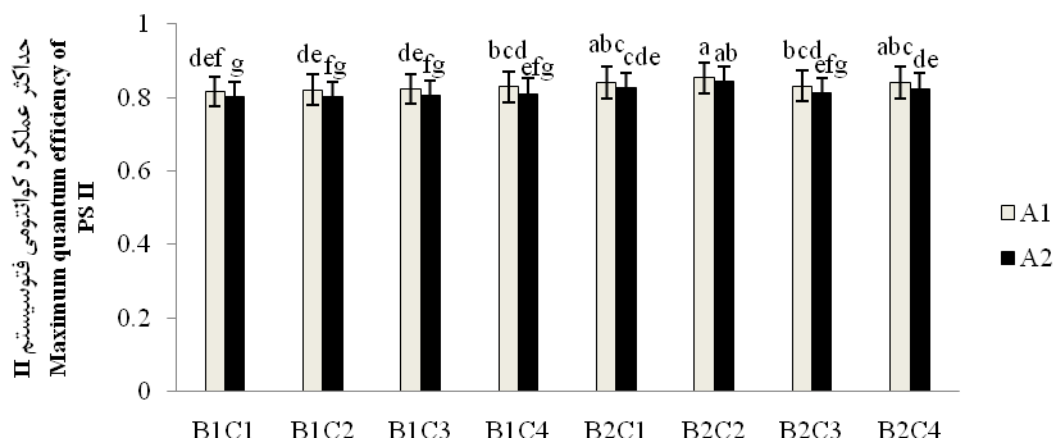
Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level by LSD test.

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تاریخ کاشت × محلول‌پاشی عناصر روی و بور (معنی‌دار بودن در سطح ۵٪)، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) گندم نان (رقم افلاک) در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) گندم نان (رقم افلاک) نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل تاریخ کاشت مناسب ۳۰ آبان‌ماه × بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عنصر روی با میانگین ۰/۸۵۴ و کم‌ترین آن با ۶/۲۰ درصد کاهش در اثرات متقابل تاریخ کاشت تأخیری ۱۵ دی‌ماه × عدم

بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی با آب (شاهد) با میانگین ۰/۸۰۱ به‌دست آمد (شکل ۴). Lu and Zhang (2000) گزارش دادند که در دمای نسبتاً بالا هیچ تغییری در حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) مشاهده نکردند. این یافته Lu and Zhang, 2000 با نتایج این آزمایش هم‌خوانی نداشت. همچنین این نتایج با نتایج به‌دست آمده توسط Shool and Shamshiri, 2014 مبنی بر افزایش حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) در نتیجه کاربرد کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات مطابقت داشت. در گیاهان محلول‌پاشی عناصر غذایی کم مصرف به‌صورت مجزا و ترکیبی باعث کاهش نسبت فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) در شرایط تنش خشکی گردید (Babaeian *et al.*, 2011). نتایج آزمایشات مزرعه‌ای و گلدانی Graham and McDonald, 2001 نشان داد که کاهش در حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) ناشی از درجه حرارت بالا، از طریق افزایش کاربرد عنصر روی به‌خصوص در ژنوتیپ‌های گندمی که با کمبود روی مواجه هستند کاهش یافت. نتایج این آزمایش با

یافته‌های Babaeian *et al.*, 2011 هم‌خوانی نداشت اما با نتایج داشت.
به‌دست آمده توسط Graham and McDonald, 2001 هم‌خوانی



شکل ۴- اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسنتز II گندم نان (رقم افلاک)

Figure 4- Interaction of planting date × bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria × elements foliar application of zinc and boron on maximum quantum efficiency of PSII (Fv/Fm) of bread wheat (Aflak cultivar)

A1: تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان)، A2: تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی)، B1: عدم بذر مال، B2: بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، C1: محلول‌پاشی با آب، C2: محلول‌پاشی با روی (سه لیتر در هکتار)، C3: محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار) و C4: محلول‌پاشی با روی (سه لیتر در هکتار) + محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار).

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

A1: optimum planting date (21 November), A2: late planting date (5 January), B1: seed non-inoculated, B2: seed inoculation with phosphate bio-fertilizer, C1: foliar application by water (control), C2: foliar application by Zinc (3 lit h⁻¹), C3: foliar application by Boron (3 lit h⁻¹) and C4: foliar application by Zinc (3 lit h⁻¹) + Boron (3 lit h⁻¹).

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level by LSD test.

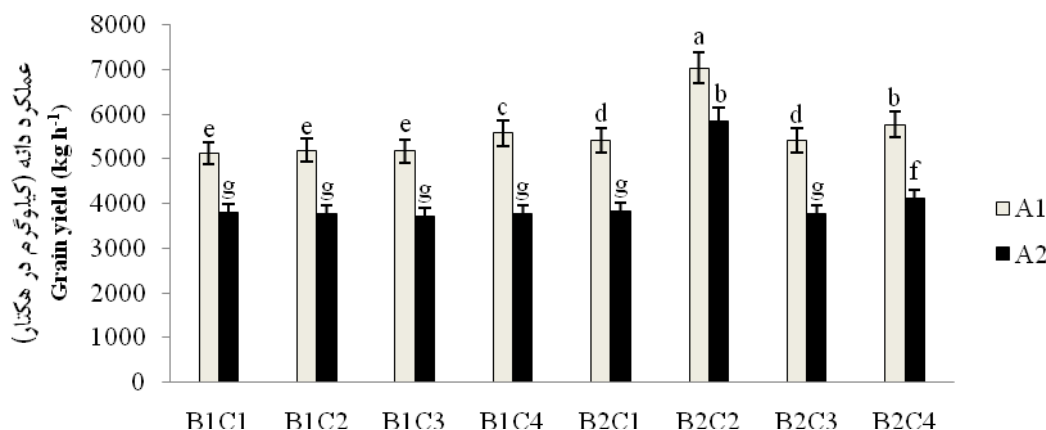
عملکرد دانه

فسفات × محلول‌پاشی عنصر بور با میانگین ۳۷۲۹/۴۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۵). نتایج این آزمایش با نتایج به‌دست آمده توسط Mohammadi, 2012 و Dhyani *et al.*, 2013 مبنی بر کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد گندم در نتیجه برخورد مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه با تنش گرمای انتهایی مطابقت داشت. تلقیح بذور گندم با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات نسبت به عدم تلقیح موجب افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد شد (Bahari Saravi and Pyrdashti, 2013). مصرف فسفر زیستی، سبب افزایش مقاومت گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی و افزایش عملکرد گردید (Koochaki *et al.*, 2008). نتایج به‌دست آمده توسط محققین فوق با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. محلول‌پاشی با عناصر غذایی کم مصرف موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم گردید (Zain *et al.*, 2015). محلول‌پاشی عناصر روی و بور و اثر متقابل آنها بر روی گیاه گندم موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد محلول‌پاشی گردید (Ali *et al.*, 2009). نتایج به‌دست آمده توسط محققین فوق مبنی بر افزایش

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور (معنی‌دار بودن در سطح ۵٪) کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر عملکرد دانه گندم نان (رقم افلاک) در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر عملکرد دانه گندم نان (رقم افلاک) نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل تاریخ کاشت مناسب ۳۰ آبان ماه × بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عنصر روی با میانگین ۷۰۵۴/۶۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن با ۴۷/۱۳ درصد کاهش در اثرات متقابل تاریخ کاشت تأخیری ۱۵ دی ماه × عدم بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده

حل‌کننده فسفات مشاهده گردید و در کاربرد مجزای آنها مشاهده نگردید.

عملکرد دانه با کاربرد عناصر روی و بور تنها در کاربرد تلفیقی روی + بور و اثرات متقابل این عناصر با کود زیستی حاوی باکتری‌های



شکل ۵- اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر عملکرد دانه گندم نان (رقم افلاک)

Figure 5- Interaction of planting date × bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria × elements foliar application of zinc and boron on grain yield of bread wheat (Aflak cultivar)

A1: تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان)، A2: تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی)، B1: عدم بذر مال، B2: بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، C1: محلول‌پاشی با آب، C2: محلول‌پاشی با روی (سه لیتر در هکتار)، C3: محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار) و C4: محلول‌پاشی با روی + محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار).

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

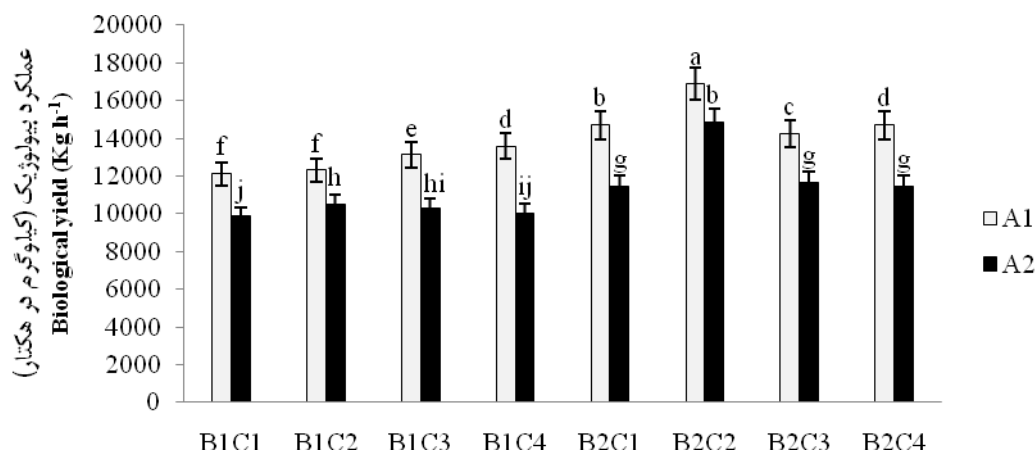
A1: optimum planting date (21 November), A2: late planting date (5 January), B1: seed non-inoculated, B2: seed inoculation with phosphate bio-fertilizer, C1: foliar application by water (control), C2: foliar application by Zinc (3 lit h^{-1}), C3: foliar application by Boron (3 lit h^{-1}) and C4: foliar application by Zinc (3 lit h^{-1}) + Boron (3 lit h^{-1}).

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level by LSD test.

عملکرد بیولوژیک

فسفات × محلول‌پاشی با آب (شاهد) با میانگین $9886/2$ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۶). Moshatati et al. (2012) گزارش دادند که تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت موجب تسریع در مراحل رشد و نمو و کاهش عملکرد بیولوژیک در گیاه گندم شد، که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی داشت. استفاده از کود زیستی به انحلال فسفر خاک کمک کرد و میزان فسفر قابل دسترس را در خاک افزایش داد و دسترسی بیشتر گیاه به فسفر سبب رشد بهتر ریشه و به دنبال آن رشد بیشتر اندام‌های هوایی گیاه گردید (Trollore et al., 2003)، که می‌تواند توجیه‌کننده افزایش بیولوژیک گندم در نتیجه کاربرد کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات باشد. همچنین Ali et al., 2009 در آزمایش خود نشان دادند که کاربرد عناصر روی و بور موجب افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه گندم گردید، که این نتیجه آنها با نتایج این آزمایش مطابقت داشت.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت × محلول‌پاشی عناصر روی و بور، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر عملکرد بیولوژیک گندم نان (رقم افلاک) در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر عملکرد بیولوژیک گندم نان (رقم افلاک) نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل تاریخ کاشت مناسب ۳۰ آبان‌ماه × بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عنصر روی با میانگین $16934/12$ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن با $41/61$ درصد کاهش در اثرات متقابل تاریخ کاشت تأخیری ۱۵ دی‌ماه × عدم بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده



شکل ۶- اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر عملکرد بیولوژیک گندم نان (رقم افلاک)

Figure 6- Interaction of planting date × bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria × elements foliar application of zinc and boron on biological yield of bread wheat (Aflak cultivar)

A1: تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان)، A2: تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی)، B1: بذر مال، B2: بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، C1: محلول‌پاشی با آب، C2: محلول‌پاشی با روی (سه لیتر در هکتار)، C3: محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار) و C4: محلول‌پاشی با روی + محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار).

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

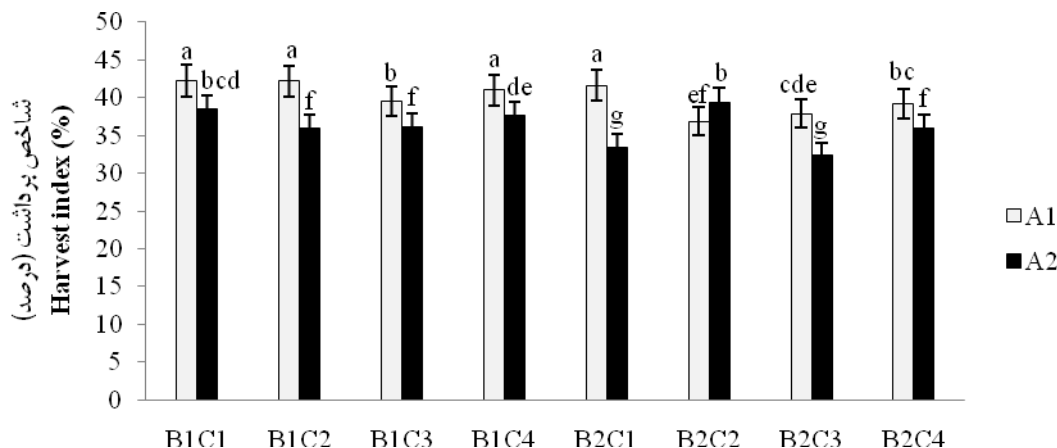
A1: optimum planting date (21 November), A2: late planting date (5 January), B1: seed non-inoculated, B2: seed inoculation with phosphate bio-fertilizer, C1: foliar application by water (control), C2: foliar application by Zinc (3 lit h^{-1}), C3: foliar application by Boron (3 lit h^{-1}) and C4: foliar application by Zinc (3 lit h^{-1}) + Boron (3 lit h^{-1}).

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level by LSD test.

شاخص برداشت

کود زیستی فسفات‌ها سبب توسعه بیشتر ریشه، استفاده بهتر گیاه از آب و مواد غذایی خاک، رشد زایشی بیشتر، افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش شاخص برداشت شد (Mansouri, 2013). در این آزمایش بر خلاف یافته Mansouri, 2013 شاخص برداشت با کاربرد کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات نسبت به عدم کاربرد کاهش نشان داد. (Abdoli et al., 2014) گزارش دادند که محلول‌پاشی عنصر غذایی روی در مراحل مختلف فنولوژیک، غیر از شاخص برداشت سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم نسبت به عدم محلول‌پاشی شد، که این یافته آن‌ها با نتایج این آزمایش همخوانی داشت. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج Jafari Moghadam et al., 2012 مبنی بر افزایش شاخص برداشت با محلول‌پاشی عنصر بور در گیاه گندم نسبت به عدم کاربرد مطابقت نداشت. در این آزمایش مشاهده شد که محلول‌پاشی عناصر روی و بور موجب کاهش شاخص برداشت نسبت به تیمار شاهد گردید. دلیل آن را می‌توان به بیشتر بودن عملکرد بیولوژیک و افزایش مخرج کسر در محاسبه شاخص برداشت در تیمارهای اعمال محلول‌پاشی با عناصر روی و بور نسبت به تیمار شاهد نسبت داد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غیر از اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تاریخ کاشت × محلول‌پاشی عناصر روی و بور، کلیه اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت، کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر شاخص برداشت گندم نان (رقم افلاک) در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر شاخص برداشت گندم نان (رقم افلاک) نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت در اثرات متقابل تاریخ کاشت مناسب ۳۰ آبان ماه × عدم بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی با آب با میانگین ۴۲/۴ درصد و کم‌ترین آن با ۱۰/۱ درصد کاهش در اثرات متقابل تاریخ کاشت تأخیری ۱۵ دی ماه × بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عنصر بور با میانگین ۳۲/۳ درصد به‌دست آمد (شکل ۷). نتایج این آزمایش با یافته‌های Dhyani et al., 2013 مبنی بر کاهش شاخص برداشت با تأخیر در کاشت مطابقت داشت. استفاده از



شکل ۷- اثر متقابل تاریخ کاشت × کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات × محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر شاخص برداشت گندم نان (رقم افلاک)

Figure 7- Interaction of planting date × bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria × elements foliar application of zinc and boron on harvest index of bread wheat (Aflak cultivar)

A1: تاریخ کاشت مناسب (۳۰ آبان)، A2: تاریخ کاشت تأخیری (۱۵ دی)، B1: عدم بذر مال، B2: بذر مال با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات، C1: محلول‌پاشی با آب، C2: محلول‌پاشی با روی (سه لیتر در هکتار)، C3: محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار) و C4: محلول‌پاشی با روی (سه لیتر در هکتار) + محلول‌پاشی با بور (سه لیتر در هکتار).

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

A1: optimum planting date (21 November), A2: late planting date (5 January), B1: seed non-inoculated, B2: seed inoculation with phosphate bio-fertilizer, C1: foliar application by water (control), C2: foliar application by Zinc (3 lit h^{-1}), C3: foliar application by Boron (3 lit h^{-1}) and C4: foliar application by Zinc (3 lit h^{-1}) + Boron (3 lit h^{-1}).

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level by LSD test.

نتیجه‌گیری

حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور، کاربرد عنصر روی نسبت به کاربرد تلفیقی آن با بور توانست تأثیر بیشتری در کاهش اثرات مضر ناشی از تأخیر در کاشت داشته باشد. بین صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده و صفات زراعی غیر از شاخص برداشت ارتباط مثبت و معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که بهبود صفات فیزیولوژیک تحت اعمال تیمارهای تلقیح بذر با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر روی و بور موجب افزایش عملکرد گندم و عملکرد بیولوژیک گندم نان (رقم افلاک) تحت تاریخ‌های کاشت مناسب و تأخیری گردید. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که از روش‌های مدیریتی مناسب از جمله تاریخ کاشت مطلوب، تلقیح بذر با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی عناصر غذایی کم مصرف به‌خصوص روی می‌توان در جهت بهبود صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان در مناطق گرمسیری از جمله شهرستان رامهرمز بهره برد.

تأخیر در کاشت به‌دلیل تنش گرمای انتهایی غیر از میزان پرولین موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ (SPAD)، میزان پرولین برگ، شاخص پایداری غشاء سلول، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گندم نان (رقم افلاک) گردید. تیمار تلقیح بذر با کود زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات نسبت به تیمار محلول‌پاشی عناصر روی و بور غیر از شاخص برداشت تأثیر بیشتری در بهبود صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (رقم افلاک) نشان داد. با این حال، کاربرد مجزای هر دو عامل نیز غیر از شاخص برداشت موجب کاهش اثرات زیان‌بار تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت بر صفات مورد اندازه‌گیری، گردید. در بین سطوح مختلف محلول‌پاشی، کاربرد تلفیقی عناصر روی + بور غیر از شاخص برداشت در بهبود صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان (رقم افلاک) مؤثرتر بود. در بین اثرات متقابل کود زیستی حاوی باکتری‌های

References

1. Abdoli, M., Esfandiari, E., Mousavi, B., and Sadeghzadeh, B. 2014. Effects of foliar application of zinc sulfate at different phenological stages on yield formation and grain zinc content of bread wheat (cv. Kohdasht). Azarian Journal of Agriculture 1 (1): 11-17. (in Persian).
2. Abd El-Gawad, A. M. 2008. Employment of bio-organic griculture technology for *Zea mays* L. cultivation in

- some desert soils. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 4: 553-565.
3. Ahmadi Lahijani, M. J., and Emam, Y. 2013. Responses of wheat genotypes to late-season drought stress using physiological indicators. *Journal of crop production and processing* 3 (9): 163-175. (in Persian).
 4. Ali, S., Shah, A., Arif, M., Miraj, G., Ali, I., Sajjad, M., Farhatollah, M., Khan, Y., and Khan, M. 2009. Enhancement of wheat grain yield components through foliar application of zinc and boron. *Sarhad Journal of Agriculture* 25 (1): 15-19.
 5. Aown, M., Raza, S., Saleem, M. F., Anjum, S. A., Khaliq, T., and Wahid, M. A. 2012. Foliar application of potassium under water deficit conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *The Journal of Animal & Plant Sciences* 22 (2): 431-437.
 6. Asgarnejad, M. R., Zarei, Gh., and Zarezadeh, A. 2015. Effects of planting date and plant density on yield and yield components of *Brassica nigra* under Abarkooh climatic conditions. *Journal of Crop Production* 8 (3): 183-198. (in Persian).
 7. Asthir, B., Thapar, R., Farooq, M., and Singh Bains, N. 2012. Exogenous application of thiourea improves the performance of late sown wheat by inducing terminal heat resistance. *International Journal of Agriculture and Biology* 15: 1337-1342.
 8. Babaeian, M., Heidari, M., and Ghandari, M. 2011. Effect of drought stress and foliar micronutrients on physiological characteristics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science* 2 (4): 377-391. (in Persian).
 9. Bahari Saravi, H., and Pyrdashti, H. A. 2013. Evaluation of plant growth promoting bacteria (PGPR) and phosphate solubilizing (PSM) on yield and yield components wheat (N80 cultivar) at different levels of nitrogen and phosphorus in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10 (4): 681-689. (in Persian).
 10. Barr, H. D., and Weatherley, P. E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Australian Journal of Biological Science* 15 (1): 413-428.
 11. Bates, L. S., Waldern, R. P., and Teare, E. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
 12. Cakmak, I., Wolfgang, H. P., and Bonnie, M. C. 1996. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry* 73 (1): 10-20.
 13. Dhyani, K., Ansari, M. V., Roa, Y., Verma, R. S., Shukla, A., and Tuteja, N. 2013. Comparative physiological response of wheat genotypes under terminal heat stress. *Plant Signaling and Behavior* 8 (6) e24564: 1-6.
 14. Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh Zadeh, A., and Pirzad, A. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. *Journal of Phytology* 2: 73-79.
 15. Graham, A. W., and McDonald, G. K. 2001. Effect of zinc on photosynthesis and yield of wheat under heat stress. *Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference 2001*, Australian Society of Agronomy. Hobart, Tasmania, Australia.
 16. Jafari Moghadam, M., Heidari Sharifabad, H., Noormohamadi, G., Sadeghian Motahar, Y., and Siadat, A. 2012. The Effect of Zinc, Boron and Copper Foliar Application, on Yield and Yield Components in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Annals of Biological Research* 3 (8): 3875-3884.
 17. Jalal Kamali, M. R., and Duveiller, E. 2008. Wheat Production and Research in Iran: A Success Story. In *International Symposium on Wheat Yield Potential, Challenges to International Wheat Breeding*. 2008. Mexico, D.F. CIMMYT.
 18. Karmollachaab, A., and Gharineh, M. H. 2013. Effect of Zinc Element on Growth, Yield Components and some Physiological Characteristics of Maize under NaCl Salinity Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11 (3): 446-453. (in Persian).
 19. Koochaki, A., Tabrizi, L., and Ghorbani, R. 2008. Effect of biofertilizers on agronomic and quality criteria of Hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 6 (1): 127-138. (in Persian).
 20. Kumar, R., Goswami, S., Sharma, S. K., Singh, K., Gadpayle, K. A., and Kumar, N. 2012. Protection against heat stress in wheat involves change in cell membrane stability, antioxidant enzyme, osmolyte, H₂O₂ and transcript of heat shock protein. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 4 (4): 83-91.
 21. Lee, D. G., Ahsan, N., Lee, S. H., and Kang, K. Y. 2005. A proteomic approach in analyzing heat-responsive proteins in rice leaves. *Proteomics*. 7 (18): 3369-3383.
 22. Lu, C. M., and Zhang, J. H. 2000: Heat-induced multiple effects on PSII in wheat plants. *Journal of Plant Physiology* 156: 259-265.
 23. Lutts, S., Kinet, J. M., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Journal of Annals of Botany* 78: 389-398.
 24. Mansouri, I. 2013. Response of promising line N8119 of wheat to application of phosphate bio-fertilizer. *Agricultural Crop Management (Journal of Agriculture)* 15 (1): 125-134. (in Persian).
 25. Mansouri, H., and Hosseinpour, S. 2015. The parent specialized company and government commercial of Iran. *Cereal Research Centre. International Grains Council*: 97-93. (in Persian).
 26. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd ed. Academic Press, New York.

27. Modhej, A., and Fathi, Gh. 2008. Wheat Physiology. Islamic Azad University Puplication (Shushtar branch). pp 317. (in Persian).
28. Moeinian, M. R., Zargari, K., and Hassanpour, J. 2011. Effect of boron foliar spraying application on quality characteristics and growth parameters of wheat grain under drought stress. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 10 (4): 593-599.
29. Mohammadi, M. 2012. Effects of kernel weight and source limitation on wheat grain yield under heat stress. *African Journal of Biotechnology* 11 (12): 2931-2937.
30. Molassiotis, A., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G., and Therios, I. 2006. Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9 (*Malus domestica Borkh*). *Environmental and Experimental Botany* 56 (1): 54-62.
31. Moshattati, A., Alami-Saied, Kh., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A. M., and Jalal-Kamali, M. R. 2010. Evaluation of terminal heat stress tolerance in spring bread wheat cultivars in Ahwaz conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences* 12 (2): 85-99. (in Persian).
32. Mousavi, S. R., Galavi, M., and Ahmadvand, G. 2007. Effect of Zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato. *Asian Journal of Plant Sciences* 6 (1): 1256-1260.
33. Naiman, A. D., Latronico, A., and Salamon, G. 2009. Inoculation of wheat *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. *European Journal of Soil Biology* 45 (1): 44-51.
34. Parvazi Shandi, S., Pazoki, A. R., Asgharzadeh, A., Azadi, A., and Paknejad, F. 2013. Effect of irrigation interval, humic acid and plant growth promoting rhizobacteria on physiological characteristics of kavir cultivar wheat. *Crop Physiology Journal* 5 (18): 19-33. (in Persian).
35. Radmehr, M. 1997. Effect of heat stress on physiology of growth and development of wheat. Ferdowsi University Press. pp. 201. (in Persian).
36. Shool, A., and Shamshiri, M. H. 2014. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescence* on chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments of pistachio seedlings (*Pistacia vera* cv. Qazvini) under four water regimes. *European Journal of Experimental Biology* 4 (3): 246-252.
37. Trolore, S. N., Hedley, M. J., Kirk, N., Bolan, S., and Loganathan, P. 2003. Changes in phosphorous fractions, pH, and phosphates activity in rhizosphere of two rice genotypes. *Australian Journal of Soil Research* 41 (1): 471-499.
38. VanKooten, O., and Snel, J. F. H. 1990. The use of chlorophyll flurescence nomenclature in plant strees physiology. *Photosynthesis Research* 25 (3): 147-150.
39. Wang, J. M., Zhao, H., Huang, D., and Wang, Z. 2012. Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. *Field Crops Research* 135 (1): 89-96.
40. Waraich, E. A., Ahmad, R., Halim, A., and Aziz, T. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12 (2): 221-244.
41. Yadavi, A. R., Saeidi Aboueshaghi, R., Movahhedi Dehnavi, M., and Balouchi, H. 2014. Effect of micronutrients foliar application on grain qualitative characteristics and some physiological traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* ISSN 4 (4): 124-131.
42. Yassen, A., Abou El-Nour, E., and Shedeed, S. 2010. Response of wheat to foliar Spray with urea and micronutrients. *Journal of American Science* 6 (9): 14-22.
43. Yousefpoor, Z., and Yadavi, A. R. 2013. Effect of Biological and Chemical Fertilizers of Nitrogen and Phosphorus on Quantitative and Qualitative Yield of Sunflower. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 24 (1): 95-112. (in Persian).
44. Zain, M., Khan, I., Khan Qadri, R. W., Ashraf, U., Hussain, S., Minhas, S., Siddique, A., Muzammil Jahangir, M., and Bashir, M. 2015. Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield and related attributes. *American Journal of Plant Sciences* 6 (7): 864-869.
45. Zhao, Ai-Qing. 2011. Combined effect of iron and zinc on micronutrient levels in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Environmental Biology* 32 (2): 235-239.
46. Zoz, T., Steiner, F., Fey, R., Dalazen Castagnara, D., and Pereira Seidel, E. 2012. Response of wheat to foliar application of zinc. *Ciência Rural, Santa Maria* 42 (5): 784-787.



Effects of Planting Date, Bio-fertilizer Containing P Solubilizing Bacteria and Elements Foliar Application of Zinc and Boron on Physiological and Agronomic Traits of Bread Wheat (Aflakcultivar)

H. Kamaei¹- H. R. Eisvand^{2*}- F. Nazarian³

Received: 15-12-2016

Accepted: 12-07-2017

Introduction

Wheat, being a major source of human food, occupies a significant portion of cultivated area of globe mostly located in altitude from a few meters to more than 3,000 m above sea level. High temperature resulting from delay in planting date is one major environmental factor limiting growth and productivity of wheat. Plants need phosphorus in relatively large quantities, and its role cannot be played by any other elements. Phosphate bio-fertilizers bacteria such as *Bacillus* and *Pseudomonas* increased soil soluble phosphorus by secreting organic acids and phosphatase enzyme. In most of the Iranian soils pH is high and they are also calcareous. In this type of soils, solvability of micronutrients is less and it decreases absorption of micronutrients by plant, finally requirement of plants increases to this elements. This experiment was conducted to study the effects of planting date, Bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria and elements foliar application of zinc and boron on physiological and agronomic traits of bread wheat (Aflakcultivar).

Materials and Methods

To study the effects of planting date, bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria and elements foliar application of zinc and boron on physiological and agronomic traits of bread wheat (Aflakcultivar), an experiment was conducted at split factorial design based on randomized complete blocks with 16 treatments and three replications in Ramhormoz city in farming Year 2015-16. The experimental factors were included planting date in two levels (21 November and 5 January) as the main factor and use of bio-fertilizer in two levels of seed non-inoculated and seed inoculation with phosphate solubilizing bacteria and elements foliar application of zinc and boron in four levels by water (control), zinc (3 L ha⁻¹), boron (3 L ha⁻¹) and zinc (3 L ha⁻¹) + boron (3 L ha⁻¹) to form of factorial as sub factor. Solutions for foliar application were prepared by using Zinc- chelate (7.5%) and Boron (5%). In this experiment, traits measured were involved leaf chlorophyll index (SPAD), leaf proline content, cell membrane stability index, maximum quantum efficiency of PSII (Fv/Fm), grain yield, biological yield and harvest index. To determine leaf chlorophyll index (SPAD), digital chlorophyll meter (SPAD-502) was used. To determine leaf proline content Bates *et al.*, (1973) method was used. To determine cell membrane stability index (CMSI) Lutts *et al.*, (1996) method was used and according to equation 1. The Fv/Fm was measured with a portable Photosynthetic Efficiency Analyser PEA (Walz, Germany) and according to equation 2.

$$1: CMSI = (1 - (EC_1 / EC_2)) \times 100$$

$$2: Fv/Fm = (Fm - F_0) / Fm$$

Where in this equation EC₁ is primary electrical conductivity, EC₂ is secondary electrical conductivity, Fm is the maximum fluorescence, F₀ is the minimum fluorescence, and Fv is the variable fluorescence (Fm-F₀). Grain yield was estimated after physiological maturity and through total spikes harvested from the level of 1 m² per plot and after removing 0.5 m from the beginning and end respective planting rows. To measure the biological yield at maturity, after removing 0.5 m from the beginning and end respective planting rows from the level of 1 m² per plot all the plants were harvested and weighted for each plot separately. Harvest index was determined by the equation grain yield/biological yield × 100. Analysis of variance was performed by using general linear model (GLM) procedure of statistical analysis system (SAS version: 9.1). Traits means were compared by LSD test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that with delay in planting due to terminal heat stress all traits such as leaf chlorophyll

1- PhD student, Faculty of Agriculture, Lorestan University

2- Associate Professor, Department of Agronomy and plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University

3- Professor, Department of Agronomy and plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University

(*- Corresponding Author Email: eisvand.hr@lu.ac.ir)

index (SPAD), cell membrane stability index, Fv/Fm, grain yield, biological yield and harvest index except leaf proline content decreased significantly. Seed inoculation with bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria improved significantly all physiological and agronomic traits of bread wheat (Aflakcultivar) except harvest index in both the optimum planting dates and delayed. Between the different levels elements foliar application of zinc and boron, combined application of zinc+boron was more effective on physiological and agronomic traits of bread wheat (Aflakcultivar), and could reduce the harmful effects caused by the delay in planting. The interaction of seed inoculation with bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria and elements foliar application of zinc and boron except harvest index improved significantly harmful effects caused by the delay in planting on traits leaf chlorophyll index (SPAD), leaf proline content, cell membrane stability index, Fv/Fm, grain yield and biological yield to values 3.37%, 12.29%, 6.48%, 3.02%, 17.25% and 24.04%, respectively. Between interaction of bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria and elements foliar application of zinc and boron, the use of zinc nutrient than application of combining it with boron was more effective in reducing the harmful effects resulting from delay in planting.

Conclusions

In general it can be concluded that the optimum planting date (21 November), seed inoculation with bio-fertilizer containing phosphate solubilizing bacteria and elements foliar application of zinc and boron especially zinc, is three strategies appropriate management to improve physiological and agronomic traits of bread wheat (Aflakcultivar) in the Ramhormoz city.

Keywords: Cereals, Chlorophyll, Heat stress, Micronutrients



بررسی اثر تراکم بر میزان فتوستت و شاخص‌های رشد اکوتیپ‌های حنا (*Lowsonia inermis* L.)

امین پسندی پور^۱ - حسن فرح بخش^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۳۱

چکیده

تعیین تراکم بهینه یکی از عوامل مهم برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد در هر شرایط اقلیمی و هر رقم گیاهی می‌باشد. حنا با نام علمی *Lowsonia inermis* L. گیاهی چند ساله است که از لحاظ دارا بودن خواص دارویی و کاربردهای صنعتی از ارزش بالایی برخوردار است. این تحقیق به منظور بررسی واکنش‌های زراعی-فیزیولوژیک اکوتیپ‌های مختلف گیاه حنا (شهداد، بم و رودبار) به تراکم‌های مختلف کاشت (۲۵، ۳۳، ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع) در شرایط آب و هوایی کرمان به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد اکوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ شاخص‌های سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و میزان هدایت روزنه‌ای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند و بیشترین میانگین این صفات مربوط به اکوتیپ شهداد بود. بین تراکم‌های مورد بررسی نیز از لحاظ اکثر صفات اندازه‌گیری شده اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین حاکی از حصول بیشترین مقدار شاخص سرعت رشد محصول و کمترین میزان فتوستت، هدایت روزنه‌ای و تعرق از تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع بود. به‌طور کلی در این تحقیق اگرچه رقم شهداد برتری معنی‌داری در سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول نسبت به دو اکوتیپ بم و رودبار داشت ولی عملکرد خشک کل و خشک برگ این اکوتیپ‌ها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج این تحقیق نشان داد که تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع این گیاه برای سال اول کاشت از نظر عملکردی مناسب‌تر از سایر تراکم‌ها بوده ولی برای سال‌های دوم به بعد با توجه به رشد پیکره گیاه نیاز به تحقیق بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اکوتیپ، سرعت رشد محصول، عملکرد، فاصله روی ردیف، هدایت روزنه‌ای

(Chaudhary et al., 2010).

مقدمه

این گیاه بومی شمال آفریقا و جنوب آسیا بوده که در کشورهای آسیای جنوبی مانند هند، ایران، پاکستان و امارات متحده عربی به‌طور گسترده‌ای در مراسم‌های مذهبی جوامع هندو و مسلمان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kumar Singh et al., 2015).

محصول گیاه حنا ماده‌ای طبیعی و غیرسمی و فاقد اثرات شدید است و با توجه به سایر مزیت‌های آن از جمله ارزانی و در دسترس بودن آن برای مردم کشورهای در حال توسعه می‌تواند به‌عنوان یک شانس واقعی برای درمان و پیشگیری عفونت‌های پوستی مطرح شود (Behdani et al., 2009). این گیاه دارای اثر ضد باکتری خصوصاً در باکتری‌های گرم مثبت می‌باشد. همچنین دارای اثر ضد قارچی در قارچ‌های مولد کچلی تریکوفایتون، اسپروتریوم و کریپتوکوکوس است؛ اثر ضد باکتری و ضد قارچی حنا را به لاوسون نسبت می‌دهند (Al-Rubiay et al., 2008). ازجمله دیگر خواص حنا اثر ضد سرطانی آن است، عصاره کلروفومی حنا بر علیه لاین سلولی کبد و پستان دارای اثرات سیتوتوکسیک قوی بوده و با سرکوب بیان ژن

حنا (*Lowsonia inermis* L.) گیاهی است بوته‌ای با شاخه‌های زیاد و بدون کرک و ارتفاع آن به چهار متر نیز می‌رسد. برگ‌های حنا کوچک، بیضوی، نوک تیز، لبه‌دار و قهوه‌ای متمایل به سبز تا قهوه‌ای تیره به‌صورت متقابل روی شاخه قرار دارند. شاخه‌های حنا دارای مقطع مربعی شکل بوده و به رنگ سبز هستند که با افزایش سن گیاه به قرمز متمایل می‌شوند. گل‌آذین این گیاه خوشه‌ای و بزرگ است که دارای تعداد زیادی گل کوچک و معطر می‌باشد. میوه گیاه حنا کپسولی به رنگ قهوه‌ای است. در زمان رسیدن، میوه‌ها به‌صورت نامنظم باز شده و چهار قسمت می‌شوند. هر بوته تعداد زیادی بذر تولید می‌کند. بذرهای گیاه حنا هرمی، صاف، سخت و به رنگ قهوه‌ای متمایل به خرمایی هستند که اندازه آنها دو میلی‌متر است

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکترا (عضو انجمن پژوهشگران جوان) و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(*)- نویسنده مسئول: (Email: hfarahbakhsh@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.61146

عملکرد در واحد سطح تأثیر می‌گذارد. شناخت و بررسی شاخص‌های رشد در تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر در عملکرد از اهمیت زیادی برخوردار بوده و به کمک آنها می‌توان با توصیف کمی رشد و نمو، تولید محصول را ارزیابی کرد (Moradhajati and Shokuhfar, 2016). با توجه به اهمیت گیاه حنا و با عنایت به این که در مورد بهبود روش کاشت این گیاه تاکنون تحقیقی صورت نگرفته است، این تحقیق به منظور تعیین مناسب‌ترین اکوتیپ و تراکم کاشت برای تولید ماده خشک برگ و همچنین بررسی سازگاری و امکان کاشت گیاه حنا در منطقه کرمان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. آزمایش شامل چهار تراکم بوته (۲۵، ۳۳، ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع) و سه اکوتیپ (شهداد، رودبار و بم) بود. به دلیل ریز بودن بذور و همچنین مشکلات جوانه‌زنی از روش نشاء کاری استفاده شد. کاشت در اواسط فروردین ماه و در شرایط گلخانه درون سینی‌های نشاء ۱۰۵ خانه‌ای با عمق پنج سانتی‌متر و حجم ۲۵ سی‌سی انجام شد. سینی‌های نشاء با مخلوطی از شن ریز (۵۰ درصد) و کوکوپیت (۵۰ درصد) پر شده و بذور به‌صورت سطحی روی آن کشت شدند. آبیاری سینی‌های نشاء تا سبز شدن گیاهان به‌صورت روزانه ادامه یافت و پس از آن تا زمان انتقال به‌صورت یک روز در میان انجام شد. انتقال نشاءها به زمین اصلی در اواخر خرداد ماه و هنگامی که گیاهچه‌ها در مرحله شش تا هشت برگی بودند صورت پذیرفت. کاشت در مزرعه در پلات‌های سیمانی یک متر مکعبی که مجهز به زهکش بودند انجام شد. تمامی کود پتاس و فسفر و یک سوم کود ازت مورد نیاز بعد از عملیات تهیه بستر به خاک اضافه شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. نشاءها در ردیف‌هایی با فاصله ۲۰ سانتی‌متری از یکدیگر و همچنین فواصل روی ردیف ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر کشت گردیدند.

در این تحقیق شاخص‌های رشدی از قبیل شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد گیاه (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، نسبت سطح برگ (LAR)، سطح ویژه برگ (SLA)، وزن مخصوص برگ (SLW)، دوام سطح برگ (LAD) و دوام زیست توده (BMD) محاسبه شدند. شاخص‌های رشد طی دو مرحله نمونه‌برداری در اوایل و اواسط شهریور ماه اندازه‌گیری شدند (Koocheki and Sarmadnia, 2006).

Myc-c که در رشد سلولی نقش مهمی دارد، باعث مهار رشد سلول‌های سرطانی می‌شود (Endrini et al., 2007). همچنین حنا در طب سنتی در درمان بیماری‌های مختلف از جمله اختلال قاعدگی، ادم، رماتیسم، برونشیت و هموروئید مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bich et al., 2004).

عملیات کاشت حنا در استان کرمان از اواسط اسفند تا اواخر اردیبهشت ماه متغیر می‌باشد. بررسی فنولوژیکی این گیاه نشان داد که به‌طور متوسط بین ۱۲ تا ۱۴ روز پس از کاشت بذرها جوانه زده و از خاک خارج می‌شوند. شکفتن گل‌ها در گیاه به‌طور متوسط حدود ۹۰ روز پس از کاشت آغاز می‌شود و به‌طور مداوم ادامه می‌یابد. سرعت گلدهی با شروع ماه‌های گرم (تیر و مرداد) کند شده ولی مجدداً در اواخر دوره رشد با خنک‌تر شدن هوا سرعت می‌گیرد. در مناطق مختلف نیز رسیدگی کامل میوه از اواخر مهر تا اواخر آبان ماه می‌باشد. تعداد چین برداشتی تحت تأثیر تاریخ کاشت، تعداد آبیاری و چند ساله بودن گیاه بین دو تا سه چین متغیر است. کل دوره رشد گیاه به‌طور متوسط بین ۱۹۰ تا ۲۲۰ روز استان کرمان متغیر می‌باشد (Pasandi et al., 2018).

تراکم یکی از عوامل مهم در تعیین عملکرد محصولات زراعی محسوب می‌شود. به‌عنوان یک اصل کلی همواره در تراکم‌های بیش از تراکم مطلوب، رقابت درون‌گونه‌ای باعث کاهش عملکرد شده و بالعکس در تراکم‌های کمتر از حد مطلوب از امکانات محیطی اعم از نور، فضا، آب و خاک به نحو مطلوب استفاده نشده و در نهایت عملکرد نیز کاهش خواهد یافت (Martin and Deo, 2000). لذا، حداکثر بهره‌برداری از عوامل لازم جهت رشد گیاه وقتی حاصل می‌شود که جمعیت گیاهی حداکثر فشار را بر تمام عوامل تولید وارد نماید. تراکم کاشت به عوامل مختلفی مانند خصوصیات گیاه زراعی و طول دوره رشد آن، زمان و روش کاشت، وضعیت حاصلخیزی خاک، عملیات مدیریتی در مزرعه و روش برداشت بستگی دارد (Nour-Mohamadi et al., 2010).

جامعه گیاهی در تراکم‌های بالا در مراحل ابتدایی رشد وزن خشک بیشتری نسبت به تراکم‌های پایین تولید می‌کند (Morrison, 1990). همچنین بیان شده است در تراکم‌های پایین غلات با اینکه مقدار سرعت رشد محصول در ابتدای دوره رشد کمتر است ولی سرعت افزایش آن بیشتر است (Lebaschi, 1992). با بررسی اثر تراکم بوته بر میزان فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای گیاه سویا (*Glycine max*) بیان شد با افزایش تراکم بوته از ۳۰۰ هزار به ۵۰۰ هزار بوته در هکتار، میزان فتوسنتز خالص کاهش ولی میزان هدایت روزنه‌ای افزایش یافته است (Sadeghi et al., 2015).

نحوه توزیع و تراکم بوته‌ها در مزرعه بر جذب و بهره‌وری گیاه از عوامل محیطی تأثیر گذاشته و از طریق تغییر در شاخص‌های رشد، بر

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه محل انجام آزمایش

مشخصات خاک	Soil properties	عمق ۰ تا ۶۰ سانتی متر 0 to 60 cm depth
بافت خاک	Soil texture	Sandy-Loam
نیتروژن	Nitrogen (%)	0.05
فسفر	Phosphorus (ppm)	16
پتاسیم	Potassium (ppm)	242
هدایت الکتریکی	EC (dS/m)	4.31
اسیدیته	pH	8.07
ماده آلی	Organic matter (%)	0.06

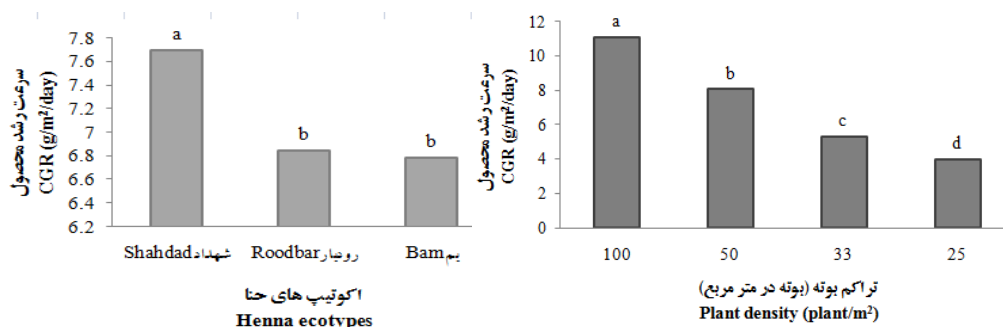
تراکم‌های ۱۰۰ و ۲۵ بوته در مترمربع بود (شکل ۱). تحقیق بر روی ارقام آفتابگردان نشان داد که سرعت رشد محصول در تراکم ۱۲ بوته در مترمربع نسبت به تراکم ۶ بوته در مترمربع افزایش یافت (Ghalandari *et al.*, 2009). افزایش سرعت رشد محصول در تراکم‌های بالاتر گیاهی را می‌توان به دلیل افزایش تعداد گیاه در واحد سطح و در نتیجه افزایش شاخص سطح برگ دانست که در این تحقیق نیز با افزایش تراکم، شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت. مطابق با نتایج این تحقیق گزارش شده است با افزایش تراکم در گیاه جو از ۲۵۰ تا ۴۰۰ بذر در مترمربع، سرعت رشد محصول نیز افزایش یافت (Moradhajati and Shokuhfar, 2016).

سرعت رشد نسبی (RGR): سرعت رشد نسبی افزایش ماده خشک به بیوماس کل گیاه در واحد زمان است (Campos *et al.*, 2008) و نشان‌دهنده توانایی گیاهان در جذب و کارایی مصرف منابع است. تراکم‌های مختلف از نظر سرعت رشد نسبی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند ($P > 0.05$) ولی بین اکوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری ملاحظه شد (جدول ۲). اکوتیپ شهداد با میانگین ۰/۱۸ گرم در گرم در روز به‌طور معنی‌داری در مقایسه با اکوتیپ‌های رودبار و بم از سرعت رشد نسبی بیشتری برخوردار بود (شکل ۲).

