



نشریه علمی

پژوهشهای زراعی ایران

شماره ۲

جلد ۱۷

سال ۱۳۹۸

(شماره پیاپی: ۵۴)

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

- تأثیر مدیریت کود بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب عناصر نیتروژن و فسفر توسط خرفه
(*Portulaca oleracea* L.) ۱۸۷
حامد جوادی - پرویز رضوانی - مقدم - محمد حسن راشد محصل - محمد جواد ثقه الاسلامی
- فرا تحلیل اثر کاربرد سوپر جاذب رطوبت بر عملکرد گیاهان زراعی در ایران ۲۰۷
محسن جهان - مهدی نصیری محلاتی
- تعیین محتوی کلروفیل و وضعیت نیتروژن در ژنوتیپهای گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم با استفاده از
کلروفیل متر (SPAD) ۲۲۱
ولی فیضی اصل - امیر فتوت - علیرضا آستارایی - امیر لکزیان - جعفر جعفرزاده
- ارزیابی پایداری ژنتیکی برخی از صفات زراعی هیبریدهای سیب زمینی تحت شرایط آب و هوایی مختلف ۲۴۱
شیوا محمدنیا - علی اصغری - داود حسن پناه - رحمت الله کریمی زاده - علی اکبر شکوهیان
- تأثیر تاریخ و بسترهای کاشت بر تقویم رشد گیاه دارویی گل میمونی سازویی ۲۵۵
ناصر مجنون حسینی - محمدحسین نعیمی - مصطفی اویسی
- تأثیر سطوح مختلف آبیاری و مالچ پلاستیکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی کدو پوست کاغذی
(*Cucurbita pepo* convar. *pepo* var. *styriaca*) در شرایط مشهد ۲۶۵
سیاوش برده چی - محمد بنایان - قربانعلی اسدی
- بررسی همبستگی و تجزیه علیت عملکرد ذرت دانه ای و صفات وابسته به آن در شرایط متفاوت دسترسی به
آب و نیتروژن ۲۷۵
روژین قبادی - مختار قبادی - سعید جلالی هنرمند - بهمن فرهادی - فرزاد مندنی
- تأثیر کود نیتروژن بر دریافت و کارایی استفاده از تابش در دو رقم کلزای بهاره ۲۹۱
سید عطااله سیادت - ابوالفضل درخشان
- تأثیر بیوچار، پرایمینگ بذر و محلول پاشی با آب و سالیسیلیک اسید بر عملکرد گلرنگ در شرایط دیم ۳۰۵
عبداله ساجدی - نورعلی ساجدی
- تأثیر محلول پاشی با عناصر آهن و روی بر عملکرد و قابلیت فراهمی زیستی عناصر در ارقام گندم نان ۳۱۷
منوچهر شیری - مرتضی کامرانی - اصغر مهربان
- ارزیابی صفات کمی و کیفی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در چین های اول و دوم تحت تأثیر کاربرد
تلفیقی کودهای شیمیایی، نانو و مایکوریزا ۳۲۷
علی استادی - عبدالله جوانمرد - محمدرضا مرشدلو - سارا ملاعلی عباسیان
- ارزیابی تأثیر تقسیط کود نیتروژن و جهت های کاشت بر برخی صفات فیتوشیمیایی و عملکرد چای ترش
(*Hibiscus sabdariffa* L.) ۳۴۷
فرزانه ریگی - مهدی دهمرده - عیسی خمیری - رضا باقری

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

با شماره ثبت ۱۲۴/۷۸۵۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و

۸۲/۵/۲۷

درجه علمی - پژوهشی شماره ۳/۱۱/۷۴۵۰۹ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

۸۹/۱۰/۲۱

سال ۱۳۹۸

شماره ۲

جلد ۱۷

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

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)

عبد الرضا باقری

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمدعلی بهدانی

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

محمد بنایان اول

استاد - مدل سازی سیستم های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

مجید جامی الاحمدی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

حمیدرضا خزاعی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

حمید رحیمیان مشهدی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

غلامرضا زمانی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

احمد زارع فیض آبادی

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

فرج اله شهریار احمدی

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمد کافی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

احمد نظامی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

داریوش مظاهری

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: ۲۰ نسخه

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، نشریه پژوهشهای زراعی ایران صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

نمابر: ۳۸۷۸۷۴۳۰

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 پایگاه های 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