میزان فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و تعرق نیز در اواسط دوره رشد گیاه با استفاده از دستگاه فتوسنتز متر مدل CI-340 ساخت شرکت CID Bio- Science آمریکا اندازه‌گیری شدند. در اواخر مهر ماه با برداشت گیاهان از ارتفاع ۵ سانتی‌متری سطح خاک و خشک کردن آنها در آون تهویه‌دار در حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، عملکرد خشک برگ و عملکرد خشک کل محاسبه گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. جهت محاسبات آماری و مقایسه میانگین‌ها، نرم‌افزارهای SAS و MSTAT-C مورد استفاده قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

سرعت رشد محصول (CGR): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار اکوتیپ و تراکم در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.001$) برای این شاخص معنی‌دار گردید (جدول ۲). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود بیشترین سرعت رشد محصول مربوط به اکوتیپ شهداد بود که اختلاف معنی‌داری با دو اکوتیپ دیگر داشت درحالی‌که بین اکوتیپ‌های رودبار و بم اختلاف معنی‌داری از این حیث وجود نداشت. افزایش تراکم کاشت منجر به افزایش معنی‌دار این شاخص گردید به‌گونه‌ای که بیشترین و کمترین آن به‌ترتیب مربوط به



شکل ۱- اثر اکوتیپ و تراکم کاشت بر سرعت رشد محصول گیاه حنا

Figure 1- The effect of ecotype and planting density on CGR of Henna plant

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های رشد گیاه حنا

Table 2- Variance analysis of Henna growth indexes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	سرعت رشد محصول CGR	سرعت رشد نسبی RGR	شاخص سطح برگ LAI	نسبت سطح برگ LAR	سطح ویژه برگ SLA	وزن مخصوص برگ SLW	دوام سطح برگ LAD	دوام بیوماس BMD
بلوک	Block	2	0.191	0.000001	0.0032	5.671	19.534	5.8*10 ⁻⁷	4.645
اکوتیپ	Ecotype (E)	2	3.082**	0.00002**	0.002 ^{ns}	1.707 ^{ns}	154.3 ^{ns}	1*10 ^{-6ns}	1.606 ^{ns}
تراکم	Density(D)	3	89.33**	0.0000005 ^{ns}	6.966**	10895 ^{ns}	155.1 ^{ns}	1.8*10 ^{-6ns}	4130**
تراکم×اکوتیپ	E×D	6	0.198 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.013 ^{ns}	7.669 ^{ns}	109.5 ^{ns}	9.6*10 ^{-7ns}	7.3 ^{ns}
خطا	Error	22	0.180	0.0000007	0.017	5.827	66.63	7*10 ⁻⁷	9.218
ضریب تغییرات	C.V	-	5.9	5.06	6.52	5	7.2	8.99	2.48

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

ns and **: no significant and significant at the 1% probability levels.

جدول ۳- تجزیه واریانس فتوسنتز خالص، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای و عملکرد گیاه حنا

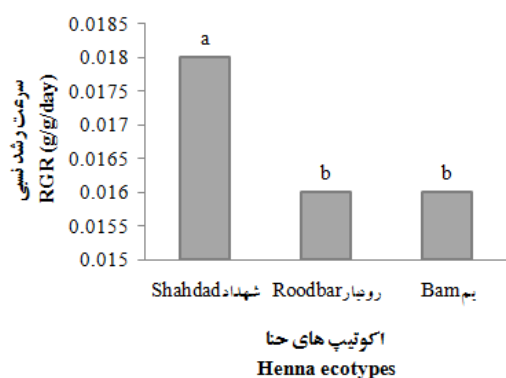
Table 3- Variance analysis of net photosynthesis, transpiration rate, stomatal conductance and yield in Henna

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	فتوسنتز خالص Net photosynthesis	سرعت تعرق Transpiration rate	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	عملکرد خشک کل Total dry yield	عملکرد خشک برگ Leaf dry yield
بلوک	Block	2	0.483	0.181	32.695	216.08
اکوتیپ	Ecotype (E)	2	0.538 ^{ns}	0.094 ^{ns}	444.8*	79.426 ^{ns}
تراکم	Density(D)	3	13.328**	11.458**	2422**	186871**
تراکم×اکوتیپ	E×D	6	0.175 ^{ns}	0.0310 ^{ns}	33.16 ^{ns}	15.491 ^{ns}
خطا	Error	22	0.618	0.175	119.26	566.33
ضریب تغییرات	C.V	-	4.37	4.49	4.77	7.45

ns, ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: no significant and significant at the 1% and 5% probability levels, respectively

تراکم کاشت حاصل شد که نسبت به تراکم ۵۰ بوته در مترمربع ۳۹/۲ درصد افزایش نشان داد (شکل ۳).



شکل ۲- اثر اکوتیپ بر سرعت رشد نسبی گیاه حنا

Figure 2- The effect of ecotype on RGR of Henna plant

تفاوت زیادی بین ارقام یک گونه گیاهی از نظر سرعت نسبی رشد می‌تواند وجود داشته باشد (Poorter, 1989) که این تفاوت ناشی از فاکتورهای فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، شیمیایی و یا الگوی اختصاص مواد بوده که همگی در تغییر سرعت رشد نسبی مؤثر هستند. اگرچه ارقام با سرعت رشد نسبی بالاتر قادرند به سرعت اندازه خود را افزایش دهند و فضای بیشتری را به خود اختصاص دهند اما ارقام با سرعت رشد نسبی کمتر نیز سیاست اختصاص کمتر مواد فتوسنتزی و شیمیایی جذب شده در بخش‌های ساختمانی را دارند و بیشتر به ذخیره‌سازی برای مراحل بعدی رشد می‌پردازند (Poorter, 1989).

شاخص سطح برگ (LAI): طبق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر ساده تراکم بر شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۱۶) در بالاترین سطح

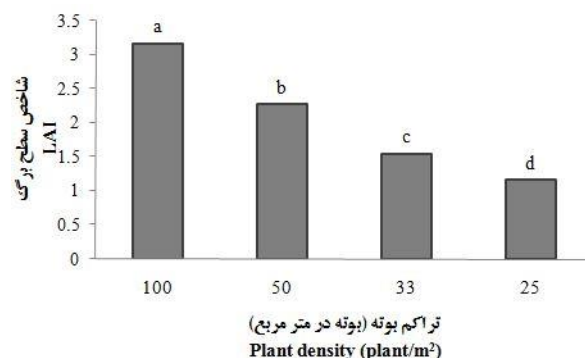
مخصوص برگ (SLW): اثرات ساده اکوتیپ و تراکم کاشت و همچنین اثر متقابل آنها اثر معنی‌داری بر روی هیچ‌یک از شاخص‌های نسبت سطح برگ، سطح ویژه برگ و وزن مخصوص برگ نداشتند (جدول ۲).

دوام سطح برگ (LAD) و دوام بیوماس (BMD): دوام سطح برگ در سطح یک درصد تحت تاثیر تراکم کاشت قرار گرفت ولی اثر ساده اکوتیپ و اثر متقابل اکوتیپ در تراکم برای این شاخص معنی‌دار نگردیدند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر تراکم کاشت نشان داد که کمترین دوام سطح برگ مربوط به تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع بود که اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری با سایر تراکم‌ها داشت (شکل ۴). اختلاف بین سایر تراکم‌های کاشت معنی‌دار نبود. نتایج به‌دست آمده نشان داد اثر تراکم بوته بر شاخص دوام بیوماس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد افزایش تراکم کاشت از ۲۵ به ۳۳ و ۵۰ بوته در مترمربع منجر به تغییر معنی‌داری در شاخص دوام بیوماس نگردید درحالی‌که در تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع این شاخص به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سایر سطوح تراکم کاهش یافت (شکل ۴).

افزایش فاصله ردیف کاشت در کلزا، منجر به افزایش مقدار دوام سطح برگ به دلیل فضای زیادتر بین بوته‌ها گردید (Morrison *et al.*, 1990). مطالعه فواصل ردیف ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر در گیاه سویا نشان داد که بیشترین دوام سطح برگ در فاصله ردیف کاشت ۵۰ سانتی‌متر به‌دست آمد (Board and Harville, 1996). برخلاف نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، با کاهش فاصله ردیف کاشت در گیاه گلرنگ، دوام سطح برگ افزایش یافت (Pourhadian and Khajepour, 2008). آنها بیان کردند با افزایش تراکم بوته اندازه بوته کوچک‌تر شده و تعداد برگ و شاخص سطح برگ در بوته کاهش می‌یابد. اما افزایش تراکم بوته در واحد سطح باعث افزایش موارد فوق در واحد سطح شده و افزایش دوام سطح برگ را به‌دنبال دارد.

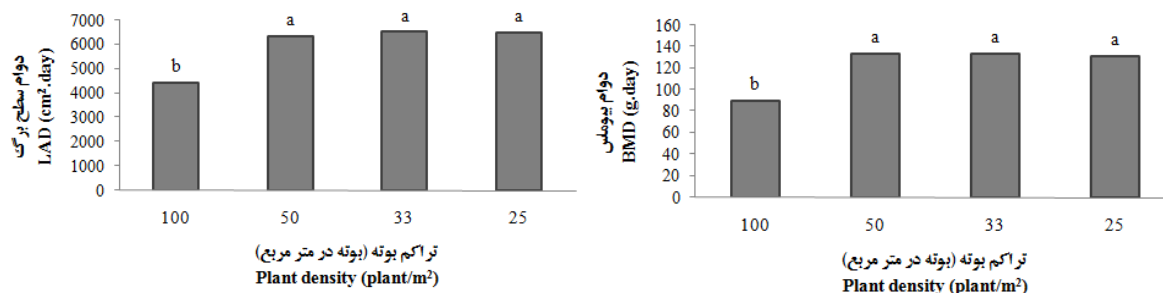
همچنین کمترین شاخص سطح برگ (۱/۱۶) از تراکم ۲۵ بوته در مترمربع (فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد. افزایش شاخص سطح برگ گیاه حنا در نتیجه افزایش تراکم کاشت با نتایج به‌دست آمده از سایر تحقیقات بر روی سیب‌زمینی شیرین (Kuhlase *et al.*, 2009)، سویا (Holshouser and Jones, 2003) و تربچه (Bannayan *et al.*, 2010) مطابقت دارد. همچنین گزارش شده است افزایش تراکم کاشت تا حدی که باعث دستیابی به بیشترین شاخص سطح برگ شود، موجب تجمع ماده خشک بیشتری می‌گردد (Grogton *et al.*, 1988). در تحقیق حاضر نیز افزایش تراکم کاشت تا ۱۰۰ بوته در متر مربع باعث افزایش وزن خشک برگ و وزن خشک کل گیاه حنا شد.

بیشتر بودن تعداد گیاه در واحد سطح می‌تواند دلیل بالاتر بودن شاخص سطح برگ در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع باشد. هرچه تراکم گیاهی بالاتر رود سطح برگ بیشتری تولید می‌گردد و در نتیجه شاخص سطح برگ بالاتر می‌رود. این نتایج با یافته‌های سایر محققین بر روی گیاهان گندم و جو مطابقت دارد (Moradhajati and Shokuhfar, 2016; Armin *et al.*, 2008).



شکل ۳- اثر تراکم کاشت بر شاخص سطح برگ گیاه حنا
Figure 3- The effect of planting density on LAI of Henna plant

نسبت سطح برگ (LAR)، سطح ویژه برگ (SLA) و وزن

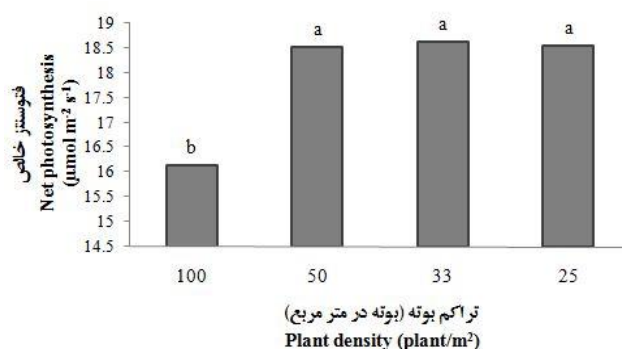


شکل ۴- اثر تراکم کاشت بر دوام سطح برگ و دوام بیوماس گیاه حنا
Figure 4- The effect of planting density on LAD and BMD of Henna plant

انداختن آب جذب شده در گیاه را علی‌رغم وجود نیروی ثقل و مقاومت‌های اصطکاکی موجود در مسیر آب، تأمین می‌کند. در این تحقیق اکوتیپ اثر معنی‌داری بر سرعت تعرق نداشت (جدول ۳) ولی بین تراکم‌های مورد بررسی تفاوت‌هایی ملاحظه شد به‌طوری‌که تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع با میانگین $7/60$ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سایر تراکم‌ها از سرعت تعرق کمتری برخوردار بود (شکل ۶). شدت تعرق تابع اختلاف فشار بخار، مقاومت در برابر جریان آب و توانایی گیاه و خاک از نظر انتقال آب به جایگاه تعرق می‌باشد. همچنین شدت تشعشع خورشید، درجه حرارت، رطوبت نسبی و باد از سایر عوامل محیطی تأثیرگذار بر تعرق می‌باشند (Koocheki and Sarmadnia, 2006). به نظر می‌رسد در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع به علت افزایش رطوبت نسبی کانوپی و از طرفی کاهش رطوبت خاک به علت تراکم بالا، میزان تعرق کاهش یافته است. از آنجا که تعرق روزنه‌ای نقش اصلی را در تنظیم دمای برگ دارد با کاهش تعرق، دمای برگ افزایش یافته و در نهایت منجر به کاهش میزان فتوسنتز می‌گردد که نتایج اندازه‌گیری میزان فتوسنتز خالص (شکل ۵) مکمل این مطلب است.

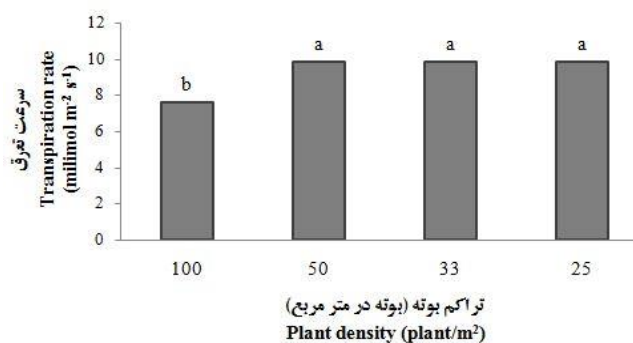
فتوسنتز خالص: این صفت تنها تحت تأثیر اثر ساده تراکم قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تراکم کاشت بر فتوسنتز خالص نشان داد که فتوسنتز خالص در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع برابر $18/55$ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود که با افزایش تراکم تا 50 بوته در مترمربع تغییر معنی‌داری نکرد (شکل ۵). فتوسنتز خالص در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع ($16/14$ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تراکم‌های کاشت کاهش پیدا کرد. پایین بودن فتوسنتز خالص در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع می‌تواند به دلیل بالا بودن رقابت بین بوته‌ها برای جذب نور و مواد غذایی، افزایش سایه‌اندازی و در نتیجه افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز خالص باشد (Taiz and Zeiger, 1998). مطابق با نتایج این تحقیق کمترین میزان فتوسنتز خالص گیاه سویا در بالاترین تراکم (500 هزار بوته در هکتار) به‌دست آمده است (Sadeghi et al., 2015). همچنین گزارش شده است با افزایش تراکم و در نتیجه شاخص سطح برگ، فتوسنتز خالص کاهش می‌یابد (Viddicombe and Thelen, 2002).

سرعت تعرق: تعرق عمدتاً نیروی محرکه جهت به جریان



شکل ۵- اثر تراکم کاشت بر فتوسنتز خالص گیاه حنا

Figure 5- The effect of planting density on net photosynthesis of Henna plant

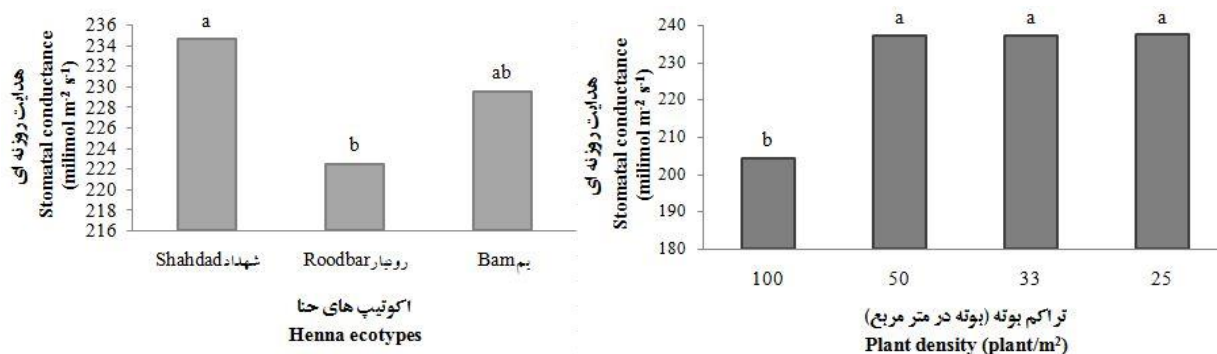


شکل ۶- اثر تراکم کاشت بر سرعت تعرق گیاه حنا

Figure 6- The effect of planting density on evaporation rate of Henna plant

تأثیر تراکم گیاه قرار می‌گیرد (Tanzarella et al., 1984). بررسی‌های دیگر نشان دادند که تعداد روزنه در هر واحد از سطح برگ ممکن است در بین گونه‌های گیاهی، ارقام و کلون‌ها تغییر کند (Caglar and Tekin, 1999; Misirli et al., 1998). در این تحقیق به نظر می‌رسد رقابت بر سر جذب آب در تراکم بالا (۱۰۰ بوته در مترمربع) گیاهان را در معرض کمبود آب قرار داده باشد و گیاهان نیز از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای سعی در حفظ رطوبت خود داشته‌اند چرا که کاهش موازی در فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در شرایط کمبود رطوبت خاک به دفعات گزارش شده است (Koc et al., 2003).

هدایت روزنه‌ای: هدایت روزنه‌ای به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اکوتیپ و تراکم کاشت قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به اکوتیپ شهداد (۲۳۴/۶ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) بود که تفاوت معنی‌داری با اکوتیپ بم (۲۲۹/۶ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) نداشت (شکل ۷). همچنین مقایسه میانگین اثر تراکم کاشت برای این صفت نشان داد که بین تراکم‌های ۲۵، ۳۳ و ۵۰ بوته در مترمربع اختلاف معنی‌داری وجود ندارد در حالی که تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع با اختلاف معنی‌داری کمترین مقدار هدایت روزنه‌ای (۲۰۴/۳ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) را به خود اختصاص داد (شکل ۷). در بررسی گونه‌های مختلف باقلا (*Vicia faba* L.) نشان داده شد که تراکم، فراوانی و تعداد روزنه‌ها در هر برگچه تحت

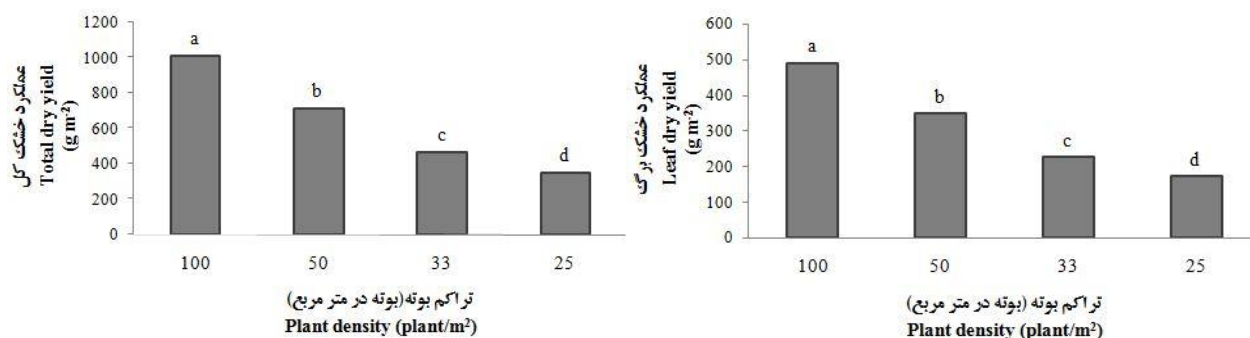


شکل ۷-۲ اثر اکوتیپ و تراکم کاشت بر هدایت روزنه‌ای گیاه حنا
Figure 7- The effect of ecotype and planting density on stomatal conductance of Henna plant

کمترین عملکرد خشک کل (۳۴۸/۸ گرم در مترمربع) از تراکم ۲۵ بوته در مترمربع (فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد. اثر متقابل اکوتیپ در تراکم برای عملکرد خشک کل معنی‌دار نگردید. در مواردی که اندام هوایی گیاه به‌عنوان بخش اقتصادی مطرح باشد، کشت‌های متراکم و ایجاد سطح بالای شاخص سطح برگ می‌تواند در افزایش ماده خشک مؤثر باشد و عملکرد ماده خشک می‌تواند تحت تأثیر تراکم قرار گیرد (Yaghoubejrad, 2004). محققین گزارش کردند که تراکم ۵۰ بوته در مترمربع گیاه گلرنگ نسبت به تراکم ۴۰ بوته در مترمربع دارای وزن خشک بیشتری بود (Pourhadian and Khajepour, 2008). همچنین آنها بیان کردند با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، رقابت بین بوته‌ها به دلیل کاهش فضای قابل دسترس گیاه تشدید شده و باعث کاهش وزن خشک هر بوته می‌شود اما افزایش تعداد بوته در مترمربع باعث جبران این کاهش شده و افزایش ماده خشک در واحد سطح را به‌دنبال دارد.

عملکرد خشک برگ و عملکرد خشک کل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.001$) برای عملکرد خشک برگ معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین عملکرد خشک برگ مربوط به اکوتیپ شهداد (۳۲۲/۵ گرم در مترمربع) بود که اختلاف معنی‌داری با اکوتیپ رودبار (۳۰۸/۳ گرم در مترمربع) نداشت. در این تحقیق افزایش تراکم کاشت منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد خشک برگ گردید به گونه‌ای که بیشترین و کمترین عملکرد خشک برگ به‌ترتیب مربوط به تراکم‌های ۱۰۰ و ۲۵ بوته در مترمربع بود (شکل ۸).

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده اکوتیپ بر عملکرد خشک کل معنی‌دار نبود ولی اثر ساده تراکم در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد خشک کل (۱۰۱۰ گرم در مترمربع) در بالاترین سطح تراکم کاشت حاصل شد که نسبت به تراکم ۵۰ بوته در مترمربع ۴۱/۱ درصد افزایش نشان داد (شکل ۸). همچنین



شکل ۸- اثر تراکم کاشت بر عملکرد خشک برگ و خشک کل گیاه حنا
Figure 8- The effect of planting density on total and leaf dry yield of Henna plant

نتیجه گیری

مورد تراکم مناسب ضروری به نظر می‌رسد. همچنین اگرچه میزان عملکرد به دست آمده از این تحقیق با میزان عملکرد از کشت سال اول حنا در مناطق بومی زیر کشت آن (تحقیقات در حال چاپ نویسندگان) تقریباً همخوانی دارد ولی در پایان فصل رشد و با اولین کاهش دمای شدید، بوته‌های حنا دچار سرمازدگی شده و برای سال بعد امکان رویش مجدد نداشتند.

به‌طور کلی بین اکوتیپ‌های مورد بررسی از لحاظ عملکرد در شرایط آب و هوایی کرمان اختلافی وجود نداشت. همچنین بیشترین عملکرد به تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع اختصاص داشت. البته بایستی توجه نمود که حنا گیاهی چند ساله بوده و این تراکم کاشت برای سال اول از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است ولی برای بوته‌های با سن بیشتر از یک سال با توجه به تغییر در اندازه پیکره گیاه، تحقیق در

References

- Al-Rubiay, K. K., Jaber, N. N., Al-Mhaawe, B. H., and Alrubaiy, L. K. 2008. Antimicrobial efficacy of henna extracts. *Oman Medical Journal* 23: 253-6.
- Armin, M., Noormohammadi, Gh., Darvish F., Zand, S., and Baghestani, M. 2008. Study on some ecophysiological difference in more and less competitive winter wheat cultivars on competition with wild oat at different wheat densities. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi* 80: 119-127. (in Persian with English abstract).
- Bannayan, M., Rahmati, M., Ghani A., and Ghavidel, H. 2010. Quantitative analysis of growth and production of two local and commercial cultivars of radish (*Rhaphanus sativus* L.) in response to different levels of planting density. *Iranian Journal of Field Crop Research* 8 (6): 1002-1011. (in Persian with English abstract).
- Behdani, M., Ghazvini, K., Mohammadzadeh, A. R., and Sadeghian, A. 2009. Antibacterial activity of Henna extracts against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Ofogh-e-Danesh. GMUHS Journal* Vol. 15: 46-52. (in Persian with English abstract).
- Bich, D. H., Chung, D. Q., Chuong, B. X., Dong, N. T., Dam, D. T., Hien, P. V., Lo, V. N., Mai, P. D., Man, P. K., Nhu, D. T., Tap, N., and Toan, T. 2004. *The Medicinal Plants and Animals in Vietnam*. Hanoi Science and Technology Publishing House, Hanoi, Vol. 1, p. 224.
- Board, J. E., and Harville, B. G. 1996. Explantions for greater light interception in narrow- vs- wide-row soybean. *Crop Science* 32: 198-202.
- Caglar, S., and Tekin, H. 1999. The stomata density of pistachio cultivars on different pistacia rootstocks. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 23: 1029-1032.
- Campos, V. M., Pasin, L. A. A. P., and Barja, P. R. 2008. Photosynthetic activity and growth analysis of the plant *Costus spicatus* cultivated under different light conditions. *The European Physical Journal Special Topics* 153: 527-529.
- Chaudhary, G., Goyal, S., and Poonia, P. 2010. *Lawsonia inermis* Linnaeus: A Phytopharmacological Review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research* 2: 91-98.
- Endrini, S., Rahmat, A., Ismail, P., and Taufiq-Yap, Y. H. 2007. Comparing of the cytotoxicity properties and mechanism of *Lawsonia inermis* and *Strobilanthe crispus* extract against several cancer cell lines. *Journal of Medical Science* 7: 1098-1102.
- Pasandi Pour, A., Farahbakhsh, H., and Moradi, R. 2018. Assessing effect of climatic-management factors on yield and growth characteristics of henna (*Lowsonia inermis* L.) as a medicinal-industrial plant in Kerman province. *Agroecology*. (In Press). (in Persian with English abstract).

12. Ghalandari, R., Rhimzadeh Khoei, F., Toorchi, M., and Behtari, B. 2009. Effect of Plant Density on Growth and Yield of Three Sunflower Hybrids (*Helianthus annuus* L.) as a Second Crop. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 2 (20): 27-40. (in Persian with English abstract).
13. Grogton, K. F., Schneiter, A. A., and Nagle, B. J. 1988. Row spacing, plant population and genotype with row spacing effects on yield and yield components of dry bean. Agronomy Journal 80: 631-634.
14. Holshouser, D. L., and Jones, B. P. 2003. Early-maturing double crop soybean requires higher plant population to meet leaf area requirement. Crop Management 2. doi: 10.1094/CM-2003-0408-01-RS.
15. Koc, M., Barutcular, C., and Genc, I. 2003. Photosynthesis and productivity of old and modern durum wheat's in Mediterranean environment. Crop Science 43: 2089-2098.
16. Koocheki, A., and Sarmadnia, G. 2006. Physiology of crop plants. Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press. (in Persian).
17. Kuhlase, L. M., Ossom, E. M., and Rhykerd, R. L. 2009. Effects of plant populations on morphological and physiological parameters of intercropped sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Academic Journal of Plant Science 2 (1): 16-24.
18. Kumar Singh, D., Luqman, S., and Kumar Mathur, A. 2015. *Lawsonia inermis* L. – A commercially important primaeval dying and medicinal plant with diverse pharmacological activity: A review. Industrial Crops Products 65: 269-286.
19. Lebaschi, M. H. 1992. Investigate the different aspect of dual purpose using of Barley and Oat variety. M. Sc. Thesis in Agronomy. Isfahan Industrial Univ.
20. Martin, R. J., and Deo, B. 2000. Effect of plant population on calendula (*Calendula officinalis* L.) flower production. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 28 (1): 37-44.
21. Misirli, A., Topuz, F., and Zeybekoglu, N. 1998. Research on variation of female and male figs in terms of leaf properties and stomatal distribution. Acta Horticulture 480: 129-132.
22. Moradhajati, P., and Shokuhfar, A. 2016. Growth Analysis, Yield and Yield Components of Three Barley Cultivars (*Hordeum vulgare* L.) under Different Seeding Rates. Journal of Crop Ecophysiology 10 (2): 461-476. (in Persian with English abstract).
23. Morrison, M. J., Mcvetty, P. B. E., and Scar, R. 1990. Effect of altering plant density on growing characteristics of summer rape. Canadian Journal of Plant Science 70: 139-149.
24. Nour-Mohamadi, G., Siadat, A., and Kashani, A. 2010. Agronomy, Vol. 1. Cereal Crops. Shahid Chamran University Press. (in Persian).
25. Poorter, H. 1989. Interspecific variation in relative growth rate: On ecological causes and physiological consequences. p. 45-68. In Lambers, et al., (Eds.) Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants. SPB Acad. Publishing.
26. Pourhadian, H., and Khajepour, M. R. 2008. Effects of row spacing and planting density on growth indices and yield of safflower, local variety of Isfahan Koseh in summer planting. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 11 (42): 17-31. (in Persian with English abstract).
27. Rafiei Alhoseini, M., and Salehi, F. 2002. Effect of plant density on grain yield and arable characteristics of three Sunflower varieties in Shahrekord. 8th Iranian Crop Science Congress, Gilan, Iran.
28. Sadeghi, H., Heidari Sharifabd, H., Hamidi, A., Noormohammadi, Gh., and Madani, H. 2015. Effect of planting date and plant density on net photosynthesis, stomatal conductance, leaf chlorophyll index and grain yield of soybean in Meghan and Karaj areas. Journal of Plant Ecophysiology 7 (23): 83-94. (in Persian with English abstract).
29. Taize, L., and Zeiger, E. 1998. Plant physiology. 2nd Ed. Sinauer Associates, Sunderland.
30. Tanzarella, O. A., Depace, C., and Filippetti, A. 1984. Stomata frequency and size in *Vicia faba* L. Crop Science 24: 1070-1076.
31. Viddicombe, W. D., and Thelen, K. D. 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the Northern cron Belt. Agronomy Journal 94: 1020-1023.
32. Yaghoubjad, F. 2004. Effect of row space, plant space and variety on growth, tuber size and potato yield. M. Sc. Thesis in Agronomy. Isfahan Industrial Univ.



The Effect of Plant Density on Photosynthesis and Growth Indices of Henna (*Lowsonia inermis* L.) Ecotypes

A. Pasandi Pour¹- H. Farahbakhsh^{2*}

Received: 19-12-2016

Accepted: 22-08-2017

Introduction

One of the most important factors to obtain the maximum performance or yield in every climatic condition and for each plant varieties is determining the optimum plant density. Henna (*Lowsonia inermis* L.) is a perennial plant with high value in terms of having medicinal properties and industrial applications. The dye which is derived from green leaves of henna is used for decorating the body with intricate designs and the principle coloring matter is lawsone, 2-hydroxy-1, 4-naphthoquinone. The main purpose of this study was to evaluate the agro-physiological reaction of different henna ecotypes to different planting densities in Kerman weather conditions.

Materials and Methods

The study was carried out as a factorial experiment based on complete randomized block design with three replications in Shahid Bahonar University in 2015. The experiment consisted of four plant densities (25, 33, 50 and 100 plants m⁻²) and three ecotypes (Shahdad, Roodbar and Bam). Due to its small seeds and germination problems the planting method used was transplanting. In this study, growth indices such as leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), leaf area ratio (LAR), specific leaf area (SLA), specific leaf weight (SLW), leaf area duration (LAD) and biomass duration (BMD) were calculated. The net photosynthesis, stomatal conductance and transpiration rate were measured in the middle of growing period by photosynthesis meter (CI-340 model, CID Bio- Science companies, USA). At the end, the results were analyzed using the SAS v. 9.1 and MSTATC software's and diagrams were drawn by Excel software.

Results and Discussion

The results showed that the studied ecotypes were significantly different in terms of CGR, RGR and stomatal conductance. The highest average of CGR belonged to Shahdad ecotype while there was no significant difference between Roodbar and Bam ecotypes in this case. Shahdad ecotype with the RGR of 0.018 g.g.day had the highest average of this trait. This difference could be due to physiological, morphological and chemical factors as well as allocating pattern of photosynthates, all affects the relative growth rate. The maximum value of stomatal conductance was recorded for Shahdad ecotype (234.6 mmol m⁻² s⁻¹), that was not significantly different with Bam ecotypes (229.6 mmol m⁻² s⁻¹). There are some reports showing that the number of stomata per unit of leaf area may be changed with plant species and varieties. The differences in studied densities were statistically significant for the measured traits. Results showed that the maximum of CGR was recorded for 100 plants m⁻² density. Increase in CGR at the higher densities could be due to the increased number of plants per unit area producing a higher leaf area index. In this research LAI increased with increasing in planting density and the highest average of this trait was obtained from 100 plants m⁻². LAD and BMD were affected significantly by planting density (P<0.01). The results of mean comparisons showed that average of LAD and BMD decreased with increasing in plant density from 50 to 100 plants m⁻². The same result was obtained for net photosynthesis, transpiration rate and stomatal conductance. Low net photosynthesis in 100 plants m⁻² density could be due to high competition between plants for light and food absorption, increase in shading and consequently increasing in respiration. The results showed that total dry yield and leaf dry yield were significantly affected by planting densities. The highest and lowest values of mentioned traits belonged to densities of 100 and 25 plants m⁻² respectively.

Conclusions

Generally between ecotypes evaluated in terms of performance, there was no difference in Kerman weather conditions. Also the highest yield was belonged to 100 plants m⁻² density. It should be noted that henna is a perennial plant and this planting density for the first year is economically justified but for more than one year old plants, according to changes in body size of the plant, research on the appropriate density seems to be necessary.

Keywords: CGR, Ecotype, Row spacing, Stomatal conductance, Yield

1 and 2- PhD Student and Associate Professor respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Bahonar University, Kerman

(*- Corresponding Author Email: hfarahbakhsh@yahoo.com)



ارزیابی پاسخ به تنش خشکی در برخی از لاین‌های موتانت برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

هاشم امین پناه^۱ - پیمان شریفی^{۱*} - علی اکبر عبادی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

چکیده

مجموعه‌ای از ۱۸ ژنوتیپ برنج شامل ۱۴ لاین موتانت M5 و چهار رقم والدینی آنها تحت تنش خشکی در مرحله زایشی و بدون تنش در دو آزمایش جداگانه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر خشکی، ژنوتیپ و اثر متقابل دو فاکتور بر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه و درصد باروری دانه معنی‌دار بود. تنش خشکی در مرحله زایشی باعث کاهش عملکرد دانه (۵۹/۴۷٪)، درصد باروری دانه (۱۹/۰۸٪)، ارتفاع بوته (۹/۳۵٪)، مساحت برگ پرچم (۸/۵۹٪) و طول خوشه (۱/۶۱٪) شد. شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و میانگین هارمونیک (HM) به عنوان شاخص‌های برتر بودند و از آنها برای معرفی ژنوتیپ‌های مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی و با عملکرد بالا در شرایط دارای تنش خشکی و بدون تنش استفاده شد. با توجه به شاخص‌های مذکور، ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ (لاین‌های موتانت M5 از رقم طارم محلی) و (لاین موتانت M5 از رقم هاشمی) متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۱۴ (لاین موتانت از رقم خزر)، ۱۵ (هاشمی)، ۱۶ (خزر) و ۱۷ (طارم) حساس به تنش خشکی شناسایی شدند. بنابراین موتاسیون سبب ایجاد تحمل به تنش خشکی در نتاج شده است و لذا می‌توان از لاین‌های فوق در پروژه‌های معرفی ارقام مقاوم یا متحمل به خشکی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه مؤلفه‌های اصلی، لاین موتانت، عملکرد دانه، مرحله زایشی

مقدمه

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، شاخص‌های مختلفی به عنوان معیار انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد آن‌ها در شرایط تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است که از جمله می‌توان به شاخص تحمل به تنش^۳ (TOL) و میانگین بهره‌وری^۴ (MP) (Rosielle and Fisher, 1981) و شاخص حساسیت به تنش^۵ (SSI) (Hamblin, 1981) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری^۶ (GMP) به مقادیر نسبتاً زیاد Ys و Yp حساسیت ندارد و در مقایسه با MP دارای اثر آریبی به سمت بالا نیست. شاخص تحمل به تنش^۷ (STI)، معیار مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها جهت دستیابی به عملکرد بالا تحت شرایط تنش می‌باشد و ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند، را از هم جدا می‌کند (Fernandez, 1992). شاخص‌های دیگر برای ارزیابی

برنج (*Oryza sativa* L.) در بین گیاهان زراعی بالاترین نیاز آبی را دارد و زراعت آن، ۲ تا ۳ برابر بیشتر از سایر گیاهان زراعی مانند گندم و ذرت به آب نیاز دارد (Yang and Zhang, 2010). از آنجا که احتمال وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی در مقایسه با مرحله رویشی بیشتر است و تنش خشکی در مرحله زایشی تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه و اجزای آن دارد، به طور معمول، در ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج، اثرات تنش خشکی در انتهای فصل مورد توجه می‌باشد (Venuprasad et al., 2008).

برای ارزیابی آسان‌تر ژنوتیپ‌ها در مواجهه با تنش خشکی و

۱- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲- استادیار و عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

(Email: sharifi@iaurasht.ac.ir) * نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.61793

3- Tolerance Index

4- Mean Productivity

5- Stress Susceptibility Index

6- Geometric Mean Productivity Index

7- Stress Tolerance Index

ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، میانگین هارمونیک^۱ (HM) (Fernandez, 1992)، شاخص پایداری عملکرد^۲ (YSI) (Bouslama and Gavuzzi et al., 1984) و شاخص عملکرد^۳ (YI) (Schapaugh, 1984) هستند.

مطالعات متعددی در کشور برای ارزیابی عملکرد برنج در شرایط تنش خشکی صورت گرفته است. از جمله در تحقیقی نشان داده شد که شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین هندسی، شاخص میانگین تولید و میانگین هارمونیک بهترین شاخص‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول برنج در هر دو محیط تنش خشکی و بدون تنش بودند (Ghiyasi Oskoei et al., 2012). در تحقیقی دیگر نشان داده شد که شاخص‌های STI، HM، GMP و MP همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی داشتند و به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت گزینش ارقام پرمحصول در هر دو محیط تنش و بدون تنش شناسایی شدند (Safaei Chaeikar et al., 2008). شاخص‌های GMP و STI به‌عنوان بهترین شاخص معرفی شدند و مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص‌ها شناسایی شدند (Erfani et al., 2012). در مطالعه‌ای دیگر با ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در ۱۵ رقم برنج، شاخص‌های STI، MP، GMP و HM به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی در مرحله رویشی و شاخص MP به‌عنوان مطلوب‌ترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی در مرحله زایشی معرفی شدند (Kohansal Vajargah et al., 2010). در تحقیقی دیگر، با ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی در ۵۰ لاین نسل F5 نشان داده شد که شاخص‌های STI، MP، GMP و HM همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش داشتند و به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی بودند (Rahimi et al., 2013).

با توجه به در معرض تنش خشکی قرار گرفتن ژنوتیپ‌های برنج در کشور و از طرفی کمبود منابع متحمل به خشکی، هدف از تحقیق حاضر بررسی واکنش لاین‌های موتانت برنج در برابر تنش خشکی و معرفی شاخص‌های برتر و در نهایت شناسایی لاین یا لاین‌های برتر و متحمل به تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مؤسسه تحقیقات

برنج کشور در رشت (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی آن ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰/۲۶ متر پایین‌تر از سطح دریا) انجام شد. این تحقیق به‌صورت دو آزمایش جداگانه در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در دو شرایط نرمال و تنش خشکی اجرا شد. مواد گیاهی مورد استفاده در این آزمایش شامل تعداد ۱۴ لاین موتانت (۷ لاین موتانت از رقم هاشمی، شش لاین موتانت از رقم طارم محلی و یک لاین موتانت از رقم خزر) به همراه چهار رقم (هاشمی، طارم محلی، خزر و گیالانه) بودند. لاین‌های موتانت از پروژه‌ای مشترک با پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای به‌دست آمده بودند. جهت جلوگیری از ورود آب باران (بارندگی) به کرت‌های تحت تنش خشکی، از پوشش پلاستیکی به‌عنوان پناه‌گاه (شیلتر) استفاده شد. در آزمایش مربوط به تنش کمبود آب انتهای فصل، آبیاری در مراحل آغازش جوانه‌های گل یعنی ظهور خوشه جوان (۵۰ روز بعد از نشاءکاری) به‌طور کامل قطع گردید. از زمانی که رطوبت خاک به ۴۰ درصد رسید، تنش کم‌آبی شروع شد. مساحت هر کرت ۱۳ مترمربع و فاصله نشاءها ۲۵ سانتی‌متر روی ردیف و ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف و تعداد نشاءها در هر کپه ۳ عدد بود. در طول دوره رشد و همچنین زمان رسیدگی صفات ارتفاع بوته (میانگین ارتفاع بلندترین پنجه از ناحیه طوقه در سطح خاک تا نوک خوشه بدون احتساب ریشک بر حسب سانتی‌متر)، طول برگ پرچم (از زیر برگ پرچم تا نوک آن بر حسب سانتی‌متر)، عرض برگ پرچم (از پهن‌ترین قسمت برگ پرچم بر حسب سانتی‌متر)، تعداد پنجه بارور (میانگین تعداد پنجه بارور در ۱۰ کپه تصادفی از هر کرت)، طول خوشه (میانگین طول ۱۰ خوشه اصلی از ۱۰ کپه در هر کرت، از گره زیر خوشه تا انتهای خوشه بدون در نظر گرفتن ریشک، برحسب سانتی‌متر)، طول خروج خوشه از غلاف (میانگین خروج خوشه‌ها از بالای غلاف برگ پرچم تا گره زیر خوشه در زمان رسیدگی)، تعداد دانه پر (تعداد دانه‌های پر در خوشه‌های اصلی در ۱۰ کپه تصادفی از هر کرت بعد از رسیدن کامل دانه‌ها) و تعداد دانه پوک (تعداد دانه‌های پوک و معیوب در خوشه‌های اصلی ۱۰ کپه تصادفی از هر کرت) و طول و عرض شلتوک (طول و عرض ۵۰ شلتوک در هر کپه و در ۱۰ کپه از هر کرت بر حسب میلی‌متر توسط دستگاه کولیس) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه، از هر واحد آزمایشی ۱۰ کپه به‌طور تصادفی انتخاب شد و میانگین آنها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. همچنین مساحت برگ پرچم (طول و عرض برگ پرچم در ضریب ۰/۷۵)، باروری دانه (از تقسیم تعداد دانه پر بر تعداد کل دانه‌ها) و نسبت طول به عرض دانه نیز محاسبه شدند. محصول هر ترکیب تیماری در زمان رسیدن کامل از هشت مترمربع هر واحد آزمایشی پس از حذف حاشیه، برداشت و با رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد و به‌عنوان عملکرد دانه در نظر گرفته شد.

پس از برداشت، با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون

- 1- Harmonic Mean
- 2- Yield Stability Index
- 3- Yield Index

خروج خوشه از غلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین تفاوت بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات مورد مطالعه وجود داشت. اثر معنی‌دار ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر صفات مورد مطالعه بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها است. برخی از این صفات می‌توانند در ایجاد تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه استفاده شوند. اثر متقابل ژنوتیپ در خشکی برای صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه، طول خروج خوشه از غلاف، طول خوشه و درصد باروری دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). این امر نشان‌دهنده آن است که تغییرات قابل ملاحظه و بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و آبیاری نرمال وجود داشت و همچنین واکنش ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط متفاوت رطوبتی برای صفات مورد مطالعه یکسان نبود و ژنوتیپ‌ها عکس‌العمل‌های متفاوتی در دو شرایط تنش خشکی و آبیاری نرمال داشتند. در تطابق با نتیجه حاضر، محققین دیگری نیز اثر متقابل ژنوتیپ در تنش خشکی را بر صفات فوق گزارش نمودند (Safaei Chaeikar et al., 2008; Ghiasy Oskoei et al., 2013).

نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که مقادیر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، طول خروج خوشه از غلاف، تعداد پنجه و درصد باروری دانه در شرایط آبیاری نرمال در مقایسه با تنش خشکی بیشتر بود (داده‌ها ارائه نشده‌اند). تجزیه واریانس ساده داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی برای صفات ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه، طول خوشه، درصد باروری دانه و عملکرد دانه دارای اختلاف معنی‌دار بودند (داده‌ها ارائه نشده‌اند). در شرایط آبیاری نرمال بیشترین میزان ارتفاع بوته (۱۶۸/۶۷ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ ۱۷ بود. ژنوتیپ ۱۴ بیشترین میزان مساحت برگ پرچم (۳۶/۹۰ سانتی‌متر مربع) و طول خروج خوشه از غلاف (۱۱/۳۳ سانتی‌متر) را دارا بود. بیشترین تعداد پنجه (۲۰/۶۷) مربوط به ژنوتیپ ۸ بود. بیشترین میزان طول خوشه (۳۱/۶۷ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ ۱۱ بود. بیشترین درصد باروری دانه (۹۵/۶۱ درصد) مربوط به ژنوتیپ ۱۳ بود. بیشترین میزان طول به عرض دانه (۴/۶۲) و عملکرد دانه (۴۹۵۵/۶۷ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۴ بود. در شرایط تنش خشکی، بیشترین میزان ارتفاع بوته (۱۵۷/۳۳)، مساحت برگ پرچم (۳۰/۶۵ سانتی‌متر مربع) و تعداد پنجه بارور (۲۴/۳۳) به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۷ و ۱۸ بود. بیشترین میزان طول خوشه (۳۱/۳۳ سانتی‌متر) و درصد باروری دانه (۸۴/۲۹) نیز به ترتیب مربوط به ژنوتیپ بود.

تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش ($\bar{Y}_P$) و تنش ($\bar{Y}_S$)، شاخص‌های تحمل به تنش خشکی به شرح زیر محاسبه شدند:

۱- شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978)

$$SSI = \frac{1 - (Y_s/Y_p)}{SI}$$

که در آن شاخص تنش (SI) از طریق رابطه زیر محاسبه

$$SI = 1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} = \frac{(\bar{Y}_p - \bar{Y}_s)}{\bar{Y}_p}$$

می‌شود:

۲- شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_p - Y_s$$

۳- متوسط عملکرد یا میانگین بهره‌وری تولید (Rosielle and

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad \text{: (Hamblin, 1981)}$$

۴- میانگین هندسی قابلیت تولید (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Y_p Y_s}$$

۵- شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{Y_p Y_s}{(\bar{Y}_p)^2}$$

۶- شاخص عملکرد (Gavuzzi et al., 1997):

$$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s}$$

۷- شاخص پایداری عملکرد (Bouslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

۸- میانگین هارمونیک (Fernandez, 1992):

$$HM = \frac{2(Y_p \times Y_s)}{Y_p + Y_s}$$

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه و سایر صفات زراعی در ارقام مورد مطالعه، همبستگی بین شاخص‌ها و رسم شکل سه‌بعدی به کمک نرم‌افزار SAS ver 9.2 انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین‌ها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر خشکی بر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد پنجه و درصد باروری دانه در سطح احتمال یک درصد و مساحت برگ پرچم و طول

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و برخی از صفات مورفولوژیکی برنج در شرایط تنش و بدون تنش
Table 1- Combined analysis of variance for grain yield and some of the rice morphological traits under non-stress and drought stress conditions

SOV	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)							
			نسبت طول به عرض دانه Grain length to width ratio	درصد باروری دانه grain fertility percentage	طول خروج خوشه از غلاف Panicle exit length	طول خوشه Panicle length	تعداد پنجه Tiller number	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد دانه Grain yield
D	خشکی	1	0.32 ^{ns}	7744.62**	62.86*	5.55 ^{ns}	176.33**	124.33*	5097.81**	191818709.5**
R(D)	تکرار درون خشکی	4	0.07	51.21	5.80	1.34	1.43	12.93	17.73	350094.5
G	ژنوتیپ	17	0.46**	462.19**	22.33**	29.34**	29.55**	70.93**	1011.14**	820879.8**
D*G	ژنوتیپ × خشکی	17	0.15 ^{ns}	120.88**	3.25**	3.71**	22.21**	38.36**	195.52**	341037.8**
Error	خطا	68	0.16	25.80	1.83	1.39	4.33	4.64	9.49	37354.7
CV	ضریب تغییرات		10.1	6.3	18.3	4.2	12.5	9.0	2.2	6.1

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: not-significant and significant at 5 and 1 percent level of probability, respectively

می کنند (Ghiassy Oskoei *et al.*, 2013). ژنوتیپ‌های ۸، ۱۰، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ که در شرایط آبیاری نرمال بیشترین عملکرد دانه را داشتند، از نظر تمام صفات درصد باروری دانه، طول خوشه، طول خروجه از غلاف، تعداد پنجه و مساحت برگ پرچم و یا برخی از آنها نیز دارای مقادیر بالایی بودند، به طوری که کاهش و عدم پایداری در این اجزا باعث کاهش عملکرد این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی شد. بیشترین میزان کاهش صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش خشکی، مربوط به عملکرد دانه (۵۹/۴۷ درصد) بود. پس از آن نیز صفات درصد باروری دانه (۱۹/۰۸ درصد)، طول خروجه از غلاف (۱۸/۶۹ درصد)، ارتفاع بوته (۹/۳۵ درصد)، مساحت برگ پرچم (۸/۵۹ درصد) و طول خوشه (۱/۶۱ درصد) در رتبه‌های بعدی از نظر کاهش تحت تأثیر تنش خشکی بودند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاهش شدید عملکرد دانه ناشی از کاهش اجزای آن و برخی از صفات مورفولوژیک مطالعه شده می‌باشد. این نتایج با یافته‌های محققین دیگر (Ghiassy Oskoei *et al.*, 2012; Safaei Chaeikar *et al.*, 2008) مطابقت دارد. بنابراین می‌توان اظهار داشت که کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به ترتیب ناشی از افزایش تعداد دانه پوک، کاهش درصد باروری دانه، طول خروجه از غلاف، مساحت برگ پرچم و طول خوشه بود. درصد کاهش مساحت برگ پرچم در اثر تنش خشکی برابر ۸/۵۹ درصد بود، با توجه به اینکه برگ پرچم یکی از اجزای فعال در فتوسنتز می‌باشد، کاهش

همچنین بیشترین میزان طول خروجه از غلاف (۹/۶۷ سانتی‌متر)، نسبت طول به عرض دانه (۴/۷۸) و عملکرد دانه (۲۷۸۸/۳۳) به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۷، ۱۸ و ۱ بود (داده‌ها ارائه نشده‌اند). در شرایط تنش خشکی کمترین میزان عملکرد دانه (۶۴۲/۶۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ژنوتیپ ۱۵ بود، که در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال با کاهش ۸۲ درصدی مواجه شد. دلیل این کاهش شدید عملکرد می‌تواند ناشی از کاهش طول خروجه از غلاف و همچنین پابندی بوته‌ها باشد که منتج به افزایش تعداد دانه پوک می‌شود. در تطابق با این نتیجه، یکی از مهمترین دلایل اثرات خشکی، ممانعت از رشد طولی بالاترین میانگرمه یعنی دمگل عنوان شده است که منجر به باقی ماندن خوشه درون غلاف برگ پرچم و از دست رفتن محصول می‌شود (Otoole and Namuco, 1983). در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۷ و ۱۳ بالاترین مقدار عملکرد را به خود اختصاص دادند و مقدار کاهش عملکرد آنها به ترتیب برابر با ۴۲، ۵۶، ۵۴، ۴۸، ۴۹ و ۵۰ درصد بود. کمترین کاهش عملکرد دانه (۴۲ درصد) مربوط به ژنوتیپ ۱ با بیشترین میزان عملکرد دانه بود که می‌توان آن را به وجود بوته‌های پاکوتاه در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال و عدم تغییر چشمگیر در مساحت برگ پرچم دانست. در تطابق با این نتیجه، گزارش شده است که گیاهان کوچک با سطح برگ کمتر و شاخص سطح برگ کوچک‌تر به طور نسبی آب کمتری در نواحی با کمبود آب مصرف

هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد مناسب باشند، موفق نبود، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های ۱۷، ۱۱ و ۶ با عملکرد نسبتاً پایین در هر دو محیط به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند (جدول ۲). در واقع شاخص TOL، به نوعی تغییر حاصل از شرایط تنش را بیان می‌کند. یعنی ژنوتیپ‌هایی که دارای شاخص تحمل پایینی هستند، تغییرات کمتری نشان می‌دهند و برعکس. پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان یک فاکتور تحمل به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژیک دارد تا زراعی، بنابراین، انتخاب بر اساس شاخص TOL، باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد به نسبت پایین در محیط عادی و عملکرد پایین در شرایط تنش می‌گردد، که چنین ژنوتیپ‌هایی از نظر شناسایی همکاران (Schnider et al., 1997) به علت پایین بودن عملکرد از نظر زراعی مناسب نیستند. در نتیجه پایین بودن شاخص تحمل الزاماً به معنی بالا بودن عملکرد در شرایط بدون تنش نیست، بلکه ممکن است عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت کمتری همراه باشد که این باعث کوچک ماندن شاخص تحمل به تنش می‌شود و در نتیجه این ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ متحمل معرفی می‌گردد.

ژنوتیپ‌های ۱، ۱۷، ۷ و ۲ که به‌ترتیب کمترین مقادیر شاخص حساسیت محیطی (SSI) را داشتند، جزء ارقام متحمل بودند. از نظر این شاخص ژنوتیپ ۱۵، حساس‌ترین ژنوتیپ بود. گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ولی با پتانسیل عملکرد پایین می‌شود و این شاخص قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل به تنش از ارقام با پتانسیل عملکرد پایین نیست. به عبارتی دو ژنوتیپ با عملکرد دانه بالا و پایین، در صورت داشتن اختلاف عملکرد یکسان در شرایط تنش و عدم تنش برای هر دو ژنوتیپ مقدار SSI یکسانی خواهند داشت. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از SSI مواد آزمایشی را صرفاً بر اساس مقاومت و حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند به‌عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آنها مشخص کرد (Fischer and Maurer, 1978) و به‌منظور یافتن ژنوتیپ‌های متحمل این شاخص کارایی بالایی دارد. در واقع در شاخص حساسیت (SSI) تغییر یا آسیب وارده به ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش مدنظر قرار می‌گیرد. به این معنی که اگر ژنوتیپی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالاتری باشد، اما درصد تغییرات زیادی را نشان دهد، به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی نمی‌شود. به همین دلیل انتخاب بر اساس این شاخص، باعث کاهش پتانسیل عملکرد در محیط‌های مناسب و بدون تنش می‌شود (Schnider et al., 1997).

مساحت برگ پرچم که ناشی از کاهش طول و عرض آن است، می‌تواند یکی از دلایل کاهش تعداد دانه پر در خوشه و در نتیجه عملکرد دانه باشد. محققین دیگری نیز به تأثیر کاهش طول و عرض برگ پرچم در برنج باعث کاهش فتوسنتز، تعداد دانه پر در خوشه، تعداد دانه در خوشه و تعداد خوشه در بوته یعنی اجزای عملکرد می‌گردد (Lafitte et al., 2004; Safaei Chaeikar et al., 2008). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر مبنی بر تأثیر منفی تنش خشکی بر تعداد دانه‌های پر در دانه و در نتیجه درصد باروری دانه، در تحقیقی نشان داده شد که بیشترین تعداد دانه پر در ساقه در تیمار با رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و کمترین میزان آن در تیمار با رطوبت ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مشاهده شد (Zubaer et al., 2007). همچنین نشان داده شده است که تعداد گلچه‌های غیربارور در شرایط تنش خشکی شدید در مقایسه با شرایط بدون تنش به میزان ۸۱ درصد افزایش یافت (Davatgar et al., 2009). همچنین اظهار شده است، در شرایطی که تنش خشکی نزدیک به مرحله گلدهی (که حساس‌ترین مرحله رشد است) اتفاق بیفتد، اجزای اصلی عملکرد تحت تأثیر قرار خواهند گرفت (Fischer et al., 2003).

ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

بیشترین میزان شاخص‌های YSI، YI، STI، GMP، MP و YSI و HM مربوط به ژنوتیپ شماره ۱ بود. از آنجا که میزان بالای عددی شاخص‌های فوق نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش است، پس می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ شماره ۱ متحمل‌ترین ژنوتیپ بود. شدت تنش (SI) برابر با ۰/۵۹ بود. همچنین کمترین میزان شاخص تحمل به تنش (TOL)، که مقادیر پایین آن نشان‌دهنده تحمل نسبی ارقام است، مربوط به ژنوتیپ ۱۷ بود و پس از آن ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱، ۶ و ۷ قرار داشتند. بنابراین، ژنوتیپ‌های فوق متحمل به تنش خشکی بودند. بر اساس این شاخص، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸ و ۱۰ به تنش خشکی حساس بودند. گزینش بر اساس سطوح پایین شاخص TOL، منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد آن‌ها در محیط دارای تنش در مقایسه با محیط بدون تنش، کاهش کمتری داشته باشد. از آنجا که ممکن است عملکرد رقمی در شرایط بدون تنش کم باشد (همانند ژنوتیپ ۱۷) و در شرایط تنش خشکی با کاهش کمتری مواجه شود و به‌عنوان رقم متحمل معرفی شود، بنابراین پایین بودن شاخص TOL لزوماً نشانگر بالا بودن عملکرد چنین رقمی در شرایط بدون تنش نیست (Rosielle and Hamblin, 1981). با بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مشخص شد که شاخص TOL در گزینش ژنوتیپ‌های که در

جدول ۲- برآورد شاخص‌های مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس عملکرد دانه

Table 2- Drought stress tolerance indices and grain yield in the studied rice varieties

شماره ژنوتیپ Genot type code	نام ژنوتیپ Genot type name	عملکرد دانه در شرایط نرمال Yp (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی Ys (kg ha ⁻¹)	شاخص حساسیت به تنش SSI	میانگین بهره‌وری تولید MP	شاخص تحمل TOL	میانگین هندسی قابلیت تولید GMP	تحمل شاخص تنش به STI	شاخص عملکرد YI	شاخص عملکرد پایداری YSI	میانگین هارمونیک HM
1	TM6-230-VE-7-5-1	4915	2788	0.73	3851.50	2126.33	3701.85	0.68	1.53	0.57	3558.02
2	TM6-230-VE-8-4-1	4587	2163	0.89	3375.00	2424.00	3149.87	0.49	1.19	0.47	2939.76
3	TM6-250-10-7-1	4784	2178	0.92	3481.17	2605.67	3228.18	0.52	1.20	0.46	2993.58
4	TM6-B-2-1-E	4956	2194	0.94	3574.83	2761.67	3297.38	0.54	1.21	0.44	3041.47
5	TM6-B-7-1	4761	1966	0.99	3363.50	2795.67	3059.28	0.47	1.08	0.41	2782.58
6	TM6-B-19-2	4248	1971	0.90	3109.50	2277.00	2893.58	0.42	1.08	0.46	2692.65
7	HM5-250-E-1-1	4633	2375	0.82	3504.00	2258.00	3317.13	0.55	1.31	0.51	3140.23
8	HM5-250-E-3-2	4428	1697	1.04	3062.50	2731.67	2741.06	0.37	0.93	0.38	2453.36
9	HM5-250-7-1	4645	1684	1.07	3164.67	2960.67	2797.09	0.39	0.93	0.36	2472.21
10	HM5-250-7-6	4667	1638	1.09	3152.17	3029.00	2764.50	0.38	0.90	0.35	2424.51
11	HM5-300-E-1	4078	1878	0.91	2978.00	2200.67	2767.26	0.38	1.03	0.46	2571.44
12	HM5-300-3-1	4572	1723	1.05	3147.50	2849.67	2806.53	0.39	0.95	0.38	2502.50
13	HM5-300-5-1	4473	2024	0.92	3248.67	2449.33	3008.99	0.45	1.11	0.45	2787.00
14	KM5-200-4-2-E	4378	726	1.40	2552.17	3651.67	1783.22	0.16	0.40	0.17	1245.96
15	Khazari	4022	643	1.41	2332.17	3379.00	1607.67	0.13	0.35	0.16	1108.24
16	Hashemi	4157	1621	1.03	2889.00	2536.67	2595.70	0.34	0.89	0.39	2332.17
17	Tarom	3597	1859	0.81	2728.00	1737.33	2586.00	0.33	1.02	0.52	2451.39
18	Gilaneh	4779	1576	1.13	3177.33	3203.33	2744.10	0.37	0.87	0.33	2369.95
Max		4955.67	2788.33	1.41	3851.50	3651.67	3701.85	0.68	1.53	0.57	3558.02
Min		3596.67	642.67	0.73	2332.17	1737.33	1607.67	0.13	0.35	0.16	1108.24
Mean		4482	1817								
SI		0.59									

YP, grain yield under non-stress condition; YS, grain yield under stress condition; SSI, stress susceptibility index; TOL, tolerance index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; STI, stress tolerance index; HM, harmonic mean; YI, yield Index; YSI, yield stability index.

(1992) از یکدیگر وجود دارد.

بر اساس شاخص GMP، ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳ و ۵ متحمل و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۷، ۱۶، ۸ و ۱۸ حساس به خشکی بودند. شاخص GMP برخلاف شاخص میانگین بهره‌وری (MP) حساسیتی به مقادیر نسبتاً زیاد Yp و Ys ندارد و در مقایسه با MP، دارای آریبی به سمت بالا نیست (Fernandez, 1992). بر اساس شاخص STI، ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳ و ۲ جزء ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۷، ۱۶، ۸ و ۱۸ جزء ژنوتیپ‌های حساس بودند.

انتخاب براساس شاخص MP باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا می‌شود. بر اساس این شاخص، پس از ژنوتیپ شماره ۱، ژنوتیپ‌های ۴، ۷، ۳ و ۲ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند. همچنین بر اساس این شاخص، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۷ و ۱۶ جزء ژنوتیپ‌های حساس بودند. از بین ارقام شاهد فقط ژنوتیپ ۱۸ از تحمل نسبی به خشکی از نظر این شاخص برخوردار بود (جدول ۲). با استفاده از شاخص‌های TOL و MP، امکان تفکیک ژنوتیپ‌های گروه B و C بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز (Fernandez,

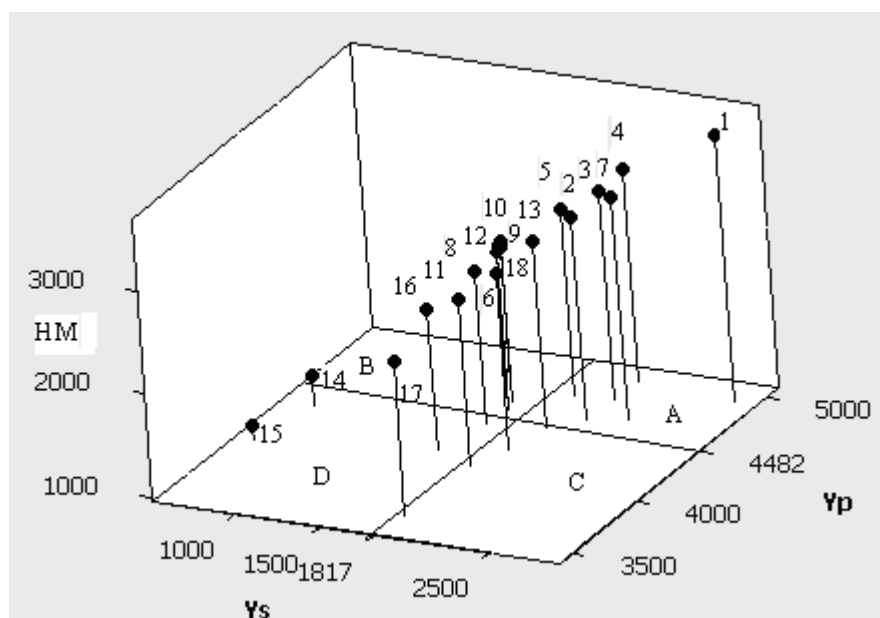
گرفتند، که نشان‌دهنده عملکرد بالا این ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش می‌باشد. همچنین این نمودار نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۶ و ۸ در ناحیه D قرار گرفته بودند.

تجزیه همبستگی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد می‌تواند به عنوان معیاری مناسب برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها استفاده شود (جدول ۳). نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال به ترتیب با شاخص‌های میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، تحمل به تنش (STI) و میانگین هارمونیک (HM) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت، که بیشترین آن مربوط به شاخص میانگین هندسی بهره‌وری ($r=0.783$) بود. در شرایط آبیاری نرمال شاخص SSI دارای همبستگی منفی با عملکرد دانه بودند. در شرایط تنش خشکی نیز شاخص‌های YI، HM، GMP، YSI و STI دارای همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه بودند. در این شرایط نیز دو شاخص SSI و TOL دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد دانه بودند. در تطابق با این نتیجه، در تحقیقی همبستگی منفی بین دو شاخص فوق و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی گزارش شد (Safaei Chaeikar et al., 2008).

ژنوتیپ‌های متحمل فوق، ضمن داشتن بالاترین مقادیر شاخص STI، از نظر میانگین عملکرد نیز در هر دو شرایط محیطی به گروه ژنوتیپ‌های پرمحصول تعلق داشتند. بر اساس شاخص HM، ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۳، ۲ و ۱۳ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۱۰ و ۱۷ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند. بر اساس شاخص YI، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها عبارت بودند از ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳ و ۲ و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها نیز شامل ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۱۶ و ۱۰ بودند. بر اساس شاخص YSI نیز ژنوتیپ‌های ۱، ۱۷، ۷، ۲، ۶ و ۱۱ متحمل و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۸، ۱۰ و ۹ حساس به تنش خشکی بودند. در مجموع انتخاب بر اساس شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI نتایج مشابهی داشت و بر اساس آنها ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳ و ۲ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۷ و ۱۶ به عنوان حساس به تنش خشکی بودند (جدول ۲).

از شاخص‌های MP، GMP، STI و HM با توجه به برتری آنها در شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب، می‌توان برای رسم نمودار سه بعدی استفاده نمود و همزمان روابط بین سه متغیر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و یکی از شاخص‌ها را مطالعه کرد. از این رو، از شاخص HM به دلیل داشتن همبستگی بیشتر با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی برای نمودار سه بعدی استفاده شد (شکل ۱). بررسی نمودار سه بعدی نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱، ۴، ۷، ۳ و ۲ در گروه A قرار



شکل ۱- پراکنش سه بعدی ارقام مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های YP (عملکرد دانه برنج در شرایط بدون تنش)، Ys (عملکرد دانه برنج در شرایط تنش) و HM (میانگین هارمونیک)

Figure 1- Three dimensional dispersion of the studied varieties based on YP (rice grain yield under non-stress condition), YS (rice grain yield under stress condition) and HarM (harmonic mean)

Safaei Chaeikar *et al.*, 2008; Ghiasy Oskoei *et al.*, 2012). ژنوتیپهای ۱، ۷، ۴، ۳ و ۲ براساس شاخصهای مذکور در رده بالایی قرار داشتند و با توجه به این که در این تحقیق، این شاخصها به عنوان برترین شاخصها برای شناسایی ژنوتیپهای متحمل بودند، پس می توان ژنوتیپهای فوق را به عنوان متحمل ترین ژنوتیپها به تنش خشکی در تحقیق حاضر معرفی نمود. همچنین ژنوتیپهای ۱۵، ۱۴، ۱۷ و ۱۶ که کمترین مقدار این شاخصها را داشتند، می توانند به عنوان حساس ترین ژنوتیپها در این تحقیق معرفی گردند. در تطابق با این نتیجه، در تحقیقی ارقام هاشمی و خزر به عنوان ارقام حساس به خشکی در مراحل رویشی و زایشی معرفی شده بودند (Kohansal Vajargah *et al.*, 2010).

شاخص هایی که در هر دو محیط دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند، قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپهای با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط می باشند و از این رو می توانند به عنوان شاخص های مناسب معرفی شوند (Fernandez, 1992). این بدان مفهوم است که در صورت گزینش بر اساس هر یک از این شاخصها، به طور غیرمستقیم ژنوتیپهای با عملکرد بیشتر انتخاب خواهند شد. لذا در تحقیق حاضر از شاخص های STI، GMP، MP و HM برای معرفی ژنوتیپهای متحمل به تنش خشکی استفاده شد. در همین راستا، سایر محققین نیز شاخص های STI، GMP، MP و HM را به عنوان شاخص های برتر معرفی کردند که قادر به شناسایی ژنوتیپهای مقاوم با عملکرد بالا هستند (Erfani *et al.*, 2012; Rahimi *et al.*, 2013; Kohansal Vajargah *et al.*, 2010;

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و غرقاب و شاخص های تحمل در ۱۸ ژنوتیپ برنج
Table 3- Correlation coefficients among tolerance and susceptibility indices in the 18 rice genotypes

میانگین هارمونیک HM	شاخص پایداری عملکرد YSI	شاخص عملکرد YI	شاخص به تحمل تنش STI	شاخص میانگین هندسی قابلیت تولید GMP	شاخص تحمل TOL	میانگین بهره وری تولید MP	شاخص حساسیت به تنش SSI	عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی Ys	عملکرد دانه در شرایط نرمال Yp
.513*	.148	.443	.633**	.606**	.261	.783**	-.148	.443	1
.993**	.950**	1.000**	.972**	.978**	-.750**	.905**	-.950**	1	
-.922**	-1.000**	-.950**	-.850**	-.874**	.913**	-.729**	1		
.933**	.729**	.905**	.976**	.967**	-.396	1			
-.690**	-.913**	-.750**	-.580*	-.605**	1				
.994**	.874**	.978**	.991**	1					
.980**	.850**	.972**	1						
.993**	.950**	1							
.922**	1								
1									

جدول ۴- مقادیر ویژه و بردارهای حاصل از تجزیه به مؤلفه های اصلی برای شاخص های مقاومت به خشکی

Table 4- Principal component analysis using tolerance and susceptibility indices

مؤلفه اصلی Principal component	مقادیر ویژه Eigen value	درصد واریانس Variance (%)	عملکرد دانه در شرایط نرمال Yp	عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی Ys	شاخص حساسیت به تنش SSI	میانگین بهره وری تولید MP	شاخص تحمل TOL	میانگین هندسی قابلیت تولید GMP	شاخص تحمل تنش به STI	شاخص عملکرد YI	شاخص پایداری عملکرد YSI	میانگین هارمونیک HM
1	8.27	82.8	0.16	0.34	-0.32	0.32	-0.25	0.34	0.34	0.35	0.33	0.35
2	1.69	17	0.68	-0.02	0.26	0.31	0.52	0.13	0.15	-0.02	-0.26	0.04
3	0.017	0.2	-0.06	0.21	0.26	0.12	-0.27	-0.39	0.60	0.21	-0.26	-0.41

رطوبتی باشند. محققین دیگری نیز نتایجی مشابه با نتایج آزمایش حاضر مشاهده نمودند (Ghiasy Oskoe et al., 2012; Erfani et al., 2012).

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر خشکی بر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه، طول خروج خوشه از غلاف و درصد باروری دانه معنی‌دار بود. همچنین تفاوت بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات فوق وجود داشت. با بررسی شاخص‌های تحمل به تنش مشخص گردید که شاخص‌های MP، GMP، STI و HM شاخص‌های برتر برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و با عملکرد بالا بودند و لذا از این شاخص‌ها برای معرفی ژنوتیپ‌های مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی انتهای فصل استفاده شد. در نتیجه با توجه به شاخص‌های مذکور، ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ (لاین‌های موتانت M5 از رقم طارم محلی) و (لاین موتانت M5 از رقم هاشمی) متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۱۴ (لاین موتانت از رقم خزر)، ۱۵ (هاشمی)، ۱۶ (خزر) و ۱۷ (طارم) حساس به تنش خشکی شناسایی شدند. لذا به نظر می‌رسد که استفاده از موتاسیون توانسته باشد به نحو چشمگیری تحمل به خشکی را در نتاج ایجاد نماید و از این‌رو می‌توان از لاین‌های فوق در پروژه‌های معرفی ارقام مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی استفاده نمود.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای بررسی بیشتر روابط بین ژنوتیپ‌ها از نظر اطلاعات مربوط به شاخص‌های مقاومت به خشکی انجام گرفت. نتایج این تجزیه نشان داد که بیشترین تغییرات بین داده‌ها توسط دو مؤلفه اصلی اول توجیه گردید، به‌طوری‌که این دو مؤلفه حدود ۹۹/۸ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه می‌نمود. مؤلفه اصلی اول ۸۲/۸ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه می‌کرد و دارای ضرایب منفی برای شاخص‌های SSI و TOL بود، در حالی که برای عملکرد در شرایط شاهد و تنش خشکی و شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، YSI و YI مثبت ملاحظه شد (جدول ۴). با توجه به مقادیر مثبت ضرایب فوق در مؤلفه اصلی اول، انتخاب بر اساس این مؤلفه می‌تواند موجب گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و عدم تنش شود. بنابراین، این مؤلفه را می‌توان به‌عنوان پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی نام نهاد. مؤلفه اصلی دوم ۱۷ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه می‌کرد و ارتباط مثبتی با شاخص‌های SSI و TOL داشت. این مؤلفه همچنین ارتباط منفی با عملکرد دانه در شرایط تنش نشان داد. از آنجایی که مقادیر بیشتر این شاخص‌ها نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ به تنش می‌باشد، بنابراین می‌توان این عامل را تحت عنوان مؤلفه حساسیت به خشکی نام گذارد و انتخاب بر اساس این مؤلفه سبب گزینش و جداسازی ژنوتیپ‌هایی با تحمل پایین و حساسیت بالا به خشکی می‌شود. هرچه مقدار این مؤلفه کمتر باشد، ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای مقادیر کمتر SSI و TOL و عملکرد دانه بیشتر در شرایط تنش

References

1. Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.
2. Davatgar, N., Neishabouri, M. R., Sepaskhah, A. R., and Soltan, A., 2009. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. *International Journal of Plant Production* 3: 19-32.
3. Dehghani, H., Omid, H., and Sabaghnia, N. 2008. Graphic analysis of trait relations for rapeseed using the biplot method. *Agronomy Journal* 100 (5): 1443-1449.
4. Erfani, F., Shokrpour, M., Momeni, A., and Erfani, A. 2012. Evaluation of drought tolerance in rice varieties using yield-based indices at vegetative and reproductive stage. *Sustainable Agriculture and Production Science* 23 (4): 136-147. (in Persian).
5. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective Selection Criteria for Assessing Plant Stress Tolerance. In: Kuo, C. G. (Ed.). *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress Tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops to Temperature and Water Stress*. AVRDC Publication, Tainan, Shanhu, Taiwan. Pp, 257-270.
6. Fischer, K. S., Lafitte, R., Fukai, S., Atlin, G., and Hardy, B. 2003. *Breeding Rice for Drought-Prone Environments*. Los Baños: IRRI, 98.
7. Fischer, R., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop and Pasture Science* 29: 897-912.
8. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R. G., Ricciardi, G. L., and Brghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science* 77 (4): 523-531.
9. Ghiasy Oskoe, M., Farahbakhsh, H., Sabouri, H., and Mohammadinejad, G. 2013. Evaluation of rice cultivars in

- drought and normal conditions based on sensitive and tolerance indices. Electronic Journal of Crop Production 6 (4): 55-75. (in Persian).
10. Ghiasy Oskoei, M., Farahbakhsh, H., Sabouri, H., and Mohammadinejad, G. 2012. Effect of drought stress on yield and yield components in rice landraces and improved cultivars under Gonbad Kavous environmental condition. Cereal Research 2 (3): 165-179. (in Persian).
 11. Kohansal Vajargah, F., Amiri, E., Paknejad F., Vazan S., Kohansal Vajargah, S., and Motamedi. M. 2010. Determination of the suitable drought resistance indices in rice varieties. Journal of Crop Production Research 2 (4): 299-313. (in Persian).
 12. Lafitte, H. R., Price, A. H., and Courtois, B. 2004. Yield response to water deficit in an upland rice mapping population: Associations among traits and genetic markers. Field Crops Research 6: 1237-1246.
 13. O'Toole, J. C., Namuco, and O. S. 1983. Role of panicle exertion in water-stress induced sterility. Crop Science 23: 1093-1097.
 14. Rahimi, M., Dehghani, H., Rabiei, B., and Tarang, A. R. 2013. Evaluation of rice segregating population based on drought tolerance criteria and biplot analysis. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5 (3): 194-199.
 15. Rosielle, A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21: 943-946.
 16. Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., Samizadeh, H., and Esfahani, M. 2008. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 9 (4): 315-331. (in Persian).
 17. Schnider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N., and Kelly, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science 37: 43-50.
 18. Venuprasad, R., Sta Cruz, M. T., Amante, M., Magbanua, R., Kumar, A., and Atlin, G. N. 2008. Response to two cycles of divergent selection for grain yield under drought stress in four rice breeding populations. Field Crops Research 107: 232-244.
 19. Yang, J., and Zhang, J. 2010. Crop management technique to enhance harvest index in rice. Journal of Experimental Botany 61 (12): 3177- 3189.
 20. Zubaer, M., Chowdhury, A., Islam, M., Ahmed, T., and Hasan, M. 2007. Effects of water stress on growth and yield attributes of aman rice genotypes. International Journal of Sustainable Crop Production 2: 25-30.



Evaluation of Drought response in Some Rice Mutant Lines Using Stress Tolerance Indices

H. Aminpanah¹ - P. Sharifi^{1*} - A. A. Ebadi²

Received: 13-01-2017

Accepted: 12-09-2017

Introduction

Drought is a major problem that limits the adoption of high-yielding rice varieties in drought-prone rainfed rice environments. To improve crop productivity, it is necessary to understand the mechanism of plant responses to drought conditions with the ultimate goal of improving crop performance in the vast areas of the world where rainfall is limiting or unreliable. Safaei Chaeikar *et al.* (2008) reported that MP, GMP, HM and STI indices, which showed the highest correlation with grain yield under both optimal and stress conditions, can be used as the best indices to introduce drought-tolerant genotypes in rice breeding programs. They also were introduced Nemat, Sepidrood, IR64, IR50 and Bejar genotypes as tolerant varieties. The present study was conducted to determine how drought affects grain yield in rice mutant lines and also to test this hypothesis in order to identify the most suitable indices/genotypes.

Materials and Methods

A field trial was conducted at Iranian Rice Research Centers in North of Iran, Rasht (latitude 37°28', longitude 49°28'E and altitude 7m below the sea level), during the 2014-2015 growing season. The seeds were sown in a nursery on the 10 May and 25 day old seedlings were transplanted to the field. Two separately experiment was carried out under reproductive stage drought stress and controlled conditions based on randomized complete block design with three replications, in four-row plots of three m length. Transplanting was done using 1 seedling per hill; at hill spacing of 25 cm × 25 cm. 18 rice genotypes were consisted 14 M5 mutant lines and their four parental cultivars.

Results and Discussion

Analysis of variance indicated significant effects of drought stress, genotype and interaction effects of two factors on grain yield, plant height, flag leaf area, tiller number and grain fertility percentage. Drought stress at reproductive stage caused reduction in grain yield (59.47%), grain fertility percentage (19.08%), plant height (9.35%), flag leaf area (8.59%) and panicle length (1.61%). Different drought indices probably measure similar aspect of drought tolerance/resistance. Significant yield reduction was observed under drought stress in majority of the rice genotypes studied. Drought tolerance indices were varied significantly indicating genotypic variability. Selection based on these stress tolerance indices will results in identification of drought tolerant genotypes for rainfed ecosystems. The stress tolerance index (STI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP) and harmonic mean (HM) were superior in genotype indicating that they can be used as alternative for each other to select drought tolerant genotypes with high yield performance in both stress and non-stress conditions. To determine the most desirable drought tolerance criteria, the correlation coefficients between Yp, Ys and other quantitative indices of drought tolerance were calculated. The results indicated that there were positive and significant correlations among Yp and MP, GMP, STI and HM. There were also significant and positive correlation between Ys and YI, HM, GMP, YSI, STI and MP. In this experiment, the principal component analysis was performed on eight indices and grain yield under stress and non-stress in 18 rice genotypes. Results showed that the first two components explained 82.8% and 17% of total variation, respectively. The relationship between principal components and studied indices showed that the higher values of first and the lower values of second components were related to drought tolerance and sensitivity to stress, respectively. Selection based on a combination of indices may provide a more useful criterion for improving rice drought-tolerant lines; therefore, studies of correlation coefficients are useful in finding out the degree of overall linear association between any two attributes. According to these drought stress indices, G1, G2, G3, G4 and G5 (M5 mutant lines of local lanrace, Tarom) and (M5 mutant line of Hashemi) were as drought tolerant and G14 (mutant lines of Khazar), G15 (Hashemi), G16 (Khazar) and G17 (Tarom) were sensitive to drought stress.

1- Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

2- Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

(* - Corresponding Author Email: sharifi@iaurasht.ac.ir)

Conclusions

Results of present study showed that MP, GMP, YI and STI are best indices for selecting and specifying of rice tolerant genotypes in arid areas. The use of mutation caused drought resistant on the progenies and the above lines can be used in a project of introduction of drought tolerant rice varieties.

Keywords: Grain yield, Mutant line, Principal components analysis, Reproductive stage



واکنش چند رقم گندم نان به محلول پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن در دو منطقه با خاک متفاوت

الیاس آرمزجو^{۱*} - محمد علی بهدانی^۲ - سهراب محمودی^۳ - بهزاد صادق‌زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱

چکیده

روی (Zn) و آهن (Fe) از عناصر ریزمغذی ضروری برای رشد گیاه و انسان هستند و کمبود آن‌ها در رژیم غذایی، یک مشکل بزرگ تغذیه‌ای در دنیا به حساب می‌آید. به منظور بررسی اثر محلول پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن بر اجزای عملکرد، صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد دانه برخی ارقام گندم در دو منطقه با خصوصیات خاک متفاوت، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ به اجرا درآمد. عوامل مورد بررسی عبارت بودند از: ارقام گندم (شامل روشن و یک کراس روشن (ارقام قدیمی)، بم و افق (ارقام جدید))، مصرف روی در سه سطح محلول پاشی با آب (شاهد)، سولفات روی و کلات روی و مصرف آهن نیز در سه سطح محلول پاشی با آب (شاهد)، سولفات آهن و کلات آهن (معادل ۲/۵ کیلوگرم در هکتار). نتایج نشان داد که ارقام جدید از ارتفاع و طول پدانکل کمتر و طول دوره پر شدن دانه، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت بیشتری برخوردار بودند. محلول پاشی روی و آهن منجر به بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد دانه شد و محلول پاشی سولفات روی و سولفات آهن در هر دو منطقه مورد بررسی (به خصوص در منطقه امیرآباد با شوری و pH بیشتر خاک) نتیجه بهتری در مقایسه با فرم کلاته این عناصر داشت. در نهایت با توجه به نتایج این تحقیق، کشت ارقام جدید بم و افق و محلول پاشی فرم‌های سولفات روی و آهن برای تولید گندم در شرایط اقلیمی مشابه توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، شوری، عملکرد دانه، عناصر ریزمغذی

مقدمه

است (Malakouti, 2007). کمبود عناصر ریزمغذی، بیش از نیمی از جمعیت دنیا به‌ویژه زنان و کودکان را در برمی‌گیرد. مقدار عنصر روی و آهن توصیه‌شده مجاز در رژیم غذایی انسان به ترتیب ۱۵ و ۱۰ میلی‌گرم در روز است (Fang et al., 2008). آهن یکی از مهم‌ترین ریزمغذی‌ها است که حدود ۲ میلیارد نفر از جمعیت دنیا از فقر آن رنج می‌برند و این موضوع عامل اصلی کم‌خونی نیز به‌شمار می‌رود (Stein, 2010). کمبود روی نیز بسیار شایع بوده و نوزادان تازه متولد شده، کودکان و زنان باردار و افراد مسن بیشتر دچار کمبود آن هستند (Salgueiro et al., 2006). کمبودهای این عناصر، دو عامل اصلی بیماری در کشورهای کم‌درآمد بوده و جمعاً بیش از سه میلیارد نفر از جمعیت دنیا دچار کمبود آهن و روی بوده و این عدد همچنان رو به افزایش است (Welch and Graham, 2004).

عناصر کم‌مصرف روی و آهن برای فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان ضروری هستند (Alloway, 2008). روی نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیکی سلول، محافظت غشاء در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها دارد و در سنتز پروتئین‌ها و هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین به کار نیز می‌رود. از دیگر نقش‌های روی می‌توان

گندم‌های (*Triticum aestivum* L.) رشد کرده در خاک‌های فقیر از نظر روی و آهن، عملکرد دانه پایینی تولید کرده و محتوی روی و آهن اندکی دارند. بیش از ۴۰ درصد اراضی زیر کشت گندم دچار کمبود شدید روی و ۳۷ درصد این اراضی دچار کمبود شدید آهن هستند و میزان کمبود روی در خاک‌های ایران نیز ۸۰ درصد است (Alloway, 2008). خاک‌های بسیاری از نواحی کشور ما نیز آهنکی بوده و دارای pH بالا و ماده آلی پایین می‌باشند و بروز کمبود روی و آهن در آن‌ها بسیار رایج است. این کمبود فراگیر روی و آهن در خاک‌های ایران باعث کاهش غلظت این عناصر در گیاهان زراعی شده و در نتیجه کمبود این عناصر در دام‌ها و انسان‌ها را موجب شده

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بیرجند

۳ - استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

(*) - نویسنده مسئول: (Email: Elias.arazmjo@Gmail.com)

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.61570

به تنظیم میزان بازبودن روزنه‌ها، فعالیت آنزیم کربنیک‌آنهیدراز، ساخته‌شدن تریپتوفان، مشارکت در متابولیسم نیتروژن، جزء فلزی آنزیم‌های مختلف و یا به‌عنوان یک کوفاکتور عاملی، ساختاری یا تنظیمی، اشاره کرد (Sadeghzadeh and Rengel, 2011). کمبود روی در خاک‌ها به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان یک عامل محدودکننده‌ی تغذیه‌ای محسوب می‌شود (Sadeghzadeh, 2013)، که برای جبران این کمبود راهکارهای مختلفی از جمله محلول‌پاشی روی پیشنهاد شده است. آهن نیز از عناصر ضروری برای رشد سلول‌های گیاهی، توسعه سلول‌های مختلف مربوط به فتوسنتز و تنفس می‌باشد. آهن در تعدادی از آنزیم‌ها و عوامل کاهش‌دهنده در فرآیندهای اصلی مربوط به سوخت و ساز گیاه شامل فتوسنتز، تنفس، حفاظت سلولی، تثبیت نیتروژن و بسیاری از روابط دیگر به‌عنوان عامل همراه نقش دارد (Barton and Abadia, 2006). فعالیت بسیاری از سیستم‌های آنزیمی و ترکیبات گیاهی مانند کاتالاز، سیتوکروم، هماتین، هم و سیتوکروم اکسیداز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با کمبود آهن کاهش می‌یابد. همچنین به نظر می‌رسد که آهن نقش مهمی در متابولیسم اسید نوکلئیک کلروپلاست‌ها و سنتز کلروفیل داشته باشد و عدم حضور آن باعث ایجاد کلروز در گیاه می‌شود. آهن بخشی از گروه کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های اکسیداسیون و احیا بوده و عنصری ضروری برای سنتز کلروفیل است (Barton and Abadia, 2006).

به دلیل کارایی بالای انتقال روی در آوندهای آبکش گندم (Haslett et al., 2001)، محلول‌پاشی روی مؤثرترین روش برای بهبود غلظت روی در دانه شناسایی شده که می‌تواند بسته به نوع خاک و شرایط اقلیمی، غلظت آن را دو تا سه برابر افزایش دهد (Cakmak, 2008). سه نوع ترکیب مختلف به‌عنوان کودهای روی مورد استفاده قرار می‌گیرند که شامل ترکیبات غیرآلی، کلات‌های سنتزی و کمپلکس‌های آلی طبیعی هستند؛ این ترکیبات به‌طور قابل‌توجهی از نظر مقدار روی، قیمت و میزان اثرگذاری بر گیاهان زراعی در انواع مختلف خاک‌ها با یکدیگر متفاوتند. منابع غیرآلی روی شامل اکسید روی (ZnO)، کربنات روی ($ZnCO_3$)، سولفات روی ($ZnSO_4$)، نترات روی ($Zn(NO_3)_2$) و کلرید روی ($ZnCl_2$) هستند که سولفات روی رایج‌ترین آن‌هاست و در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. لیگاند‌های کلات‌کننده سنتزی مورد استفاده برای روی نیز شامل EDTA، DTPA و HEDTA هستند که البته EDTA تا به امروز گسترده‌ترین کاربرد را دارد (Alloway, 2008).

فرم‌های مختلف کلاته و غیرآلی از کودهای حاوی آهن از جمله $FeSO_4$ ، $FeEDTA$ ، $FeDTPA$ ، $FeEDDHA$ ، Fe -citrate و $FeIDHA$ وجود دارند. با این وجود، اثربخشی ترکیبات آهن برای غلبه بر کمبود آن به میزان زیادی به پایداری آن‌ها، توانایی نفوذ از طریق کوتیکول برگ و قابلیت جابه‌جایی آن‌ها متعاقب انتشار به درون

بافت برگ دارد (Fernandez et al., 2009; Rodriguez-Lucena et al., 2010). در مقایسه‌ای بین ارقام مختلف گندم بهاره از لحاظ پاسخ به کوددهی آهن (بدون مصرف و مصرف ۲۰ کیلوگرم سکوسترین آهن در هکتار) در یک خاک آهکی گزارش گردیده است که در اثر مصرف ۲۰ کیلوگرم سکوسترین آهن، عملکرد دانه حدود ۱۴ درصد افزایش یافت و عملکرد دانه در همه ارقام گندم مورد مطالعه به جز رقم روشن افزایش پیدا کرد (Khoshgoftarmanesh et al., 2012). بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی در بهبود خصوصیات کمی و کیفی دانه سه رقم گندم نشان داد که محلول‌پاشی آهن و روی، افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد پنجه بارور، میزان پروتئین، روی، آهن و منگنز دانه را به دنبال داشت (Maralian et al., 2009). مصرف عناصر ریز مغذی آهن و روی باعث افزایش ارتفاع و طول سنبله گندم شده است (Seilsepour, 2003). محلول‌پاشی آهن همچنین موجب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در متر مربع و عملکرد دانه گندم شده است (Izedi Kherameh et al., 2012).

خاک یک سیستم پیچیده و پویاست که از اجزا و ترکیبات گوناگونی تشکیل شده است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به دلیل نقش مهمی که در حمایت از رشد گیاه دارد، حائز اهمیت است. این خصوصیات، تعیین‌کننده چگونگی اثر متقابل گیاه با خاک، جذب آب و مواد غذایی، نفوذ ریشه‌ها، دمای خاک و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکری می‌باشد. علاوه بر کاربرد کود، می‌توان از پتانسیل ژنتیکی گیاهان کارا در جذب و تجمع روی برای حل مشکل کمبود روی در خاک بهره‌برداری نمود. در بررسی ژنوتیپ‌های جو در پنج خاک مختلف از نظر بافت و pH، جمع‌آوری شده از مناطق مختلف استرالیای غربی، گزارش گردید که واکنش ژنوتیپ کارا از نظر جذب و تجمع روی در اندام‌هوایی و بذر در خاک‌های مختلف پایدار بود (Sadeghzadeh et al., 2016). اختلاف بین گونه‌های غلات و بین ارقام یک گونه در پاسخ به کمبود روی گزارش شده است (Sadeghzadeh and Rengel, 2009). گندم از غلاتی است که در آن اختلاف در پاسخ ارقام نسبت به کود روی زیاد است. در آزمایشی در ۲۵ محل مختلف با تیمارهای روی، آهن، منگنز و مس مشخص گردید که تیمارهای حاوی روی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد دانه گندم (۱۵٪)، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و محتوی روی و پروتئین دانه شدند (Ziaieian and Malakouti, 2001). ارزیابی کارایی روی در ارقام متفاوت گندم در یک خاک آهکی دچار کمبود روی حاکی از آن بود که علائم کمبود روی از قبیل ظهور لکه‌های کم‌رنگ و نکروزه و کاهش ارتفاع بوته در ارقام الوند و مهدوی بیشتر بود (Moshiri et al., 2010).

مطالعات در زمینه اثربخشی فرم‌های مختلف روی و آهن بر عملکرد و صفات زراعی ارقام گندم نان جدید در مقایسه با ارقام

انجام گردید. کاشت به کمک دستگاه بذرکار مخصوص آزمایش‌های غلات روی دو پشته (هر پشته سه ردیف به فاصله ۲۰ سانتی‌متر) و به طول ۵ متر به مساحت ۶ متر مربع با ۱/۵ متر فاصله بین تکرارها انجام گردید. کاشت در هر دو منطقه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و در تاریخ‌های ۱۶ و ۱۷ آبان انجام گردید. میزان بذر برای کاشت ۵۰۰ دانه در متر مربع و بر اساس وزن هزار دانه ارقام مورد بررسی منظور شد. علف‌های هرز در اواسط فروردین ماه به‌صورت دستی وجین شدند. محلول پاشی تیمارهای مورد نظر در دو مرحله شامل طولیل شدن ساقه‌ها و ابتدای گلدهی و جهت جلوگیری از سوختگی برگ‌ها، صبح زود انجام شد.

صفات مورفولوژیک، فنولوژیک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد شامل تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص برداشت یادداشت‌برداری و اندازه‌گیری شدند. قبل از برداشت برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، طول سنبله و طول پدانکل، تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و به کمک خط‌کش اندازه‌گیری بر روی ساقه اصلی انجام شد. جهت تعیین زیست‌توده، گیاهان کل کرت با رعایت اثر حاشیه برداشت و توزین گردید، سپس بوجاری و عملکرد دانه آنها نیز ثبت شد. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در سنبله، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از تعداد ۵ بوته نمونه‌برداری از سنبله‌ها انجام و پس از بوجاری، تعداد دانه در سنبله میانگین‌گیری گردید. برای وزن هزار دانه نیز دو دسته ۱۰۰۰ تایی از هر کرت شمارش و وزن هزار دانه آنها به ثبت رسید.

داده‌های جمع‌آوری شده از دو منطقه با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و پس از انجام آزمون بارتلت، جهت اطمینان از همگنی واریانس خطای صفات مورد بررسی، بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه مرکب قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD محافظت‌شده در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار منطقه بر صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و رسیدگی، طول دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، طول پدانکل و طول سنبله بود. به‌علاوه ارقام مورد بررسی نیز از نظر تعداد روز تا ظهور سنبله، طول دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، طول پدانکل و طول سنبله اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. محلول پاشی روی اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته و طول سنبله، و محلول پاشی آهن نیز تنها اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گندم داشت. تعداد روز تا ظهور سنبله و ارتفاع بوته تحت تأثیر اثر متقابل منطقه در رقم قرار گرفت و اثرات

قدیمی در خاک‌های مناطق مختلف ایران خیلی محدود است. بنابراین هدف اصلی از این آزمایش، بررسی محلول پاشی آهن و روی از فرم‌های مختلف بر واکنش چند رقم گندم نان قدیمی و جدید در دو منطقه با خصوصیات خاک متفاوت بوده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تأثیر محلول پاشی فرم‌های مختلف عناصر ریزمغذی روی و آهن بر عملکرد و خصوصیات فنولوژیک و مورفولوژیک ارقام قدیم و جدید گندم نان، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در دو منطقه با خصوصیات خاک متفاوت طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام گردید. ارقام مورد استفاده در این آزمایش چهار رقم گندم نان شامل: روشن و بک‌کراس روشن (ارقام قدیمی)، بم و افق (ارقام جدید) بودند. مصرف روی در سه سطح شامل شاهد (محلول پاشی با آب آبیاری) و محلول پاشی سولفات روی ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) و کلات روی (ZeEDTA) و مصرف آهن نیز در سه سطح شامل شاهد (محلول پاشی با آب آبیاری) و محلول پاشی سولفات آهن ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) و کلات آهن (FeEDDHA) انجام شد. سولفات روی و کلات روی به‌ترتیب حاوی ۲۴ و ۱۴ درصد روی خالص و سولفات آهن و کلات آهن به‌ترتیب حاوی ۱۹ و ۶ درصد آهن خالص بودند. تیمارهای محلول پاشی معادل ۲/۵ کیلوگرم در هکتار از منابع ذکر شده بودند (Yang et al., 2011). لازم به ذکر است اسیدیته محلول‌های مورد نظر جهت محلول پاشی در هر منطقه، با استفاده از NaOH یک دهم نرمال (برای سولفات روی و سولفات آهن) و HCl یک دهم نرمال (برای کلات روی و کلات آهن) خنثی گردید. نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک محل‌های آزمایش برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان مورد نیاز کودهای اوره، سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل انجام شد. آزمایش اول در منطقه امیرآباد و در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند با بافت خاک لومی‌رسی‌شنی (واقع در ۵ کیلومتری جاده بیرجند-کرمان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا) انجام گردید. آزمایش دوم در منطقه محمدیه و در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی با بافت خاک لومی (واقع در ۲۰ کیلومتری جاده بیرجند-کرمان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا) انجام گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک هر دو محل در جدول ۱ آورده شده است. هر دو زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل به‌صورت آیش بود. عملیات تهیه بستر شامل شخم پاییزه، دیسک و لولر در اوایل مهر ماه

متقابل منطقه در آهن و منطقه در رقم در آهن بر طول سنبله معنی دار بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از کاهش به‌ترتیب ۴/۵، ۶/۱ و ۹/۸ درصدی تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی و طول دوره پر شدن دانه در منطقه امیرآباد در مقایسه با محمدیه بود (جدول ۳) که احتمالاً pH بالاتر و شوری بیشتر خاک امیرآباد دلیل این کاهش بوده است. در شرایط تنش شوری، طول دوره رویشی و زایشی ژنوتیپ‌های گندم کاهش یافته و باعث زودرسی

آن‌ها می‌گردد (Munns and James, 2003). همچنین نتایج حاکی از کاهش به‌ترتیب ۱۷/۶، ۱۰/۵ و ۴/۸ درصدی ارتفاع بوته، طول سنبله و طول پدانکل در امیرآباد (با شوری و pH بالاتر خاک) نسبت به محمدیه بود (جدول ۳). کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته و طول سنبله با افزایش شوری در گندم گزارش شده است (Haghighi and Seyyed Sharifi, 2014).