- 187 تأثیر مدیریت کود بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب عناصر نیتروژن و فسفر توسط خرفه (*Portulaca oleracea* L.)
حامد جوادی - پرویز رضوانی مقدم - محمد حسن راشد محصل - محمد جواد ثقه الاسلامی
- 207 فراتحلیل اثر کاربرد سوپر جاذب رطوبت بر عملکرد گیاهان زراعی در ایران
محسن جهان - مهدی نصیری محلاتی
- 221 تعیین محتوی کلروفیل و وضعیت نیتروژن در ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم با استفاده از کلروفیل متر (SPAD)
ولی فیضی اصل - امیر فتوت - علیرضا آستارایی - امیر لکزیان - جعفر جعفرزاده
- 241 ارزیابی پایداری ژنتیکی برخی از صفات زراعی هیبریدهای سیب‌زمینی تحت شرایط آب و هوایی مختلف
شیوا محمدنیا - علی اصغری - داود حسن پناه - رحمت‌الله کریمی زاده - علی اکبر شکوهیان
- 255 تأثیر تاریخ و بسترهای کاشت بر تقویم رشد گیاه دارویی گل میمونی سازویی
ناصر مجنون حسینی - محمدحسین نعیمی - مصطفی اویمی
- 265 تأثیر سطوح مختلف آبیاری و مالچ پلاستیکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* convar. pepo var. styriaca) در شرایط مشهد
سیاوش برده‌چی - محمد بنایان - قربانعلی اسدی
- 275 بررسی همبستگی و تجزیه علیت عملکرد ذرت دانه‌ای و صفات وابسته به آن در شرایط متفاوت دسترسی به آب و نیتروژن
روژین قبادی - مختار قبادی - سعید جلالی هنرمند - بهمن فرهادی - فرزاد مندنی
- 291 تأثیر کود نیتروژن بر دریافت و کارایی استفاده از تابش در دو رقم کلزای بهاره
سید عطاءاله سیادت - ابوالفضل درخشان
- 305 تأثیر بیوجار، پرایمینگ بذر و محلول پاشی با آب و سالیسیلیک اسید بر عملکرد گلرنگ در شرایط دیم
عبداله ساجدی - نورعلی ساجدی
- 317 تأثیر محلول پاشی با عناصر آهن و روی بر عملکرد و قابلیت فراهمی زیستی عناصر در ارقام گندم نان
منوچهر شیری - مرتضی کامرانی - اصغر مهربان
- 327 ارزیابی صفات کمی و کیفی نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.) در چین‌های اول و دوم تحت تأثیر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی، نانو و مایکوریزا
علی استادی - عبدالله جوانمرد - محمدرضا مرشدلو - سارا ملاعلی عباسیان
- 347 ارزیابی تأثیر تقسیط کود نیتروژن و جهت‌های کاشت بر برخی صفات فیتوشیمیایی و عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)
فرزانه ریگی - مهدی دهمرده - عیسی خمیری - رضا باقری



تأثیر مدیریت کود بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب عناصر نیتروژن و فسفر توسط خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

حامد جوادی^۱، پرویز رضوانی مقدم^{۲*}، محمد حسن راشد محصل^۳، محمد جواد ثقه الاسلامی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۷