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل‌های مورد نظر

Table 1- The results of physico-chemical analysis of investigated location's soils

محل Location	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil texture	اسیدی ته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	فسفر P (ppm)	روی Zn (ppm)	آهن Fe (ppm)	پتاسیم Absorbable K (ppm)	کربن C (%)	ماده آلی O.M. (%)
امیرآباد Amirabad	60.9	18	21.1	لومی رسی - شنی Sandy clay loam	8.13	10.8	7.8	0.84	2.81	184	0.09	0.15
محمدیه Mohamadiéh	38	42	20	لومی Loam	7.6	4.4	9.1	1.16	4.36	140	0.31	0.54

این نظر غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). در آزمایشی در خصوص تأثیر کاربرد روی، آهن و منگنز بر گندم گزارش شد که کاربرد روی و آهن باعث افزایش طول سنبله گردید (Pahlavan Rad et al., 2008). محلول‌پاشی آهن نیز افزایش معنی‌دار ۶/۸ درصدی ارتفاع بوته در تیمار سولفات آهن را در مقایسه با شاهد به دنبال داشت ضمن اینکه اختلاف بین فرم‌های سولفات و کلاته آهن نیز با یکدیگر معنی‌دار نبود (جدول ۳). برتری ارتفاع بوته در شرایط کاربرد آهن می‌تواند به دلیل تأمین مقادیر کافی آهن قابل‌دسترس گیاه و نقش این عنصر در سنتز کلروفیل جهت افزایش فتوسنتز در زمان رشد رویشی گیاه باشد (Barton and Abadia, 2006). در بررسی اثرات تغذیه آهن بر رشد گیاه گندم گزارش شده است که ارتفاع بوته با کاربرد آهن افزایش می‌یابد (Khoshgofarmanesh et al., 2012). بررسی اثر متقابل منطقه در رقم برای صفت تعداد روز تا ظهور سنبله حاکی از آن بود که بیشترین تعداد روز تا ظهور سنبله با ۱۰۷/۴ روز مربوط به رقم روشن در منطقه محمدیه بود و بین ارقام بک‌کراس روشن، بم و افق از این نظر اختلاف معنی‌داری در این منطقه وجود نداشت. ضمن این‌که کمترین تعداد روز تا ظهور سنبله مربوط به ارقام بک‌کراس روشن و افق بود (جدول ۴). همچنین اثر متقابل منطقه در رقم بر ارتفاع بوته نشان داد که رقم روشن در هر دو منطقه محمدیه (۱۱۱ سانتی‌متر) و امیرآباد (۹۰/۳ سانتی‌متر) بیشترین ارتفاع بوته را داشت و کمترین ارتفاع بوته نیز مربوط به رقم افق در امیرآباد (۶۷/۷ سانتی‌متر) بود (جدول ۴).

بیشترین تعداد روز تا ظهور سنبله (۱۰۴/۵ روز) و کمترین طول دوره پر شدن دانه (۳۹/۸ روز) مربوط به رقم روشن بود. کمترین تعداد روز تا ظهور سنبله نیز با میانگین ۱۰۱ روز به رقم افق اختصاص داشت (جدول ۳). به‌طور کلی، ارقام جدید از تعداد روز تا ظهور سنبله کمتر و طول دوره پر شدن دانه بیشتری در مقایسه با ارقام قدیمی برخوردار بودند. همچنین ارتفاع بوته و طول پدانکل ارقام گندم از قدیم به جدید روندی کاهشی و طول سنبله نیز روندی افزایشی داشت. ارتفاع بوته و طول پدانکل رقم روشن به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر ارقام بالاتر بود و اختلاف ارتفاع ارقام بم و افق نیز به‌طور مشترک و در یک گروه آماری، کمتر بود. از نظر طول سنبله نیز رقم افق و پس از آن رقم بم دارای طول سنبله بیشتری بودند و کمترین طول سنبله نیز به رقم روشن اختصاص داشت (جدول ۳). تاکنون در بیشتر برنامه‌های اصلاحی، گزینش برای ارتفاع بوته کمتر صورت گرفته که موجب افزایش مقاومت به خوابیدگی، اختصاص بیشتر زیست‌توده کل به عملکرد دانه و پاسخ مثبت به عملیات مدیریتی نظیر کودپذیری بیشتر را فراهم آورده است (Soufizadeh et al., 2007). کاهش ارتفاع بوته گندم طی زمان در نتیجه مشارکت ژن‌های جدید پاکوتاهی بوده است (Slafer and Araus, 2007).

محلول‌پاشی روی، افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته و طول سنبله گندم را به دنبال داشت به گونه‌ای که مصرف سولفات روی باعث افزایش ۵/۱ و ۴/۷ درصدی ارتفاع بوته و طول سنبله ارقام گندم در مقایسه با شاهد گردید و اختلاف بین سولفات روی و کلات روی نیز از

جدول ۲ - تجزیه واریانس صفات ارقام گندم در شرایط محلول پاشی روی و آهن در دو منطقه با خاک مختلف
Table 2- Analysis of variance of wheat cultivars investigated traits under foliar application of Zn and Fe in two different locations with different soils

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات										شاخص برداشت HI
		روز تا ظهور سنبله Day to	روز تا رسیدگی Day to	طول دوره پرشدن دانه Grain filling	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike	طول پدانکل Peduncle length	تعداد دانه در سنبله No. Grain per	وزن هزار دانه 1000	عملکرد دانه Grain yield	زیست‌توده Biomass	
Location	1	1227.89**	4555.85**	1053.37*	13787.22*	58.28**	169.07*	1183.79 ns	1154.78*	189.58**	1034.19**	387.10**
r(Location)	4	31.62	9.29	49.97	806.60	1.39	21.37	157.17	54.93	4.34	23.30	14.34
Cultivar	3	121.07**	18.20 ns	187.01**	7965.13**	2.23**	1142.87**	898.32**	333.06**	1.80**	1.52 ns	240.83**
Zn	2	1.19 ns	1.28 ns	2.18 ns	353.96**	3.80**	29.11 ns	391.79**	109.42*	2.93**	15.80**	21.44 ns
Fe	2	0.89 ns	3.01 ns	4.34 ns	591.71**	0.97 ns	23.96 ns	125.58 ns	8.57 ns	3.07**	8.44 ns	73.94 ns
Cultivar*Zn	6	2.60 ns	0.52 ns	2.26 ns	45.12 ns	0.46 ns	24.52 ns	86.31 ns	30.18 ns	0.09 ns	1.91 ns	11.44 ns
Cultivar*Fe	6	3.20 ns	2.06 ns	5.63 ns	54.90 ns	0.39 ns	12.88 ns	132.10 ns	37.47 ns	0.75 ns	5.07 ns	5.38 ns
Zn*Fe	4	1.26 ns	0.63 ns	2.52 ns	46.66 ns	0.40 ns	8.16 ns	50.84 ns	20.82 ns	1.53**	10.07*	2.88 ns
Location*Cultivar	3	18.94*	1.93 ns	21.39 ns	154.93*	0.46 ns	7.00 ns	511.13**	72.45 ns	0.12 ns	1.31 ns	0.65 ns
Location*Zn	2	0.61 ns	1.83 ns	3.93 ns	8.77 ns	0.11 ns	1.00 ns	42.87 ns	5.32 ns	0.39 ns	3.72 ns	0.82 ns
Location*Fe	2	0.47 ns	1.68 ns	0.84 ns	113.80 ns	1.23*	2.34 ns	19.66 ns	6.03 ns	0.50 ns	3.01 ns	5.94 ns
Location*Cultivar*Zn	6	0.55 ns	0.62 ns	0.62 ns	46.31 ns	0.20 ns	11.37 ns	45.83 ns	26.35 ns	0.49 ns	3.15 ns	2.20 ns
Location*Cultivar*Fe	6	2.02 ns	0.30 ns	2.59 ns	47.85 ns	0.82*	30.35 ns	22.69 ns	16.52 ns	0.78 ns	7.38*	5.83 ns
Location*Zn*Fe	4	2.65 ns	2.31 ns	6.90 ns	27.45 ns	0.12 ns	13.93 ns	55.18 ns	18.58 ns	0.47 ns	4.29 ns	7.56 ns
Location*Cultivar*Zn*Fe	24	2.67 ns	0.96 ns	3.17 ns	48.17 ns	0.34 ns	11.27 ns	47.31 ns	32.92 ns	0.32 ns	2.96 ns	10.22 ns
Experiment error	140	5.07	8.82	12.21	56.79	0.34	14.28	62.99	30.71	0.41	3.08	7.11
Coefficient variation	-	2.2	2.0	8.2	9.1	6.2	10.9	15.5	17.3	16.3	16.1	7.4

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و NS عدم معنی داری می باشد.
* and ** are significantly different at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$, respectively and ns is non-significant

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات منطقه، رقم، روی و آهن بر صفات مورد بررسی
Table 3- Mean comparison results for effects of location, cultivar, Zn and Fe on investigated traits

تیمار Treatment	روز تا ظهور سنبله Day to heading	روز تا رسیدگی Day to maturity	طول دوره پرشدن Grain filling period	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول سنبله Spike length (cm)	طول پدانکل Peduncle length (cm)	تعداد دانه در سنبله No. Grain per spike	وزن هزار دانه 1000 grains weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (ton ha ⁻¹)	زیست توده Biomass (ton ha ⁻¹)	شاخص برداشت HI (%)
منطقه											
Location											
Mohammadiyeh	104.8	149.5	44.7	90.8	9.91	35.5	53.5	34.4	4.90	13.07	37.6
Amirabad	100.1	140.3	40.3	74.8	8.87	33.8	48.8	29.8	3.02	8.69	34.9
LSD _(0.05)	2.12	1.15	2.67	10.73	0.44	1.75	4.73	2.80	0.79	1.82	1.43
رقم											
Cultivar											
Roshan	104.5	144.3	39.8	100.7	9.15	40.9	45.4	35.3	3.72	11.10	33.3
R. Backcross	101.7	144.6	42.9	79.9	9.33	33.1	51.4	32.6	3.94	10.75	36.5
Bam	102.6	145.6	43.0	76.5	9.43	34.6	52.6	30.7	4.03	10.92	36.6
Ofoh	101.0	145.2	44.2	74.1	9.64	30.0	55.0	29.7	4.15	10.74	38.4
LSD _(0.05)	0.85	1.13	1.32	2.87	0.22	1.44	3.01	2.11	0.24	0.67	1.01
محلول پاشی روی											
Zn foliar application											
Irrigation water	102.6	144.9	42.3	80.3	9.12	34.0	48.5	30.8	3.74	10.42	35.6
ZnSO ₄ .7H ₂ O	102.4	145.1	42.7	84.4	9.55	35.3	53.0	33.3	4.14	11.35	36.4
Zn-EDTA	102.3	144.8	42.5	83.7	9.48	34.6	51.8	32.2	4.01	10.86	36.6
LSD _(0.05)	0.74	0.98	1.15	2.48	0.19	1.24	2.61	1.83	0.21	0.58	0.88
محلول پاشی آهن											
Fe foliar application											
Irrigation water	102.4	144.7	42.3	79.6	9.27	34.0	49.6	32.3	3.75	10.60	35.1
FeSO ₄ .7H ₂ O	102.3	145.1	42.8	85.0	9.50	35.1	52.2	31.7	4.16	11.26	36.9
Fe-EDDHA	102.6	145.0	42.4	83.9	9.39	34.9	51.5	32.2	3.98	10.77	36.7
LSD _(0.05)	0.74	0.98	1.15	2.48	0.19	1.24	2.61	1.83	0.21	0.58	0.87

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل منطقه در رقم، منطقه در آهن و روی در آهن بر صفات مورد بررسی
Table 4- Mean comparison results for interaction effects of location in cultivar, location in Fe and Zn in Fe on investigated traits

منطقه Location	رقم Cultivar	روز تا ظهور Day to Spike	روز تا رسیدگی Day to Grain filling	طول پرشدن Plant height (cm)	ارتفاع بوته Spike length (cm)	طول سنبله Peduncle length (cm)	تعداد دانه در سنبله No. Grain	وزن هزار دانه 1000	عملکرد دانه Grain yield (ton ha ⁻¹)	زیست توده Biomass (ton ha ⁻¹)	شاخص برداشت HI (%)
محدیه Mohammadieh	روشن Roshan	107.4	149.1	111.0	9.6	42.0	43.5	39.1	4.60	13.35	34.54
	R. Backcross	104.2	149.1	87.7	10.0	34.1	54.0	35.2	4.93	13.03	37.81
	بم Bam	104.1	150.3	83.9	9.9	35.7	55.9	32.3	5.00	13.18	38.00
	افق Ofogh	103.6	149.6	80.5	10.1	30.4	60.4	30.9	5.07	12.69	39.88
	روشن Roshan	101.6	139.5	90.3	8.7	39.9	47.4	31.5	2.84	8.84	32.15
امیرآباد Amirabad	بم Bam	99.3	140.2	72.2	8.7	32.1	48.8	30.1	2.96	8.48	35.14
	R. Backcross	101.0	140.9	69.0	9.0	33.5	49.2	29.0	3.06	8.65	35.25
	افق Ofogh	98.4	140.7	67.7	9.1	29.7	49.7	28.5	3.24	8.78	36.97
	LSD (0.05)	1.21	1.60	4.05	0.31	2.03	4.27	2.98	0.35	0.94	1.43
	محلول پاشی آهن Fe foliar application										
محدیه Mohammadieh	آب آبیاری Irrigation water	104.7	149.1	88.4	9.9	34.9	51.5	34.8	4.72	12.87	36.63
	سولفات آهن FeSO ₄ .7H ₂ O	104.8	149.7	93.5	9.9	36.1	54.4	34.1	5.00	13.22	37.94
	Fe-EDDHA	105.0	149.8	90.4	9.9	35.6	54.4	34.2	4.97	13.11	38.11
	آب آبیاری Irrigation water	100.1	140.3	70.7	8.6	33.1	47.7	29.8	2.78	8.34	33.48
	سولفات آهن FeSO ₄ .7H ₂ O	99.9	140.5	76.4	9.1	34.0	50.0	29.2	3.32	9.31	35.90
امیرآباد Amirabad	Fe-EDDHA	100.1	140.3	77.3	8.9	34.2	48.6	30.2	2.98	8.43	35.25
	LSD (0.05)	1.05	1.38	3.51	0.27	1.76	3.70	2.58	0.30	0.82	1.24
	محلول پاشی روی Zn foliar application										
آب آبیاری Irrigation water	آب آبیاری Irrigation water	102.5	144.8	76.8	8.9	32.9	47.1	31.1	3.32	9.62	34.22
	سولفات آهن FeSO ₄ .7H ₂ O	102.5	144.7	80.5	9.5	35.4	50.1	34.2	3.89	11.04	35.01
	Fe-EDDHA	102.3	144.6	81.4	9.4	33.7	51.7	31.7	4.04	11.16	35.94
	آب آبیاری Irrigation water	102.3	145.0	83.8	9.4	34.6	48.6	29.6	4.19	11.49	36.40
	سولفات روی ZnSO ₄ .7H ₂ O	102.4	145.4	86.9	9.6	35.4	55.6	32.7	4.19	11.30	37.25
کلات روی Zn-EDTA	Fe-EDDHA	102.3	144.9	84.2	9.5	35.2	52.4	32.7	4.10	11.00	37.10
	آب آبیاری Irrigation water	103.0	144.9	80.3	9.0	34.6	49.8	31.7	3.71	10.14	36.18
	سولفات آهن FeSO ₄ .7H ₂ O	102.3	145.2	85.9	9.6	35.1	53.3	32.9	4.33	11.72	36.96
	Fe-EDDHA	102.5	145.0	85.4	9.6	35.0	51.4	32.1	3.88	10.44	36.89
	LSD (0.05)	1.28	1.69	4.30	0.33	2.16	4.53	3.16	0.37	1.00	1.52

جدول ۵- نتایج همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی

Table 5- Simple correlation results for investigated traits

صفات مورد بررسی Investigated traits	روز تا ظهور Day to heading (1)	روز تا رسیدگی Day to maturity (2)	طول پرشدن دانه Grain filling period (3)	ارتفاع بوته Plant height (4)	سنبله Spike length (5)	طول پدانکل Peduncle length (6)	تعداد دانه در سنبله No. Grain per spike (7)	وزن هزار دانه 1000 grains weight (8)	عملکرد دانه Grain yield (9)	زیست توده Biomass (10)	شاخص برداشت Harvest index (11)
(1)	1.00										
(2)	-0.37*	1.00									
(3)	-0.94**	0.66**	1.00								
(4)	0.78**	-0.55**	-0.83**	1.00							
(5)	-0.43**	0.42*	0.50**	-0.26 ns	1.00						
(6)	0.88**	-0.39*	-0.85**	0.88**	-0.30 ns	1.00					
(7)	-0.59**	0.55**	0.68**	-0.53**	0.60**	-0.53**	1.00				
(8)	0.54**	-0.42*	-0.59**	0.62**	-0.28 ns	0.58**	-0.33*	1.00			
(9)	-0.37*	0.33 ns	0.42*	-0.14 ns	0.57**	-0.26 ns	0.64**	-0.28 ns	1.00		
(10)	0.11 ns	-0.06 ns	-0.11 ns	0.32 ns	0.25 ns	0.23 ns	0.29 ns	0.10 ns	0.78**	1.00	
(11)	-0.73**	0.61**	0.81**	-0.62**	0.60**	-0.72**	0.66**	-0.57**	0.59**	-0.03 ns	1.00

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns عدم معنی داری می باشد.

* and ** are significantly different at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$, respectively and ns is non-significant

مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه در آهن بر طول سنبله نیز حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف محلول پاشی آهن در محدوده بود به طوری که همه در گروه آماری برتر قرار گرفتند. در منطقه امیرآباد (شوری و pH بالاتر خاک) نیز محلول پاشی سولفات آهن موجب شد ارقام گندم از طول سنبله بیشتری برخوردار باشند (جدول ۴).

بین صفات وزن هزار دانه، عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص برداشت در دو منطقه اجرای آزمایش تفاوت معنی‌داری وجود داشت. ارقام مورد بررسی از نظر تمامی این صفات به جز زیست‌توده اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند. محلول پاشی روی نیز اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و زیست‌توده داشت. اثر محلول پاشی آهن نیز بر عملکرد دانه معنی‌داری بود. بررسی مقایسه میانگین‌های اثر متقابل حاکی از اثر معنی‌داری روی در آهن بر عملکرد دانه و زیست‌توده، اثر معنی‌دار منطقه در رقم بر تعداد دانه در سنبله و اثر معنی‌دار منطقه در رقم در آهن بر زیست‌توده بود (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، صفات وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیوماس و شاخص برداشت به ترتیب $13/3$ ، $38/4$ ، $33/5$ و $7/1$ درصد در منطقه امیرآباد (با شوری و pH بالاتر خاک) در مقایسه با محدوده کاهش پیدا کردند. تعداد دانه در سنبله نیز $8/8$ درصد کاهش غیرمعنی‌دار در این منطقه داشت (جدول ۳). یکی از دلایل کاهش تعداد دانه در سنبله در خاک‌های شور، کاهش طول سنبله‌هاست که در این آزمایش نیز مشاهده گردید. کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در خاک شور نیز می‌تواند به دلایل کاهش مواد فتوسنتزی در مرحله پر شدن دانه، کاهش شدت رشد در اثر پتانسیل اسمزی و کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها باشد.

بر اساس نتایج، ارقام جدید گندم از تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت بیشتر و وزن هزار دانه نسبتاً کم‌تری در مقایسه با ارقام قدیمی برخوردار بودند. در بین ارقام گندم، رقم افق دارای بیشترین تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت و کم‌ترین وزن هزار دانه بود. کم‌ترین تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت و بیشترین وزن هزار دانه و زیست‌توده نیز به رقم روشن اختصاص داشت (جدول ۳). علی‌رغم کاهش زیاد ارتفاع بوته، زیست‌توده ارقام گندم نسبت به رقم روشن تغییر چندانی نکرده است و در حقیقت ارقام جدید بر خلاف ارقام قدیم، به جای آن‌که مواد فتوسنتزی تولیدی خود را صرف افزایش شاخ و برگ و به تبع آن ارتفاع نمایند، آن‌ها را به دانه‌ها تخصیص داده و باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردند بدون آن‌که تغییری در زیست‌توده نهایی ایجاد شود (Soufizadeh et al., 2014). ارتفاع کم‌تر بوته باعث کاهش خوابیدگی و افزایش شاخص برداشت شده است. افزایش شاخص برداشت و عملکرد دانه ارقام جدید گزارش شده است (Khodarahmi

and Vazan, 2011). همچنین در بررسی ارقام معرفی شده گندم نان در شش دهه گذشته گزارش شد که تعداد دانه در سنبله ارقام جدید به‌طور معنی‌داری افزایش داشته و بنابراین ارقام جدید دارای حداکثر کارایی در انتقال مواد غذایی از اندام ساقه به دانه بوده‌اند (Khodarahmi and Vazan, 2011). به‌طور کلی، افزایش عملکرد گندم در طی انقلاب سبز عمدتاً از طریق افزایش تعداد دانه در واحد سطح (ناشی از افزایش تعداد سنبله یا دانه در سنبله) و به هزینه کاهش سهم اندام‌های رقیب (ساقه، پدانکل و غیره) صورت گرفته است (Slafer and Savin, 1994). بر اساس نتایج همبستگی ساده، عملکرد دانه ارتباط مثبت و معنی‌داری با صفات طول دوره پر شدن دانه، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت و ارتباط منفی و معنی‌داری نیز با صفت تعداد روز تا ظهور سنبله داشت (جدول ۵). در دهه‌های اخیر سهم تعداد دانه در واحد سطح در تعیین عملکرد بیشتر بوده و تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که عملکرد دانه همبستگی زیادی با این جزء عملکرد دارد (Slafer and Savin, 1994). Collaku and Harrison (2002) نیز در گندم رابطه مثبت و معنی‌داری را بین شاخص برداشت و عملکرد دانه گزارش کردند که این نتیجه حاکی از آن است که با افزایش عملکرد دانه، نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک افزایش یافته است. همبستگی عملکرد دانه و زیست‌توده نیز در این آزمایش مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵) و به اعتقاد برخی، افزایش عملکرد دانه در آینده بستگی به افزایش زیست‌توده دارد (Ye et al., 2011). البته سهم هریک از ویژگی‌های یاد شده در عملکرد دانه ممکن است در واریته‌ها، سیستم‌های زراعی، سال‌ها و اقلیم‌های مختلف، متفاوت باشد (Fischer, 2011).

محلول پاشی روی از منابع سولفات روی و کلات روی منجر به افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد گندم در مقایسه با شاهد گردید اما اختلاف بین این دو از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. محلول پاشی سولفات روی به‌ترتیب باعث افزایش $10/7$ و $8/9$ درصدی و کلات روی باعث افزایش $7/2$ و $4/2$ درصدی عملکرد دانه و زیست‌توده در مقایسه با شاهد گردید. تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه گندم نیز با محلول پاشی سولفات روی به‌ترتیب $9/3$ و $8/1$ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان دادند (جدول ۳). گزارش‌های متعددی در ارتباط با اثرات مثبت روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مختلف ارائه شده است (Thalooth et al., 2000; Bukvic et al., 2003). افزایش وزن هزار دانه با کاربرد روی با نتایج محققین مطابقت دارد (Potarzycki and Grzebisz, 2009). در بررسی اثرات مستقیم و باقیمانده منابع روی بر رشد و عملکرد گندم گزارش شده (Dasalkar et al., 1992) که تمامی منابع روی، عملکرد دانه را افزایش دادند. در مطالعه‌ای (Fageria and Baligar, 2005)،

افزایش دهد (Kamaraki and Galavi, 2012). مقایسه میانگین اثر متقابل روی در آهن نشان داد محلول پاشی سولفات روی و فرم های مختلف آهن و همچنین محلول پاشی کلات روی و سولفات آهن دارای بیشترین عملکرد دانه و زیست توده بودند (جدول ۴). مصرف توأم کودهای آهن و روی، میزان عملکرد دانه گندم را به طور متوسط ۸۶۷ کیلوگرم افزایش داده است (Seilsepour, 2008). بررسی اثر متقابل منطقه در رقم بر تعداد سنبله نیز نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله با ۶۰/۴ دانه مربوط به رقم افق در منطقه محمدیه (شوری کم تر خاک) و پس از آن ارقام بک کراس روشن و بم در این منطقه بودند و کمترین تعداد دانه نیز مربوط به رقم روشن در هر دو منطقه بود (جدول ۴).

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش حاکی از تنوع بالای صفات مختلف در بین ارقام مورد بررسی بود. ارقام قدیمی (روشن و بک کراس روشن) ارتفاع بوته، طول پدانکل و وزن هزار دانه بیشتری داشتند و در مقابل ارقام جدید (بم و افق) دارای طول دوره پر شدن دانه، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت بالاتری بودند. محلول پاشی روی و آهن و استفاده توأم آنها موجب بهبود خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد دانه و اجزای عملکرد در هر دو منطقه مورد بررسی گردید. با توجه به افزایش عملکرد دانه در شرایط محلول پاشی روی و آهن (به خصوص در منطقه امیرآباد با شوری و pH بیشتر خاک)، استفاده از این کودها در زراعت گندم توصیه می شود. به طور کلی، نتایج نشان داد که محلول پاشی روی و آهن از فرم سولفات، مؤثرتر از فرم کلاته است. کودهای سولفات از نظر هزینه نیز مقرون به صرفه تر از کودهای کلاته هستند.

افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف روی به نقش آن برای افزایش تولید تنظیم کننده های رشد مثل ایندول استیک اسید و کربوهیدرات ها و متابولیسم نیتروژن که سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می شود و همچنین فراهم بودن عناصر کم مصرف و پر مصرف در مراحل بعدی رشد که سبب افزایش تجمع اسیمیلات ها در دانه و سنگین تر شدن آن می گردد، نسبت داده شده است. همچنین نتایج نشان داد که سولفات روی نتایج بهتری در مقایسه با کلات روی به دنبال دارد که این موضوع احتمالاً به این دلیل است که سولفات روی به طور همزمان عناصر روی و سولفور را برای گیاه فراهم می کند.

محلول پاشی سولفات آهن نیز بیشترین عملکرد دانه را با ۴/۱۶ تن در هکتار به خود اختصاص داد و محلول پاشی با آب آبیاری نیز با ۳/۷۵ تن در هکتار از عملکرد دانه کمتری برخوردار بود ضمن اینکه اختلاف بین دو فرم آهن نیز معنی دار نبود. علی رغم عدم تأثیر معنی دار آهن بر اجزای عملکرد و زیست توده، محلول پاشی سولفات آهن باعث افزایش ۵/۲ درصدی تعداد دانه در بوته و ۶/۲ درصدی زیست توده در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۳). آهن از طریق افزایش فعالیت فتوسنتزی و تولید مواد پروتئینی و کربوهیدرات ها در گیاه می تواند باعث افزایش تعداد دانه شود (Yilmaz et al., 1997). افزایش تعداد دانه تحت تأثیر آهن با نتایج سایر محققین در این زمینه مطابقت دارد (Raesee et al., 2015). عنصر آهن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش حیاتی دارد و فرودوکسین، پروتئین حامل آهن است که در انتقال الکترون درگیر است (Ahmadi et al., 2005). بنابراین طبیعی است که با افزایش آهن برگ، میزان کلروفیل برگ افزایش یافته، فعالیت فتوسنتزی بیشتر شده و در نهایت افزایش عملکرد را در پی داشته باشد. از طرف دیگر، آهن از طریق افزایش فعالیت فتوسنتزی و تولید مواد پروتئینی و کربوهیدرات ها در گیاه می تواند وزن خشک گیاه را

References

- Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P., and Jabbari, F. 2005. Introduction to plant physiology. Tehran University Press. 681p. (in Persian).
- Alloway, B. J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Int. Zinc Assoc. (IZA), Belgium, 128p.
- Barton, L. L., and Abadia, J. 2006. Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms. Dordrecht: Springer. 477p.
- Bukvic, G., Antunovic, M., Popovic, S., and Rastija, M. 2003. Effect of P and Zn fertilization on biomass, yield and its uptake by maize lines (*Zea mays* L.). Plant, Soil and Environment 49: 505-510.
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil 302: 1-17.
- Collaku, A., and Harrison, S. A. 2002. Losses in wheat due to water logging. Crop Sci 42: 444-450.
- Dasalkar, J. S., Rudraksha, G. B., Law, B. T., and Rachewad, S. N. 1992. Direct and residual effect of different zinc source on growth, yield and quality of sorghum and wheat. Annals of Plant Physiology 6: 21-23.
- Fageria, N. K. and Baligar, V. C. 2005. Encyclopedia of soils in the environment. In: Hillel D (Eds.), Nutrient Availability. San Diego, CA: Elsevier 63- 71.
- Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X., and Hu, Q. 2008. Effect of Foliar Application of Zinc, Selenium, and Iron Fertilizers on Nutrients Concentration and Yield of Rice Grain in China. J. Agric. Food Chemistry 56: 2079-2084.

10. Fernandez, V., Orera, I., Abadia, J., and Abadia, A. 2009. Foliar iron fertilization of fruit trees: present knowledge and future perspectives - a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84: 1-6.
11. Fischer, R. A. 2011. Wheat physiology: a review of recent development. *Crop and Pasture Science* 62: 95-114.
12. Graham, R. D., Ascher, J. S., and Hynes, S. C. 1992. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant and Soil* 146: 241-250.
13. Haghbahari, M., and Seyyed Sharifi, R. 2014. Influence of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, grain filling rate and period of wheat in different levels of soil salinity. *Environmental stresses in crop sciences* 6 (1): 65-75. (in Persian with English abstract).
14. Haslett, B. S., Reid, R. J., and Rengel, Z., 2001. Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. *Annals of Botany* 87 (3): 379-386.
15. Izedi Kherameh, H., Balouchi, H., and Shabani, S. 2012. Effect of soil application of Fe and ZnSO₄ on grain yield and yield components of wheat at different sowing dates. *Plant Ecophysiology* 4 (1): 37-46. (in Persian with English abstract).
16. Kamaraki, H., and Galavi, M. 2012. Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agroecology* 4 (3): 201-206. (in Persian with English abstract).
17. Khodarahmi, M., and Vazan, S. 2011. Trends in morphological and quantitative traits in bread wheat using introduced varieties during the last six decades in Iran. *Journal of Agronomy and Plant Breeding* 6 (1): 29-42. (in Persian with English abstract).
18. Khoshgoftarmanesh, A. H., Razizadeh, E. S., Eshghizadeh, H. R., Sharifi, H. R., Savaghebi, Gh., Afiuni, D., and Tadayonnejad, M. 2012. Comparison of different spring wheat genotypes based on their response to iron fertilization in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil* 15 (58): 99-107. (in Persian with English abstract).
19. Malakouti, M. J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology* 1 (1): 1-12.
20. Maralian, H., Didar Taleshmikail, R., Shahbazi, K., and Torabi Giglou, M. 2009. Study of the Effects of Foliar Application of Fe and Zn on Wheat Quality and Quantity Properties. *Agricultural Research* 8 (4): 47-59. (in Persian with English abstract).
21. Moshiri, F., Ardalan, M., Tehrani, M. M., and Savaghebi, Gh. 2010. Zinc efficiency of wheat cultivars in a calcareous soil with low zinc status. *Journal of Water and Soil* 24 (1): 145-153. (in Persian with English abstract).
22. Munns, R., and James, A. 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil* 253: 201-218.
23. Pahlavan Rad, M. R., Keykha, G., and Naroui Rad, M. R. 2008. Effects of application of Zn, Fe and Mn on yield, yield component, nutrient concentration and uptake in wheat grain. *Pajouhesh and Sazandegi* 79: 142-150. (in Persian with English abstract).
24. Potarzycki, J., and Grzebisz, M. 2009. Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant, Soil and Environment* 55: 519-527.
25. Raesee, N., Vakili, S. M. A., Sarhady, G., and Rorkyngad, F. 2015. Effects of manure, iron and zinc fertilizers on yield and yield components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 31 (1): 138-149. (in Persian with English abstract).
26. Rodriguez-Lucena, P., Apaolaza-Hernandez, L., Lucena, J. J. 2010. Comparison of iron chelates and complexes supplied as foliar sprays and in nutrient solution to correct iron chlorosis of soybean. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173: 120-126.
27. Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13 (4): 905-927.
28. Sadeghzadeh, B., and Rengel, Z. 2011. Zinc in soils and crop nutrition. In: Hawkesford M. J, Barraclough, P. B. (eds.), *The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops*. Wiley: 335-375.
29. Sadeghzadeh, B., Rengel, Z., and Li, C. 2009. Differential zinc efficiency of barley genotypes grown in soil and chelator-buffered nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition* 32 (10): 1744 -1767.
30. Sadeghzadeh, B., Sadeghzadeh, N., and Sepehr, E. 2016. Barley genotypes differing in zinc efficiency when grown in various soil types. *International Journal of Plant and Soil Science* 12: 1-13.
31. Salgueiro, M. J., Zubillaga, M., Lysionek, A., Sarabia, M. I., Caro, R., De Paoli, T., Hager, A., Weill, R., and Boccio, J. 2006. Zinc as an essential micronutrient: a review. *Nutrition Research* 20 (5): 737-755.
32. Seilsepour, M. 2003. The effect of micronutrients iron, zinc and manganese on yield and yield components of wheat in saline conditions. *Proceedings of the 7th Congress of Crop Sciences, Karaj, Iran*. (in Persian).
33. Seilsepour, M. 2008. The study of Fe and Zn effects on quantitative and qualitative parameters of winter wheat and determination of critical levels of these elements in Varamin plain soils. *Pajouhesh and Sazandegi* 76: 123-133. (in Persian with English abstract).
34. Slafer, G. A., and Savin, R. 1994. Sink relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. *Field Crops Research* 37: 39-49.

35. Slafer, G. A., and Araus, J. L. 2007. Physiological traits for improving wheat yield under a wide range of conditions. In: Spiertz, J. H. J., Struik, P. C., van Laar H. H. (Eds.), Scale and Complexity in Plant Systems Research. Gene-Plant-Crop Relations: 147-156.
36. Soufizadeh, S., Zand, E., Rahimian Mashhadi, H., and Deihimfard, R. 2007. Comparison of grain yield, nitrogen use efficiency and protein content of some old and new wheat varieties. Iranian Journal of Agricultural Sciences 1 (20): 13-37. (in Persian with English abstract).
37. Soufizadeh, S., Zand, E., Deihimfard, R., and Esmailzade, S. 2014. Investigation of changes in grain yield and some morphophysiological characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) in recent decades in Iran. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (3): 343-359. (in Persian with English abstract).
38. Stein, A. J. 2010. Global impacts of human mineral malnutrition, Plant and Soil 335: 133-154.
39. Thalooth, M., Tawfik, M., and Magda Mohamed, H. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of Zinc, Potassium and Magnesium on growth, yield and some chemical constituents of Mungbean plants growth under Water stress conditions. World Journal of Agricultural Sciences 2: 37-46.
40. Welch, R. M., and Graham, R. D. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. Journal of Experimental Botany 55: 353-364.
41. Yang, X. W., Tian, X. H., Gale, W. J., Cao, Y. X., Lu, X. C., and Zhao, A. Q. 2011. Effect of soil and foliar application on zinc concentration and bioavailability in wheat grain grown on potentially zinc-deficient soil. Cereal Research Communication 39 (4): 535-543.
42. Ye, Y. L., Wang, G. L., Huang, Y. F., Zhu, Y. J., Meng, Q. F., Chen, X. P., Zhang, F. S., and Cui, Z. L. 2011. Understanding physiological processes associated with yield-trait relationships in modern wheat varieties. Field Crops Research 124: 316-322.
43. Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Guttekin, I., Karanlik, S., Bagci, S. A., and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc deficient calcareous soils. Journal of Plant Nutrition 20: 461-471.
44. Ziaieian, A. H., and Malakouti, M. J. 2001. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization of wheat in the calcareous soils of Iran. In W.J. Horst et al. (Eds.) Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems 840-841.



Response of Some Bread Wheat Cultivars to Foliar Application of Zn and Fe Different Forms in Two Locations with Different Soil Properties

E. Arazmjoo^{1*} - M. A. Behdani² - S. Mahmoodi² - B. Sadeghzadeh³

Received: 17-01-2017

Accepted: 12-07-2017

Introduction

Zinc (Zn) and iron (Fe) are essential mineral nutrients for plant and human growth, and dietary Zn and Fe deficiencies are a worldwide nutritional problem. The Recommended Dietary Allowance (RDA) of Zn and Fe are 15 mg and 10 mg per day for human, respectively. However, micronutrient deficiencies affect more than half of the world's population, especially women and preschool children. Iron is one of the most important micronutrients, and approximately two billion people suffer from iron deficiency worldwide. Zinc deficiency is also considered to be quite common and affects newborn, children, pregnant women and elderly. Micronutrient malnutrition in human in developing countries is derived from deficiencies of these elements in staple food. It is believed that increasing the micronutrient concentrations in these crops could increase the dietary intake of these elements in these regions significantly. More than 80% of arable soils in Iran are zinc-deficient with an average yield depression of around 50%. It is, therefore, highly important to develop cost-effective and quick solutions to the Zn and Fe deficiency problem.

Materials and Methods

In order to evaluate the effect of foliar application of zinc and iron different forms on yield components, phenological and morphological traits and grain yield of some wheat cultivars in two locations with different physico-chemical soil properties, two experiments in factorial arranged in randomized complete block design with three replications conducted during 2015-16 cropping season. Experimental treatments were included: wheat cultivars Roshan, Roshan Back cross (old cultivars), Bam and Ofogh (new cultivars), zinc application in three levels of foliar application of water (control), zinc sulfate and chelated zinc and iron application in three levels of foliar application of water (control), iron sulfate and chelated iron (equivalent to 2.5 kg ha⁻¹). The first experiment was conducted at the Research Farm of Birjand University located in Amirabad region which the soil texture was sandy clay loam, with 8.1 pH, 0.15% organic matter, 30 ppm available P and 184 ppm available K. The second experiment was conducted at the South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center located in Mohammadih region which the soil texture was loam, with 7.6 pH, 0.54% organic matter, 30 ppm available P and 140 ppm available K. At the end of growth stage wheat traits included days to heading, days to physiological maturity, grain filling period, plant height, spike length, peduncle length, number of grain per spike, 1000 grains weight, grain yield, biomass and harvest index were measured. Data analyses were performed using two-way analysis of variance (ANOVA) with SAS 9.1. Means of treatments were compared between locations, cultivars and foliar application of zinc and iron according to protected Least Significance Differences (LSD) test at the 5% level.

Results and Discussion

Results showed that location had a significant effect on all traits except for number of grains per spike. Grain yield and yield components were higher in soil of Mohammadih against Amirabad. Investigated cultivars also were significantly different in all traits but days to heading and biomass. The higher number of grain per spike, grain yield and harvest index and relatively lower 1000 grains weight were related to new wheat cultivars. New cultivars also possessed less height and peduncle length and more grain filling period and spike length. Zinc foliar application significantly increased plant height, spike length, number of grain per spike, 1000 grains weight, grain yield and biomass but no significant effects were observed on days to heading and maturity, grain filling period, peduncle length and harvest index. Zinc sulfate treatment increased grain yield and biomass by 9.6

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Birjand, respectively

4- Assistant professor, Dryland Agricultural Research Institute, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Maragheh, Iran

(*- Corresponding Author Email: Elias.arazmjoo@Gmail.com)

and 8.2 percent and chelated zinc increased these traits by 6.7 and 4.1 percent compared to control treatment, respectively. Iron foliar application significantly increased plant height and grain yield with no significant effects on other measured traits.

Conclusions

Foliar application of zinc and iron can improve growth traits and grain yield; and foliar application of zinc and iron sulfate had better result contrasting these nutrients chelated forms especially in Amirabad region with higher pH and EC. Finally according to the results of this study, cultivating new cultivars of Bam and Ofogh and foliar application of zinc and iron sulfate in similar climate, especially in saline condition, are suggested for wheat production.

Keywords: Grain yield components, Micronutrients, Salinity, Yield



تأثیر انواع شخم و گیاهان پوششی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

زهره شریفی^۱ - سید وحید اسلامی^{۲*} - مجید جامی الاحمدی^۲ - سهراب محمودی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد گیاهان پوششی در یک نظام زراعی مبتنی بر گندم و همچنین مطالعه اثر روش‌های شخم در این نظام، آزمایشی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. سه نوع روش خاک‌ورزی (شامل عدم خاک‌ورزی، خاک‌ورزی کاهشی و خاک‌ورزی رایج) به عنوان عامل اصلی و گیاهان پوششی در ۵ سطح (شامل خلر، منداب، جو ترش، تریتیکاله و عدم کشت گیاه پوششی به عنوان شاهد) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اثر روش خاک‌ورزی بر تعداد سنبله در متر مربع، وزن سنبله در متر مربع، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار ($P < 0.05$) بود به طوری که سیستم عدم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کاهشی نسبت به خاک‌ورزی رایج، تعداد سنبله در متر مربع، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بیشتری تولید کردند. همچنین نوع گیاه پوششی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، وزن سنبله در متر مربع و وزن هزار دانه گندم ($P < 0.01$)، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و عملکرد بیولوژیک ($P < 0.05$) داشت، به طوری که در تیمار گیاه پوششی خلر و منداب، بیشترین عملکرد دانه گندم (به ترتیب ۶۵۱۱/۱ و ۶۴۲۲/۲ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. به طور کلی یافته‌های این پژوهش، موفقیت کشت گیاهان پوششی خلر و منداب و اعمال روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی را در بهبود عملکرد گندم نشان داد.

واژه‌های کلیدی: شخم کاهشی، عدم شخم، کشاورزی پایدار، کشاورزی حفاظتی

مقدمه

پس از جنگ جهانی دوم، اولویت کلیدی افزایش عملکرد بود و سیاست کشورهای اروپایی در جهت ترویج عملیات شدید مکانیزاسیون و مصرف سطح زیادی از نهاده‌ها مثل انرژی، کود نیتروژن و آفت‌کش‌ها بود (Tilman et al., 2002). این سیاست، به سرعت باعث افزایش عملکرد شد. اما تأثیرات نامطلوبی (مثل آلودگی آب‌های زیرزمینی، کاهش ماده آلی خاک، فرسایش خاک و از دست رفتن تنوع زیستی) بر محیط زیست داشت (Tilman et al., 2002). این موضوع بسیاری از دانشمندان محیط زیست را در مورد وضعیت آینده جهان نگران کرد. تأثیرات نامطلوب کودها و آفت‌کش‌ها بر محیط زیست منجر به توجه بیشتر و استفاده از روش‌هایی گردیده که در آن نیازی به مصرف مواد شیمیایی نبوده یا کم باشد و این هدف

موجب شده که با توجه به کشاورزی بوم‌شناختی، بحث پایداری در کشاورزی مورد توجه قرار گرفته (FAO, 2013) و کشاورزی حفاظتی به عنوان راه‌حل پایدار برای افزایش حاصلخیزی خاک مطرح باشد (Hobs et al., 2008).

کشاورزی حفاظتی از طریق مدیریت تلفیقی منابع بیولوژیکی، آب و خاک در ترکیب با ورودی‌های خارجی به حفظ، بهبود و استفاده مؤثرتر از منابع طبیعی کمک می‌کند. کشاورزی حفاظتی به حفظ محیط و همچنین افزایش و پایداری تولیدات کشاورزی کمک می‌کند (Jat et al., 2012). امروزه استفاده از روش کشاورزی حفاظتی به عنوان بخشی لاینفک از زراعت و کشت و کار مطرح شده است. استفاده از کشاورزی حفاظتی می‌تواند راه‌حل مناسبی برای کاهش تخریب زمین زراعی و افزایش تولید محصول بوده و بر اصول (۱) کاهش خاک‌ورزی (۲) پوشش خاک توسط محصول و بقایای گیاهی و (۳) تناوب محصول پایه‌گذاری شده است (Araya et al., 2012). کشاورزی حفاظتی راهکار مناسبی برای حفظ و اصلاح منابع کشاورزی با هدف افزایش تولید و پایداری محصول همراه با حفظ محیط زیست است (Jat et al., 2012). این روش بر پایه حفاظت از آب، خاک و گیاه بنا شده و یکی از راه‌های مؤثر برای برون‌رفت از

۱- دانشجوی دکترا، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
(Email: sveslami@birjand.ac.ir) (*- نویسنده مسئول)

تربیتی و همکاران (Tripathi et al., 2013) در مورد تأثیر عدم شخم و شخم رایج روی عملکرد گندم انجام دادند، اختلاف معنی‌داری بین عملکرد گندم در روش عدم شخم و شخم رایج وجود نداشت. در تحقیقی که عثمان و همکاران (Usman et al., 2013) در مورد تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی (عدم خاک‌ورزی، خاک‌ورزی کاهشی و خاک‌ورزی رایج) و میزان نیتروژن (۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد گندم انجام دادند بیشترین عملکرد دانه گندم در تیمار عدم خاک‌ورزی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد.

گیاهان پوششی عمدتاً برای تولید بیوماس زیاد و پوشش خاک کشت می‌شوند و برای خرید و فروش کشت نمی‌شوند (Fageria et al., 2005) در واقع گیاهان پوششی برای محافظت خاک از فرسایش و از دست دادن مواد غذایی توسط آبشویی یا رواناب، کشت می‌شوند (Reeves, 1994) و همچنین باعث بهبود وضعیت رطوبت و درجه حرارت خاک می‌شوند (Carvalho and Lourenco, 2014). برگرداندن بقایای گیاهی به خاک به مرور زمان سبب افزایش خاک و بهبود ابعاد خاکدانه‌ها می‌شود و به تبع آن سبب افزایش تخلخل و خلل و فرج خاک می‌شود (Teasdale, 1996). این موضوع منجر به کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌گردد (Duiker and Carrera et al., 2004). کارارا و همکاران (Curran, 2005) پژوهشی را در مورد تأثیر گیاهان پوششی روی عملکرد ذرت شیرین (*Zea mays*) انجام دادند، عملکرد ذرت شیرین در مخلوط ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa*) - چاودار (*Secale cereale*) ۳۰ درصد بیشتر از شاهد (خاک برهنه - بدون گیاه پوششی) بود. در پژوهشی که رادیستی و همکاران (Radicetti et al., 2013) در مورد تأثیر روش شخم و گیاه پوششی روی عملکرد فلفل (*Capsicum annum*) انجام دادند، گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای باعث بیشترین عملکرد فلفل شد (تیمارهای گیاه پوششی شامل کانولا (*Brassica napus*)، یولاف (*Avena sativa*)، ماشک گل خوشه‌ای). میگوئز و بولرو (Miguez and Bollero, 2005) گزارش نمودند که گیاهان پوششی بقولات زمستانه عملکرد ذرت (*Zea mays*) را بدون مصرف کود نیتروژن به‌طور قابل ملاحظه افزایش دادند.

به نظر می‌رسد یکی از راهکارهای عملی برای تقویت و حاصلخیزی خاک، استفاده از گیاهان پوششی قبل از کشت گیاه اصلی همراه با به‌کارگیری روشی از خاک‌ورزی است که در تلفیق با کشت گیاهان پوششی متناسب با شرایط محیطی منطقه منجر به ایجاد عملکردی پایدار برای گیاه زراعی شود. کشاورزان منطقه خراسان جنوبی از روش شخم رایج در کشت و کار گندم استفاده می‌کنند و گیاهان پوششی هیچ جایگاهی در سیستم زراعی آن‌ها ندارد. لذا هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر گیاهان پوششی و سیستم‌های مختلف

بحران خشکسالی و مدیریت آب و جبران مواد آلی خاک کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک است. کاهش فشردگی خاک، حفظ رطوبت و جلوگیری از فرسایش و پیشگیری از به هم خوردن ساختمان خاک از دیگر مزایای کشاورزی حفاظتی است (Jat et al., 2012). اختلاف عملکرد بین سیستم‌های کشاورزی حفاظتی و سیستم‌های شخم رایج در اقلیم مدیترانه‌ای در نتیجه بهبود رطوبت خاک و مواد غذایی قابل دسترس بین ۲۰ تا ۱۲۰ درصد گزارش شده است (Piggin et al., 2011). بهبود خصوصیات خاک در کشاورزی حفاظتی از طریق دو عامل است: ۱) سهم بیشتری از آب بارندگی وارد خاک می‌شود و ۲) توزیع بهتر فضاهای خاک که در نتیجه آن سهم بیشتری از آب دریافتی برای گیاه نگه داشته می‌شود (Shaxson, 2006). تکنولوژی‌های رایج تولید محصول در مقایسه با کشاورزی حفاظتی، کارایی استفاده از آب کمتری دارند (Bhushan et al., 2007) و حاصلخیزی خاک را کاهش می‌دهند (Jat et al., 2013). شخم عمیق منجر به تغییر خصوصیات خاک (مثل ساختار خاک، تراکم حجمی، هدایت هیدرولیکی، نفوذپذیری، محتوی رطوبت خاک، محتوی کربن خاک، بیوماس میکروبی و فعالیتشان) می‌شود (Osunbitan et al., 2005; Allen et al., 2011). محققین مشاهده کردند که شخم عمیق خاک تأثیر منفی روی سلامتی و پارامترهای کیفی خاک داشت (Karlen et al., 2013). عدم شخم، معدنی شدن ماده آلی خاک را کاهش می‌دهد و به ترسیب کربن آلی در خاک کمک می‌کند و باعث بهبود ساختار خاک و رشد ریشه، نفوذ آب، ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود (Carvalho and Lourenco, 2014). علاوه بر این، عدم شخم فشردگی خاک و هزینه‌های تولید محصول را کاهش می‌دهد (Carvalho and Lourenco, 2014). در مطالعه‌ای که Parihar et al. (2016) انجام دادند عملکرد ذرت در سیستم کشت بدون شخم ۱۱/۶ درصد بیشتر از سیستم کشت شخم رایج بود. حذف بقایای گیاهی به همراه عملیات شخم عمیق منجر به کاهش سطح کربن آلی خاک و کاهش مواد غذایی خاک می‌شود (Sing et al., 2011). ساماراجیوا و همکاران (Samarajeewa et al., 2006) دریافتند که سیستم‌های شخم حفاظتی تولید بیشتری را نسبت به سیستم‌های شخم رایج داشتند که در نتیجه بهبود کیفیت خاک و کارایی استفاده از آب گیاه بود. عملکرد محصولات علوفه‌ای تحت شرایط شخم کاهشی در مقایسه با شخم رایج بیشتر بود (Gadermaier et al., 2011). ژائو و همکاران (Zhao et al., 2007) عدم شخم را با حفظ بقایا و شخم زدن خاک را با حذف بقایا با هم مقایسه کردند، نتایج نشان داد که عدم شخم حدود ۷ درصد عملکرد گندم (*Triticum aestivum*) و سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) را بهبود داد. در تحقیقی دیگر مشخص شد عملکرد گندم در سیستم عدم شخم در مقایسه با سیستم شخم رایج به‌مراتب بیشتر بود (De Vita et al., 2007). در تحقیقی که

خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در منطقه بیرجند بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل روش خاک‌ورزی (عدم خاک‌ورزی، خاک‌ورزی کاهشی و خاک‌ورزی متداول) و نوع گیاه پوششی در پنج سطح (خلر (*Lathyrus sativus*)، منداب (*Eruca sativa*)، جو ترش (*Hordeum vulgare*)، تریتیکاله (*Triticosecale witmack*) و شاهد بدون کشت گیاه پوششی) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. گیاهان پوششی انتخاب شده بر مبنای انطباق با شرایط اقلیمی، سبز شدن سریع و تولید سطح سبز یکنواخت در سطح مزرعه، رشد رویشی مناسب و تولید مقدار بالای کاه، قابلیت رقابت بالا با علف‌های هرز و تحمل نسبی به تنش‌های محیطی انتخاب شدند. ولیکن دلایل اختصاصی برای انتخاب هر گیاه نیز وجود داشت که از آن جمله می‌توان به قابلیت تثبیت نیتروژن در خلر، تولید گلوکوزینولات‌ها به عنوان ماده دگرآسیب و بازدارنده رشد علف‌های هرز در منداب و بسته شدن سریع کنوبی در جو و تریتیکاله اشاره داشت. ابتدا عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح صورت گرفت. اندازه کرت‌های فرعی ۱۵ متر مربع (۵ متر طول و ۳ متر عرض) و فاصله بین بلوک‌ها ۸ متر بود. در مرداد ماه ۱۳۹۳ کشت بذر گیاهان پوششی به صورت همزمان و به صورت ردیفی صورت گرفت. گیاهان پوششی جو ترش و تریتیکاله با دستگاه خطی کار غلات و گیاهان پوششی خلر و منداب با دست کشت شدند. تریتیکاله با تراکم گیاه ۴۰۰ بذر در متر مربع (وزن هزار دانه ۵۰ گرم)، جو ترش ۴۰۰ بذر در متر مربع (وزن هزار دانه ۴۵ گرم)، خلر با تراکم ۲۵۰ بذر در متر مربع (وزن هزار دانه ۹۵ گرم) و منداب ۸۰ بذر در متر مربع (وزن هزار دانه ۴ گرم) کاشته شد. بعد از کاشت گیاهان پوششی بلافاصله آبیاری به صورت سیفونی انجام شد. پس از سبز شدن هر هفت روز یک بار تا زمان برداشت گیاهان پوششی آبیاری صورت گرفت و در اواسط مهر ماه ۹۳ قبل از کاشت گندم، ابتدا با پاشش علف‌کش تماسی پاراکوات با استفاده از سمپاش پستی به میزان ۳ لیتر در هکتار به رشد گیاهان پوششی خاتمه داده و سپس بقایای گیاهان پوششی در سطح مزرعه باقی گذاشته شد. عملیات آماده‌سازی زمین برای کشت گیاه اصلی صورت گرفت. در این راستا ابتدا سه سطح تیمار خاک‌ورزی اعمال شدند، به صورتی که در کرت‌های اصلی شامل خاک‌ورزی متداول (شخم عمیق با گاوآهن برگردان در عمق ۳۰ سانتی‌متر) و خاک‌ورزی کاهشی (شخم با گاوآهن چیزل) بقایای گیاهان پوششی با خاک مخلوط شد. در تیمار بدون خاک‌ورزی تمام بقایا روی سطح خاک نگهداری شد و

هیچ‌گونه خاک‌ورزی صورت نگرفت و در تیمار خاک‌ورزی کاهشی بقایا تا عمق ۱۵ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد و در خاک‌ورزی رایج، بقایا به وسیله گاوآهن برگرداندار تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. در دو تیمار خاک‌ورزی کاهشی و خاک‌ورزی رایج، پس از شخم زدن عملیات تسطیح زمین با لولر صورت گرفت. سپس در نیمه اول آبان ماه ۹۳ گندم رقم آنفارم ۴ (بم) (۳۰۰ بذر در مترمربع با وزن هزار دانه ۴۳ گرم و با فاصله بین ردیف ۱۲ سانتی‌متر) کاشت شد. این رقم گندمی است دابل هاپلوئید (DH4-209-1577F3) با شجره Vee's, /Nac/1-66-22 که دو رگی است بین گندم Vee's, /Nac متحمل به گرما و تا حدودی خشکی با منشاء سیمیت و گندم T.Aest/5/Ti/4/La/3/Fr/Kal/Gb که از دورگ‌های بخش تحقیقات غلات است. در کرت‌هایی که تیمار عدم خاک‌ورزی اعمال شده بود برای کاشت گیاه گندم از دستگاه کشت مستقیم (مدل ICARDA No.Till., INDIA COMPANY) استفاده شد و در کرت‌هایی که تیمار خاک‌ورزی رایج و خاک‌ورزی کاهشی (کم عمق) اعمال شده بود برای کاشت گیاه گندم از دستگاه خطی کار غلات استفاده شد.

به منظور تأمین نیاز کودی گیاه پوششی، کود اوره به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار پیش از کشت گیاه پوششی به خاک اضافه شد. به منظور تأمین فسفر مورد نیاز گیاه اصلی (گندم)، کود سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (کود اوره در دو نوبت به خاک اضافه شد: ۱- قبل از کاشت گندم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۲- ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در زمان ساقه‌دهی گندم) و کود پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شد. در طی فصل رشد گندم، آبیاری‌ها به فاصله ۱۰ روز و به صورت نشتی (جوی و پشته) انجام شد. برای اطلاع از خصوصیات خاک مزرعه، به نمونه‌گیری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر خاک اقدام شد (جدول ۱). میزان بارش در سال زراعی مورد نظر ۱۳۷/۵ میلی‌متر بود.

قبل از خاتمه دادن به رشد گیاهان پوششی، برای تعیین میزان بقایای آنها، یک نمونه ۰/۲۵ مترمربعی (کوادرات ۰/۵ X ۰/۵ متری) به صورت تصادفی از هر گیاه پوششی گرفته و گیاهان موجود در هر کوادرات برداشت و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و وزن خشک آن محاسبه شد. میزان بقایای اندازه‌گیری شده برای گیاه پوششی خلر، منداب، جو ترش و تریتیکاله به ترتیب برابر $40.13/33 \pm 69/60$ ، $70.16/67 \pm 48/07$ ، $1746/67 \pm 29/06$ و $29.06/67 \pm 29/06$ کیلوگرم در هکتار بود. برای اندازه‌گیری نسبت C:N خاک، قبل از کاشت گیاه پوششی و بعد از برداشت گیاه اصلی نمونه‌برداری از خاک صورت گرفت و نسبت C:N خاک نیز اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری

Table 1- Some physical and chemical properties of the soil of experiment field in depth of 0-30 cm

کربن آلی (%) C (%)	نیتروژن کل (%) N (%)	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC (dS m ⁻¹)	کلاس بافت خاک Soil texture	شن (%) Sand (%)	سیلت (%) Silt (%)	رس (%) Clay (%)
0.385	0.044	8.2	3.83	لومی شنی Sandy loam	63	28	9

دانه، دانه‌ها از بقایا کاملاً جدا و وزن شدند. تعداد دانه در سنبله از شمارش تعداد دانه‌های ۲۰ سنبله که به صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شده بود، شمارش شد. تجزیه آماری اطلاعات به دست آمده با استفاده از نرم افزار ماکرو (ver 1.019) DSAASAT و رسم شکل‌ها توسط نرم افزار EXCEL صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با روش FLSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

در این راستا کربن آلی به روش والکلی و بلک (Walkly and Black, 1934) و اندازه‌گیری نیتروژن به روش میکروکجلدال صورت پذیرفت (Bremner, 1996). در پایان فصل رشد عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گندم تعیین شد. در خرداد ۹۴ برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و اجزای عملکرد (وزن هزار دانه، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله در متر مربع)، از هر کرت، مساحت یک مترمربع برداشت شد و برای اندازه‌گیری عملکرد

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد گندم و C/N خاک تحت تأثیر روش شخم و نوع گیاه پوششی

Table 2- Analysis of variance (Mean squares) of yield and yield components of wheat and soil C/N as affected by different tillage methods and cover crop types

منابع تغییرات	df	تعداد سنبله در متر مربع Spike.m ⁻²	وزن سنبله در مترمربع Spike Weight per m ²	عملکرد دانه Grain yield	تعداد دانه در سنبله Grain. Spike ⁻¹	وزن هزار دانه Thousand- kernel weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	نسبت کربن به نیتروژن خاک Soil C/N
تکرار Replication	2	395.8	4224.3	416702.2	27.36	27.55	4701902.2	6.50
روش خاک‌ورزی Tillage type	2	20324.6*	81190.4*	1612702.2*	44.82 ^{ns}	0.43 ^{ns}	23674168.9*	11.10 ^{ns}
خطای عامل اصلی Main plot error	4	1903.3	11513.1	109902.2	57.86	7.30	2115128.9	5.04
گیاه پوششی Cover crop	4	16825.2*	44155.9**	3830586.7**	54.98*	38.90**	17348675.6*	103.77**
روش خاک‌ورزی × گیاه پوششی Tillage type × cover crop	8	2465.5 ^{ns}	7924.2 ^{ns}	366746.7 ^{ns}	27.46 ^{ns}	6.21 ^{ns}	2658302.2 ^{ns}	2.65 ^{ns}
خطای عامل فرعی Sub plot error	24	5320.4	4239.0	248480	19.8	3.41	5618320	1.71
ضریب تغییرات CV%		8.6	13.6	5.7	19.8	6.4	10.4	25.5

ns و*: به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند

ns, * and ** represent non-significant and significant differences at 1 and 5% probability levels, respectively

نتایج و بحث

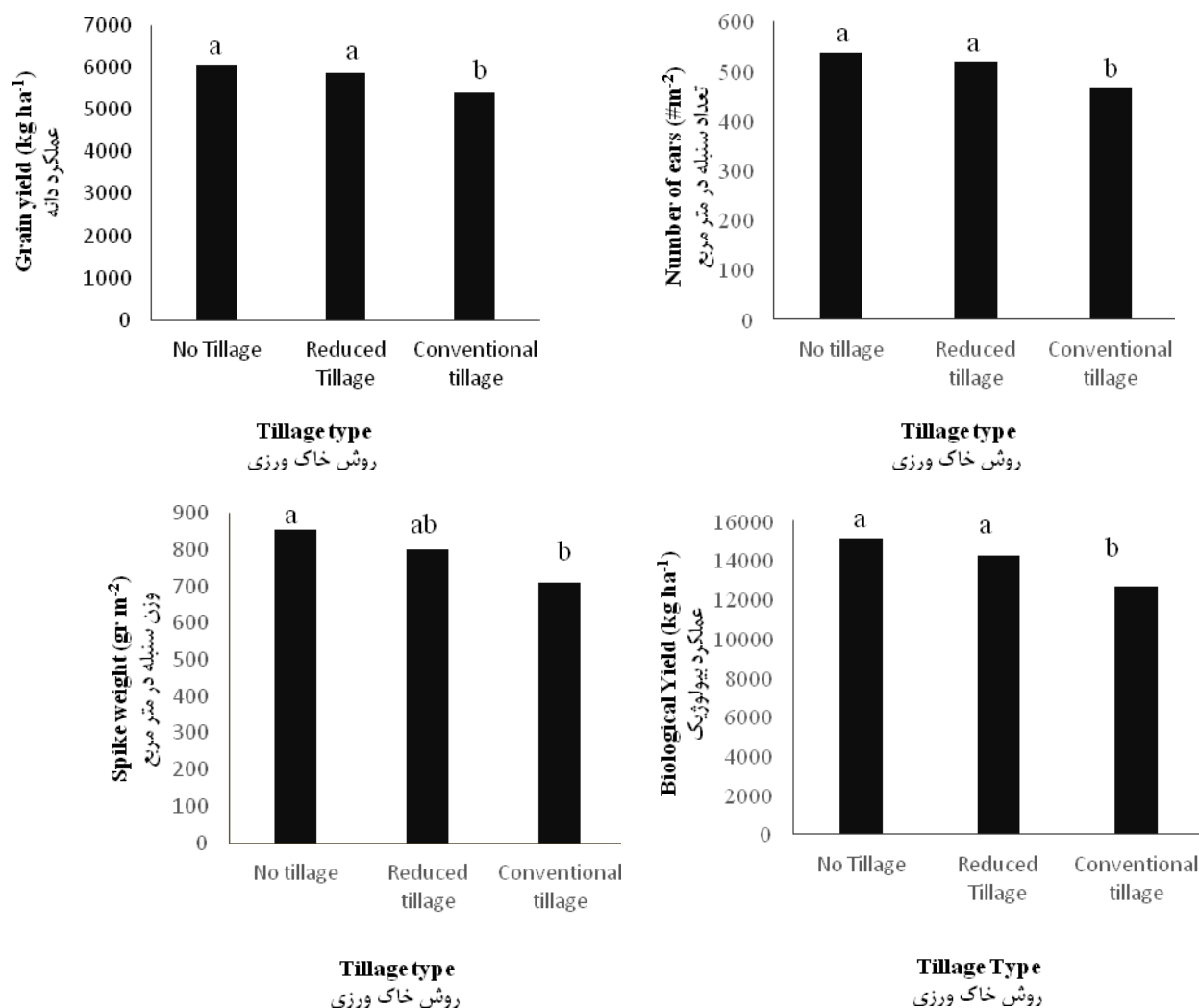
در این تحقیق اثر متقابل نوع گیاه پوششی و سیستم شخم بر هیچ یک از صفات مورد بررسی معنی دار نبود. به نظر می رسد معنی دار نشدن اثر متقابل می تواند به دلیل عدم همزمانی کشت گیاهان پوششی و زمان اعمال تیمارهای شخم باشد. ضمن اینکه عوامل دیگری همچون سال نخست وارد کردن گیاهان پوششی در سیستم کشت و آن هم صرفاً در یک دوره چهار ماهه می تواند از دلایل دیگر این امر باشد.

تأثیر روش خاکورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمار روش خاکورزی بر تعداد سنبله در متر مربع معنی دار بود ($P < 0.05$) (جدول ۲). بررسی تأثیر روش خاکورزی بر تعداد سنبله در مترمربع نشان داد که تعداد سنبله در متر مربع در تیمار عدم خاکورزی و خاکورزی کاهشی در مقایسه با تیمار خاکورزی متداول به طور معنی داری افزایش یافت (شکل ۱). همت و اسکندری (Hemmat and Eskandari, 2006) تعداد سنبله در مترمربع بیشتر در سیستم شخم کاهشی و عدم شخم نسبت به شخم رایج را به دلیل استقرار بهتر گیاهچه ها، افزایش تولید پنجه و بقای پنجه ها دانستند. بنابراین گندم کشت شده در شرایط عدم شخم همراه با حفظ بقایا، به دلیل دستیابی به سطح رطوبتی بیشتر، تعداد پنجه بیشتری را تولید می کند و در نتیجه تعداد سنبله در مترمربع افزایش می یابد. در تحقیقی که امینی و همکاران (Amini et al., 2014) در مورد روش های مختلف خاکورزی (سه روش خاکورزی: ۱- کم خاکورزی، ۲- بی خاکورزی (کشت مستقیم) و ۳- خاکورزی مرسوم (متداول)) و مدیریت بقایای گیاهی (۱- کاربرد ۳۰٪ بقایا در سطح خاک، ۲- کاربرد ۶۰٪ بقایا در سطح خاک، ۳- کاربرد ۹۰٪ بقایا و ۴- جمع آوری و سوزاندن کامل بقایا) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم انجام دادند بیشترین تعداد سنبله در مترمربع مربوط به سیستم کم خاکورزی و ۳۰ درصد بقایا بود و بعد از آن بیشترین تعداد سنبله در مترمربع مربوط به سیستم بدون خاکورزی و حفظ بقایا به میزان ۳۰ درصد بود.

تأثیر روش خاکورزی بر وزن سنبله در متر مربع معنی دار بود ($P < 0.05$) (جدول ۲). بررسی تأثیر روش خاکورزی بر وزن سنبله در مترمربع نشان داد که وزن سنبله در مترمربع در تیمار عدم خاکورزی در مقایسه با تیمار خاکورزی متداول به طور معنی داری افزایش یافت و وزن سنبله در مترمربع در تیمار خاکورزی کاهشی اختلاف معنی داری با تیمار خاکورزی متداول و عدم خاکورزی نداشت (شکل ۱).

تأثیر روش خاکورزی بر عملکرد بیولوژیک گندم و عملکرد دانه گندم معنی دار بود ($P < 0.05$) (جدول ۲). بررسی تأثیر روش خاکورزی بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم نشان داد که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم در تیمار عدم خاکورزی و خاکورزی کاهشی در مقایسه با تیمار خاکورزی متداول به طور معنی داری افزایش یافت (شکل ۱). در این آزمایش یکی از دلایل افزایش عملکرد دانه گندم در تیمار خاکورزی کاهشی و عدم خاکورزی را می توان افزایش تعداد سنبله گندم در مترمربع در تیمار خاکورزی کاهشی و عدم خاکورزی دانست. در تحقیق امینی و همکاران (Amini et al., 2014) بیشترین عملکرد دانه گندم مربوط به تیمار کم خاکورزی و کاربرد ۳۰ درصد بقایای گندم بود که با تیمار بی خاکورزی و ۳۰ درصد بقایا در یک گروه آماری قرار گرفتند. در مطالعه ای که ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2015) انجام دادند عملکرد ذرت در سیستم شخم کاهشی و عدم شخم در مقایسه با شخم رایج در تناوب کشت سویا-ذرت افزایش یافت و سه فرضیه را برای تأثیر شخم روی عملکرد ذرت بیان کردند (۱) تأثیر روی شرایط تغذیه ای خاک، (۲) نگهداری آب خاک و (۳) تأثیر روی درجه حرارت خاک. در پژوهشی دیگر متوسط عملکرد دانه گندم در روش خاکورزی با گاو آهن قلمی (خاکورزی حفاظتی) و بدون خاکورزی، ۴۲-۲۵ درصد بیشتر از روش خاکورزی مرسوم بود (Hemmat and Eskandari, 2006). همت و اسکندری (Hemmat and Eskandari, 2004) عملکرد کمتر در روش خاکورزی رایج را تا حدی به اتلاف آب بیشتر و یا توسعه کمتر ریشه ارتباط دادند. در مطالعه ای که شائو و همکاران (Shao et al., 2016) انجام دادند عملکرد گندم در سیستم عدم شخم و شخم کاهشی در مقایسه با شخم رایج ۷/۹ تا ۱۲ درصد افزایش یافت و این افزایش عملکرد را به افزایش آب قابل دسترس در بهار در سیستم عدم شخم نسبت دادند. به نظر می رسد عملکرد بیشتر تحت شرایط عدم شخم و شخم حفاظتی در نتیجه افزایش ماده غذایی (Kascuk et al., 2010)، کاهش جمعیت علف های هرز (Chauhan et al., 2007)، بهبود سلامت فیزیکی خاک (Jat et al., 2013)، بهتر شدن وضعیت آب خاک (Govaerts et al., 2009) و بهبود کارایی استفاده از مواد غذایی در مقایسه با شخم رایج می باشد (Unger and Jones, 1998) روش خاکورزی تأثیر معنی داری بر تعداد دانه در سنبله گندم و وزن هزار دانه آن نداشت (جدول ۲). هم چنین در تحقیقی دیگر روش خاکورزی تأثیر معنی داری روی تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه گندم نداشت (Hemmat and Eskandari, 2004).



شکل ۱- اثر روش خاک‌ورزی بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد و وزن سنبله گندم در متر مربع؛ میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشند

Figure 1- Effect of tillage type on grain yield, biological yield, and number and weight of spike in wheat; means with the same letter are not significantly different based on an LSD at P = 0.05.

میانگین اثر اصلی گیاه پوششی بر وزن سنبله گندم و وزن هزار دانه گندم نشان داد که وزن سنبله و وزن هزار دانه گندم در تیمار گیاه پوششی منداب و خلر نسبت به شاهد (عدم کشت گیاه پوششی) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و وزن سنبله و وزن هزار دانه گندم در تیمار گیاه پوششی جوترش و تربتیکاله، اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد (عدم کشت گیاه پوششی) نداشت. بیشترین وزن سنبله و وزن هزار دانه گندم در تیمار گیاه پوششی منداب مشاهده شد (جدول ۳). که یکی از دلایل بیشتر بودن وزن سنبله و وزن هزار دانه گندم در این تیمار احتمالاً می‌تواند به دلیل تولید بیشترین میزان بقایا توسط گیاه پوششی منداب ($48/07 \pm 7016/67$ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سایر گیاهان پوششی باشد.

تأثیر نوع گیاه پوششی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

تأثیر نوع گیاه پوششی بر تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی گیاه پوششی بر تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله نشان داد که تعداد سنبله در مترمربع در تیمار گیاه پوششی خلر نسبت به تیمار شاهد (عدم کشت گیاه پوششی) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و تعداد دانه در سنبله در تیمار گیاه پوششی خلر، منداب و جوترش نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (جدول ۳).

تأثیر نوع گیاه پوششی بر وزن سنبله در مترمربع و وزن هزار دانه گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه

بررسی در مقایسه با سایر گیاهان پوششی مشهود بود. این برتری تاحد زیادی می‌تواند به تعلق این گیاه به خانواده بقولات مربوط باشد. بقولات در زمان تجزیه شدن نیتروژن آزاد می‌کنند و در مقایسه با گراس‌ها در تثبیت نیتروژن ارجح‌ترند. زیرا گراس‌ها مقدار زیادی کربن تولید می‌کنند و به کندی تجزیه می‌شوند (Mirsky et al., 2012). استفاده از گیاهان پوششی لگوم مزیت‌های ویژه‌ای دارد. استفاده از لگوم‌ها منجر به افزایش بیوماس میکروبی خاک (Jokela et al., 2009) و افزایش سرعت معدنی شدن نیتروژن خاک می‌شود (Dinesh et al., 2001). علاوه بر این، لگوم‌ها دارای توانایی برای جذب مواد غذایی کم قابل دسترس در خاک هستند و می‌توانند در افزایش غلظت ماده غذایی در لایه سطحی خاک کمک کنند (Fageria et al., 2005). گزارش شده است که گیاهان پوششی غیر لگوم که نسبت C/N بالا و درصد نیتروژن کمی دارند، باعث تأثیرات مفید جزئی یا عدم تأثیر بر رشد گیاه بعدی شده‌اند و حتی در برخی پژوهش‌ها باعث اثر منفی بر رشد و عملکرد محصول بعد از خود شده‌اند (Kuo and Jellum, 2002). منداب نیز اگرچه جزو خانواده بقولات نیست به سبب داشتن ریشه عمیق، احتمالاً این توانایی را دارد که عناصر غذایی را از اعماق خاک جذب کند و پس از پوسیدگی آنها را به‌تدریج در اختیار گیاه اصلی قرار دهد (Poorhasankhani Dowlatabad et al., 2015).

تأثیر نوع گیاه پوششی بر عملکرد بیولوژیک ($P < 0.05$) و عملکرد دانه گندم ($P < 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر گیاه پوششی بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم نشان داد که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم در تیمار گیاه پوششی خلر و منداب نسبت به شاهد (عدم کشت گیاه پوششی) افزایش یافت. احتمالاً افزایش عملکرد دانه گندم در تیمار گیاه پوششی خلر و منداب نسبت به تیمار شاهد (عدم کشت گیاه پوششی) به دلیل افزایش وزن سنبله و وزن هزار دانه گندم در این تیمارها می‌باشد.

تأثیر نوع گیاه پوششی بر نسبت C/N خاک ($P < 0.01$) معنی‌دار بود. تأثیر نوع گیاه پوششی بر نسبت C/N خاک نشان داد که در تیمار گیاه پوششی خلر و منداب، نسبت C/N خاک، نسبت به شاهد (عدم کشت گیاه پوششی) به‌طور معنی‌داری کمتر بود، در حالی که در گیاه پوششی تریتیکاله و جو ترش این نسبت نسبت به شاهد بالاتر بود. منابع دیگر نیز افزایش نسبت C/N خاک را در شرایط کشت غلات تأیید کرده‌اند (Liebman et al., 2004). تجزیه مواد آلی در خاک به‌وسیله نسبت C/N تعیین می‌گردد. هرچه نسبت C/N کمتر باشد، کربن آلی کم و محتوای نیتروژن بالا بوده و مقدار بالایی از نیتروژن در اثر معدنی شدن کود سبز آزاد خواهد شد (Abdi et al., 2013). اگرچه استفاده از گیاهان پوششی در کل منجر به بهبود صفات و اجزای عملکرد گندم شد برتری گیاه خلر در بسیاری از صفات مورد

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد گندم و C/N خاک تحت تأثیر نوع گیاه پوششی

Table 3- Means comparison for the yield and yield components of wheat and soil C/N as affected by different cover crop types

گیاه پوششی Cover crop	تعداد سنبله در مترمربع Spike.m ⁻²	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	تعداد دانه در سنبله Grain. Spike ⁻¹	وزن هزار دانه Thousand- kernel weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	وزن سنبله Spike weight (g m ⁻²)	نسبت کربن به نیتروژن خاک C/N
خلر Chickling pea	560.4	6511.1	40	43.02	15293.3	821.8	4.282
منداب Rocket sativa	531.6	6422.2	40.56	45.30	15422.2	894.2	6.19
جو ترش Barley	446.7	5524.4	39.33	40.52	14120	747.6	11.84
تریتیکاله Triticale	488.4	5328.9	37.56	41.42	12533.3	760.4	11.67
شاهد Control	513.3	5082.2	34.44	40.30	12640	718.7	9.99
LSD ($\alpha=5\%$)	70.966	484.984	4.329	1.795	2306.138	63.345	1.271

بیولوژیک ذرت داشتند. ساینجو و همکاران (Sainju et al., 2001) گزارش کردند که در اثر استفاده از کود سبز، افزایش در عملکرد بیولوژیک ممکن است به دلیل افزایش غلظت نیتروژن و کربن آلی خاک باشد که احتمالاً پیامد آن افزایش رشد ریشه گیاه است. علاوه

در پژوهشی که پورحسن‌خانی دولت آباد و همکاران (Poorhasankhani Dowlatabad et al., 2015) انجام دادند استفاده از گیاهان پوششی منداب و همچنین مخلوط منداب و خلر در شرایط کم بودن نیتروژن مصرفی، اثر قابل توجهی بر عملکرد

پوششی) افزایش یافت. به طور کلی بر اساس نتایج این تحقیق می توان گفت که سیستم های خاک ورزی حفاظتی تأثیر مثبتی روی عملکرد و اجزای عملکرد گندم داشته و همچنین گیاهان پوششی خلر و منداب بیشترین تأثیر مثبت را روی عملکرد و اجزای عملکرد گندم داشتند. یافته های این پژوهش، موفقیت کشت گیاهان پوششی خلر و منداب و سیستم های خاک ورزی حفاظتی را در بهبود عملکرد گندم نشان دادند. لذا به نظر می رسد با توجه به مصرف بی رویه کودهای شیمیایی و مخاطرات زیست محیطی آنها، می توان به استفاده از گیاهان پوششی و سیستم های شخم حفاظتی به عنوان راهکاری پایدار جهت توسعه کشاورزی پایدار و حفظ سلامت بوم نظام ها در مناطق خشکی چون بیرجند امیدوار بود، چراکه عدم توجه به کشاورزی حفاظتی، اجرای مداوم شخم عمیق و تأمین نیاز غذایی گیاهان صرفاً از طریق مصرف مداوم کودهای شیمیایی منجر به کاهش شدید محتوای مواد آلی خاک شده و سلامت خاک های منطقه را به خطر انداخته است. ادامه این روش ها در آینده نه چندان دور منجر به از دست رفتن منابع و کاهش عملکرد شده و پایداری بوم نظام های زراعی منطقه را به خطر خواهد انداخت. لذا اجرای این تحقیقات در سال های بعد و توصیه کشاورزان به اجرای اصول کشاورزی حفاظتی در منطقه بیرجند توصیه می شود.

بر افزایش محتوی کربن و نیتروژن آلی خاک، گیاهان پوششی ممکن است سبب بهبود تهویه خاک و ساختمان خاک شود (Poorhasankhani Dowlatabad et al., 2015). احتمالاً گیاهان پوششی از طریق آزاد کردن مواد غذایی و بهبود ساختار و مواد آلی خاک باعث بهبود خصوصیات گیاه زراعی می شوند (Jahan et al., 2013). بقایای گیاهان پوششی در خاک از طریق حفظ رطوبت و همچنین تعدیل درجه حرارت شرایط مساعدی را برای رشد گیاه اصلی فراهم می کنند و در نتیجه باعث افزایش عملکرد دانه می شوند (Jahan et al., 2013).

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که امکان دستیابی به عملکردهای بالاتر گندم با کشت گیاهان پوششی و استفاده از سیستم های خاک ورزی حفاظتی وجود دارد. به طوری که در این تحقیق عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم در تیمار عدم خاک ورزی و خاک ورزی کاهش در مقایسه با تیمار خاک ورزی متداول به طور معنی داری افزایش یافت. همچنین اثر گیاه پوششی بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم نشان داد که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم در تیمار گیاه پوششی خلر و منداب نسبت به شاهد (عدم کشت گیاه

References

- Abdi, S., Tajbakhsh, M., Abdollahi Mandulakani, B., and Rasouli Sadaghiani, M. H. 2013. Effect of green manure on the soil organic matter and nitrogen. Journals of Agronomy Science 7: 41-52. (in Persian with English abstract).
- Allen, D. E., Singh, B. P., and Dalal, R. C. 2011. Soil health indicators under climate change: a review of current knowledge PP 25-45 in Singh, B. P., Cowie, A. L., Chan, K. Y. (Eds.), Soil Health and Climate Change. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Amini, A., Rajaie, M., and Farsinezhad, K. 2014. Effects of different plant residue under different tillage practices on yield and components of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Ecophysiology 16: 27-37. (in Persian with English abstract).
- Araya, T., Cornelis, W. M., Nyssen, J., Govaerts, B., Getnet, F., Bauer, H., Amare, K., Raes, D., Haile, M., and Deckers, J. 2012. Medium-term effects of conservation agriculture based cropping systems for sustainable soil and water management and crop productivity in the Ethiopian highlands. Field Crops Research 132: 53-62.
- Bhushan, L., Ladha, J. K., Gupta, R. K., Singh, S., Tirol-Padre, A., Saharawat, Y. S., Gathala, M., and Pathak, H. 2007. Saving of water and labor in a rice-wheat system with no-tillage and direct seeding technologies. Agronomy Journal 99: 1288-1296.
- Bremner, J. M. 1996. Nitrogen- Total. In: D.L. Sparks Et Al (Eds.), Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Sssa. Asa. Madison. W.U. Canadian Journal of Microbiology 21: 314-322.
- Carrera, L. M., Abdul-Baki, A. A., and Teasdel, J. R. 2004. Cover crop management and weed suppression in No-tillage Sweet corn production. HortScience 39 (6): 1262-1266.
- Carvalho, M., and Lourenco, E., 2014. Conservation Agriculture – A Portuguese Case Study. Journal of Agronomy and Crop Science 200: 317-324.
- Chauhan, B. S., Gill, G. S., and Preston, C. 2007. Effect of seeding systems and di nitro aniline herbicides on emergence and control of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in wheat. Weed Technology 21: 53-58.
- De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., and Pisante, M. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. Soil & Tillage Research 92: 69-78.
- Dinesh, R., Suryanayarana, M. A., Nair, A. K., and Ghoshal Chaudhury, S. 2001. Leguminous cover crop effects on nitrogen mineralization rates and kinetics in soils. Journal of Agronomy and Crop Science 187: 161-166.
- Duiker, S. W., and Curran. W. S. 2005. Rye cover crop management for corn production in the northern mid-

- atlantic region. *Agronomy Journal* 97: 1413-1418.
13. Fageria, N. K., Baligar, V. C., and Bailey, B. A., 2005. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Journal of Communications Soil Science Plant Analysis* 36: 2733-2757.
14. FAO (Food and Agriculture Organization). 2013. Introduction to conservation agriculture (its principles & benefits). Available from: <http://teca.fao.org/technology/introduction-conservation-agriculture-its-principles-benefits>
15. Gadermaier, F., Berner, A., Fliebach, A., Friedel, J. K., and Mader, P. 2011. Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renew Agriculture and Food Systems*: pp 1-13.
16. Govaerts, B., Sayre, K. D., Goudeseune, B., De Corte, P., Lichter, K., Dendooven, L., and Deckers, J. 2009. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Soil & Tillage Research* 103: 222-230.
17. Hemmat, A., and Eskandari, I. 2004. Tillage system effects upon productivity winter wheat chickpea rotation in the northwest region of Iran. *Soil & tillage Research* 78 (11): 69-81.
18. Hemmat, A., and Eskandari, I. 2006. Dryland winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in northwestern Iran. *Soil & tillage Research* 86: 99-109.
19. Hobbs, P. R., Sayre, K., and Gupta, R. 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363: 543-555.
20. Jahan, M., Aryaee, M., Amiri, M. B., and Ehyae, H. R. 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on quantitative and qualitative characteristics of *Sesamum indicum* L. with application of cover crops of *Lathyrus* sp. and Persian clover (*Trifolium resopinatum* L.). *Journal of Agroecology* 5 (1): 1-15 (in Persian).
21. Jat, R. A., Wani, S. P., and Sahrawat, K. L. 2012. Conservation Agriculture in the Semi-Arid Tropics: Prospects and Problems. *Advances in Agronomy* 117: 191-237.
22. Jat, M. L., Gathala, M. K., Saharawat, Y. S., Tatarwal, J. P., Gupta, R., and Singh, Y. 2013. Double no-till and permanent raised beds in maize-wheat rotation of north-western Indo-Gangetic plains of India: effects on crop yields, water productivity, profitability and soil physical properties. *Field Crops Research* 149: 291-299.
23. Jokela, W. E., Grabber, J. H., Karlen, D. L., Balser, T. C., and Palmquist, D. E. 2009. Cover crop and liquid manure effects on soil quality indicators in a corn silage system. *Agronomy Journal* 101: 727-737.
24. Karlen, D. L., Cambardella, C. A., Kovar, J. L., and Colvin, T. S. 2013. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. *Soil & Tillage Research* 133: 54-64.
25. Kaschuk, G., Alberton, O., and Hungria, M. 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology and Biochemistry Journal* 42: 1-13.
26. Kuo, S., and Jellum, E. J. 2002. Influence of winter cover crop and residue management on soil nitrogen availability and corn. *Agronomy Journal* 94: 501-508.
27. Liebman, M., Mohler, C. L., and Staver, C. P. 2004. *Ecological Management of Agricultural Weeds*. Cambridge University Press, UK.
28. Miguez, F. E., and Bollero, G. A. 2005. Review of corn Yield response under winter cover cropping systems using meta-analytic methods. *Crop Science* 45: 2318-2329.
29. Mirsky, S. B., Ryan, M. R., Curran, W. S., Teasdale, J. R., Maul, J., Spargo J. T., Moyer, J., Grantham, A. M., Weber, D., Way, T. R., and Camargo, G. G. 2012. Conservation tillage issues: Cover crop-based organic rotational no-till grain production in the mid-Atlantic region, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27: 31-40.
30. Osunbitan, J. A., Oyedele, D. J., and Adekalu, K. O. 2005. Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in south-western Nigeria. *Soil & Tillage Research* 82: 57-64.
31. Parihar, C. M., Jat, S. L., Singh, A. K., Singh, Y., Pradhan, S., Pooniya, V., Dhauja, A., Chaudhary, V., Jat, M. L., Jat, R. K., and Yadav, O. P. 2016. Conservation agriculture in irrigated intensive maize-based systems of north-western India: Effects on crop yields, water productivity and economic profitability. *Field Crops Research* 193: 104-116.
32. Piggin, C., Haddad, A., and Khalil, Y. 2011. Development and promotion of zero tillage in Iraq and Syria. 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, September 2011 Brisbane, Australia www.wcca2011.org
33. Poorhasankhani Dowlatabad, M., Madah Hosseini, Sh., Dashti, H., and Rahimi, A. 2015. Effect of Green Manure on Soil Organic Matter and Some Growth Indices of Maize (*Zea mays* L.) in Rafsanjan Region. *Journal of Plant Products Technology* 15 (2): 69-80 (in Persian with English abstract).
34. Radicetti, E., Mancinelli, R., and Campiglia, E. 2013. Influence of winter cover crop residue management on weeds and yield in pepper (*Capsicum annuum* L.) in a Mediterranean environment. *Journal of Crop Protection* 52: 64-71.
35. Reeves, D. W. 1994. Cover crops and rotations. In *Crops Residue Management*. *Advances in Soil Science*. Hatfield, J. L., and Stewart, B. A. (Eds.). Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 125-172.
36. Sainju, U. M., and Singh, P. 2001. Tillage, cover crop, and kill-plantation date effects on corn yield and soil nitrogen. *Agronomy Journal* 93: 878-886.

37. Samarajeewa K. B. D. P., Horiuchi, T., and Oba, Sh. 2006. Finger millet (*Eleusine corocana* L. Gaertn) as a cover crop on weed control, growth and yield of soybean under different tillage systems. *Soil & Tillage Research* 90: 93-99.
38. Shaxson, T. F. 2006. Re-thinking the conservation of carbon, water and soil: a different perspective. *Agronomy for Sustainable Development* 26: 9-19.
39. Shao, Y., Xie, Y., Wang, Ch., Yue, J., Yao, Y., Li, X., Liu, W., Zhu, Y., and Guo, T. 2016. Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North China. *European Journal of Agronomy* 81: 37-45.
40. Singh, V. K., Singh, Y., Dwivedi, B. S., Singh, K. S., Majumdar, K., Jat, M. L., Mishra, R. P., and Rani, M. 2016. Soil physical properties: yield trends and economics after five years of conservation agriculture based rice-maize system in north-western India. *Soil & Tillage Research* 155: 133-148.
41. Teasdale, J. R. 1996. Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *Journal of Production Agriculture* 9: 475-479.
42. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., and Polasky, S. 2002. Agricultural Sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677. Available from: [http:// dx.doi.org/10.1038/nature01014](http://dx.doi.org/10.1038/nature01014).
43. Tripathi, R. S., Raju, R., and Thimmappa, K. 2013. Impact of Zero Tillage on Economics of Wheat Production in Haryana. *Agricultural Economics Research Review* 26 (1): 101-108.
44. Unger, P. W., and Jones, O. R. 1998. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil & Tillage Research* 45: 39-57.
45. Usman, K., Khan, E. A., Khan, N., Khan, M. A., Ghulam, S., Khan, S., and Baloch, J. 2013. Effect of Tillage and Nitrogen on Wheat Production, Economics, and Soil Fertility in Rice-Wheat Cropping System. *American Journal of Plant Sciences* 4: 17-25.
46. Walkly, A., and Black, I. A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
47. Zhang, S., Chen, X., Jia, Sh., Liang, A., Zhang, X., Yang, X., Wei, Sh, Sun, B., Huang, D., and Zhou, G. 2015. The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China. *Soil & Tillage Research* 154: 84-90.
48. Zhao, M. Q., Hao, J. G., She, D. Q., Zhao, S. J., Fan, X. Q., and Liu, H. T. 2007. Conservation tillage in the interlock region of the farming area and pastoral area. *Journal of Agriculture Mechanization Research* 2: 122-125.



Effect of Different Tillage Methods and Cover Crop Types on Yield and Yield Components of Wheat

Z. Sharefee¹- S. V. Eslami^{2*}- M. Jami Al-Ahmadi²- S. Mahmoodi²

Received: 01-02-2017

Accepted: 11-06-2017

Introduction

Conservation agriculture is an appropriate strategy for maintaining and improving agricultural resources which increases crop production and stability and also provides environmental protection. This attitude contributes to the conservation of natural resources (soil, water, and air) and is one of the most effective ways to overcome the drought crisis, water management and compensation of soil organic matter in arid and semi-arid regions. The practice of zero-tillage decreases the mineralization of organic matter and contributes to the sequestration of organic carbon in the soil. Higher amounts of organic matter in the soil improve soil structure and root growth, water infiltration and retention, and cation exchange capacity. In addition, zero-tillage reduces soil compaction and crop production costs. Cover crops are cultivated to protect the soil from erosion and elements loss by leaching or runoff and also improve the soil moisture and temperature.

Given that South Khorasan farmers still use traditional methods of cultivation of wheat, and cover crops have no place in their farming systems, the aim of this study was to investigate the effect of cover crops types and tillage systems on yield and yield components of wheat in Birjand region.

Materials and Methods

A split plot field experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the Research Farm of the University of Birjand over the growing season of 2014-2015. The main factor was the type of tillage (no-till, reduced tillage and conventional tillage) and cover crop type (chickling pea (*Lathyrus sativus*), rocket salad (*Eruca sativa*), triticale (*X Triticosecale witmack*), barley (*Hordeum vulgaris*) and control (no cover crop)) was considered as sub plots. Cover crops were planted on July 2014. Before planting wheat, cover crops were dried through spraying paraquat herbicide using a backpack sprayer at a rate of 3 L ha⁻¹. Then the three tillage treatments were applied, seedbed preparation was carried out and wheat Anfarm-4 (Bam) was planted. At the end of the growing season, yield and yield components of wheat were measured.

Results and Discussion

The results indicated that the maximum grain yield, biological yield, and spike.m⁻² of wheat were observed with the no-till and reduced tillage treatments. The wheat spike weight significantly increased in the treatment of no-tillage compared with conventional tillage treatment. It seems that increased crop yield under no-till and reduced till systems might be owing to the enhancement of the soil nutrient status, reduced weed populations, improved physical health of the soil improved soil water status and increased efficiency of nutrient usage in these systems comparing with the conventional tillage systems.

The main effect of cover crop type showed that incorporating chickling pea and rocket salad resulted in the greatest grain yield, thousand-kernal weight, spike weight, and biological yield of wheat compared to the control (no cover crop) and also chickling pea, rocket salad and barley caused the greatest grain. Spike-1 of wheat compared to the control (no cover crop). Although the use of total cover crops improved yield and yield components in wheat. Chickling pea superiority in many traits was evident in comparison with other cover crops. This superiority could be due to the fact that this plant belongs to the legume family and legumes release higher amounts of nitrogen during decomposition compared to grass species. Grasses produce large amounts of carbon and are slowly decomposed. Although rocket salad does not belong to the legume family, due to having deep roots, it is able to absorb nutrients from the deep soil layers and provide the main plant with these nutrients after its decay.

1- PhD Student of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand

(*- Corresponding Author Email: sveslami@birjand.ac.ir)

Conclusions

The results of this study revealed that employment of conservation tillage systems remarkably affected the yield and yield components of wheat, and the greatest positive influence on crop yield and yield components were observed where chickling pea and rocket salad were sown before wheat cultivation. Thus, cover crops and conservation tillage systems can be used as a promising solution for the development of sustainable agriculture and protecting the health of ecosystems.

Keywords: Conservation agriculture, Minimum tillage, No tillage, Sustainable agriculture



مطالعه تغذیه برگی کلات آهن به فرم‌های نانو و معمول بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در شرایط تنش خشکی

عباس نصیری دهرخی^{۱*} - احمد قنبری^۲ - ویدا ورناصری قندعلی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۵

چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی کلات آهن به فرم‌های معمول و نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ در مزرعه‌ای واقع در شهر اصفهان به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. دور آبیاری به عنوان عامل اصلی شامل فواصل آبیاری پنج، ۱۰ و ۱۵ روز و محلول پاشی کلات آهن به عنوان عامل فرعی در پنج سطح شامل شاهد (محلول پاشی با آب)، ۲ گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول، ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن، ۴ گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول و ۴ گرم در لیتر نانو کلات آهن در نظر گرفته شد. بیشترین و کمترین تعداد چتر با مقادیر ۱۵/۶ و ۱۱/۴ در بوته به ترتیب از دور پنج و ۱۵ روز آبیاری به دست آمد. کمترین ارتفاع بوته به میزان ۲۱/۳ سانتی متر در تیمار شاهد (عدم محلول پاشی) مشاهده گردید. کمترین وزن هزار دانه (۱/۵ گرم)، عملکرد دانه (۶۱۰/۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۷۶۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم محلول پاشی و دور آبیاری ۱۵ روز مشاهده گردید. کاربرد ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن توانست به اندازه کاربرد ۴ گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول، عملکرد دانه زیره سبز را افزایش دهد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، می‌توان اظهار داشت در شرایط تنش خشکی، با محلول پاشی کلات آهن به خصوص به فرم نانو می‌توان تا حد زیادی اثرات سوء ناشی از تنش خشکی را تعدیل و عملکرد دانه گیاه را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: دور آبیاری، عملکرد بیولوژیک، گیاه دارویی، نانو ذرات

مقدمه

سال به سال بر اهمیت و سطح زیر کشت آن افزوده می‌شود (Kafi et al., 2002).