چکیده

به منظور بررسی مدیریت کود بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب عناصر نیتروژن و فسفر توسط خرفه، دو آزمایش جداگانه در دو سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند با سه تکرار انجام شد. در آزمایش اول که به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد، چهار کود سبز شامل: شاهد (بدون کود سبز)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.)، منداب (*Eruca sativa* L.) و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای به عنوان عامل اصلی و سه سطح کود نیتروژن به صورت خالص شامل: صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان عامل فرعی بودند. در آزمایش دوم که به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد، تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار منبع تأمین کننده نیتروژن شامل: کود گاوی، ورمی کمپوست، کود شیمیایی (NPK) و شاهد (بدون اعمال هیچ گونه کودی) و نیز چهار نوع کود زیستی شامل: نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلوم)، میکوریزا (*Glomus intraradices*)، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس همراه با گوگرد) و شاهد (بدون هیچ گونه کودی) بودند. صفات مورد مطالعه در این آزمایش شامل: درصد کربن آلی و نیتروژن خاک، میزان فسفر قابل جذب خاک، pH و EC خاک و درصد نیتروژن و فسفر زیست توده بودند. نتایج نشان داد که استفاده از کود سبز باعث افزایش درصد کربن آلی، نیتروژن خاک و میزان فسفر قابل جذب خاک و کاهش pH خاک شد. از بین تیمارهای کود سبز مورد مطالعه ماشک گل خوشه‌ای نسبت به سایرین برتر بود. همچنین، استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش میزان فسفر قابل جذب، هدایت الکتریکی خاک و عملکرد دانه و کاهش pH خاک شد. در بین منابع تأمین کننده نیتروژن، تیمار کود گاوی بیشترین تأثیر را بر درصد کربن آلی، درصد نیتروژن و میزان فسفر قابل جذب خاک داشت. استفاده از کود شیمیایی (NPK) و کود گاوی نسبت به شاهد باعث افزایش ۱۶/۰۴ و ۱۰/۳۷ درصدی عملکرد دانه شد. اما نقش کاربرد کودهای زیستی به افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک محدود شد. با توجه به اثر مثبت کودهای آلی و زیستی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک، بیشترین درصد نیتروژن زیست توده خرفه از تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای و تیمار تلفیق کود گاوی و میکوریزا حاصل شد. همچنین، بیشترین درصد فسفر زیست توده خرفه متعلق به تیمار تلفیق کود گاوی و میکوریزا بود.

واژه‌های کلیدی: بیوسولفور، کود گاوی، میکوریزا، نیتروکسین، ورمی کمپوست

مقدمه

حاصلخیزی خاک می‌باشد اما تخریب ساختمان خاک، افزایش هزینه‌های تولید و آلودگی محیط زیست نگران کننده است؛ بنابراین، کاهش کودهای شیمیایی و جایگزین نمودن آن‌ها با نهادهای طبیعی و درون مزرعه‌ای امری اجتناب ناپذیر است (Den Hollander et al., 2007).

استفاده از گیاهان خانواده بقولات به عنوان کود سبز در تناوب با گیاهان زراعی می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای کاهش کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنی باشد. لگوم‌ها به دلیل داشتن توانایی تثبیت نیتروژن هوا و همچنین فراهم کردن شرایط برای فعالیت ریزجانداران مفید خاکزی، به طور گسترده‌ای در نظام‌های زراعی به عنوان گیاهان کود سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hooker et al., 2008). در تحقیقی، استفاده از کود سبز باعث افزایش درصد ماده آلی، درصد نیتروژن و درصد فسفر موجود در خاک

با توجه به رشد جمعیت به ویژه در سال‌های اخیر، تأمین امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های هر کشور می‌باشد. یکی از راه‌های افزایش تولید محصولات، استفاده از منابع کودی بوده که در سال‌های اخیر به سمت مصرف کودهای شیمیایی سوق داده شده است. هرچند استفاده از کودهای شیمیایی سریع‌ترین راه برای تأمین

۱- دانشجوی دکتری، بوم‌شناسی زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، بیرجند، ایران

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

شد (Adekiya et al., 2017). در تحقیقی دیگر، استفاده از مخلوط ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia panunica* L.) با جو (*Hordeum vulgare* L.) به‌عنوان کود سبز در مقایسه با شاهد (عدم کاشت گیاه) باعث افزایش عملکرد دانه نخود (*Cicer arietinum* L.) شد (Ghalavand et al., 2009).

کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست و کود دامی دارای قدرت بالای جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی، تخلخل زیاد، تهویه و زهکشی مناسب در خاک بوده و استفاده از آن در کشاورزی پایدار، علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل می‌نماید (Azeez et al., 2010). در تحقیقی که به‌منظور بررسی تأثیر کود گاوی، نیتروژن (از منبع اوره) و تلفیق آن‌ها بر روی خصوصیات شیمیایی خاک انجام گرفت بیشترین میزان کربن آلی و نیتروژن خاک از کود گاوی حاصل شد (Salehi et al., 2017). در تحقیقی دیگر، مصرف کود دامی موجب افزایش میزان ماده آلی، نیتروژن و فسفر خاک شد (Concepcion Ramos, 2017). در تحقیقی، استفاده از کود گاوی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد (عدم استفاده از کود) باعث افزایش عملکرد دانه زیره سیاه (*Bunium persicum* Boiss) شد (Nourihoseini et al., 2016).