در کشور ایران اقلیم خشک و نیمه خشک اغلب مناطق را تحت تأثیر قرار داده و خصوصاً خشکسالی‌های اخیر بر مشکل کم‌آبی افزوده است (Laalini et al., 2012). به گزارش Farrokhinia et al. (2011) تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه می‌شود. کاهش سرعت سوخت و ساز کرین، کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و کاهش جذب آب در اثر کاهش رشد ریشه از عوامل دخیل در کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی شناخته شده‌اند (Gonzalez, 2005). ارائه راهکارهایی برای تعدیل اثرات تنش خشکی و افزایش عملکرد در این شرایط به عنوان هدفی مهم همواره مورد توجه محققین بوده است. محلول پاشی عناصر ریز مغذی به عنوان یک راهکار توسط محققین بسیاری جهت افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی پیشنهاد گردیده است (Kazemi et al., 2014).

گیاهان دارویی، گیاهانی هستند که برخی از اندام‌های آنها حاوی مواد مؤثره و خواص دارویی است. این گیاهان، از لحاظ پیشگیری بیماری و درمان و هم در تأمین بهداشت و سلامتی جوامع اهمیت خاصی دارند (Fayyaz et al., 2011). زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) از خانواده چتریان، یکی از محصولات مهم صادراتی است که با توجه به شرایط خاص اکولوژیکی مورد نیاز برای کشت آن، در مناطق محدودی از جهان تولید می‌شود. زیره سبز، یکی از مهمترین گیاهان دارویی اهلی در کشور شناخته شده است. در حال حاضر، این گیاه در استان‌های خراسان، آذربایجان شرقی، یزد، سمنان، اصفهان و بخش‌هایی از استان گلستان و کرمان کشت می‌گردد و

۱- دانشجوی دکتری اکرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

(*)- نویسنده مسئول: (Email: abasnasiri110@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.63206

Babaeian et al. (2008) گزارش کردند محلول پاشی عناصر کم مصرف مانند آهن و روی در شرایط تنش خشکی، عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus*) را با بهبود بازده فتوشیمیایی و غلظت سبزینه، افزایش می دهد. در پژوهشی با بررسی اثر آهن و روی بر خصوصیات عملکردی گندم (*Triticum aestivum*) در شرایط تنش خشکی دریافتند که عملکرد و وزن هزار دانه گندم به طور معنی داری در اثر استفاده از این دو عنصر افزایش می یابد (Monjezi et al., 2013).

در سال های اخیر چگونگی تأثیر محلول پاشی عناصر مورد نیاز گیاه به فرم نانو ذرات بر رشد و عملکرد گیاهان مورد توجه قرار گرفته است و در این راستا گزارش هایی نیز ارائه شده است. محققان گزارش دادند محلول پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات سبب افزایش وزن خشک گیاه آفتابگردان نسبت به محلول پاشی سولفات آهن به شکل معمول گردید (Torabian and Zahedi, 2013). مصرف یک کیلوگرم در هکتار کلات آهن به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن به نسبت بیشتری وزن خشک اندام هوایی، ریشه و برگ و طول ریشه گیاه ریحان (*Ocimum Basilicum*) را افزایش داد (Peyvandi et al., 2011). Mazaherinia et al. (2010) دریافتند که کاربرد پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی داری در کل وزن خشک کاه و کلش گندم داشته است. با توجه به اینکه بخش زیادی از اراضی کشور از اقلیم خشک و نیمه خشک برخوردار هستند و تولید گیاهان زراعی و دارویی در این مناطق با کمبود آب روبه رو است، انجام تحقیقاتی که بتواند اثرات سوء ناشی از شرایط خشکی را کاهش دهد، ضروری به نظر می رسد. بنابراین پژوهش حاضر به منظور بررسی محلول پاشی کلات آهن به فرم های معمول و نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز در شرایط تنش خشکی انجام گردید.

مواد و روش ها

آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه ای واقع در شهر اصفهان به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. دور آبیاری به عنوان عامل اصلی شامل فواصل آبیاری پنج، ۱۰ و ۱۵ روز و محلول پاشی کلات آهن به عنوان عامل فرعی در پنج سطح شاهد (محلول پاشی با آب)، دو گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول، دو گرم در لیتر نانو کلات آهن، چهار گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول و چهار گرم در لیتر نانو کلات آهن در نظر گرفته شد. کود مورد استفاده در این پژوهش از شرکت کود خضراء تهیه شده بود. هر کرت آزمایشی از چهار ردیف چهار متری تشکیل شده بود. فاصله بین ردیف کاشت، ۲۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف شش سانتی متر در نظر گرفته شد. در طول دوره

داشت، وجین علف های هرز به صورت دستی و هفتگی انجام گردید. برای نمونه برداری دو ردیف کناری و نیم متر ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان حاشیه حذف شدند. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، به صورت تصادفی از هر کرت آزمایشی پنج بوته انتخاب و صفات ارتفاع، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چتر و وزن هزاردانه اندازه گیری شدند. همچنین به منظور تعیین عملکرد بیولوژیک و دانه مساحت ۰/۵ مترمربع از وسط هر کرت با حذف اثر حاشیه ای برداشت و مقدار آن برآورد گردید. آنالیز داده ها توسط نرم افزار MSTATC نسخه ۴ و مقایسه میانگین داده ها با آزمون LSD، در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. ترسیم شکل ها نیز با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد تأثیر دور آبیاری و محلول پاشی آهن بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). با افزایش فاصله آبیاری، ارتفاع بوته کاهش یافت. گرچه بین فواصل آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز اختلاف معنی داری از نظر ارتفاع بوته وجود نداشت، اما کمترین آن به فاصله آبیاری ۱۵ روز (۲۱/۶ سانتی متر) تعلق داشت (جدول ۲). Eskandari et al. (2010) نشان دادند با افزایش دور آبیاری، ارتفاع بوته کتجد (*Sesamum indicum*) کاهش یافت. در شرایط تنش تخصیص مواد کربوهیدراتی بین قسمت های مختلف گیاه تغییر می کند، لذا گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به ریشه اختصاص می دهد، در نتیجه مواد فتوسنتزی کمتری به بخش های هوایی از جمله ساقه رسیده که این امر ضمن توسعه بخش جاذب رطوبت و عناصر غذایی (ریشه ها)، سبب کاهش سهم شاخساره و ارتفاع بوته می گردد (Silva et al., 2012).

ارتفاع بوته در پاسخ به محلول پاشی به طور معنی داری افزایش یافت به طوری که کمترین ارتفاع بوته به میزان ۲۱/۳ سانتی متر در تیمار شاهد (عدم محلول پاشی) مشاهده گردید که اختلاف معنی داری با سایر سطوح محلول پاشی داشت (جدول ۲). گزارش های متعددی مبنی بر تأثیر مثبت کاربرد آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن (شاهد) بر ارتفاع بوته گیاهان و به دنبال آن بهبود عملکرد گیاه وجود دارد. برای مثال در کلزا (*Brassica napus* L.) بهبود ارتفاع بوته با محلول پاشی آهن توسط Pourgholam et al. (2013) و همچنین در سویا (*Glycine max*) توسط Ghasemian et al. (2010) گزارش شده است.

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز تحت تأثیر محلول‌پاشی کلرات آهن و دور آبیاری
Table 1- Analyses of variance of yield and yield components of cumin affected by foliar application of chelate iron and irrigation period

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	Mean of squares						عملکرد دانه Grain yield
		ارتفاع بوته Height	تعداد چتر در بوته Number of umbels	تعداد چتر در چتر Number of umbellate	تعداد دانه در چتر Number of grain per umbel	وزن هزار دانه 1000-Grain weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	
بلوک Replication	2	13.06ns	6.2ns	0.15ns	3464.46*	2.36*	2167450.4*	28749.1**
دور آبیاری Irrigation period	2	213.2**	67.26**	0.82ns	3944.26*	4.82**	4031668.2**	160987**
خطای a Error (a)	4	3.13	1.26	0.45	372.53	0.14	124557.2	1582.2
محلول‌پاشی Foliar application	4	39.63**	19.3**	0.03ns	491.07**	0.71**	500293.4**	8258.9**
دور آبیاری × محلول‌پاشی Irrigation foliar × period application	8	1.26ns	0.51ns	0.76ns	38.62ns	0.11**	47577.2*	786.7**
خطای b Error (b)	24	3.13	0.66	0.77	57.09	0.02	20169	234.1
ضریب تغییرات C.V (%)	-	7.3	5.9	9.6	8.5	4.8	5.0	2.0

*, ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج، یک و عدم معنی‌داری.

*, ** and ns, significant at $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$ and non-significant respectively.

بگیرد و بدین طریق نانوذرات از غشاءهای سلولی عبور می‌کنند (Krystofova et al., 2013). نتایج نشان داد کاربرد دو گرم در لیتر نانو کلرات آهن توانست به اندازه چهار گرم در لیتر کلرات آهن به فرم معمول، ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش دهد و از نظر صفت مذکور در یک گروه آماری قرار گرفتند. چنین به نظر می‌رسد که به‌علت کارایی بالاتر نانوکود کلرات، با نصف مقدار کوددهی کود کلرات معمولی، در این صفت مؤثر بوده که دلیل احتمالی این امر را می‌توان به اندازه ذرات نانو و امکان نفوذ بیشتر و مؤثرتر این ذرات در مقایسه با شکل معمول این عنصر نسبت داد.

تعداد چتر در بوته

نتایج نشان داد دور آبیاری به‌طور بسیار معنی‌داری تعداد چتر در بوته زیره سبز را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). با افزایش شدت تنش از تعداد چتر در بوته کاسته شد به‌طوری که بیشترین و کمترین تعداد چتر با مقادیر ۱۵/۶ و ۱۱/۴ در بوته به‌ترتیب از دور پنج و ۱۵ روز آبیاری به‌دست آمد (جدول ۲). در پژوهشی، محققان بیان کردند که در شرایط تنش خشکی تعداد چتر در بوته زیره کاهش می‌یابد (Kafi and Keshmiri, 2011). با اعمال تنش خشکی روی اسفزه

نتایج پژوهش حاضر نشان داد در بین سطوح محلول‌پاشی آهن، بالاترین ارتفاع بوته در تیمار چهار گرم در لیتر نانو کود کلرات آهن مشاهده گردید که افزایش ۲۲ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد را به‌همراه داشت. در پژوهشی، محققان گزارش دادند کاربرد نانو کود آهن باعث افزایش ارتفاع ذرت (*Zea mays* L.) گردید (Mohammad Khani and Roozbahani, 2015). در آزمایش Pandey et al. (2010) مصرف نانوذرات آهن از طریق افزایش سطح ایندول استیک اسید در ریشه نخود (*Cicer arietinum* L.) موجب افزایش رشد طولی این گیاه گردید که این به دلیل سطح مخصوص نانو ذرات آهن و قابلیت جذب و تحرک بیشتر در گیاه است. همچنین تحقیقات نشان داده که نانو ذرات سولفات آهن به دلیل حلالیت بیشتر در آب و دارا بودن سطح مخصوص کوچکتر نسبت به سولفات آهن معمولی، بر سطح گیاه رسوب نکرده و با جذب بیشتر در گیاه و فعال کردن هورمون‌ها باعث افزایش ارتفاع آفتابگردان شدند (Torabian and Zahedi, 2013). نانوذرات می‌توانند به مولکول‌های فعال بیولوژیکی مختلف متصل شوند که این اتصال می‌تواند به‌طور مستقیم به مکان‌های خاص درون بیومولکول‌ها شامل پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و ساختارهای زیرسلولی صورت

(*Plantago psyllium*) تعداد سنبله در بوته کاهش یافت (Ramroudi et al., 2011). کاهش آب مورد نیاز گیاه اگر در مرحله زایشی باشد، به دلیل اختلال در عمل گرده افشانی و کوتاه شدن زمان آن موجب کاهش تعداد سنبله و دانه می شود (Patra et al., 1999). بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، تأثیر محلول پاشی بر تعداد چتر در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. محلول پاشی عنصر آهن به هر دو فرم نانو و معمول، باعث افزایش معنی دار تعداد چتر در بوته نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) گردید. در بین سطوح محلول پاشی، بیشترین تعداد چتر در بوته مربوط به کاربرد چهار گرم در لیتر نانو کلات آهن و چهار گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول بود که به ترتیب افزایش ۲۵ و ۲۱ درصدی تعداد چتر در بوته نسبت به شاهد را نشان دادند (جدول ۲). عنصر آهن از طریق تحریک پنجه زنی مطلوب و تشکیل آغازه های برگ، باعث افزایش تعداد سنبله در غلات می شود (Ebrahimi and Hassanpour, 2002).

نتایج نشان داد کاربرد دو گرم در لیتر نانو کلات آهن توانست به اندازه چهار گرم در لیتر کلات آهن معمول، تعداد چتر در بوته تولید کند و از نظر صفت مذکور در یک گروه آماری قرار گرفتند. این در حالی بود که کاربرد دو گرم در لیتر نانو کلات آهن باعث افزایش معنی دار تعداد چتر در بوته به میزان ۸ درصد نسبت به تیمار دو گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول گردید. در پژوهشی نتایج نشان داد محلول پاشی نانو کود آهن باعث افزایش معنی دار تعداد فندقه^۱ در بوته کاسنی (*Cichorium inyubus* L.) نسبت به شاهد (محلول پاشی با آب) گردید (Sepehri and Vaziriamjad, 2015). Hamzei et al, (2014) گزارش دادند محلول پاشی نانو کلات آهن در مرحله گلدهی به دلیل افزایش ماندگاری گل و تبدیل آن به غلاف و نیز از طریق افزایش آسمیلاتها، به واسطه نقشی که این عنصر در فتوسنتز دارد، موجب افزایش تعداد غلاف در بوته می گردد. به نظر می رسد جذب بهتر و بیشتر عناصر غذایی در تیمارهای نانو، سبب افزایش میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی می شود که این مسئله در نهایت به افزایش گلدهی و تعداد چتر در بوته می انجامد.

تعداد دانه در چتر

مطابق با نتایج تجزیه واریانس، عامل دور آبیاری تعداد دانه در چتر را در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش تعداد دانه در چتر گردید که این امر می تواند به دلیل کاهش فتوسنتز، کاهش رشد و سایر عوامل بازدارنده در اثر ایجاد تنش ناشی از افزایش فواصل آبیاری باشد. نتایج نشان داد دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز باعث کاهش تعداد دانه

در چتر به ترتیب به میزان ۱۹ و ۳۱ درصد نسبت به شاهد (دور آبیاری پنج روز) گردید (جدول ۲). Ahmadian (2004) گزارش داد با افزایش شدت تنش خشکی تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در بوته زیره سبز کاهش می یابد. Shabanzadeh et al. (2012) نیز گزارش دادند با افزایش فاصله آبیاری، تعداد دانه در بوته گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) به طور معنی داری کاهش یافت. کاهش تعداد دانه در اثر تنش خشکی می تواند به علت کاهش آسمیلاتها به واسطه کاهش سطح برگ گیاه و فتوسنتز در مرحله پر شدن دانه باشد (Tavakkoli, 2002). Zeinali, 2002. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر محلول پاشی در سطح یک درصد بر تعداد دانه در چتر معنی دار بود. همان طور که در جدول ۲ مشهود است گرچه اختلاف معنی داری بین فرم معمول و نانو کلات آهن در صفت تعداد دانه در چتر وجود ندارد اما کلیه سطوح محلول پاشی آهن نسبت به عدم محلول پاشی (شاهد) افزایش معنی دار صفت مذکور را به همراه داشت. در راستای نتایج پژوهش حاضر، افزایش تعداد دانه در اثر محلول پاشی آهن در گیاهان کنجد (Ahmadi et al., 2013) و سیاه دانه (Shabanzadeh et al., 2012) نیز گزارش شده است. در تحقیقی اظهار شد که با مصرف نانو کود کلات در مرحله گلدهی، درصد پوکی دانه ها کاهش و تعداد دانه در بوته برنج (*Oryza sativa*) افزایش یافت (Baghaei et al., 2012). همچنین نتایج پژوهشی نشان داد کاربرد نانو کود آهن سبب افزایش تعداد دانه در ردیف ذرت گردید (Mohammad Khani and Roozbahani, 2015).

وزن هزار دانه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر سطوح دور آبیاری و محلول پاشی و برهمکنش آنها در سطح یک درصد بر وزن هزار دانه زیره سبز معنی دار بود (جدول ۱). بررسی برهمکنش تنش در محلول پاشی نشان داد، محلول پاشی با نانو کلات آهن و کلات آهن معمولی در شرایط تنش و عدم تنش خشکی باعث افزایش وزن هزار دانه زیره سبز گردید. بیشترین وزن هزار دانه گیاه با کاربرد چهار گرم در لیتر نانو کلات و در شرایط عدم تنش مشاهده گردید که البته همانطور که در شکل ۱ مشهود است با چهار گرم در لیتر فرم معمول کلات آهن در یک گروه آماری قرار گرفتند. این در حالی بود که کمترین وزن هزار دانه گیاه به میزان ۱/۵ گرم در شرایط عدم محلول پاشی و دور آبیاری ۱۵ روز مشاهده گردید. گیاه برای فرار از خشکی مجبور است رشد خود را سریع تر به پایان رسانده در نتیجه طول دوره پر شدن دانه کاهش یافته و وزن دانه کم می شود. Bybordy and Mamedov (2010) اظهار داشتند که محلول پاشی آهن در دو مرحله ساقه رفتن و قبل از گلدهی در کلزا، سبب افزایش وزن هزار دانه گردید. در پژوهش دیگری نتایج نشان داد محلول پاشی عنصر آهن باعث افزایش معنی دار وزن هزار دانه کلزا گردید

به طوری که با افزایش غلظت آهن از صفر تا چهار گرم در لیتر، وزن هزار دانه به طور معنی داری از ۴/۲۴ به ۴/۶۴ گرم افزایش یافت (Hedayatpour et al., 2014). Monjezi et al. (2013) با بررسی اثر آهن و روی بر خصوصیات عملکردی گندم در شرایط تنش خشکی دریافتند که عملکرد و وزن هزار دانه گندم به طور معنی داری در اثر استفاده از این دو عنصر افزایش می یابد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات محلول پاشی کلات آهن و دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز
Table 2- Effects of foliar application and irrigation period on yield and yield components of cumin

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Height (cm)	تعداد چتر Number of umbels	تعداد دانه در چتر Number of grain per umbel	وزن هزار دانه 1000-Grain weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)
دور آبیاری Irrigation period (days)						
5	28.4	15.6	106.1	3.43	3352.8	879.7
10	22.3	14.3	86.2	2.98	2881.8	759
15	21.6	11.4	74	2.3	2317.3	673.5
LSD (0.05)	1.33	0.61	5.69	0.106	107	11.53
محلول پاشی Foliar application						
Fe0	21.3	11.5	75.7	2.48	2512.3	733.4
Fe1	23.1	13.2	93.6	2.81	2748.5	750.6
Fe2	24.4	14.3	90.8	2.94	2897.7	774
Fe3	24.7	14.5	90.7	3.04	2952.7	783.8
Fe4	27	15.3	92.8	3.24	3141.8	811.8
LSD (0.05)	1.72	0.79	7.35	0.137	138.2	14.89

Fe0: شاهد (محلول پاشی با آب)، Fe1: ۲ گرم در لیتر کلات آهن، Fe2: ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن، Fe3: ۴ گرم در لیتر کلات آهن، Fe4: ۴ گرم در لیتر نانو کلات آهن
Fe0: control, Fe1: 2 g L⁻¹ chelate iron, Fe2: 2 g L⁻¹ nano chelate iron, Fe3: 4 g L⁻¹ chelate iron and Fe4: 4 g L⁻¹ nano chelate iron

عملکرد بیولوژیک

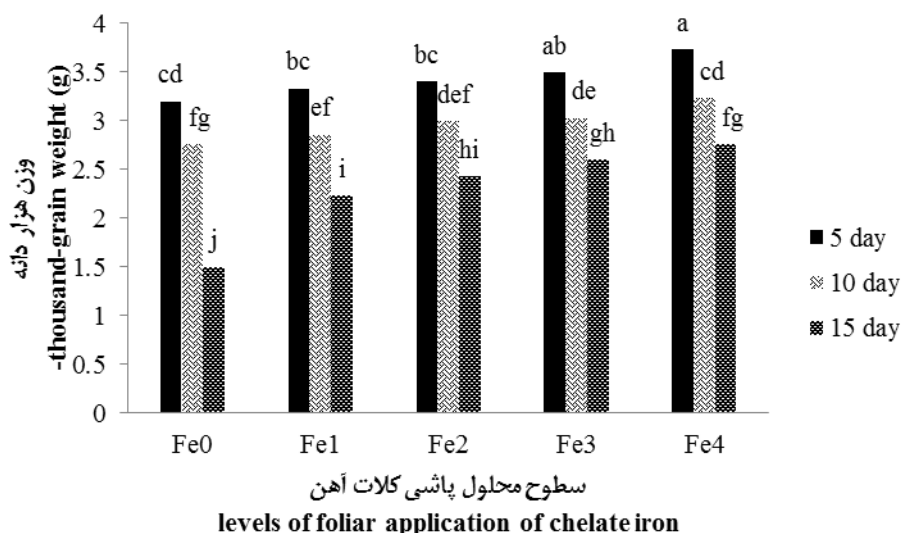
مطابق با نتایج تجزیه واریانس، تأثیر دور آبیاری و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش آنها در سطح پنج درصد معنی دار گردید (جدول ۱). مقایسه میانگین های برهمکنش دور آبیاری و محلول پاشی کلات آهن نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک از دور آبیاری پنج روز و محلول پاشی چهار گرم در لیتر نانو کلات آهن مشاهده گردید که افزایش ۱۴ درصدی نسبت به شاهد را نشان داد (شکل ۲). Zehtab-Salmasi et al. (2008) نشان دادند که محلول پاشی با عناصر کم مصرف آهن و روی باعث افزایش معنی دار عملکرد خشک گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperment* L.) نسبت به تیمار شاهد گردید. کمترین عملکرد بیولوژیک گیاه به میزان ۱۷۶۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به عدم محلول پاشی و دور آبیاری ۱۵ روز بود. در همین راستا، محققان دیگری نیز نشان دادند که با افزایش فواصل آبیاری عملکرد بیولوژیک در کنجد کاهش یافت (Rezvani et al., 2010; Moghaddam et al., 2005). کاهش وزن اندام هوایی و تولید فرآورده های فتوسنتزی در نتیجه محدودیت آب توسط Basole et al. (2003) نیز گزارش شده است. متناسب با افزایش هر دو نوع کلات آهن (نانو و معمول)، عملکرد بیولوژیک گیاه افزایش یافت که این افزایش در تیمارهای

وجود آهن منجر به افزایش محتوای کلروفیل برگ گشته و با تأثیر بر میزان فتوسنتز و تثبیت دی اکسید کربن و تولید نشاسته و قند و ذخیره سازی آن در دانه، موجب افزایش وزن هزار دانه می گردد (Sharma and Sanwal, 1992).

همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد در شرایط تنش و عدم تنش، کاربرد نانو کلات آهن در مقایسه با فرم معمول این عنصر، به نسبت بیشتری وزن هزار دانه زیره سبز را افزایش داد. در همین راستا، نتایج پژوهشی نشان داد که نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم ۰/۰۲ درصد در شرایط تنش خشکی ۲۸/۳۲ درصد نسبت به عدم محلول پاشی در همین شرایط وزن سنبله گندم را افزایش داد (Jaberzadeh et al., 2010). در پژوهش دیگری محققین گزارش دادند کاربرد نانو کود آهن سبب افزایش وزن هزار دانه ذرت گردید (Mohammad Khani and Roozbahani, 2015). Mazaherinia et al. (2010) دریافتند کاربرد پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی داری در وزن دانه در سنبله گندم را به همراه داشت. با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر و گزارش سایر محققین، به نظر می رسد محلول پاشی عنصر آهن به ویژه فرم نانو کلات در شرایط کم آبی می تواند تجمع کربوهیدرات و فرایندهای فتوسنتزی را افزایش دهد و متعاقباً اثرات سوء ناشی از خشکی را تعدیل نماید.

در مقایسه با فرم معمول آن نسبت داد.

نانو آهن نسبت به تیمارهای آهن معمولی بیشتر بود که علت این امر را می‌توان به حلالیت بیشتر و قابلیت فراهمی بیشتر نانو کلات آهن



شکل ۱- برهمکنش دور آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن بر وزن هزار دانه زیره سبز

Figure 1- Interaction effects of irrigation period and foliar application of chelate iron on 1000-grain weight of cumin

Fe0: شاهد (محلول‌پاشی با آب)، Fe1: ۲ گرم در لیتر کلات آهن، Fe2: ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن، Fe3: ۴ گرم در لیتر کلات آهن و Fe4: ۴ گرم در لیتر نانو کلات آهن
Fe0: control, Fe1: 2 g L⁻¹ chelate iron, Fe2: 2 g L⁻¹ nano chelate iron, Fe3: 4 g L⁻¹ chelate iron and Fe4: 4 g L⁻¹ nano chelate iron
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

Means with similar letters are not significantly different at the 5 % probability level (LSD test).

کیلوگرم در هکتار کلات آهن به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن به نسبت بیشتری وزن خشک اندام هوایی، ریشه و برگ و طول ریشه گیاه ریحان را افزایش داد (Peyvandi *et al.*, 2011). Mazaherinia *et al.* (2010) دریافتند که کاربرد پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی‌داری در کل وزن خشک کاه و کلش گندم داشته است. به نظر می‌رسد اندازه بزرگتر کلات آهن معمول نسبت به فرم نانو، منجر به جذب کمتر این عنصر توسط گیاه و رسوب بیشتر آن بر روی برگ می‌گردد. از سوی دیگر رسوب این مواد بر روی برگ می‌تواند سوختگی برگ، کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش عملکرد گیاه را به همراه داشته باشد.

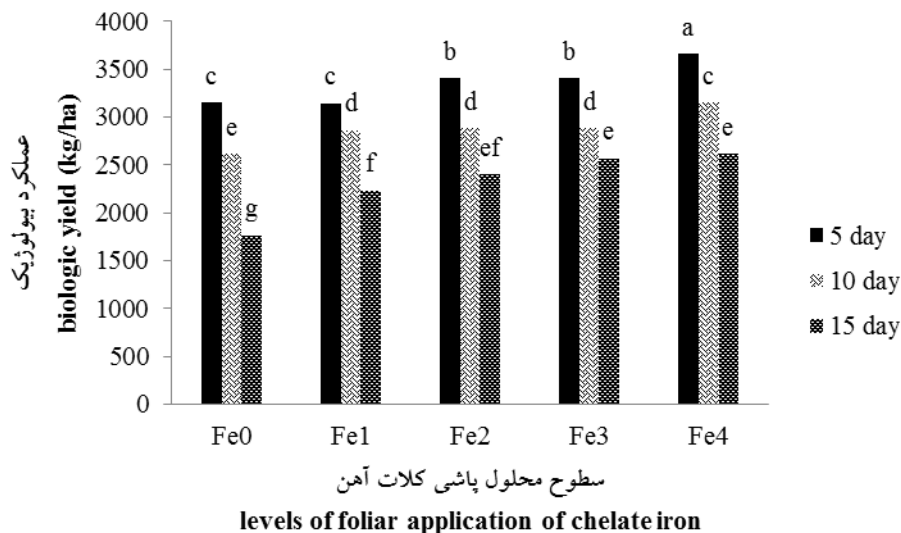
عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای دور آبیاری، محلول‌پاشی و همچنین برهمکنش آنها در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی اثر متقابل دور آبیاری در محلول‌پاشی نشان داد اعمال دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گیاه نسبت به شاهد گردید که این کاهش عملکرد در دور آبیاری ۱۵ روز بیشتر از ۱۰ روز بود. اما

نتایج نشان داد در شرایط عدم تنش (دور آبیاری پنج روز)، محلول‌پاشی دو گرم نانو کلات آهن ضمن افزایش معنی‌دار ۷/۶ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به دو گرم کلات آهن معمول، از نظر صفت مذکور با تیمار چهار گرم کلات آهن معمول در یک گروه قرار گرفت. (Mohammad Khani and Roozbahani 2015) نتیجه پژوهش خود، اظهار داشتند کاربرد نانو کود آهن باعث افزایش عملکرد بیولوژیک در ذرت گردید. Sepehri and Vaziriamjad (2015) نیز گزارش دادند محلول‌پاشی نانو کود آهن سبب افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه کاسنی گردید. گزارش شده است که محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مرحله گلدهی نخود از طریق افزایش رشد، تعداد شاخه در بوته و همچنین تعداد دانه در بوته، موجبات تشکیل ماده خشک بیشتری را فراهم آورد (Hamzei *et al.*, 2014). هم راستا با نتایج پژوهش حاضر، گزارش‌های متعددی وجود دارد که کاربرد نانو کودها در مقایسه با فرم معمول آنها، تأثیر بیشتری در تجمع ماده خشک در گیاه به همراه خواهد داشت. به عنوان مثال، Torabian and Zahedi (2013) گزارش دادند محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات سبب افزایش وزن خشک گیاه نسبت به محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل معمول گردید. مصرف یک

کلات آهن نسبت به سایر سطوح محلول پاشی تأثیر بیشتری در تعدیل تنش خشکی و افزایش عملکرد نشان داد (شکل ۳).

محلول پاشی با نانو کلات آهن و کلات آهن معمول توانست این کاهش عملکرد را جبران و در این میان محلول پاشی با چهار گرم نانو



شکل ۲- برهمکنش دور آبیاری و محلول پاشی کلات آهن بر عملکرد بیولوژیک زیره سبز

Figure 2- Interaction effects of irrigation period and foliar application of chelate iron on biological yield of cumin

Fe0: شاهد (محلول پاشی با آب)، Fe1: ۲ گرم در لیتر کلات آهن، Fe2: ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن، Fe3: ۴ گرم در لیتر کلات آهن و Fe4: ۴ گرم در لیتر نانو کلات آهن
Fe0: control, Fe1: 2 g L⁻¹ chelate iron, Fe2: 2 g L⁻¹ nano chelate iron, Fe3: 4 g L⁻¹ chelate iron and Fe4: 4 g L⁻¹ nano chelate iron
میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی داری نمی باشند.

Means with similar letters are not significantly different at the 5 % probability level (LSD test).

در کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی شناخته شده اند (Gonzalez, 2005). Jaberzadeh *et al.* (2010) گزارش دادند عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی با محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم ۰/۰۲ درصد، ۲۳٪ نسبت به عدم محلول پاشی در شرایط تنش خشکی افزایش نشان داد. بررسی های Baghai *et al.* (2012) روی زیره سبز نشان داد در شرایط محدودیت آبیاری، می توان با کاربرد شش کیلوگرم نانو کود آهن در هکتار، کاهش عملکرد ناشی از افزایش دور آبیاری را جبران نمود.

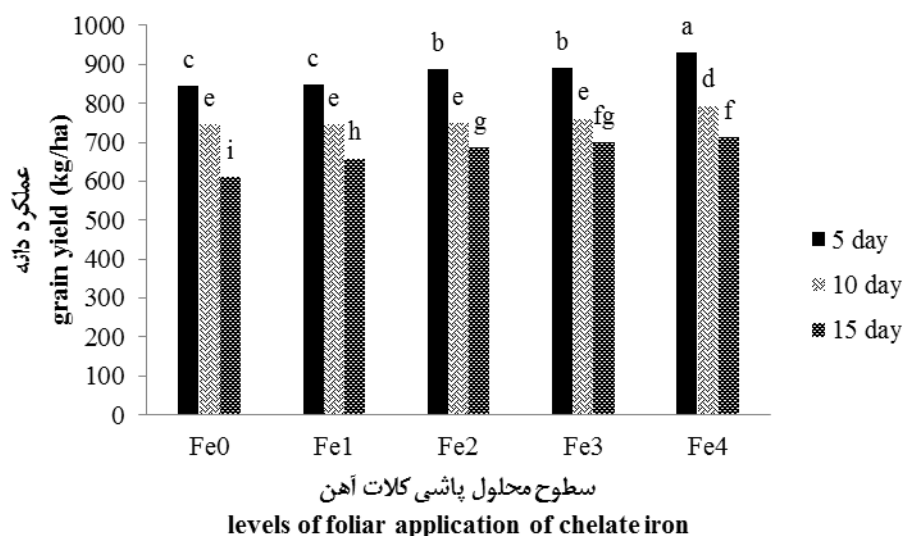
همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد دو گرم در لیتر نانو کلات آهن توانست به اندازه کاربرد چهار گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول، عملکرد دانه زیره سبز را افزایش دهد و از نظر معنی داری در یک گروه آماری قرار گرفتند. بهبود عملکرد توسط نانو کلات نسبت به کلات معمولی می تواند ناشی از کارایی کلات با ساختار نانو در رسانش و فراهمی بهینه عنصر آهن در فرآیندهای فیزیولوژیکی باشد (Baghai and Maleki Farahani, 2014). Mohammad (2015) Khani and Roozbahani نیز اظهار داشتند کاربرد نانو کود آهن باعث افزایش معنی دار عملکرد دانه ذرت گردید. از آنجا که آهن یکی از عناصر کم مصرف بسیار مهم برای گیاهان به حساب می آید و کمبود آن منجر به بروز زردی برگ، تغییر غلظت و محتوی آهن و

نتایج نشان داد محلول پاشی آهن در دور آبیاری ۱۵ روز نسبت به محلول پاشی در دور آبیاری ۱۰ روز به طور مؤثرتری عملکرد دانه گیاه را افزایش داد به طوری که در دور آبیاری ۱۵ روز، کلیه سطوح محلول پاشی کلات آهن، اختلاف معنی داری را با عدم محلول پاشی (شاهد) نشان دادند. محلول پاشی با چهار گرم نانو کلات آهن در شرایط دور آبیاری پنج، ۱۰ و ۱۵ روز باعث افزایش عملکرد دانه گیاه به ترتیب به میزان ۹/۲، ۶/۲ و ۱۴/۳ درصد نسبت به شاهد گردید. با توجه به نقش ساختاری عناصر ریزمغذی از جمله آهن، منگنز و روی در برخی آنزیم ها و همچنین نقش مؤثر آنها در سنتز پروتئین ها، با مصرف این عناصر علاوه بر افزایش عملکرد افزایش مقاومت گیاهان تحت تنش های محیطی مورد انتظار است (Cakmak, 2000).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد کمترین عملکرد دانه گیاه (۶۱۰/۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به عدم محلول پاشی و در شرایط دور آبیاری ۱۵ روز بود (شکل ۳). به گزارش Farrokhinia *et al.* (2011) تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه ها و افت فتوسنتز از یک سو و متأثر کردن فعالیت های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه می شود. کاهش سرعت سوخت و ساز کربن، کاهش میزان هدایت روزنه ای و کاهش جذب آب در اثر کاهش رشد ریشه از عوامل دخیل

مقایسه با فرمول معمول، به طور مؤثرتری عملکرد دانه زیره سبز را افزایش داد. علت احتمالی این نتیجه را می توان به اندازه کوچک تر نانو کلات در مقایسه با کلات معمولی و همچنین حلالیت و تحرک پذیری بیشتر آنها نسبت داد که این امر جذب آهن توسط گیاه را تسهیل می کند که در چنین شرایطی افزایش رشد و عملکرد گیاه به دور از انتظار نیست.

سایر عناصر فلزی در بافت های گیاهی می شود لذا این صفات ارتباط نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعی دارند و چنین می توان نتیجه گرفت که افزایش جذب آهن در تیمار نانو کلات منجر به افزایش صفات مربوط به عملکرد در این تیمار شده است (Baghai and Maleki, 2014). در مجموع نتایج پژوهش حاضر نشان داد محلول پاشی کلات آهن به فرم نانو در شرایط تنش و عدم تنش در



شکل ۳- برهمکنش دور آبیاری و محلول پاشی کلات آهن بر عملکرد دانه زیره سبز

Figure 3- Interaction effects of irrigation period and foliar application of chelate iron on grain yield of cumin

Fe0: شاهد (محلول پاشی با آب)، Fe1: ۲ گرم در لیتر کلات آهن، Fe2: ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن، Fe3: ۴ گرم در لیتر کلات آهن و Fe4: ۴ گرم در لیتر نانو کلات آهن
Fe0: control, Fe1: 2 g L⁻¹ chelate iron, Fe2: 2 g L⁻¹ nano chelate iron, Fe3: 4 g L⁻¹ chelate iron and Fe4: 4 g L⁻¹ nano chelate iron
میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی داری نمی باشند.

Means with similar letters are not significantly different at the 5 % probability level (LSD test).

در لیتر نانو کلات آهن توانست به اندازه چهار گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول صفات مورد بررسی را افزایش دهد. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از کودهای آهن ساخته شده با تکنولوژی نانو در مقایسه با کودهای کلاته رایج در بخش کشاورزی با مقادیر کمتر می تواند افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه را در شرایط تنش و عدم تنش به همراه داشته باشد. همچنین استفاده از کودهای ساخته شده با فناوری نانو، ضمن افزایش کارایی فتوسنتزی و عملکرد گیاه، می تواند آلودگی های زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی را کاهش دهد و گامی مؤثر در جهت کشاورزی پایدار تلقی گردد.

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج نشان داد با افزایش فاصله آبیاری، عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز به طور معنی داری کاهش یافت که بالاترین کاهش در صفات مورد مطالعه مربوط به آبیاری پس از ۱۵ روز بود. این در حالی بود که محلول پاشی کلات آهن به فرم های نانو و معمول با تعدیل اثرات سوء ناشی از تنش، توانست رشد و عملکرد گیاه را به همراه داشته باشد. محلول پاشی نانو کلات آهن در مقایسه با کلات آهن به فرم معمول تأثیر بیشتری در افزایش صفات مورد بررسی به همراه داشت به طوری که بهترین نتایج با محلول پاشی چهار گرم در لیتر نانو کلات آهن به دست آمد. در بیشتر موارد، محلول پاشی دو گرم

References

1. Abd El-Kader, A. A., Shaaban, S. M., and Abd El-Fattah, M. S. 2010. Effect of irrigation levels and organic compost on okra plants (*Abelmoschus esculentus* L.) grown in sandy calcareous soil. Agriculture Biology Journal

- North America 1: 225-231.
2. Ahmadi, J., Seyfi, M. M., and Amini, M. 2013. Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesamus indicum* L.) varieties. Electronic Journal of Crop Production 5 (3): 115-130. (in Persian with English abstract).
3. Ahmadian, A. 2004. Effect of irrigation frequency and manure on yield and quality of cumin. MSc Thesis, College of Agriculture, University of Zabol. (in Persian).
4. Aminpoor, R., and Musavi, S. F. 1995. The effect of irrigation times on developmental stages, yield and its components of cumin. Agriculture Science Natural Resource Journal 1: 1-7. (in Persian).
5. Babaeian, M., Heidari, M., and Ghanbari, A. 2008. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (*Alster cultivar*) under water stress at three stages. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 40 (12): 119-129. (in Persian).
6. Baghaei, N., Keshavarz, N., Shukrivahed, H., and Nazaran, M. H. 2012. Effect of nano-iron chelate on yield and yield components of rice. 12th Iranian Crop Sciences Congress, September 4-6. Islamic Azad University, Karaj, Iran. Pp: 1-5. (in Persian with English abstract).
7. Baghai, N., Keshavarz, N., AminiDehaghahi, M., and Nazaran, M. H. 2012. Effect of Nano iron chelate fertilizer on yield and yield components of Cumin (*Cuminum cyminum*) under different irrigation intervals. National congress on Medicinal plants. Kish Island. Iran. (in Persian).
8. Baghai, N., and Maleki Farahani, S. 2014. Comparison of Nano and micro Chelated iron fertilizers on quantitative yield and assimilates allocation of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research 1 (2): 156-169. (in Persian with English abstract).
9. Basole, V. D., Deotale, R. D., Ilmulwar, S. R., Raut, S. S., and Kadwe, S. B. 2003. Effect of hormone and nutrients on morpho-physiological characters and yield of soybean. Journal Soils and Crops 13: 135-139.
10. Bybordy, A., and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae 2 (1): 94-103.
11. Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist 146: 185-205.
12. Davar Zareii, F., Roozbahani, A., and Hosnamidi, A. 2014. Evaluation the effect of water stress and foliar application of Fe nanoparticles on yield, yield components and oil percentage of safflower (*Carthamus tinctorious* L.). International journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2 (4): 1150-1159.
13. Dumée, L. F., Lemoine, J. B., Ancel, A., Hameed, N., He, L., and Kong, L. 2015. Control of partial coalescence of self-assembled metal nano-particles across lyotropic liquid crystals templates towards long range meso-porous metal frameworks design. Nanomaterials 5: 1766-1781.
14. Ebrahimi, M., and Hassanpour, A. 2002. Compare among early and late varieties of corn using iron and zinc spraying and different planting dates in Fars. Seventh Congress of Agriculture. (in Persian).
15. Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., and Ghasemi-Golozani, K. 2010. Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. Journal of Sustainable Agriculture Science 2/20 (1): 39-51. (in Persian).
16. Farrokhinia, M., Roshdi, M., PasebanEslam, B., and Sasandoust, R. 2011. Evaluation of some physiological characteristics on yield of spring safflower under water stress. Iranian Journal of Crop Sciences 42 (3): 545-553. (in Persian).
17. Fayyaz, M., Zare, S., and Ashori, P. 2011. Identification and distribution of pharmaceutical and industrial crops of Chaharmahal-va-Bakhtiari province, Institute of Forests and Rangelands Research. (in Persian).
18. Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh zadeh, A., and Pirzad, A. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. Journal Phytology 2 (11): 73-79.
19. Gonzalez, A. M. 2005. Physiological responses of tagasaste to a progressive drought in its native environment on the Canary Islands. Environmental and Experimental Botany 53: 195-204.
20. Hamzei, J., Najjari, S., Sadeghi, F., and Seyedi, M. 2014. Effect of foliar application of nano-iron chelate and inoculation with mesorhizobium bacteria on root nodulation, growth and yield of chickpea under rainfed conditions. Iranian Journal of Pulses Research 5 (2): 9-18. (in Persian).
21. Hedayatpour, R., Movahhedi Dehnavi, M., Khademhamzeh, H., and Morshedi, M. 2014. Effect of foliar application of zinc and iron on yield quantity and quality of canola (*Brassica napus* cv. Talaye) in Zarghan region, Fars. Journal of oil Plants Production 1 (1): 33-42. (in Persian).
22. Hong, F., Zhou, J., and Liu, C. 2005. Effect of nano-TiO₂ on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. Biological Trace Element Research 105: 269-79.
23. Jaberzadeh, A., Moaveni, P., Tohidi Moghadam, H. R., and Moradi, A. 2010. Effect of TiO₂ nanoparticles spraying on agronomic characteristics of wheat under condition drought stress. Journal of Crop Eco physiology 2 (4): 295-301. (in Persian).

24. Joseph, T., and Morrisson, M. 2006. Nanoforum: Nanotechnology in agriculture and food. European Nanotechnology Gateway.
25. Kafi, M. 2002. Cumin (*Cuminum cyminum*) production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad press. pp: 195.
26. Kafi, M., RashedMohassel, M., Kouchaki, A. R., Mollafilabi, A. 2002. Cumin: Production and Processing Technology. Ferdowsi University of Mashhad Press. pp 78-73. (in Persian).
27. Kafi, M., and Keshmiri, A. 2011. Study of yield in landraces and cultivars of Hindi cumin (*Cuminum cyminum*) in dry and saline conditions. Journal of Horticultural Science 25 (3): 327-334. (in Persian).
28. Kazemi, E., Baradaran, R., Seghat eslami, M. J., and Ghasemi, A. 2014. Effect of Zn and Fe foliar application on grain sorghum under drought stress. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 102: 190-196. (in Persian).
29. Krystofova, O., Sochor, J., Zitka, O., Babula, P., Kudrle, V., Adam, V., and Kizek, R. 2013. Effect of Magnetic Nanoparticles on Tobacco BY-2 Cell Suspension Culture. International Journal of Environmental Research and Public Health 10: 47-71.
30. Laalinia, A. A., Majnoon Hosseini, N., and Galostian, M. 2012. Effect of water stress on yield and yield components of mung bean at different grows (*Vigna radiate* L.). Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 95: 108-115. (in Persian with English abstract).
31. Liscano, J. F., Wilson, C. E., Norman, R. J., and Slaton, N. A. 2000. Zinc availability to rice from seven granular fertilizers. AAES Research Bulletin 963: 1-31.
32. Liu, X. M., Zhang, F. D., Zhang, S. Q., He, X. S., Fang, R., Feng, Z., and Wang, Y. 2005. Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. Plant Nutr Fert Science 11: 14-18.
33. Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Fotovat, A., and Monshi, A., 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe , Mn , Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Appl Science Journal 7 (1): 36-40.
34. Mohammad Khani, E., and Roozbahani, A. 2015. Application of vermicompost and nano iron fertilizer on yield improvement of grain corn (*Zea mays* L.). Journal of Plant Eco-physiology 23: 123-131. (in Persian).
35. Monjezi, F., Vazin, F., and Hassanzadehdelouei, M. 2013. Effects of iron and zinc spray on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum*) in drought stress. Cercetări Agronomice in Moldova, XLVI (1): 23-32.
36. Pandey, A. C., Sanjay, S. S., and Yadav, R. S. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. Journal of Experimental Nanoscience 5 (6): 488-497.
37. Patra, D. D., Anwar, M., Singh, S., Prasad, A., and Singh, D. V. 1999. Aromatic and medicinal plants for salt and moisture stress condition. Recent advances in management of arid ecosystem. Proceeding of Symposium Held in Indiam, March, pp. 347-350.
38. Peyvandi, M., Parande, H., and Mirza, M. 2011. Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum Basilicum*. New Cell Mol Biotechnology 4: 89-99. (in Persian).
39. Pourgholam, M., Nemati, N., and Oveysi, M. 2013. Effect of zinc and iron under the influence of drought on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). Annals of Biological Research 4 (4): 186-189.
40. Ramroudi, M., KeikhZhaleh, M., Galavi, M., SeghaEslami, M., Baradaran, R. 2011. Effect of foliar application of micro-nutrients and irrigation regimes on yield and quality psyllium. Journal of Agricultural Ecology 3: 219-226. (in Persian).
41. Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J., and Mohammad Abadi, A. A. 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). Iranian Journal of Field Crops Research 3 (1): 57-68. (in Persian).
42. Sepehri, A., and Vaziriamjad, A. 2015. The Effect of Iron and Zinc Nano Fertilizers on Quantitative Yield of Chicory (*Cichorium inyubus* L.) in Different Crop Densities. Sustainable Agriculture and Production Science 61-74. (in Persian with English abstract).
43. Shabanzadeh, S. H., Ramroudi, M., and Galavi, M. 2012. Influence of Micronutrients Foliar Application on Seed Yield and Quality Traits of Black Cumin in Different Irrigation Regimes. Journal of Crop Production and Processing 1 (2): 79-89. (in Persian).
44. Sharma, D. K., and Sanwal, A. 1992. Influence of nutrition on Brassica genotypes in response to water. Plant Physiology and Biochemistry New Delhi 19 (2): 110-115.
45. Sheykhabglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh shishevan, M., and Sharifi, S. R. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. Notulae Science Biology 2: 112-113.
46. Silva, D. D., Kane, M. E., and Beeson, R. C. 2012. Changes in root and shoot growth and biomass partition resulting from different irrigation intervals for *Ligustrum japonicum* Thunb. Horticulture Science 47 (11): 1634-1640.
47. Tavakkoli Zeinali, A. 2002. The effect of irrigation cessation at different growth stages on yield and its components

- in safflower seed. M.Sc. Thesis, Tehran University, 120 p. (in Persian).
48. Torabian, Sh., and Zahedi, M. 2013. Effects of Foliar Application of Common and Nano-sized of Iron Sulphate on the Growth of Sunflower Cultivars under Salinity. Iranian Journal of Field Crop Science 44 (1): 109-118. (in Persian).
49. Tuncturk, R., and Tuncturk, M. 2006. Effects of different phosphorus levels on the yield and quality components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Research Journal Agriculture Biology Science 2 (6): 336-340.
50. Yang, F., Hong, F., and You, W. 2006. Influences of nanoanatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research 110: 179-90.
51. Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F., and Alyari, H. 2008. Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperment* L.). Plant Science Research 1: 24-28.