در سال‌های اخیر، استفاده از کودهای زیستی به‌منظور افزایش حاصلخیزی خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهبردهای تغذیه گیاه برای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار مورد توجه برنامه‌ریزان امر تولید قرار گرفته است (Rezvani Moghaddam et al., 2014). ازجمله این کودهای زیستی می‌توان به قارچ میکوریزا و باکتری‌های ازتوباکتر، آزوسپریلوم و تیوباسیلوس اشاره کرد. نتایج مطالعه‌ای دوساله درخصوص تلقیح خاک با قارچ میکوریزا (مخلوط گونه‌های گلوموس اینترادایسیس و گلوموس اتونیکاتوم) نشان داد که در سال اول آزمایش، تلقیح با قارچ میکوریزا باعث افزایش میزان نیتروژن کل خاک شد اما اثر آن بر میزان فسفر خاک معنی‌دار نبود. در سال دوم آزمایش، هیچ‌کدام از این صفات تحت تأثیر میکوریزا قرار نرفت (Kohanmoo et al., 2015). نتایج مطالعه دیگر نشان داد که مصرف نیتروکسین باعث افزایش درصد نیتروژن و کاهش pH خاک شد اما تأثیری بر هدایت الکتریکی خاک نداشت (Jahan et al., 2014). همچنین در تحقیقی، مصرف بیوسولفور باعث کاهش pH خاک شد (Seyyedi et al., 2015). در تحقیقی دیگر، کاربرد کود زیستی نیتروکسین نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) باعث افزایش عملکرد دانه خرفه شد (Inanloofar et al., 2013).

نیتروژن و فسفر مهم‌ترین عناصر حاصلخیزی خاک بوده و بخش اصلی مصرف کودهای شیمیایی را تشکیل می‌دهد. نیتروژن به دلیل آب‌شویی و تصعید و فسفر به علت کم‌حرکی در خاک به‌طور کارآمد جذب گیاه نمی‌شوند. تحقیقات نشان داده است که مصرف کودهای

آلی و به‌ویژه کودهای زیستی از طریق فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در آن‌ها ضمن کمک به جذب بیشتر عناصر غذایی و افزایش عملکرد گیاه موجب کاهش اثرات ناگوار زیست‌محیطی مانند تثبیت و تجمع بیش‌ازحد عناصر در خاک و آلوده شدن آب‌های زیرزمینی می‌شود (Rahimzadeh et al., 2013). نتایج تحقیقی در ارتباط با جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی بادرشو (*Dracocephalum moldavica* L.) نشان داد که بیشترین میزان جذب نیتروژن و فسفر به‌ترتیب از تلقیح با نیتروکسین و تیمار ترکیبی بیوسولفور و فسفات‌ها بارور ۲ حاصل شد (Rahimzadeh et al., 2013). این در حالی بود که در تحقیقی دیگر، مصرف کودهای آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) و کودهای زیستی (میکوریزا، نیتروکسین و بیوسولفور) تأثیری بر میزان جذب نیتروژن و فسفر زیست‌توده سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) نداشت (Rezvani Moghaddam et al., 2014). در تحقیقی، کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) باعث افزایش عملکرد دانه خرفه شد (Inanloofar et al., 2013).

خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گیاهی یک‌ساله و چهار کربنه از خانواده Portulacaceae است که به تنش‌های محیطی ازجمله شوری و خشکی مقاوم بوده و برای اهداف گوناگون از جمله تغذیه انسان، صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد (Kafi and Rahimi et al., 2010; Rahimi et al., 2011; Rahimi et al., 2010). کشت گیاهان دارویی بر پایه کشاورزی پایدار، کیفیت آن‌ها را تضمین کرده و احتمال اثرات منفی کاربرد نهادهای شیمیایی روی کیفیت دارویی این گیاهان را کاهش می‌دهد (Rahimzadeh et al., 2013).

با توجه به اینکه ایران از اقلیم خشک و نیمه‌خشک برخوردار بوده و خاک‌های آن اغلب با کمبود مواد آلی (کمتر از یک درصد) مواجه هستند و از طرف دیگر آهکی بودن این خاک‌ها مانع از جذب عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌حرکی مانند فسفر می‌شوند (Rahimzadeh et al., 2013). بنابراین، جایگزین نمودن کودهای آلی و بیولوژیک با کودهای شیمیایی و یا کاربرد تلفیقی آن‌ها، ضمن آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مطابق با نیاز گیاه (Rezvani Moghaddam et al., 2014) و افزایش کارایی نهاده‌ها از طریق توسعه ریشه گیاه، جذب بیشتر آب و عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (Ebrahimian et al., 2017) باعث پایداری نظام کشاورزی در درازمدت می‌شود.