Effect of Foliar Application of Chelate Iron in Common and Nanoparticles Forms on Yield and Yield Components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under Drought Stress Conditions

A. Nasiri Dehsorkhi^{1*} - A. Ghanbari² - V. Varnaseri Ghandali¹

Received: 09-03-2017

Accepted: 17-10-2017

Introduction

Cumin is a member of Apiaceae family and annual plant which is widely cultivated in arid and semi-arid zone. Iran is one of the main producers of this plant. Water deficit is the major limiting factor in crops production. Proper nutrition management under stress conditions could partly help the plant to tolerate different stresses. Various studies were carried out to understand the effect of nanoparticles on the growth of plants. For example, Hong *et al.* (2005) and Yang *et al.* (2006) reported that a proper concentration of nano-TiO₂ was found to improve the growth of spinach by promoting photosynthesis and nitrogen metabolism. Iran a country with arid and semi-arid climate, always face water deficiency. Thus the aim of this research was investigate the effect of foliar application of chelate iron in common and nanoparticles forms on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress conditions.

Materials and Methods

A field experiment was conducted as a split plot in complete randomized block design with three replications in Esfahan city, during the growing season of 2015-2016. Treatments were included three irrigation intervals (5, 10 and 15 days) as main plots and Fe foliar application in four levels (control, 2 g L⁻¹ iron chelate, 2 g L⁻¹ Nano-iron chelate, 4 g L⁻¹ iron chelate, 4 g L⁻¹ nano-iron chelate). Foliar application of Fe chelate on leaves was done two times at before and after flowering stage. The plots were 16 m² with 4 sowing rows, 4 m long. Seeds were placed at 2 to 4 cm depth in each row. All data collected were subjected of analysis of variance (ANOVA) using MSTATC software. Significant differences between means refer to the probability level of 0.05 by LSD test.

Results and Discussion

The results indicated that drought stress decreased the investigated traits significantly but the effect of irrigation by 15 days interval was more than 10 days. Plots which irrigated by 15 days interval showed minimum height, number of umbels, number of grain per umbel, 1000-grain weight, biological and grain yield. Abd El-Kader *et al.*, (2010) reported that decrease in fruit and seed yield of okra occurred by increasing the irrigation interval. Also the results suggested that spraying application of Fe chelate in common and Nano forms increased the yield and yield components on cumin in comparison to control. The maximum and minimum height by 27 and 21.3 cm was observed in 4 g L⁻¹ Nano-iron chelate and control (no spraying) treatments respectively. The mean comparison of interaction effects showed that the minimum 1000-grain weight (1.5 g), grain (610.7 kg ha⁻¹) and biological yield (1767 kg ha⁻¹) was obtained in control × irrigation by 15 days interval. The maximum effects of iron chelate on increasing of traits was found by foliar application of 4 grams per liter Nano iron chelate. Liu *et al.*, (2005) reported that Nano-Fe₂O₃ promoted the growth and photosynthesis of peanut. Sheykhabglou *et al.*, (2010) showed that application of Nano-iron oxide particles increased soybean yield. Reduction of particle size results in increased number of particles per unit of weight and specific surface area of a fertilizer that should increase contact of fertilizer with plant leading to increase in nutrient uptake. Nano-particles have high reactivity because of more specific surface area, more density of reactive areas, or increased reactivity of these areas on the particle surfaces. Below 100 nm Nano-particles could make plants use fertilizer more efficiently, reduced pollution and more environmentally friendly, dissolve in water more effectively thus increase their activities.

1- PhD Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol

2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol

(*- Corresponding Author Email: abasnasiri110@yahoo.com)

Conclusions

Overall, the results showed that water deficit decreased the yield and yield components of cumin but foliar application of Fe chelate in Nano and common forms increased investigated traits. The results indicated that no significant difference was observed in most of the traits between the foliar application of 2 g.L⁻¹ Nano iron chelate and 4 g.L⁻¹ iron chelate. Based on our results can be concluded that foliar application Fe chelate specially Nano-form can reduced stress effects on plant and finally caused increase yield and yield components.

Keywords: Biologic yield, Irrigation period, Medicinal plant, Nano-particles



اثر روش کاشت پشته مرتفع و نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن و عملکرد گندم

علیرضا کوچکی^{۱*} - سرور خرم دل^۲ - جواد شباهنگ^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۳۱

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی اثر کاشت پشته مرتفع و سطوح اوره بر شاخص‌های کارایی نیتروژن، عملکرد کمی و محتوای نیتروژن گندم در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ انجام شد. دو روش کاشت (مرسوم و پشته مرتفع) و پنج سطح صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به ترتیب به عنوان عامل‌های اصلی و فرعی مدنظر قرار گرفتند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، محتوای نیتروژن دانه و کاه و شاخص‌های کارایی نیتروژن (جذب، تبدیل و مصرف) بودند. نتایج نشان داد که اثر ساده و متقابل روش کاشت و کود اوره بر عملکرد دانه و بیولوژیک، محتوای نیتروژن دانه و کاه، کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود. بالاترین و پایین‌ترین کارایی جذب نیتروژن به ترتیب برای تیمار پشته مرتفع و بدون مصرف نیتروژن (۰/۴۵ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) و روش رایج و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۰/۱۴ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) به دست آمد. شاخص‌های کارایی جذب و مصرف نیتروژن در روش پشته مرتفع بالاتر از روش رایج بود. بیشترین و کمترین کارایی مصرف نیتروژن به ترتیب مربوط به تیمارهای پشته مرتفع و شاهد (۳۶/۶۵ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه) و روش رایج و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۱۰/۶۳ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه) بود. با افزایش مصرف اوره از صفر به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف نیتروژن ۶۲ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: پشته مرتفع، عملکرد دانه، کارایی تبدیل نیتروژن، محتوای نیتروژن

مقدمه

اندکی کمتر از میانگین جهانی است. نتایج مطالعه رائون و جانسون (Raun and Johnson, 1999) نیز نشان داده است که اتلاف نیتروژن در نظام‌های تولید غلات بین ۵۰-۲۰ درصد می‌باشد. تغییر نظام‌های تولید به حالت فشرده^۴ و تداوم مصرف نهاده‌های شیمیایی باعث شده که از دهه آخر قرن گذشته نگرانی‌های زیست‌محیطی در رابطه با آلودگی‌های ناشی از مصرف این نهاده‌ها افزایش یافته و در دهه اول قرن اخیر به یکی از مهمترین مشکلات نظام‌های رایج تولید مواد غذایی تبدیل شود. مطالعات در برخی از نقاط جهان حاکی از آن است که با ادامه مصرف نهاده‌های شیمیایی واکنش نظام‌های زراعی به آنها در حال کاهش است. به عبارت دیگر، حتی ارقام پر محصول نیز به ازای واحد کودهای شیمیایی مصرفی عملکرد کمتری تولید می‌کنند (Giller et al., 2004) که تحت چنین شرایطی دستیابی به عملکرد بالا، مستلزم مصرف مقادیر بیشتری از کودهای شیمیایی خواهد بود. البته آلودگی‌های محیط‌زیست و مسائل مرتبط با تغییر اقلیم از یک سو و تضمین امنیت غذایی از سوی دیگر، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی را به چالش

در طی ۴۰ سال گذشته مصرف کودهای نیتروژن در سطح جهان هفت برابر و به موازات آن تولید غذا از بوم‌نظام‌های کشاورزی دو برابر افزایش یافته است (Eickhout et al., 2006). در ایران نیز در فاصله سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ مصرف کودهای نیتروژنی در بوم‌نظام‌های تولید گندم ۹/۵ برابر و عملکرد این محصول حدود ۳/۴ برابر افزایش یافته است (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2014). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که مصرف کودهای شیمیایی در مقیاس ملی و منطقه‌ای بیش از هر عاملی تابع جمعیت می‌باشد (Zhang and Zhang, 2007) و کشور ما با دارا بودن یک درصد جمعیت جهان، سالانه در حدود ۲ درصد کودهای نیتروژنی جهان را در بخش کشاورزی مصرف می‌کند، در حالی که میانگین عملکرد غلات کشور

۱- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دکتری آگرواکولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: akooch@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v16i1.63385

مهمی تبدیل کرده است (Lemaire et al., 2008; Fageria and Baligar, 2005).

نتایج آزمایشات مربوط به عملکرد ماده خشک ارقام گندم کشور در واکنش به کود نیتروژن بسیار متنوع بوده و دامنه تغییرات آن زیاد است (Shahsavari and Saffari, 2005; Bahrani and Tahmasebi, 2006; Naroki et al., 2009; Miran Zadeh and Emam, 2010). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2017) با فراتحلیل نتایج تحقیقات مرتبط با تأثیر نیتروژن بر غلات نشان دادند که بالاترین عملکرد بیولوژیک گندم با مصرف ۱۲۰-۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل می‌شود.

تعاریف متعددی برای کارایی مصرف نیتروژن (NUE) بیان شده است. بر اساس یکی از معتبرترین تعاریف، NUE عبارت است از مقدار تولید دانه به‌ازای واحد نیتروژن قابل دسترس خاک (Moles et al., 1984). بر این اساس، کارایی مصرف نیتروژن، تابعی از دو شاخص فیزیولوژیکی کارایی جذب و تبدیل بوده که نشان‌دهنده تولید دانه به‌ازای نیتروژن موجود در اندام‌های هوایی گیاه است. کارایی مصرف نیتروژن نشان‌دهنده نیتروژن قابل مصرف از کل میزان آن در خاک می‌باشد (Huggins and Pan, 1993; Hauggaard-Nielsen et al., 2001). تی‌تونل و همکاران (Tittonell et al., 2007) کارایی تبدیل^۲ (NCE) را مقدار ماده خشک تولید شده به‌ازای واحد عنصر جذب شده تعریف کردند. راتکه و همکاران (Rathke et al., 2006) نیز بهره‌وری نیتروژن را نسبت عملکرد دانه بر مقدار کل نیتروژن جذب شده گزارش کردند.

از طرف دیگر، کاهش سرعت رشد محصول در شرایط کمبود نیتروژن تحت تأثیر کاهش سطح برگ و در نتیجه جذب کمتر تشعشع و نیز از طریق کاهش فتوسنتز به دلیل نقش نیتروژن در ساختمان شیمیایی آنزیم‌های فتوسنتزی است (Gastal and Lemaire, 2002). کاهش کارایی مصرف نور به‌عنوان مهمترین واکنش گیاهان به کمبود نیتروژن مورد توافق برخی از محققین است (Olesen et al., 2002; Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006).

بدین ترتیب، با در نظر گرفتن آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از ورود نیتروژن اضافی به آب‌های زیرزمینی و سایر منابع طبیعی و در نتیجه بر هم خوردن تعادل، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی امری بسیار ضروری است. از جمله عوامل مدیریتی مؤثر در افزایش کارایی مصرف این عنصر پرمصرف در نظام‌های زراعی می‌توان به مواردی نظیر بهره‌گیری از روش کاشت مناسب، نوع گونه گیاهی و رقم، کشت مخلوط، تناوب زراعی و زمان، نوع و میزان مصرف کودهای نیتروژنه اشاره کرد (Bock, 1984; Gliessman, 1997; Huggins and Pan, 1993).

رائون و جانسون (Raun and Johnson, 1999) دریافتند که ارقامی از گندم که دارای شاخص برداشت بالا هستند، اتلاف نیتروژن کمتری داشته و لذا میزان کارایی مصرف نیتروژن در آنها بالاتر است. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2015) در آزمایشی گزارش نمودند که ذرت و پنبه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دارای کارایی نیتروژن بیشتری نسبت به کشت خالص بودند. نتایج مطالعه دیگری نشان داد که کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت موجب افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن در مقایسه با کشت خالص شد (Koocheki et al., 2012).

روش کاشت یکی از راهکارهای مدیریت زراعی است که می‌تواند کارایی مصرف عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن را به‌عنوان یکی از مهمترین عناصر پرمصرف متحرک در خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهد (Majeed et al., 2015; Mollah et al., 2009; Hossain et al., 2004). در همین راستا مجید و همکاران (Majeed et al., 2015) گزارش نمودند که روش کاشت رایج در گندم به دلیل افزایش ورس، کاهش کارایی مصرف آب و سله‌بندی موجب کاهش عملکرد شد. از طرف دیگر، روش پشته مرتفع^۳، علاوه بر افزایش ذخیره آب و بهبود کارایی مصرف نیتروژن، موجب افزایش عملکرد شد. به طوری‌که اجرای روش پشته مرتفع همراه با کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم اوره در هکتار موجب افزایش ۱۵/۶ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با همین میزان نیتروژن در روش مرسوم شد. نتایج برخی مطالعات (Mollah et al., 2009; Hossain et al., 2004) مؤید بهبود عملکرد گندم تا ۲۱ درصد به دلیل اجرای روش پشته مرتفع بود. مجید و همکاران (Majeed et al., 2015) و هابز و همکاران (Hobbs et al., 2000) دلیل افزایش عملکرد دانه در روش پشته مرتفع را به انباشته شدن خاک حاصلخیز در محل استقرار بوته‌ها و کاهش تلفات عناصر غذایی نسبت دادند. آنها همچنین کاهش ایجاد رواناب، عدم حذف خاک سطحی به دلیل فرسایش، تعدیل میکروکلیمای مزرعه به دلیل کاهش حضور علف‌های هرز، توزیع بهتر آب و کود و به تبع آن کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، کاهش هجوم علف‌های هرز و ایجاد شرایط مطلوب دمایی و زراعی برای معدنی شدن نیتروژن را از دیگر مزایای اکولوژیکی این روش کاشت معرفی نمودند. واریچ و همکاران (Waraich et al., 2010) نشان دادند که کارایی مصرف آب در روش پشته مرتفع به‌طور معنی‌داری بالاتر از روش رایج بود. آنها دلیل این امر را به رشد بهتر گیاه نسبت دادند که همچنین باعث کاهش آب مورد استفاده شد (Fahong et al., 2010).

آگاهی از تغییرات شاخص‌های کارایی نیتروژن در گندم تحت تأثیر روش‌های مدیریت زراعی، محققان و کشاورزان را قادر خواهد

1- Nitrogen use efficiency (NUE)

2- Nutrient conversion efficiency (NCE)

بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ انجام شد. دو روش کاشت (مرسوم و پشته مرتفع) و پنج سطح نیتروژن (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) به‌ترتیب به‌عنوان عامل‌های اصلی و فرعی مدنظر قرار گرفتند. قبل از کاشت نمونه‌ای از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک مزرعه به‌صورت تصادفی انتخاب و جهت تعیین بافت، میزان کربن آلی، نیتروژن، فسفر و نیتروژن، pH و EC به آزمایشگاه منتقل گردید. نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

ساخت تا با ارائه الگوهای نوین ضمن کاهش خطرات و پی‌آمدهای زیست محیطی مصرف بی‌رویه این نهاده، عملکرد را در سطح مطلوب حفظ کنند. بنابراین، هدف این تحقیق، بررسی اثر روش کاشت پشته مرتفع و نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن و عملکرد این گیاه مهم و استراتژیک در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

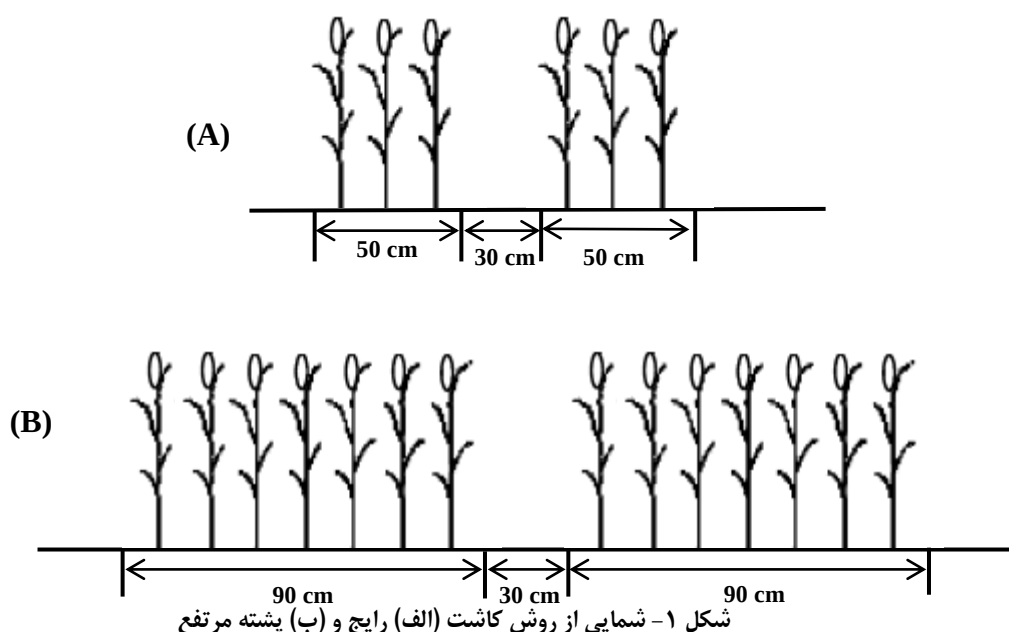
این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب پایه طرح

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
 Table 1- Physical and chemical properties of soil

بافت Texture	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)
لومی-سیلنی Loamy-silt	0.051	39	241	8.12	0.88	1.68

۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۱). در هر کرت پنج پشته ایجاد گردید. بین کرت‌ها و بلوک‌ها به‌ترتیب ۰/۵ و یک متر به‌عنوان فاصله در نظر گرفته شد. بر این اساس، ابعاد کرت‌ها در روش کاشت پشته مرتفع و مرسوم به‌ترتیب ۳×۴ و ۳×۶ متر مربع بود.

پس از اجرای عملیات آماده‌سازی زمین، کاشت دستی بذر (رقم گاسکوژن) به دو شیوه مرسوم (طبق عرف) و روی پشته مرتفع با تراکم ثابت ۴۰۰ بوته در متر مربع (Koocheki *et al.*, 2010) در آبان ماه انجام شد. در روش مرسوم سه ردیف بذر روی پشته‌های ۵۰ سانتی‌متر کاشته شد. در حالی‌که در روش پشته مرتفع عرض پشته



شکل ۱- شمایی از روش کاشت (الف) رایج و (ب) پشته مرتفع
 Figure 1- Conceptual representation of the (A) conventional and (B) raised bed planting methods

شد؛ به طوری‌که نیمی از آن در زمان کاشت و نیم دیگر ۵۰ روز پس

نیتروژن مصرفی (به فرم کود اوره) طی دو مرحله به خاک اضافه

عملکرد دانه و بیولوژیک

اثر ساده و متقابل روش کاشت و میزان مصرف کود نیتروژن بر عملکرد دانه و بیولوژیک گندم معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود (جدول ۲). به‌طوری‌که بالاترین و پایین‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب برای تیمار روش پشته مرتفع و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و روش رایج و بدون مصرف نیتروژن به‌ترتیب با ۷۵۴۵ و ۳۸۶۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. با افزایش میزان مصرف اوره از صفر به ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، عملکرد دانه در روش پشته مرتفع به‌ترتیب ۱۰، ۱۶، ۶ و ۸ درصد نسبت به روش کاشت رایج بالاتر بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک برای روش پشته مرتفع و بالاترین مقدار اوره (با ۱۴۲۷۵ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد و کمترین میزان برای روش کاشت رایج و شاهد (بدون مصرف نیتروژن) (۷۴۸۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. افزایش مصرف اوره از صفر به ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش به‌ترتیب ۱۳، ۱۳، ۲، ۵ و ۱۲ درصدی عملکرد بیولوژیک را در روش کاشت پشته مرتفع در مقایسه با روش رایج به دنبال داشت (شکل ۲- الف و ب).

واکنش عملکرد دانه گندم به میزان مصرف کود نیتروژن به‌صورت تابع درجه دو می‌باشد، به طوری‌که با افزایش مصرف اوره تا حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه به‌صورت خطی افزایش یافت و سپس تقریباً ثابت گردید و در نهایت، در سطوح مصرف اوره بالاتر از ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. با افزایش مصرف اوره، عملکرد دانه احتمالاً به دلیل تحریک رشد رویشی و اختلال در نسبت رشد اندام‌های رویشی به زایشی کاهش یافته است. شیب افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر افزایش مصرف اوره، در روش کاشت پشته مرتفع بیشتر از روش رایج بود (شکل ۳- الف و ب) که دلیل این امر مربوط به وجود شرایط بهتر برای رشد بوته‌ها از جمله کاهش رشد علف‌های هرز (Majeed et al., 2015) در روش پشته مرتفع در مقایسه با روش رایج می‌باشد.

مصرف نیتروژن از طریق تحریک تولید اندام‌های رویشی، بهبود دوام سطح برگ، سنتز پروتئین‌ها و همچنین اثر روی فعالیت آنزیم رایبیسکو، فتوسنتز را تحت تأثیر قرار داده و به دلیل بهبود ظرفیت و سرعت فتوسنتز باعث افزایش عملکرد شده است (Wolton, 2005). تحقیقات وست (West, 2006) نیز مؤید وجود همبستگی بسیار بالا بین سرعت فتوسنتز و غلظت نیتروژن در واحد سطح برگ است. نونز و کمپرات (Nunez and Kamprath, 1969) دلیل اصلی اثر مصرف نیتروژن بر افزایش عملکرد را به تحریک رشد اندام‌های رویشی و به‌ویژه سطح برگ نسبت دادند. این محققین رابطه خطی را بین عملکرد دانه و شاخص سطح برگ گزارش نمودند. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2015) نیز با بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن بر رشد و عملکرد دو گونه زراعی پنبه و ذرت اظهار داشتند

از کاشت همزمان با آبیاری مصرف شد. آبیاری از زمان کاشت تا رسیدگی به روش جوی و پشته و به‌صورت یکسان برای هر دو روش کاشت انجام شد. جهت جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها انتهای کرت‌ها به‌طور کامل بسته و آبیاری کرت‌ها به‌طور کاملاً جداگانه انجام گردید. کنترل علف‌های هرز بر اساس وجین دستی در طول فصل رشد و بنا به ضرورت انجام گرفت.

برداشت در مرحله رسیدگی کامل و پس از زرد شدن بوته‌های گندم پس از حذف اثرات حاشیه‌ای انجام گردید. پس از آن، نمونه‌ای از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت و میزان نیتروژن به‌روش AOAC Official Method 968.06 (4.2.04) با استفاده از دستگاه کجلال اندازه‌گیری شد (Horwitz and Latimer, 2005).

کارایی جذب نیتروژن (NUE) بر اساس نسبت عملکرد نیتروژن در گیاه (کیلوگرم نیتروژن جذب شده در هکتار) بر کل مقدار نیتروژن در خاک (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد (معادله ۱) (Hatermink et al., 2000).

$$NUE = \frac{\text{plant N content}}{\text{available N}} \quad (1)$$

کارایی تبدیل نیتروژن^۲ (NUE) بر اساس نسبت بین عملکرد نیتروژن در دانه (کیلوگرم نیتروژن دانه در هکتار) بر عملکرد نیتروژن در خاک (کیلوگرم نیتروژن خاک در هکتار) محاسبه شد (Cassman et al., 2003).

جهت محاسبه کارایی مصرف نیتروژن (NUE) از معادله ارائه شده توسط هاترمینک و همکاران (Hatermink et al., 2000) استفاده شد (معادله ۲).

$$NUE = \frac{Y_s}{N_{\text{initial}} + N_{\text{fertilizer}}} \quad (2)$$

در این معادله، Y_s : عملکرد دانه ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)، N_{initial} : نیتروژن موجود در خاک در ابتدای فصل رشد (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و $N_{\text{fertilizer}}$: نیتروژن مصرفی از طریق کود اوره (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم شکل‌ها به‌ترتیب توسط SAS 9.1 و Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار^۳ (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثر روش کاشت و مقدار اوره بر عملکرد، محتوی نیتروژن دانه و کاه و شاخص‌های کارایی نیتروژن به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

- 1- Nitrogen uptake efficiency
- 2- Nitrogen utilization efficiency
- 3- Least significant difference

مثبت نیتروژن بر گسترش سطح برگ و تداوم بهتر آنها نسبت به عدم مصرف کود نسبت دادند.

که با افزایش مصرف اوره از صفر تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد زیست‌توده هر دو گیاه افزایش یافت. آنها دلیل این امر را به تأثیر

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر روش کاشت و سطوح کود اوره بر عملکرد، محتوای نیتروژن و شاخص‌های کارایی نیتروژن در گندم

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares						کارایی مصرف نیتروژن N use efficiency
		عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	نیتروژن دانه Nitrogen content of grain	نیتروژن کاه Nitrogen content of straw	کارایی جذب N uptake efficiency	کارایی تبدیل N utilization efficiency	
تکرار Replication	2	246820.61*	336412.04*	0.003ns	0.002	0.03ns	3.04ns	202.13ns
روش کاشت (P) Planting method (P)	1	2301726.23**	6060937.74**	0.04**	0.02**	0.11**	85.86**	494.61*
خطای اصلی Main error	2	11386.96	13940.59	0.007	0.009	0.005	36.38	14.45
سطح کود اوره (N) Urea fertilizer level (N)	4	8880481.24**	27179797.95**	0.07**	0.058**	0.07**	152.86**	376.92**
N×P	4	527891.34*	341417.89**	0.06**	0.041**	0.11**	150.01**	145.45*
خطای فرعی Sub error	16	69813.46	39811.93	0.007	0.003	0.004	27.323	21.80
ضریب تغییرات (%) CV (%)		4.5	1.8	4.7	8.6	22.4	6.8	21.0

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

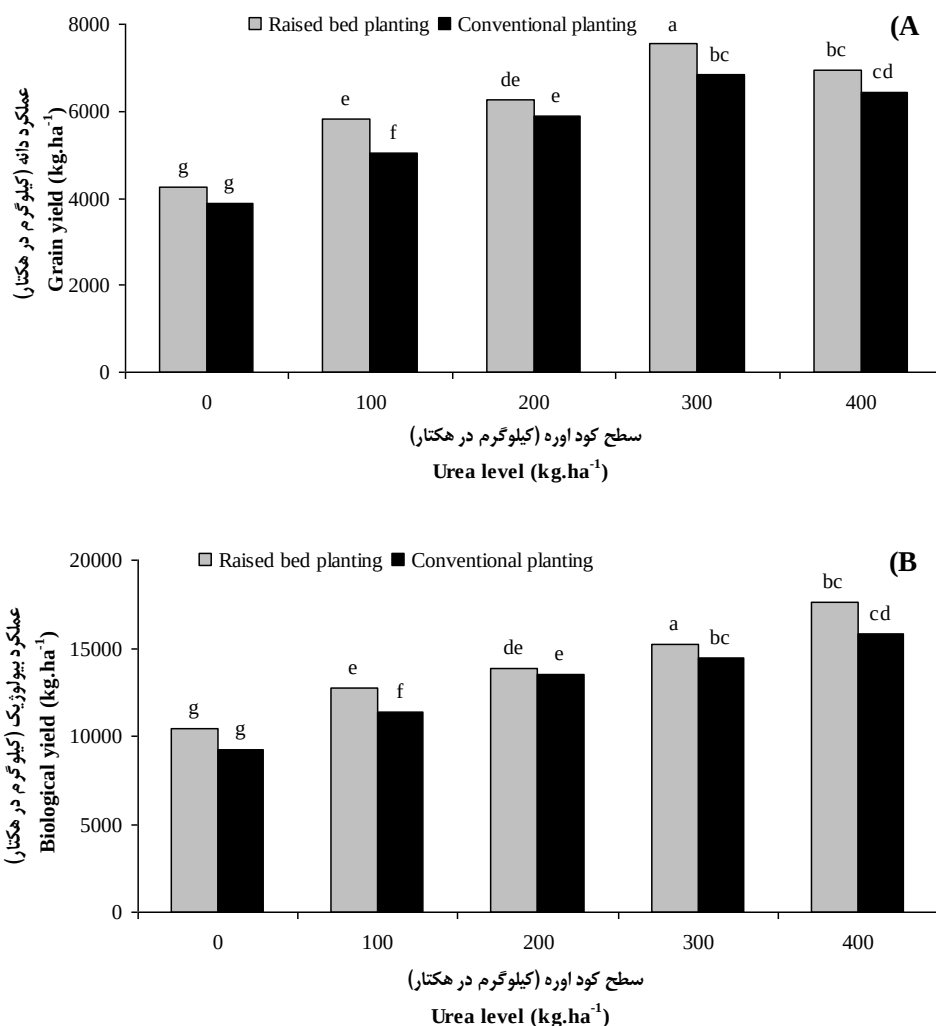
* and ** are significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل روش کاشت و سطوح کود اوره بر محتوی نیتروژن و شاخص های کارایی نیتروژن در گندم

Table 3- Mean comparison for interaction effect of planting methods and Urea fertilizer rates on nitrogen contents and nitrogen efficiency indices of wheat						
روش کاشت Planting method	سطح اوره Urea rate (kg ha ⁻¹)	نیتروژن دانه Nitrogen content of grain (%)	نیتروژن کاه Nitrogen content of straw (%)	کارایی جذب نیتروژن N uptake efficiency (kg N in plant per kg N in soil)	کارایی تبدیل نیتروژن N utilization efficiency (kg N in grain per kg N in soil)	
پشته مرتفع Raised bed planting	0	1.65e*	0.50e	0.45a	80.66ab	
	100	1.75de	0.57de	0.43a	78.44abc	
	200	1.79bcd	0.61bcd	0.28bc	77.58abc	
	300	1.99a	0.70ab	0.36ab	71.50c	
رایج Conventional	400	1.90abc	0.68abc	0.21cd	73.62abc	
	0	1.72de	0.40f	0.44a	71.60c	
	100	1.72de	0.58cde	0.19cd	79.02abc	
	200	1.72de	0.62abcd	0.17cd	82.40a	
	300	1.92ab	0.67abc	0.26bc	73.02bc	
	400	1.80bcd	0.71a	0.14d	78.56abc	

* در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means with at least one similar letter are not significant different ($p \leq 0.05$) based on LSD test



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل روش کاشت و سطوح کود اوره بر عملکرد گندم

Figure 2- Mean comparison for the interaction effects of planting method and Urea fertilizer levels on wheat yield

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

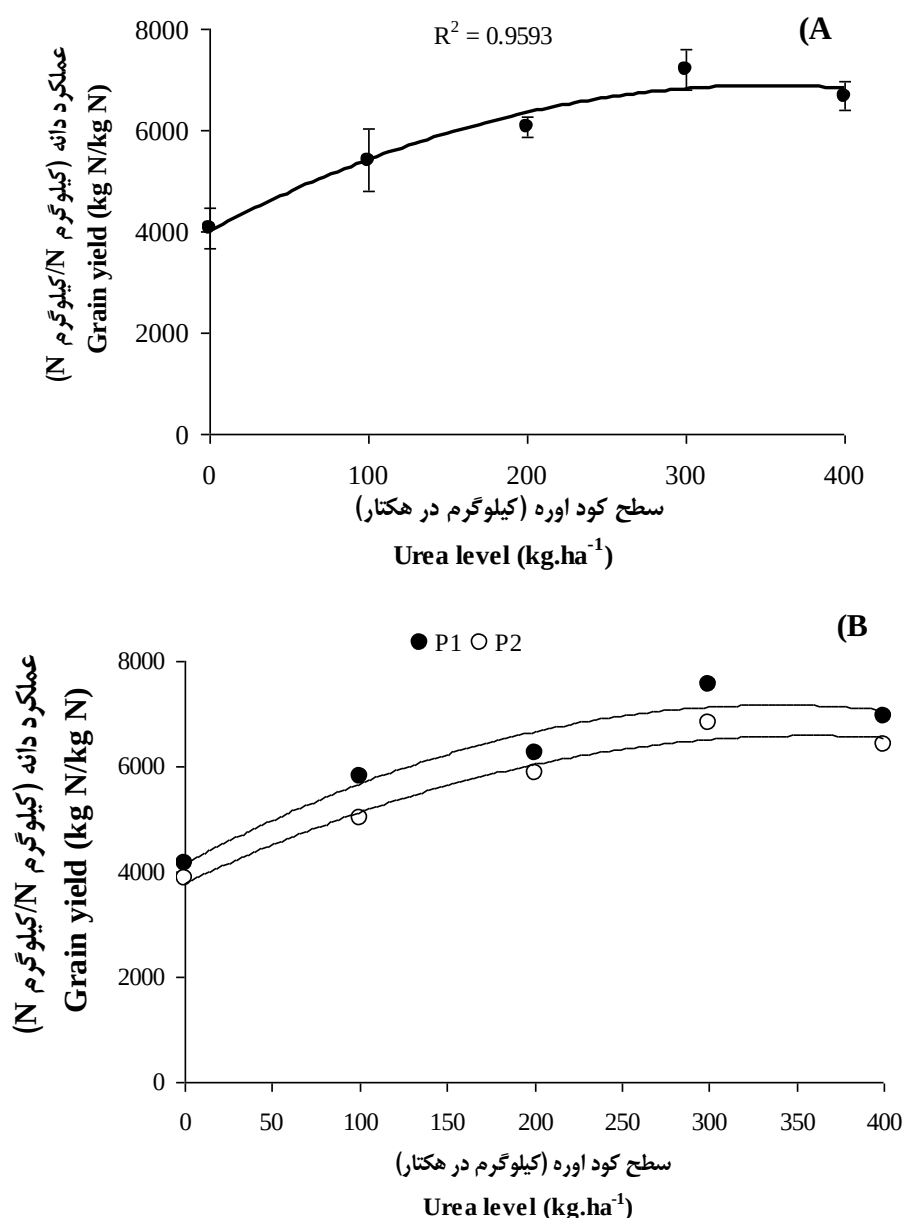
Means in each figure followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

واکنش عملکرد گندم به نیتروژن را در دامنه کودی صفر تا ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایشی گزارش کردند. نیتروژن معدنی خاک که به میزان زیادی تحت تأثیر نوع مدیریت زراعی می‌باشد، از جمله ویژگی‌های تأثیرگذار بر نتایج آزمایشات کودی است. دوبرمن و کاسمن (Dobermann and Cassman, 2004) بیان داشتند که بین میزان نیتروژن معدنی خاک (محتوی نیتروژن قابل استفاده) و مقدار نیتروژن کودی مورد نیاز گیاهان زراعی نوعی رابطه خطی منفی وجود دارد. شیب این خط که به گونه زراعی بستگی دارد، در مورد گندم حدود یک می‌باشد، یعنی به‌ازای هر واحد نیتروژن قابل استفاده خاک از نیاز کودی گیاه کاسته می‌شود. به نظر می‌رسد که بهبود شرایط رشدی در روش پشته مرتفع از طریق افزایش نیتروژن (Majeed et al., 2015; Jat et al., 2011) موجب

شکل تابع درجه دو واکنش عملکرد نسبت به مصرف کود نیتروژن بیان‌کننده نوعی بازده نزولی در سطوح بالای مصرف کود می‌باشد که به لحاظ آماری به تأیید رسیده است (Nelson et al., 1985). سراتو و بلاکمر (Cerrato and Blackmer, 1990) با برآزش انواع منحنی‌های پاسخ به کود نیتروژن در گیاهان زراعی مختلف و تحلیل آماری این معادلات نشان دادند که معادله درجه دوم که نهایتاً به ثبات برسد، بهترین فرم آماری برای توصیف واکنش گیاهان نسبت به کود نیتروژن می‌باشد. امام و همکاران (Emam et al., 2005) با بررسی سطوح نیتروژن از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نشان دادند که عملکرد دانه و ماده خشک گندم تا ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش یافته و در سطوح بالاتر بی‌تغییر ماند، در حالی‌که بحرانی و همکاران (Bahrani et al., 2006)

نیترژن به کاهش تلفات نیترژن و افزایش جذب آن توسط بوته‌ها، کاهش غرقاب و سله بستن سطح خاک در پشته‌های مرتفع در مقایسه با روش کاشت رایج نسبت دادند. علاوه بر این، کوکال و همکاران (Kukal *et al.*, 2010) اعتقاد دارند که اجرای روش کاشت پشته مرتفع می‌تواند از طریق کاهش مصرف آب نقش به‌سزایی در بهبود کارایی مصرف آب ایفا کند.

تغییر توزیع شاخص سطح برگ (Li *et al.*, 2008)، افزایش رشد بوته‌های گندم و به تبع آن بهبود عملکرد در مقایسه با روش رایج شده است. نتایج گزارش برخی محققان مؤید اثر معنی‌دار روش کاشت بر رشد و عملکرد گندم می‌باشد (Majeed *et al.*, 2015; Hossain *et al.*, 2006; Meisner *et al.*, 1992; Sayre and Morens *et al.*, 2000; Romos, 1997; Hobbs *et al.*, 2000). مجید و همکاران (Majeed *et al.*, 2015) دلیل افزایش عملکرد را در سطوح بالاتر



شکل ۳- اثر (الف) ساده سطوح اوره و (ب) متقابل سطوح اوره و روش کاشت (P₁: پشته مرتفع و P₂: رایج) بر عملکرد دانه گندم
Figure 3- Effects of (A) Urea fertilizer levels and interaction between Urea fertilizer and planting method (P₁: Raised bed planting and P₂: Conventional) on grain yield of wheat

محتوی نیتروژن دانه و کاه

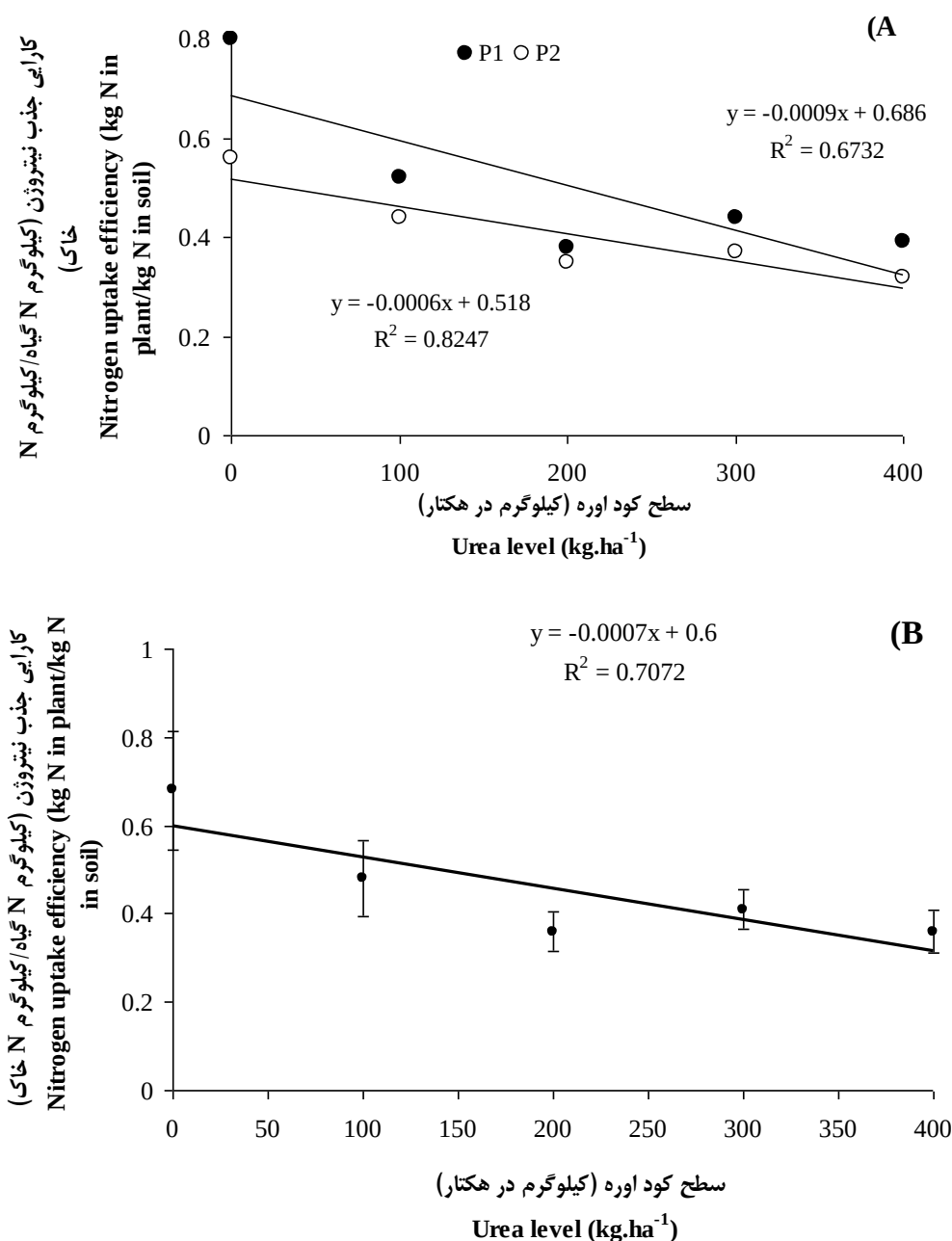
اثر ساده و متقابل روش کاشت و میزان مصرف کود اوره، محتوی نیتروژن دانه و کاه گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p \leq 0.01$) (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان نیتروژن دانه به‌ترتیب برای تیمار روش کاشت پشته مرتفع و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۱/۹۹ درصد) و روش کاشت پشته مرتفع بدون مصرف اوره (۱/۶۵ درصد) به‌دست آمد. بیشترین میزان نیتروژن کاه (۰/۷۱ درصد) مربوط به روش کاشت رایج و بالاترین میزان مصرف کود اوره بود که البته با تیمارهای روش کاشت پشته مرتفع و مصرف ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (به‌ترتیب با ۰/۷ و ۰/۶۸ درصد) و روش رایج و مصرف ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (به‌ترتیب با ۰/۶۲ و ۰/۶۷ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان نیتروژن دانه برای روش کاشت پشته مرتفع و بدون مصرف نیتروژن (۰/۴ درصد) به‌دست آمد. با افزایش مصرف کود اوره از صفر به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، میزان نیتروژن دانه در روش کاشت پشته مرتفع به‌ترتیب ۸، ۲۱ و ۱۵ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود اوره افزایش یافت. میزان این افزایش در روش کاشت رایج به‌ترتیب ۲، صفر، ۱۲ و ۵ درصد در مقایسه با شاهد محاسبه گردید. افزایش میزان مصرف کود اوره از صفر به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در روش پشته مرتفع محتوی نیتروژن کاه را به‌ترتیب ۱۴، ۲۲، ۴۰ و ۳۶ درصد در مقایسه با شاهد بهبود بخشید. در حالی‌که میزان این افزایش برای روش کاشت رایج به‌ترتیب ۴۵، ۵۵، ۶۸ و ۷۸ درصد حاصل شد (جدول ۳).

با توجه به این نکته که نیتروژن از جمله مهمترین عناصر مؤثر در افزایش درصد نیتروژن دانه می‌باشد (Iqbal et al., 2005; Garrido-Lestache et al., 2005; Guadra et al., 2004)، به نظر می‌رسد که افزایش کاربرد کود نیتروژن، تجمع این عنصر در دانه و همچنین در اندام‌های هوایی گندم را افزایش داده و این وضعیت در نهایت، منجر به بهبود درصد نیتروژن دانه‌ها شده است. در هر دو روش کاشت، بیشترین درصد پروتئین دانه با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار حاصل شد. این نتایج مشابه با نتایج سایر پژوهشگرانی است که گزارش نمودند با افزایش کود نیتروژن، غلظت نیتروژن افزایش یافت (Gallager et al., 1978; Papakosta and Gagianas, 1991; Iqbal et al., 2005; Garrido-Lestache et al., 2005; Guadra et al., 2004). در همین راستا، نتایج مطالعه فاهونگ و همکاران (Fahong et al., 2004) نیز نشان داد که محتوی نیتروژن دانه و غلظت کلروفیل برگ پرچم در روش پشته کاشت پشته مرتفع نسبت به روش مرسوم بالاتر بود که دلیل آن به افزایش جذب نیتروژن نسبت داده شد. آنها همچنین اظهار داشتند که در روش مرسوم بعد از جوانه‌زنی گیاهچه‌ها، سطح خاک به دلیل ایجاد شرایط غرقابی سله بسته که علاوه بر کاهش کارایی مصرف آب،

موجب ورس و افت عملکرد شده است. برخی دیگر از محققان نیز بهبود شرایط محیطی برای رشد گیاه تحت تأثیر اجرای روش پشته مرتفع در مقایسه با مرسوم را عنوان نمودند (Hassan et al., 2005; Shah et al., 2003).

شاخص‌های کارایی نیتروژن

اثر ساده و متقابل روش کاشت و میزان کاربرد کود اوره بر شاخص کارایی جذب نیتروژن معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۲). بیشترین کارایی جذب نیتروژن برای تیمار روش کاشت پشته مرتفع و عدم کاربرد نیتروژن (۰/۴۵ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن در خاک) به‌دست آمد که البته با تیمارهای روش کاشت پشته مرتفع و مصرف ۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (به‌ترتیب با ۰/۴۳ و ۰/۳۶ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) و روش کاشت رایج بدون مصرف کود نیتروژن با (۰/۴۴ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار آن مربوط به تیمار ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در روش کاشت رایج (با ۰/۱۴ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) بود که با تیمارهای روش کاشت پشته مرتفع و مصرف بالاترین میزان کود اوره (۰/۲۱ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) و روش کاشت رایج و مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (به‌ترتیب با ۰/۱۹ و ۰/۱۷ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن در خاک) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف اوره از صفر به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی جذب نیتروژن در روش کاشت پشته مرتفع به‌ترتیب ۴، ۳۸، ۲۰ و ۵۳ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. میزان این کاهش برای روش کاشت رایج به‌ترتیب ۵۷، ۶۱، ۴۱ و ۶۸ درصد محاسبه شد. بر این اساس، کارایی جذب نیتروژن تحت تأثیر افزایش مصرف کود اوره از صفر در روش پشته مرتفع به‌ترتیب ۲، ۱۲۶، ۶۵، ۳۸ و ۵۰ درصد بالاتر از روش رایج به‌دست آمد (شکل ۴- الف و ب). به نظر می‌رسد علت پایین‌تر بودن کارایی جذب و مصرف نیتروژن در روش رایج نسبت به پشته مرتفع (شکل ۴- ب و جدول ۳) تا حد زیادی ناشی از تفاوت در عملکرد دانه تحت تأثیر مقادیر مختلف کود اوره مصرفی باشد (شکل‌های ۱- الف و ۲- الف و ب) که به‌طور مستقیم در جذب نیتروژن از خاک تأثیرگذار است. در نتیجه اگرچه با افزایش کاربرد کود اوره تا حدود ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه افزایش یافت، ولی توانایی گیاه در جذب نیتروژن هم راستا با افزایش در میزان مصرف آن نمی‌باشد، در حقیقت در سطوح بالای کاربرد نیتروژن، نیتروژن تجمع‌یافته در اندام‌ها هم‌راستا با مصرف آن نیست.



شکل ۴- (الف) اثر متقابل روش کاشت (P₁: پشته مرتفع و P₂: رایج) و سطوح کود اوره و (ب) اثر ساده مقدار کود اوره بر کارایی جذب نیتروژن گندم

Figure 4- (A) Interaction effect of planting method (P₁: Raised bed planting and P₂: Conventional) and Urea fertilizer rates and (B) simple effect of Urea fertilizer rate on nitrogen uptake efficiency of wheat

هکتار در (۴/۸۲ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در روش کاشت پشته مرتفع (با ۵/۷۱ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) حاصل گردید. افزایش میزان مصرف کود اوره از صفر تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در

اثر ساده و متقابل روش کاشت و میزان مصرف کود اوره شاخص کارایی تبدیل نیتروژن را به طور معنی داری ($p \leq 0.01$) تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). بالاترین و پایین ترین کارایی تبدیل نیتروژن به ترتیب برای تیمارهای روش کاشت رایج و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در

مزرعه واقع در کمربند ذرت آمریکا با مصرف ۱۰۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از ۳۷ درصد تجاوز نکرد (Cassman et al., 2002). نتایج تحقیق نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2014) نیز نشان داد که کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های گندم ایران با میانگین مصرف ۱۱۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ۳۱ درصد است که با نتایج فوق‌الذکر، قابل مقایسه می‌باشد. البته مقادیر بسیار بالاتر کارایی جذب نیتروژن نیز توسط برخی محققان گزارش شده است. برای مثال، در انگلستان کارایی جذب نیتروژن برای گندم زمستانه ۶۵ درصد محاسبه شده است (Sylvester-Bradley and Kindred, 2009)، سالواگیوتی و همکاران (Salvagiotti et al., 2009) نیز کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های گندم آرژانتین را ۴۲ درصد گزارش کردند. البته باید توجه داشت کارایی تبدیل نیتروژن در شرایط آزمایشی به‌مراتب بالاتر از مزارع است (Cassman et al., 2002) و در نتیجه کشاورزان کود بیشتری نسبت به مقدار توصیه شده مصرف می‌کنند که به‌نوبه خود مشکلات جدی را برای محیط زیست و سلامتی انسان و سایر اجزای بوم‌نظام به‌وجود خواهد آورد.