با توجه به اطلاعات اندک در مورد مدیریت تغذیه‌ای گیاهان دارویی و در راستای افزایش حاصلخیزی خاک و لزوم توجه به کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جذب مناسب عناصر غذایی توسط گیاه، این پژوهش با هدف تأثیر مدیریت حاصلخیزی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب عناصر نیتروژن و فسفر توسط زیست‌توده خرفه در شهرستان بیرجند به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک است. میانگین بارندگی ۳۰ ساله این منطقه ۱۵۲/۲ میلی‌متر، حداکثر مطلق دما ۴۲/۶، حداقل مطلق دما ۲۱/۵- و متوسط دمای ماهیانه ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد است. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در دو سال زراعی مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

این آزمایش‌ها در دو سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. محل

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در دو سال مورد مطالعه

Table 1- Results of soil analysis at 0-30 cm depth in two years studied

سال زراعی Crop year	بافت خاک Texture	هدایت الکتریکی EC (dS. m ⁻¹)	اسیدیته pH	مواد آلی OM (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)
۱۳۹۳-۹۴ 2013-2014	لوم رسی Loam- clay	2.89	7.14	0.46	0.147	5.4	276
۱۳۹۴-۹۵ 2015-2016	لوم Loam	7.30	7.60	0.70	0.073	12.4	297

نوع کود زیستی شامل: نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم)، میکوریزا (گلواموس اینترادیسس)، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس) + گوگرد و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) بودند. در این تحقیق اندازه هر کرت ۳×۴ متر (۱۲ مترمربع)، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها سه متر در نظر گرفته شد.

در آزمایش دوم، بر اساس نیاز گیاه خرفه و آزمون خاک، کود NPK (با مقادیر خالص ۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) اعمال شد. کودهای فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم)، یک روز قبل از کاشت در سطح کرت‌های مورد نظر پخش و با خاک مخلوط شده و کود شیمیایی نیتروژن (از منبع اوره) نیز به‌صورت سرک در دو مرحله، نیمی در ابتدای کاشت، هم‌زمان با کاربرد کودهای دیگر و نیمی دیگر پس از پایان چین اول خرفه و شروع چین دوم به‌صورت سرک به خاک اضافه شد. با توجه به اینکه هر یک از کرت‌های آزمایش باید از میزان نیتروژن مساوی از منابع آلی و شیمیایی برخوردار باشند لذا مقادیر کود دامی و ورمی‌کمپوست بر اساس مقدار نیتروژن توصیه‌شده (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) برآورد و اعمال شد. با توجه به اینکه از کل عناصر موجود در کود دامی مقدار ۵۰ درصد در سال اول آزاد می‌شود، مقدار به‌دست آمده برای کود دامی دو برابر مقادیر نیتروژن توصیه‌شده در نظر گرفته شد (Rezvani Moghaddam et al., 2014). نتایج حاصل از آنالیز کود دامی و ورمی‌کمپوست به تفکیک دو سال آزمایش در جدول ۲ آمده است.

آزمایش اول، به‌صورت طرح کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل کود سبز: شاهد (بدون کود سبز)، ماشک گل خوشه‌ای (Vicia villosa L.)، منداب (Eruca sativa L.) و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای و عامل فرعی شامل کود نیتروژن به‌صورت خالص در سه سطح شامل صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود.

در این تحقیق اندازه هر کرت ۳×۴ متر (۱۲ مترمربع)، فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر، فاصله بین کرت‌های اصلی سه متر و فاصله بین بلوک‌ها سه متر در نظر گرفته شد. در اوایل آبان ماه آماده‌سازی زمین صورت گرفت. کاشت منداب و ماشک گل خوشه‌ای در سال اول آزمایش در ۲۰ آبان ماه ۱۳۹۳ و در سال دوم آزمایش در پنجم آبان ماه ۱۳۹۴ با دست به‌صورت خشکه‌کاری و کرتی انجام گرفت. با توجه به سرمازدگی اندک منداب و ماشک گل خوشه‌ای در سال اول آزمایش، کاشت این گیاهان در سال بعد زودتر انجام شد. میزان بذر مصرفی برای منداب ۲۰ کیلوگرم در هکتار (وزن هزار دانه ۳ گرم)، برای ماشک گل خوشه‌ای ۱۳۵ کیلوگرم در هکتار (وزن هزار دانه ۵۴ گرم) و مخلوط دو گیاه منداب و ماشک گل خوشه‌ای به‌ترتیب ۱۰ و ۶۷/۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد. پس از تکمیل دوره رویشی و قبل از ورود به دوره زایشی، اندام‌های هوایی منداب (سال اول آزمایش: در تاریخ ۲۸ اسفند ۱۳۹۳ و سال دوم آزمایش: در تاریخ ۲۷ اسفند ۱۳۹۴) و ماشک گل خوشه‌ای (سال اول آزمایش: ۱۰ فروردین ۱۳۹۴ و سال دوم آزمایش: ۲۵ فروردین ۱۳۹۵) با تیلر به زمین برگردانده شد.