استفاده بهینه از نیتروژن در افزایش بهره‌وری و سودمندی بوم‌نظام‌های زراعی و همچنین کاهش خطرات ناشی از اثرات آلاینده‌ی این عنصر بر محیط زیست نقش مهمی ایفا می‌کند (Dobermann and Cassman, 2004). اتلاف مستقیم کود نیتروژن زمانی رخ می‌دهد که این عنصر متحرک بیش از نیاز گیاه زراعی، در زمان و به شکل نامناسب به‌کار برده شود (Dawson et al., 2008). از طرف دیگر، افزایش کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش تلفات این عنصر به‌ویژه در روش کاشت رایج باعث عدم کارایی مصرف آن شده و شاخص‌های کارایی نیتروژن را کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد که علت کارایی پایین‌تر جذب نیتروژن در شرایط کاربرد مقدار زیاد کود نیتروژن تحت تأثیر روش کاشت رایج (جدول ۳) ناشی از تفاوت در عملکرد دانه تولیدی تحت تأثیر مقادیر مختلف کود اوره مصرفی باشد (شکل‌های ۱ و ۲). یکی از دلایل کاهش کارایی نیتروژن در روش کاشت رایج در مقایسه با پشته مرتفع، افزایش سرعت از دست رفتن این عنصر می‌باشد (Ma et al., 1999) که موجب کاهش کارایی مصرف آن شده است. نتایج مطالعه مجید و همکاران (Majeed et al., 2015) نیز نشان داد که شاخص‌های جذب، مصرف، کارایی زراعی و فیزیولوژیکی جذب نیتروژن در گیاه گندم در شرایط اجرای روش پشته مرتفع همراه با کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌ترتیب ۲۵/۰۴، ۱۵/۰۲، ۱۴/۵۹ و ۲۹/۸۳ درصد بیشتر از روش مرسوم بود. این محققان اظهار داشتند که روش مرسوم به دلیل پخش غیریک‌نواخت‌تر کود بر سطح خاک باعث کاهش کارایی جذب و مصرف این عنصر متحرک می‌گردد. در حالی که در روش کاشت پشته مرتفع در حدود یک سوم کود مصرفی روی پشته‌ها تجمع می‌یابد که

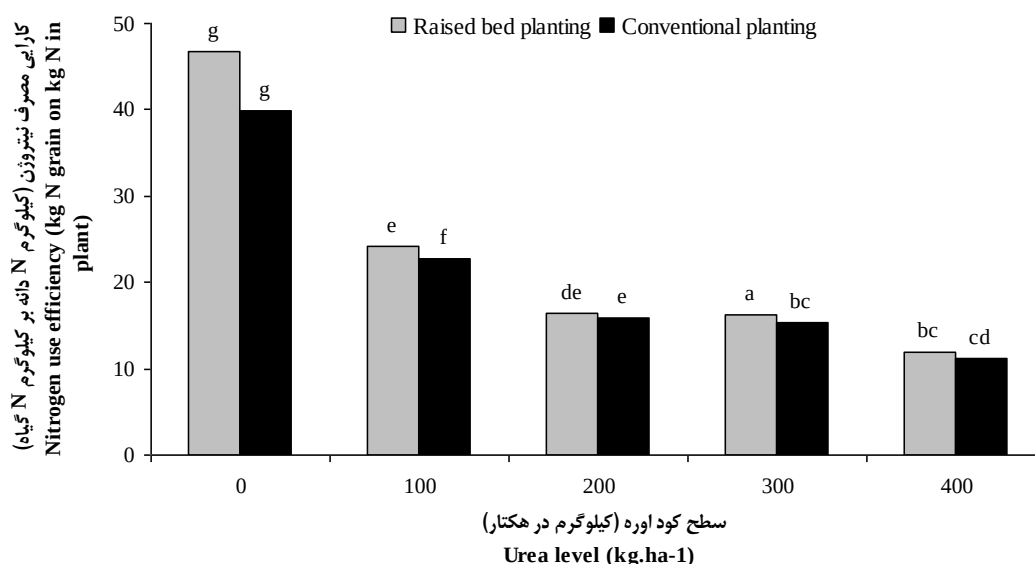
روش کاشت پشته مرتفع، کاهش به‌ترتیب ۳، ۴، ۱۱ و ۹ درصدی کارایی تبدیل را در مقایسه با شاهد موجب گردید. میزان این کاهش برای روش کاشت رایج به‌ترتیب برابر با ۱۰، ۱۴، ۲ و ۱۰ درصد در مقایسه با شاهد به‌دست آمد. همچنین در شرایط عدم مصرف کود اوره، کارایی تبدیل نیتروژن در روش کاشت پشته مرتفع ۱۳ درصد بالاتر از روش کاشت رایج بود. در حالی که با افزایش مصرف کود اوره از ۱۰۰ به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار شاخص کارایی مصرف نیتروژن در روش پشته مرتفع به‌ترتیب ۱، ۶، ۲ و ۶ درصد کمتر از روش کاشت رایج محاسبه گردید (جدول ۳).

با وجودی که در طی ۴۰ سال گذشته پیشرفت‌های ژنتیکی قابل توجهی در جهت افزایش عملکرد گندم حاصل شده است، ولی شاخص جذب نیتروژن در طی این دوره روندی نزولی داشته است و کاهش ۱۵ درصدی را نشان می‌دهد (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2014). البته میانگین کارایی جذب نیتروژن در جهان نیز در طی دهه‌های گذشته کاهش یافته است. ایکهوت و همکاران (Eickhout et al., 2006) بیان داشتند که کارایی جذب منابع نیتروژنی (کودهای شیمیایی و آلی) در فاصله سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۵ میلادی در جهان از ۴۶ به ۴۲ درصد، در خاورمیانه از ۵۴ به ۴۷ درصد و در کشورهای در حال توسعه از ۵۳ به ۴۳ درصد کاهش یافته است. نتایج مطالعه لویز-بلیدو و لویز-بلیدو (Lopez-Bellido and Lopez-Bellido, 2001) روی ارزیابی شاخص‌های کارایی نیتروژن در گندم تحت تأثیر سطوح مصرف اوره در شرایط آب و هوای مدیترانه‌ای اسپانیا نشان داد که میانگین جذب نیتروژن ۴۶ درصد بود و با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن، میزان این شاخص از ۶۱ به ۳۴ درصد کاهش یافت، در حالی که متوسط کارایی تبدیل ۳۴ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه بود و تحت تأثیر میزان مصرف کود قرار نگرفت. کاهش کارایی جذب نیتروژن در اثر افزایش کاربرد کود نیتروژن توسط اکثر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Dawson et al., 2008; Lopez-Bellido et al., 2001; Huggins and Pan, 1993; Slafer et al., 1990; Sowers et al., 1994). کارایی نامطلوب مصرف نیتروژن که عمدتاً ناشی از پایین بودن کارایی جذب آن است مهمترین عامل مصرف زیاد این نهاده در بوم‌نظام‌های زراعی در اکثر مناطق در سطح جهان و به‌ویژه آسیا می‌باشد (Cassman et al., 2002). کاسمن و همکاران (Cassman et al., 2002) بیان داشتند از آنجا که منابع نیتروژن معدنی خاک در طول فصل رشد و بین سال‌های مختلف ثابت نمی‌ماند، میزان جذب نیتروژن در این نوع برآوردها معمولاً بیشتر از مقدار واقعی آن است. داده‌های موجود در مورد کارایی جذب نیتروژن در مقیاس بوم‌نظام بسیار محدود می‌باشند. برای مثال، میانگین جذب نیتروژن در ۲۱ مزرعه گندم در کشور هند با میانگین ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۲۹ درصد بود و میانگین این کارایی در ۵۵

نیترژن) (۳۶/۶۵ کیلوگرم نیترژن دانه بر کیلوگرم نیترژن گیاه) و روش کاشت رایج و مصرف ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۱۰/۶۳ کیلوگرم نیترژن دانه بر کیلوگرم نیترژن گیاه) بود. با افزایش میزان مصرف کود اوره از صفر تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در روش کاشت پشته مرتفع، کارایی مصرف نیترژن به ترتیب ۹، ۴۲، ۳۲ و ۵۹ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. میزان این کاهش برای روش کاشت رایج به ترتیب برابر با ۵۰، ۵۵، ۳۸ و ۶۶ درصد در مقایسه با شاهد محاسبه و تعیین گردید. بدین ترتیب، شاخص کارایی مصرف نیترژن تحت تأثیر کاربرد مقادیر مختلف کود اوره از صفر تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در روش کاشت پشته مرتفع به ترتیب ۱۷، ۱۱۳، ۵۰، ۳۰ و ۴۳ درصد بالاتر از روش کاشت رایج بود (شکل ۵).

این امر افزایش غلظت نیترژن رسیده به بوته‌ها و در نتیجه بهبود شاخص‌های کارایی نیترژن را به دنبال دارد. جذب بیشتر نیترژن در روش کاشت پشته مرتفع همراه با افزایش عملکرد همچنین به کاهش تلفات آن نسبت داده شده است (Jat et al., 2011). واریاخ و همکاران (Waraich et al., 2010) در مقایسه دو روش کاشت پشته مرتفع و رایج گزارش نمودند که بالاترین شاخص نیترژن در روش پشته مرتفع به دست آمد.

اثرات ساده و متقابل روش کاشت و سطوح کود اوره، به‌طور معنی‌داری کارایی مصرف نیترژن را تحت تأثیر قرار داد ($p \leq 0.05$) (جدول ۲). بیشترین و کمترین شاخص کارایی مصرف نیترژن گندم به ترتیب مربوط به تیمارهای کاشت پشته مرتفع و شاهد (بدون کاربرد



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل روش کاشت و سطوح کود اوره بر کارایی مصرف نیترژن گندم

Figure 5- Mean comparison for the interaction effects of planting method and Urea fertilizer levels on nitrogen use efficiency of wheat

میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

۱۹۹۴) کارایی مصرف نیترژن گندم را در دامنه‌ای از مقادیر کود نیترژن بین ۲۶ تا ۴۴ درصد گزارش نمودند. فیکسن و وست (Fixen and West, 2002) بیان کردند که در فاصله سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۸۳ میلادی در چین کارایی مصرف نیترژن در گندم از ۱۵ به ۱۰ و در ذرت از ۲۵ به ۱۳/۵ کیلوگرم نیترژن دانه بر کیلوگرم نیترژن خاک کاهش یافته و این کاهش تا حد زیادی به دلیل افزایش مصرف کودهای نیترژن بوده است. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2015) نیز بیان داشتند که با افزایش مصرف نیترژن از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم، کارایی مصرف نیترژن هر دو گیاه ذرت و پنبه به ترتیب ۵۵ و ۳۵ درصد کاهش یافت.

اگرچه با افزایش کاربرد کود اوره، میزان نیترژن جذب شده از خاک توسط بوته در هر دو روش کاشت افزایش یافته (جدول ۳)، ولی در کل در شرایط مصرف میزان کمتری از کود نیترژن، کارایی انتقال و استفاده از نیترژن جذب شده برای تشکیل دانه بیشتر می‌باشد (Daneshmand et al., 2007). به نظر می‌رسد اگرچه در مقادیر بالاتر کود نیترژن، ظرفیت جذب آن افزایش می‌یابد، ولی در مقابل، مقدار بالاتری از کل نیترژن در بقایای ساقه و برگ باقی می‌ماند (Sabahi and Ghalavand, 2005). کاهش کارایی استفاده از نیترژن با افزایش مصرف کود اوره توسط محققین مختلف نیز به اثبات رسیده است. برای مثال، سوور و همکاران (Sower et al.,

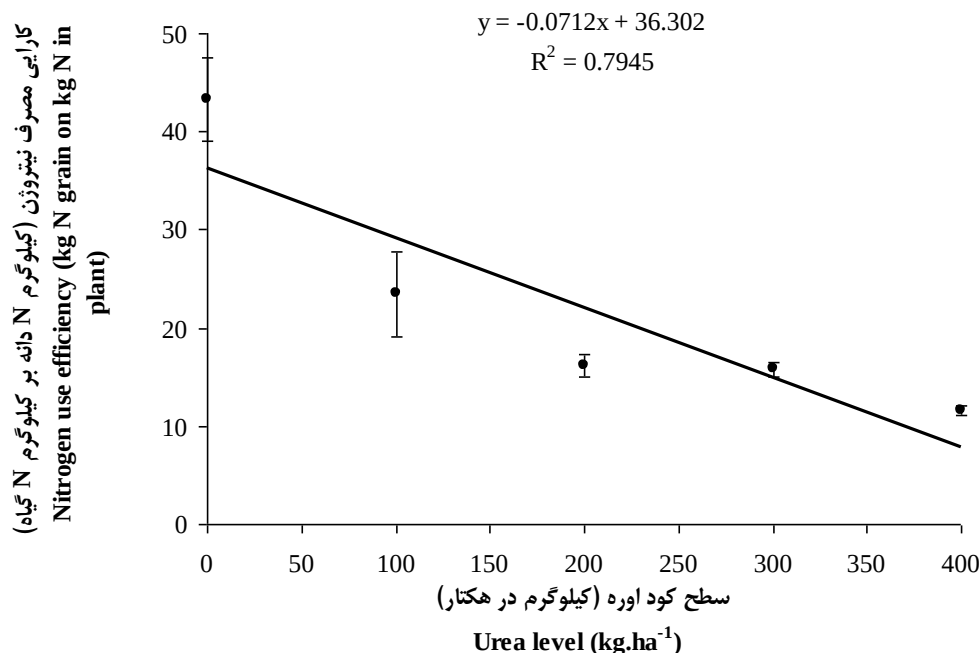
2011; Jat et al., 2015)، از طریق افزایش غلظت نیتروژن و حاصلخیز شدن خاک سطح پشته‌ها سبب افزایش رشد، بهبود عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن شد (Jat et al., 2011).

با توجه به نتایج حاصله مشاهده می‌شود که کارایی مصرف نیتروژن روندی مشابه با کارایی جذب آن دارد (شکل ۴-الف)؛ به‌طوری‌که با افزایش مصرف اوره، کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت. تفاوت شاخص کارایی مصرف نیتروژن بین دو شرایط عدم کاربرد و مصرف ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار برابر با ۶۲ درصد محاسبه گردید. به نظر می‌رسد که دلیل این کاهش عمدتاً ناشی از عدم وجود رابطه خطی بین مصرف نیتروژن و افزایش عملکرد می‌باشد. به بیان دیگر، با افزایش کاربرد نیتروژن به همان میزان عملکرد دانه بهبود نمی‌یابد (شکل ۶).

در آزمایشی ملاحظه شد، افزایش مصرف کود نیتروژن به دلیل افزایش تلفات نیتروژن از طریق دنتریفیکاسیون، تبخیر آمونیومی، رواناب و آبشویی موجب کاهش کارایی مصرف آن گردید (Huggins and Pan, 1999). هاگینز و پان (Akintoye et al., 1999). و سمنوف و همکاران (Semenov et al., 2007) دریافتند که در سطوح بالای مصرف کود اوره، جذب نیتروژن در دسترس به آهستگی افزایش یافت که باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن شد. ارتیز و همکاران (Ortiz et al., 2002) دریافتند به موازات افزایش کاربرد کود اوره، کارایی جذب و تبدیل نیتروژن کاهش یافت که در نهایت، موجب کاهش کارایی مصرف آن گردید. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد برنامه‌های اقتصادی مربوط به تنظیم قیمت نهاده‌ها، اصلاح روش‌های مدیریت در جهت بهبود کارایی جذب نیتروژن راهکار اکولوژیک مؤثری به منظور جلوگیری از مصرف بی‌رویه این نهاده و همچنین بهبود کارایی مصرف آن در بوم‌نظام‌های زراعی باشد. برخی بررسی‌ها نیز نشان داده است که تعدیل در کاربرد مقادیر کودهای شیمیایی نیتروژن و یا تقسیط آن راهکار مناسبی برای افزایش کارایی مصرف آن در بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد (Gan et al., 2008; Alcoz et al., 1993). کارایی پایین کودهای شیمیایی نیتروژن به دلیل کاربرد مقادیر بالای آنها است، خصوصاً زمانی که نیتروژن معدنی موجود در خاک قبل از کشت و یا نیتروژن معدنی‌شده در طول فصل رشد نادیده گرفته می‌شود (Arregui and Quemada, 2008). براساس مطالعه نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2014)، کارایی تبدیل نیتروژن در نظام‌های تولید گندم ایران در طی چهار دهه گذشته سالانه برابر با ۰/۱۷ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه افزایش یافته است.

علاوه بر این، کاهش کارایی مصرف نیتروژن در پاسخ به مصرف کود اوره عمدتاً ناشی از کاهش کارایی جذب آن بوده است. کارایی مصرف نیتروژن حاصلضرب کارایی جذب این نهاده در کارایی تبدیل آن است و نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که با افزایش مصرف این نهاده هر دو جزء کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافته ولی شدت کاهش کارایی جذب بیشتر از کارایی تبدیل نیتروژن می‌باشد (Biswas and Benbi, 1997; Stevens et al., 2005). البته گاجو و همکاران (Gaju et al., 2011) نتیجه‌گیری کردند که کارایی مصرف نیتروژن عمدتاً تابع کارایی تبدیل این نهاده می‌باشد. لویز-بلیندو و لویز-بلیندو (Lopez-Bellindo and Lopez-Bellindo, 2001) با بررسی کارایی مصرف نیتروژن در گندم تحت تأثیر سطوح مصرف این عنصر در اسپانیا بیان داشتند که میانگین کارایی مصرف نیتروژن برابر با ۱۵/۸ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن در خاک بود که با افزایش مصرف کود به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. از سوی دیگر، ویت کامب و همکاران (Witcombe et al., 2008) بیان داشتند که در شرایط عرضه محدود نیتروژن، کارایی مصرف این عنصر عمدتاً به کارایی جذب آن و در شرایط مصرف زیاد این نهاده به کارایی تبدیل آن وابسته است. بل و همکاران (Bell et al., 1995) با بررسی نقش نهاده‌های مختلف در شکل‌گیری عملکرد، سهم کود نیتروژن برای گندم در مکزیک را ۴۸ درصد محاسبه و بیان داشتند که افزایش سهم نیتروژن در عملکرد این گیاه ناشی از کاهش کارایی جذب این نهاده می‌باشد. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد که کاهش شاخص‌های کارایی تبدیل و جذب نیتروژن نقش مهمی در افزایش سهم نسبی این نهاده در عملکرد گندم کشور داشته است. کاهش شاخص تبدیل نیتروژن که به نوبه خود ناشی از کاهش جذب آن می‌باشد (Dobermann and Cassman, 2005)، باعث خواهد شد که هر سال برای حفظ عملکرد در سطحی مشابه یا بالاتر از سال قبل به مصرف کود بیشتری نیاز باشد تا از این طریق کاهش بهره‌برداری به‌وسیله کود بیشتر جبران گردد. بهبود کارایی جذب نیتروژن مهمترین اقدام در جهت کاهش وابستگی عملکرد به این نهاده است. البته اصلاح سیستم ریشه‌ای غلات برای جذب بهتر نیتروژن از لایه‌های عمیق‌تر خاک باعث اثر منفی بر کارایی جذب عناصر کم‌تحرک‌تر نظیر فسفر که عمدتاً در قسمت‌های سطحی خاک تجمع دارند، نیز خواهد شد (Bingham, 2005; Ho et al., 2005). بنابراین، روش‌های مدیریت مصرف کود نظیر انتخاب روش‌های مناسب کاشت مؤثرترین راهکار در ارتباط با بهبود شاخص‌های کارایی نیتروژن به‌ویژه کارایی مصرف نیتروژن محسوب می‌شوند.

اجرای روش پشته مرتفع با تجمع نیتروژن در مجاورت بوته‌ها علاوه بر کاهش درصد حضور علف‌های هرز (Majeed et al.,



شکل ۶- اثر سطوح کود اوره بر کارایی مصرف نیتروژن در گندم
Figure 6- Effect of Urea fertilizer rates on nitrogen use efficiency of wheat

نتیجه گیری

بوته‌ها، از طریق افزایش غلظت نیتروژن و حاصلخیز شدن خاک سطح پشته‌ها سبب افزایش رشد، بهبود عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن شد.

بدین ترتیب، از آنجا که استفاده بهینه از نیتروژن در افزایش بهره‌وری و سودمندی بوم‌نظام‌های زراعی و کاهش خطرات ناشی از اثرات آلاینده‌گی این عنصر بر محیط زیست نقش مهمی دارد، لذا بهبود کارایی جذب نیتروژن مهمترین اقدام در جهت کاهش وابستگی عملکرد به این نهاده است. بر این اساس، بهره‌گیری از روش‌های مدیریت مصرف کود نظیر انتخاب روش‌های مناسب کاشت به‌عنوان مؤثرترین راهکار در ارتباط با بهبود شاخص‌های کارایی نیتروژن به‌ویژه کارایی مصرف نیتروژن پیشنهاد می‌شوند.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل پژوهش شماره ۳۷۶۲۳/۲ مورخ ۱۳۹۴/۰۳/۰۹ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

به منظور دستیابی به تولید پایدار محصولات زراعی، از جمله اصول اولیه بهبود کارایی مصرف منابع و جلوگیری از هدررفت نهاده‌های کشاورزی است. نتایج این مطالعه نشان داد که روش کاشت پشته مرتفع عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن گندم را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با روش کاشت رایج تحت تأثیر قرار داد. با افزایش مصرف اوره به دلیل تولید اندام‌های رویشی، بهبود دوام سطح برگ، سرعت و ظرفیت فتوسنتز تا حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه به‌صورت خطی افزایش یافت و سپس تقریباً ثابت گردید و نهایتاً در سطوح مصرف اوره بالاتر از ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. همچنین شیب افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر افزایش مصرف اوره، در روش کاشت پشته مرتفع بیشتر از روش رایج بود. افزایش کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش تلفات این عنصر به‌ویژه در روش کاشت رایج باعث عدم کارایی مصرف آن شده و شاخص‌های کارایی نیتروژن را کاهش داد. کاهش کارایی مصرف نیتروژن در پاسخ به مصرف کود اوره عمدتاً ناشی از کاهش کارایی جذب آن بوده است. همچنین اجرای روش پشته مرتفع با تجمع نیتروژن در مجاورت

References

1. Akintoye, H. A., Klinga, J. G., and Lucas, E. O. 1999. N-use efficiency of single, double and synthetic maize lines grown at four N levels in three ecological zones of West African. *Field Crops Research* 60: 189-199.
2. Alcoz, M. M., Homs, F. M., and Haby, V. A. 1993. Nitrogen fertilization timing effect on wheat production,

- nitrogen uptake efficiency, and residual nitrogen. *Agronomy Journal* 85: 1198-1203.
3. Arregui, L. M., and Quemada, M. 2008. Strategies to improve nitrogen use efficiency in winter cereal crops under rain fed conditions. *Agronomy Journal* 100: 277-284.
4. Bahrani, A., and Tahmasebi Sarvestani, Z. 2006. Effects of rate and time of nitrogen fertilizer on yield, yield component, and dry matter remobilization efficiency in two winter wheat cultivars. *Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University* 12 (2): 369-376. (in Persian with English abstract).
5. Bell, M. A., Fischer, R. A., Byerlee, D., and Sayre, K. 1995. Genetic and agronomic contributions to yield gains: A case study for wheat. *Field Crops Research* 44: 55-65.
6. Bingham, I. J. 2005. Agronomic approaches for modifying root systems of field crops: opportunities and constraints. *Aspects of Applied Biology* 73: 169-178.
7. Biswas, C. R., and Benbi, D. K. 1997. Nitrogen balance and N recovery after 22 years of maize-wheat-cowpea cropping in a long-term experiment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 47: 107-114.
8. Bock, R. H. 1984. Efficient water use of nitrogen in cropping system. Pp. 273-294. In: "Hauck, R.D. (ed.). *Nitrogen in Crop Production*. ASA, CSSA, SSSA". Madison, Wisconsin, USA.
9. Cassman, K. G., Dobermann, A., and Walters, D. I. 2002. Agroecosystems, nitrogen use efficiency and nitrogen management. *Ambio* 31: 132-140.
10. Cassman, K. G., Dobermann, A., Walters, D. T., and Yang, H. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annual Review of Environment and Resources* 28: 315-358.
11. Cerrato, M. E., and Blackmer, A. M. 1990. Comparison of models for describing; corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 82: 138-143.
12. Daneshmand, A., Shirani Rad, A. H., Noormohammadi, G., Zeraei, G., and Daneshian, J. 2007. Effect of water stress and nitrogen fertilizer on grain yield, yield components, nitrogen uptake and water and nitrogen use efficiency in two of canola cultivars. *Iranian Journal of Crop Science* 8 (4): 323-342. (in Persian with English abstract).
13. Dawson, J. C., Huggins, D. R., and Jones, S. S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agriculture systems. *Field Crops Research* 107: 89-101.
14. Dobermann, A., and Cassman, K. G. 2005. Cereal area and nitrogen use efficiency are drivers of future nitrogen fertilizer consumption. *Science China Life Sciences* 48: 1-14.
15. Dobermann, D. I., and Cassman, K. G. 2004. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production of United States and Asia. *Plant and Soil* 247: 153-175.
16. Eickhout, B., Bouwman, A. F., and van Zeijts, H. 2006. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116: 4-14.
17. Emam, Y., Ahmadi, A., and Pesarakli, M. 2005. Effect of different methods of cultivation with residue management and nitrogen levels on wheat yield and yield component in Fars province conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science* 41 (4): 841-850. (in Persian with English abstract).
18. Fageria, N. K., and Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88: 97-185.
19. Fahong, W., Xuqing, W., and Sayre, K. 2004. Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. *Field Crops Research* 87: 35-42.
20. Fixen, P. E., and West, F. B. 2002. Nitrogen fertilizers: meeting contemporary challenges. *Ambio* 31: 169-176.
21. Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J. W., Heumez, E., LeGouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Griffiths, S., Orford, S., Hubbart, S., and Foulkes, M. J. 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. *Field Crops Research* 123: 139-152.
22. Gan, Y., Malhi, S. S., Brandt, S., Katepa-Mupondwa, F., and Stevenson, C. 2008. Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of juncea Canola under diverse environments. *Journal of Agronomy* 100: 285-295.
23. Gastal, F., and Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany* 370: 789-799.
24. Giller, K. E., Chalk, P., Dobermann, A., Hammond, L., Heffer, P., Ladha, J. K., Nyamudeza, P., Maene, L., Ssali, H., and Freney, J. 2004. Emerging technologies to increase the efficiency of use of fertilizer nitrogen. In: Mosier A. R., Syers J. K., Freney J. R. (Eds.), *Agriculture and the Nitrogen Cycle*. Island Press, Washington, D.C., pp. 35-51.
25. Gliessman, S. R. 1997. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Arbor Press. 357 pp.
26. Hatermink, A. E., Johnston, M. O., Sullivan, J. N., and Poloma, S. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79: 271-280.
27. Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., and Jensen, E. S. 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea barley intercropping. *Field Crops Research* 70: 101-109.
28. Ho, M. D., Rosas, J. C., Brown, K. M., and Lynch, J. P. 2005. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Functional Plant Biology* 32: 737-748.

29. Hobbs, P. R., Sing, Y., Giri, G. S., Lauren, J. G., and Dusbury, J. M. 2000. Direct seeding and reduced tillage options in the rice- wheat systems of the Indo-Gangetic plain of South Asia. Paper presented at IRRI workshop, Bangkok, Thailand, 25-28 January, 2000.
30. Horwitz, W., and Latimer, G. W. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 18th Edition. Maryland, USA.
31. Hossain, M. I., Islam, M. K., Sufian, M. A., Meisner, C. A., and Islam, M. S. 2006. Effect of planting method and nitrogen levels on the yield and yield attributes of wheat. *Journal of Biosciences* 14: 127-130.
32. Hossain, M. I., Meisner, C., Duxbury, J. M., Lauren, J. G., Rahman, M. M., Meer, M. M., and Rashid, M. H. 2004. Use of raised beds for increasing wheat production in rice-wheat cropping systems, New directions for a diverse planet: proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep.-1 Oct., 2004, Brisbane, Australia.
33. Huggins, D. R., and Pan, W. L. 1993. Nitrogen use efficiency components analysis: an evaluating of cropping system differences in productivity. *Agronomy Journal* 85: 898-905.
34. Jat, M. L., Gupta, R., Saharawat, Y. S., and Khosla, R. 2011. Layering precision land leveling and furrow irrigated raised bed planting: productivity and input use efficiency of irrigated bread wheat in indo-gangetic plains. *American Journal of Plant Sciences* 2: 578-588.
35. Koocheki, A., Borumand Rezazadeh, Z., Nassiri Mahallati, M., and Khorramdel, S. 2012. Evaluation of nitrogen absorption and use efficiency in relay intercropping of winter wheat and maize. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10 (2): 327-334. (In Persian with English abstract).
36. Koocheki, A., Khorramdel, S., Fallahpour, F., and Mellati, F. 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in row intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 11 (4): 533-542. (in Persian with English abstract).
37. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Bakhshae, S., and Davari, A. 2017. A meta analysis of nitrogen fertilizer experiments for cereal crops in Iran. *Journal of Agroecology* 9 (2): 296-313. (in Persian with English abstract).
38. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Alizadeh, Y. 2015. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. *Iranian Journal of Field Crops Research* 13 (1): 1-13. (in Persian with English abstract).
39. Kukal, S. S., Humphreys, E., Thaman, S., Singh, B., and Timsina, J. 2010. Factors affecting irrigation water savings in raised beds in rice and wheat. *Field Crops Research* 118: 43-50.
40. Lemaire, G., Jeuffroy, M. H., and Gastal, F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy* 28: 614-624.
41. Li, Q. Q., Chen, Y. H., Liu, M. Y., Zhou, X. B., Dong, B. D., and Yu, S. L. 2008. Effects of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China. *Agricultural Water Management* 95: 469-476.
42. Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R. J., Castillo, J. E., and Lopez-Bellido, F. J. 2001. Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. *Field Crops Research* 42: 197-210.
43. Lopez-Bellido, R. J., and Lopez-Bellido, L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crops Research* 71: 31-46.
44. Ma, B. L., Dwyer, L. M., and Gregorich, E. G. 1999. Soil nitrogen amendment affects on nitrogen uptake and grain yield of maize. *Agronomy Journal* 91: 650-656.
45. Majeed, A., Muhmood, A., Niaz, A., Javid, S., Ahmad, Z. A., Shah, S. S. H., and Shah, A. H. 2015. Bed planting of wheat (*Triticum aestivum* L.) improves nitrogen use efficiency and grain yield compared to flat planting. *The Crop Journal* 3 (2): 118-124.
46. Meisner, C. A., Acervado, E., Flores, D., Sayre, K., Ortizmonasterio, L., and Byerlee, D. 1992. Wheat production and grower practices in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. Wheat Special Report. No. 6. Mexico, D F CIMMYT.
47. Miran Zadeh, H., and Emam, Y. 2010. The effect of nitrogen and Cloro-macovat-clorid on seed yield, dry matter and water efficiency on 4 cultivar of wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8 (6): 636-645.
48. Moles, D. J., Rangai, S. S., Bourke, R. M., and Kasamani, C. T. 1984. Fertilizer responses of taro in Papua New Guinea. In: S. Chandra (Ed.), *Edible Aroids*. Clarendon Press, Oxford, pp. 64-71.
49. Mollah, M. I. U., Bhuiya, M. S. U., and Kabir, M. H. 2009. Bed planting: a new crop establishment method for wheat in rice-wheat cropping system, *Journal of Agriculture and Rural Development* 7: 23-31.
50. Muurinen, S., and Peltonen-Sainio, P. 2006. Radiation-use efficiency of modern and old spring cereal cultivars and its response to nitrogen in northern growing conditions. *Field Crops Research* 96: 363-373.
51. Naroki, F. A., Vaezi, B., and Bavi, V. 2009. Determination amount of advisable nitrogen for improving quantity and quality characters of three new durum wheat lines. *Iranian Crop Sciences Journal* 41 (3): 583-595. (in Persian with English abstract).
52. Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2014. Trend analysis of nitrogen use and productivity in cereal production systems of Iran. *Journal of Agroecology* 8 (3): 607-621. (in Persian with English abstract).
53. Nelson, L. A., Voss, R. D. and Pesek, J. T. 1985. Agronomic and statistical evaluation of fertilizer response. P. 53-

90. In: O.P. Engelstad (Ed.) fertilizer technology and use. 3rd Ed. ASA, Madison.
54. Nunez, R., and Kamprath, E. J. 1969. Relationships between N response, plant population. And row width on growth and yield of corn. *Agronomy Journal* 61: 279-282.
55. Olesen, G. E., Petersen, B. M., Bernsten, G., and Hansen, S. 2002. Comparison of methods for simulating effects of nitrogen on green area index and dry matter growth in winter wheat. *Field Crops Research* 74: 131-149.
56. Ortiz, R., Nurminen, M., Madsen, S., Rognil, O. A., and Bjornstad, A. 2002. Genetic gains in Nordic spring barley breeding over sixty years. *Euphytica* 126: 283-289.
57. Rathke, G. W., Behrens, T., and Diepenbrock, W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117: 80-108.
58. Raun, W. R., and Johnson, G. V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production: a review. *Agronomy Journal* 91: 357-363.
59. Sabahi, H., and Ghalavand, A. 2005. Comparison on uptake, utilization and losses of nitrogen in organic, integrated and conventional fertilization methods in winter rapeseed (*Brassica napus* L.). *Environmental Science* 6: 15-27. (in Persian with English abstract).
60. Salvagiotti, F., Castellari, J. M., Miralles, D. J., and Pedro, H. M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research* 113: 170-177.
61. Sayre, K. D., and Morens Romos, O. H. 1997. Application of raised bed planting system to wheat. *Wheat Program Special Research* 31. CIMMYT, Mexico. P. 14-22.
62. Semenov, M. A., Jamieson, P. D., and Martre, P. 2007. Deconvoluting nitrogen use efficiency in wheat: A simulation study. *European Journal of Agronomy* 26: 283-294.
63. Shah, S. S. H., Hassan, A., Ghafoor, A., and Bakhsh, A. 2003. Soil physical characteristics and yield of wheat and maize as affected by mulching materials and sowing methods, *Plant, Soil and Environment* 32: 14-21.
64. Shahsavari, N., and Saffari, M. 2005. The effect of different levels of nitrogen on the function and elements of the varieties of wheat in Kerman. *Pajouhesh & Sazandegi* 66 (4): 82-87. (in Persian with English abstract).
65. Slafer, G. A., Andrade, F. H., and Feingold, S. E. 1990. Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Argentina: Relationship between nitrogen and dry matter. *Euphytica* 50: 63-71.
66. Sowers, K. E., Pan, W. L., Miller, B. C., and Smith, J. L. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen application in soft white winter wheat. *Agronomy Journal* 86: 942-948.
67. Stevens, W. B., Hoeft, R. G., and Mulvaney, R. L. 2005. Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study. I. Interactions with soil nitrogen. *Agronomy Journal* 97: 1037-1045.
68. Sylvester-Bradley, R., and Kindred, D. R. 2009. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 60: 1939-1951.
69. Tittonell, P., Zingore, S., Van Wijk, M. T., Corbeels, M., and Giller, K. E. 2007. Nutrient use efficiencies and crop responses to N, P and manure applications in Zimbabwean soils: exploring management strategies across soil fertility gradients. *Field Crops Research* 100: 348-368.
70. Waraich, E. A., Saifullah, R. A., and Ahmad, S. 2010. Raised bed planting- a new technique for enhancing water use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.) in semi-Arid zone. *Iranian Journal of Plant Physiology* 1 (2): 73-84.
71. West, M. L. 2006. Response of corn hybrids to varying plant population densities. *Field Crops Abstract* 42: 8569.
72. Witcombe, J. R., Hollington, P. A., Howarth, C. J., Reader, S., and Steele, K. A. 2008. Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363: 703-716.
73. Wolton, W. 2005. Leaf area index and radiation as related to corn yield. *Agronomy Journal* 65: 459-461.
74. Zhang, W., and Zhang, X. 2007. A forecast analysis on fertilizer consumption worldwide. *Environmental Monitoring and Assessment* 133: 427-434.



Effects of Raised Bed Planting and Nitrogen on Nitrogen Efficiency Indices and Yield of Wheat

A. Koocheki^{1*} - S. Khorramdel² - J. Shabahang³

Received: 21-03-2017

Accepted: 22-08-2017

Introduction

Nitrogen use efficiency (NUE) for wheat is only about 30%, but with best management practices it can be improved to higher levels. Optimal nitrogen (N) management is essential for maximum NUE, crop yield and minimum environmental impacts. Applying less N may result in lower grain yields and reduced grain quality. However, higher N application can result in reducing NUE and increasing fertilizer losses. Efficient use of applied N fertilizer improves crop yield and decreases the production cost. N application and recovery efficiencies depend on soil criterias; method and rate of fertilizer application; and planting methods. Improving NUE is one ecological approach for producing higher grain yield. In recent years, some researchers found that suitable management and adoption of appropriate practices could improve agricultural nitrogen use efficiency and crops production would be more efficient. Raised bed planting has shown to improve water distribution and efficiency, fertilizer use efficiency, reduced crop lodging and decreased seed rate without sacrificing yield. Planting methods could also affect the vertical distribution of leaf area index and radiation use efficiency of wheat.

The objectives of this study were to determine the effects of raised bed planting and Urea fertilizer levels on the nitrogen efficiency indices and yield of wheat.

Materials and Methods

This experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Field, Ferdowsi University of Mashhad during the growing season of 2015-2016. The main and sub factors were allocated to planting methods (raised bed and conventional methods) and Urea rates such as 0, 100, 200, 300 and 400 kg Urea ha⁻¹, respectively. Investigated traits were grain yield, biological yield, nitrogen content of grain, nitrogen content of straw, and efficiency indices of nitrogen (nitrogen uptake efficiency, nitrogen utilization efficiency and NUE). The treatments were run as an analysis of variance (ANOVA) to determine if significant differences existed among treatments means. Multiple comparison tests were conducted for significant effects using the LSD test.

Results and Discussion

Results showed that the simple and interaction effects of planting methods and Urea rates were significant ($p \leq 0.05$) on grain yield, biological yield, grain nitrogen content, straw nitrogen content, nitrogen uptake efficiency, nitrogen utilization efficiency and NUE of wheat. The maximum and minimum grain yield were observed with raised bed planting and 300 kg Urea ha⁻¹ (7545 kg ha⁻¹) and conventional planting and control (3865 kg ha⁻¹), respectively. The maximum and the minimum amounts of nitrogen uptake efficiency were belonged to raised bed planting and control (0.45 kg N in plant per kg N in soil) conventional planting and 400 kg Urea ha⁻¹ (0.14 kg N in plant per kg N in soil), respectively. The highest and lowest NUE were related to raised bed planting and control (36.65 kg N in grain per kg N in plant) conventional planting and 400 kg Urea ha⁻¹ (10.63 kg N in grain per kg N in plant), respectively. Increasing in Urea rate from 0 to 400 kg ha⁻¹ fertilizer decreased nitrogen use efficiency up to 62 percent.

Conclusions

Results showed a higher grain yield and biological yield from planting on raised bed compared with the conventional planting, owing to higher nitrogen uptake and nitrogen use efficiency. Biological yield was significantly influenced and higher trend was found with higher dose of nitrogen. There was a trend to improve

1- Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- PhD in Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

grain yield with the increase of Urea levels. Grain yield increased in raised bed planting method compared with conventional planting mostly due to more fertile topsoil on the raised beds. Enhancing nitrogen fertilizer led to improve in grain yield and a decrease in NUE.

Acknowledgement

This research (37623.2) was funded by Vice Chancellor for Research of Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Nitrogen uptake efficiency, Nitrogen use efficiency, Nitrogen utilization efficiency, Raised bed planting

Contents

Maximum Efficiency of Photosystem II as a Freezing Stress Index in Perennial Ecotypes of Rye (<i>Secale Montanum</i>)	14
A. Nezami- S. Khaninejad- M. R. Bahrami- H. Zarif Ketabi	
Growth and Phenology Analysis of Sesame (<i>Sesamum indicum</i> L.) under Biological and Chemical Nutritional Sources	33
M. J. Mostafavi- M. Nassiri Mahallati- A. Koocheki	
Some Soil Characters and Qualitative Traits of Sunflower Seeds to Different Nutritional Regimes	47
F. Soleymani- G. Ahmadvand- A. A. Safari sinegani	
The Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Qualitative and Quantitative Yield of Indigo (<i>Indigofera tinctoria</i> L.) at Irrigation Levels under Bam Climatic Conditions	65
N. Modafe Behzadi- P. Rezvani Moghaddam- M. Jahan	
Effects of Plant Residues in Two Types of Soil Texture on Soil characteristics and corn (<i>Zea mays</i> L.) NS640 Yield in a Reduced -Tillage cropping System	80
E. Hesami- M. Jahan- M. Nassiri-Mahallati- R. Farhoudi	
Evaluation of Retrotransposon-based Markers for Identification of Genetic Loci Associated with Agromorphological Characteristics and Resistance to Sclerotinia Basal Stem rot in Oily Sunflower (<i>Helianthus annuus</i> L.) under Filed Conditions	95
R. Paknia- F. Shahriari- R. Darvishzadeh- S. Malekzadeh	
Effects of Foliar Application Time of Nano-micronutrients on Quantity and Qualitative Traits in Rainfed durum Wheat Genotypes in Moghan	111
Y. Firoozi- H. Feizi- A. Mehraban- M. Alipanah	
Effect of Drought Stress on Water Use Efficiency and Its Components in Several Genotypes and Cultivars of Foxtail Millet (<i>Setaria italica</i> L.)	123
M. Khazaei- M. Galavi- M. Dahmardeh- S. M. Moosavi-Nik- Gh. Zamani- N. Mahdi-Nejad	
Effects of Foliar Application of Zinc Fertilizer on Grain Yield and Zinc Content of Rice Grain cv. Sazandegi	135
A. Ramazani- M. Solhi- M. Rezaei	
Changes in Soil C/N Ratio and Response of Growth of Hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.) to Different Levels of Animal Manure and Chemical Fertilizers	151
S. Laleh- M. Jami Al-Ahmadi- S. Parsa	
Application of Thermal-time Concept to Modeling Oilseed Rape (<i>Brassica napus</i> L.) Seed Germination Response to Temperature	163
A. Derakhshan- A. Bakhshandeh- S. A. Siadat- M. R. MoradiTlavat- B. Andarzian	
Effects of Planting Date, Bio-fertilizer Containing P Solubilizing Bacteria and Elements Foliar Application of Zinc and Boron on Physiological and Agronomic Traits of Bread Wheat (Aflakcultivar)	178
H. Kamaei- H. R. Eisvand- F. Nazarian	
The Effect of Plant Density on Photosynthesis and Growth Indices of Henna (<i>Lawsoniainermis</i> L.) Ecotypes	190
A. Pasandi Pour- H. Farahbakhsh	
Evaluation of Drought response in Some Rice Mutant Lines Using Stress Tolerance Indices	201
H. Aminpanah- P. Sharifi- A. A. Ebadi	
Response of Some Bread Wheat Cultivars to Foliar Application of Zn and Fe Different Forms in Two Locations with Different Soil Properties	215
E. Arazmjoo- M. A. Behdani- S. Mahmoodi- B. Sadeghzadeh	
Effect of Different Tillage Methods and Cover Crop Types on Yield and Yield Components of Wheat	227
Z. Sharefee- S. V. Eslami- M. Jami Al-Ahmadi- S. Mahmoodi	
Effect of Foliar Application of Chelate Iron in Common and Nanoparticles Forms on Yield and Yield Components of Cumin (<i>Cuminum cyminum</i> L.) under Drought Stress Conditions	240
A. Nasiri Dehsorkhi- A. Ghanbari- V. Varnaseri Ghandali	
Effects of Raised Bed Planting and Nitrogen on Nitrogen Efficiency Indices and Yield of Wheat	260
A. Koocheki- S. Khorramdel- J. Shabahang	

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 16

No. 1

2018

Publisher	Ferdowsi University of Mashhad
Managing	P. Rezvani Moghaddam (Agroecology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Editor- in-chief	H.R. Khazaei (Crop Physiology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop Ecology	Prof., University of Birjand
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Rahimian-Mashhadi, H.	Crop Physiology	Prof., Tehran University
Zamani, Gh.R.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Zare- Feizabadi, A.	Crop Ecology	Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province
Shahriari-Ahmadi, F.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Nezami, A.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mazaheri, D.	Crop Ecology	Prof., Tehran University
Khazaei, H.R.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Address: Iranian Journal of Field Crops Research Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture
Mashhad, Iran

P. O. Box: 91775-1163

Email: cesc@ferdowsi.um.ac.ir

Web Site: <https://jcesc.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Iranian Journal of Field Crops Research

Vol.16 No.1

2018

ISSN:2008-1472

Contents

Maximum Efficiency of Photosystem II as a Freezing Stress Index in Perennial Ecotypes of Rye (<i>Secale Montanum</i>).....	14
A. Nezami- S. Khaninejad- M. R. Bahrani- H. Zarif Ketabi	
Growth and Phenology Analysis of Sesame (<i>Sesamum indicum</i> L.) under Biological and Chemical Nutritional Sources	33
M. J. Mostafaei- M. Nassiri Mahallati- A. Koocheki	
Some Soil Characters and Qualitative Traits of Sunflower Seeds to Different Nutritional Regimes	47
F. Soleymani- Gh. Ahmadvand- A. A. Safari sinegani	
The Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Qualitative and Quantitative Yield of Indigo (<i>Indigofera tinctoria</i> L.) at Irrigation Levels under Bam Climatic Conditions	65
N. Modafe Behzadi- P. Rezvani Moghaddam- M. Jahan	
Effects of Plant Residues in Two Types of Soil Texture on Soil characteristics and corn (<i>Zea mays</i> L.) NS640 Yield in a Reduced -Tillage cropping System	80
E. Hesami- M. Jahan- M. Nassiri-Mahallati- R. Farhoudi	
Evaluation of Retrotransposon-based Markers for Identification of Genetic Loci Associated with Agro-morphological Characteristics and Resistance to Sclerotinia Basal Stem rot in Oily Sunflower (<i>Helianthus annuus</i> L.) under Field Conditions	95
R. Paknia- F. Shahriari- R. Darvishzadeh- S. Malekzadeh	
Effects of Foliar Application Time of Nano-micronutrients on Quantity and Qualitative Traits in Rainfed durum Wheat Genotypes in Moghan	111
Y. Firouzi- H. Feizi- A. Mehraban- M. Alipanah	
Effect of Drought Stress on Water Use Efficiency and Its Components in Several Genotypes and Cultivars of Foxtail Millet (<i>Setaria italica</i> L.)	123
M. Khazaei- M. Galavi- M. Dahmardch- S. M. Moosavi-Nik- Gh. Zamani- N. Mahdi-Nejad	
Effects of Foliar Application of Zinc Fertilizer on Grain Yield and Zinc Content of Rice Grain cv. Sazandegi	135
A. Ramazani- M. Solhi- M. Rezaei	
Changes in Soil C/N Ratio and Response of Growth of Hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.) to Different Levels of Animal Manure and Chemical Fertilizers	151
S. Laleh- M. Jami Al-Ahmadi- S. Pasa	
Application of Thermal-time Concept to Modeling Oilseed Rape (<i>Brassica napus</i> L.) Seed Germination Response to Temperature	163
A. Derakhshan- A. Bakhshandeh- S. A. Siadat- M. R. Moradi Tavakoli- B. Andarzian	
Effects of Planting Date, Bio-fertilizer Containing P Solubilizing Bacteria and Elements Foliar Application of Zinc and Boron on Physiological and Agronomic Traits of Bread Wheat (Aflak cultivar).....	178
H. Kamaci- H. R. Eivand- F. Nazarian	
The Effect of Plant Density on Photosynthesis and Growth Indices of Henna (<i>Lawsonia inermis</i> L.) Ecotypes.....	190
A. Pasandi Pour- H. Farahbakhsh	
Evaluation of Drought response in Some Rice Mutant Lines Using Stress Tolerance Indices.....	201
H. Aminpanah- P. Sharifi- A. A. Ebadi	

Continue Content in cover