آزمایش دوم، به‌صورت طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار منبع تأمین‌کننده نیتروژن شامل: کود دامی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی (NPK) و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) و نیز چهار

جدول ۲- نتایج تجزیه کود گاوی و ورمی کمپوست در دو سال زراعی مورد مطالعه
Table 2- Analysis of cow manure and vermicompost studied in two crop year

سال زراعی Crop year	نوع کود Type of fertilizer	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	کربن به نیتروژن (C/N)
۱۳۹۳-۹۴	ورمی کمپوست Vermicompost	6.70	7.52	17.7	1.54	0.71	0.28	11.49
2014-2015	کود گاوی Cow manure	4.56	7.95	6.78	0.59	0.50	0.32	11.49
۱۳۹۴-۹۵	ورمی کمپوست Vermicompost	7.78	7.70	7.70	0.78	0.32	0.38	9.87
2015-2016	کود گاوی Cow manure	8.26	7.40	7.10	0.60	0.28	0.51	11.83

بر اساس محتوی نیتروژن کود دامی (گاوی) و ورمی کمپوست (جدول ۲) میزان کود مورد استفاده در سال اول آزمایش برای کود دامی و ورمی کمپوست به ترتیب ۳۳۸۹۸/۳ و ۶۴۹۳/۵ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم آزمایش ۳۳۳۳۳/۳ و ۱۲۸۲۰/۵۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

جهت تلقیح بذرهای خرفه با میکوریزا از خاک حاوی سویه گلوموس اینترادیسپس استفاده شد که همزمان با کاشت به صورت دولا به تلقیح با خاک حاوی میکوریزا در بالا و پایین بذرها و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هر کرت (۳۰۰ گرم در مترمربع) صورت پذیرفت. خاک حاوی میکوریزا سویه گلوموس اینترادیسپس از شرکت زیست فناوری توران واقع در پارک علم و فناوری شاهرود تهیه شد. اعمال کود نیتروکسین (حاوی باکتری های ازتوباکتر و آروسپیریوم) در یک مرحله به صورت تلقیح با بذور قبل از کاشت (بذر مال) به میزان ۰/۵ لیتر به ازای هر هشت کیلوگرم بذر در هکتار (بر اساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا) انجام شد. البته با توجه به عدم درج نام خرفه در لیست توصیه های کودی این شرکت، از گیاهان نزدیک به آن (کلزا) استفاده شد. تلقیح بذور با نیتروکسین در سایه و دور از تابش مستقیم آفتاب انجام و کرت ها بلافاصله آبیاری شدند. همچنین اعمال کود بیوسولفور (حاوی تیوباسیلوس) به همراه مصرف گوگرد بنتونیت دار در یک مرحله و به صورت تلقیح با بذور به میزان ۶ کیلوگرم بیوسولفور به ازای هر هکتار و ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت دار در هکتار (بر اساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا) انجام شد.

جهت کاشت بذر خرفه از بذور اصلاح شده با تیپ رشدی عمودی استفاده شد. عملیات کاشت خرفه در هر دو آزمایش همزمان و در سال اول، ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۴ و در سال دوم، ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۵ با دست و به صورت خشکه کاری در کرت های مذکور انجام شد. در این آزمایش فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی متر و فاصله بین بوته ۱۵ سانتی متر (تراکم ۱۶۶۶۶/۶ بوته در هکتار) در نظر گرفته شد

(Javadi et al., 2017). جهت دستیابی به تراکم فوق، ابتدا بذور با تراکم بالا کشت شد، سپس با عمل تنک کردن در دو مرحله شش و هشت برگ، تراکم مورد نظر حاصل شد. در آزمایش اول، مصرف کود نیتروژن بر اساس تجزیه خاک انجام گرفت. کود نیتروژن بر اساس تیمار مورد مطالعه از منبع اوره در دو مرحله (یک دوم قبل از کاشت و در اوایل بهار، یک دوم پس از چین اول) به صورت سرک در اختیار گیاه قرار گرفت. عملیات مبارزه با علف های هرز طی سه نوبت با دست انجام پذیرفت. در طی فصل رشد این گیاه دو چین برداشت (چین اول در سال اول آزمایش در تاریخ ۹۴/۴/۲۸ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۹۵/۵/۱۸، چین دوم در سال اول آزمایش در تاریخ ۹۴/۶/۲۶ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۹۵/۷/۱۰) شد. جهت تعیین عملکرد دانه پس از حذف ردیف های کناری و ۵/۰ متر ابتدا و انتهای هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن ۷۰ درصد کپسول ها) برداشت صورت پذیرفت. بوته ها پس از برداشت به مدت چند روز در هوای آزاد قرار گرفته سپس اقدام به جدا کردن دانه ها و جمع آوری و توزین آن ها شده و عملکرد دانه محاسبه شد. جهت تعیین درصد نیتروژن و فسفر موجود در زیست توده خرفه، نمونه ها به صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن ۷۰ درصد کپسول ها) برداشت شدند. سپس نمونه ها در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۷۲ ساعت خشک و توسط آسیاب پودر شدند. جهت تعیین درصد نیتروژن بافت گیاه، ابتدا نمونه های آسیاب شده با استفاده از اسیدسولفوریک و کاتالیزور هضم و سپس مقدار نیتروژن در عصاره حاصل توسط روش کج لندال (Bremner and Mulvaney, 1965) اندازه گیری شد. همچنین، درصد فسفر بافت گیاه به روش مورفی و رایلی (Morphy and Riley, 1962) اندازه گیری شد.

نمونه برداری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری و از سه مکان در هر کرت انجام شده و باهم مخلوط شدند. نمونه های خاک در هوای آزاد قرار داده شده و سپس از الک ۲ میلی متری عبور داده

افزایش نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار درصد کربن آلی و نیتروژن خاک کاهش یافت. در تیمار منداب، افزایش نیتروژن باعث کاهش درصد کربن آلی و نیتروژن خاک شد. این در حالی بود که با افزایش نیتروژن در تیمار ماشک گل خوشه‌ای درصد کربن آلی و نیتروژن خاک افزایش یافت. در تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای افزایش نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش درصد کربن آلی و نیتروژن خاک شد (جدول ۵). نتایج تحقیقی حاکی از آن بود که با افزایش نیتروژن و در تیمار حفظ بقایا در مقایسه با تیمار برداشت بقایا، کربن آلی خاک افزایش یافت (Mirzashahi et al., 2016). نقش زیست‌توده میکروبی خاک در تغییر مواد آلی خاک مسلم است. به‌طوری‌که گردش و معدنی شدن پیش ماده‌های آلی اغلب ناشی از زیست‌توده میکروبی خاک است (Rathke et al., 2005). مطالعات برخی محققان حاکی از رفتار نامنظم کربن زیست‌توده میکروبی در اثر استفاده از کودهای شیمیایی می‌باشد (Yevdokimov et al., 2008). به‌طوری‌که کاربرد کودها در شرایط محدودیت عناصر غذایی اثر محرک بر رشد میکروبی خاک داشته (Hoyle et al., 2006) و از طرفی دیگر مقادیر زیاد کود نیتروژن به تنش اسمزی و مرگ سلولی ریزجاندانان حساس منجر شده و قابلیت استفاده از منابع کربنی از مواد آلی (سلولز و لیگنین) خاک به دلیل غیرفعال شدن آنزیم لیگنیناز را افزایش می‌دهد (Yevdokimov et al., 2008).

در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر منابع آلی و شیمیایی و اثرمتقابل منابع آلی، شیمیایی و زیستی بر درصد کربن و نیتروژن خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر کود زیستی و سایر اثرات دوگانه و سه‌گانه بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کود گاوی میزان کربن آلی و نیتروژن خاک را نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) به ترتیب ۱۵ و ۱۱/۳۹ درصد افزایش داد، اما تفاوت آماری معنی‌داری بین سایر تیمارهای مورد مطالعه مشاهده نشد (جدول ۷). نتایج برخی تحقیقات حاکی از تأثیر مصرف کود دامی بر افزایش درصد کربن و نیتروژن خاک می‌باشد (Salehi et al., 2017). در این پژوهش، به جهت همسان‌سازی میزان نیتروژن کودهای شیمیایی و آلی مورد مطالعه و توجه به این نکته که کود گاوی در سال اول ۵۰ درصد نیتروژن را آزاد می‌نماید، میزان کود گاوی اضافه‌شده به خاک دو برابر میزان کودهای ورمی‌کمپوست و شیمیایی بود (Rezvani Moghaddam et al., 2014). بنابراین انتظار می‌رفت میزان کربن آلی موجود در خاک در تیمار کود گاوی بیشتر از سایرین باشد.

شدند. میزان کربن آلی خاک به روش والکی و بلک از طریق اکسید کربن آلی خاک در مجاورت دی‌کرومات پتاسیم و اسید غلیظ و سپس عیارسنجی با محلول سولفات فرو آمونیوم اندازه‌گیری شد (Walkly and Black, 1934). نیتروژن کل با استفاده از روش کج‌لدال (Bremner and Mulvaney, 1965) و فسفر قابل جذب با استفاده از روش اولسن (Olsen et al., 1954) اندازه‌گیری شدند. میزان اسیدیته خاک، بر روی گل اشباع از طریق دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی بر روی عصاره اشباع خاک از طریق دستگاه EC متر تعیین شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه مرکب آماری با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 انجام پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

درصد کربن آلی و نیتروژن خاک

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر کود سبز و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر درصد کربن آلی و نیتروژن خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر نیتروژن و سایر اثرات دوگانه و سه‌گانه بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کود سبز نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) باعث افزایش درصد کربن آلی و نیتروژن خاک شد. بیشترین کربن آلی (۰/۹ درصد) و نیتروژن خاک (۰/۰۸۶ درصد) از تیمار استفاده از ماشک گل خوشه‌ای حاصل شد و تیمار منداب و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای پس از آن در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). نتایج برخی مطالعات به تأثیر مثبت کاربرد کود سبز بر کربن آلی و نیتروژن خاک اشاره کردند (Dabighi et al., 2016; Adekiya et al., 2017). در تحقیقی، استفاده از کودهای سبز منداب به دلیل زیست‌توده بالا و خلر به علت تثبیت نیتروژن به روش همزیستی باعث افزایش ماده آلی خاک شد (Poorhasankhani Dowlatabad et al., 2015). نتایج مطالعه‌ای حاکی از افزایش نیتروژن خاک در اثر کاربرد خلر و شبدر ایرانی به‌عنوان کود سبز بود (Jahan et al., 2014). لگوم‌ها به دلیل داشتن توانایی تثبیت نیتروژن هوا و فراهم کردن شرایط برای فعالیت ریز جاندانان مفید خاکزی، به‌طور گسترده‌ای در نظام‌های زراعی به‌عنوان کود سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hooker et al., 2008).

نتایج مقایسه میانگین اثرمتقابل کود سبز و نیتروژن بر درصد کربن آلی و نیتروژن خاک نشان داد که در شاهد (عدم مصرف کود) با

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (مربعات میانگین) تأثیر کود سبز و نیتروژن بر خصوصیات شیمیایی خاک، جذب نیتروژن زیست توده و عملکرد دانه خرفه
Table 3- Combined variance analysis (mean squares) effect of green manure and nitrogen on soil chemical properties, biomass N adsorption and grain yield Purslane

منابع تغییرات	S. O.V	درجه آزادی d.f	درصد کربن خاک Soil organic carbon percentage	درصد نیتروژن خاک Nitrogen percentage of soil	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	درصد نیتروژن زیست توده Percentage of nitrogen biomass	عملکرد دانه Grain yield
سال	Year (Y)	1	0.06*	0.0002*	119.6**	10.12**	12.73**	0.17**	2173186**
تکرار (سال)	Rep (Y)	4	0.00003	0.00001	26.49	0.008	0.37	0.009	47538
کود سبز	Green manure (A)	3	0.14**	0.0006**	32.41**	0.74**	0.02 ^{ns}	0.11**	78041 ^{ns}
سال × کود سبز	Y×A	3	0.007 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	1.30 ^{ns}	0.69**	0.002 ^{ns}	0.09**	83010 ^{ns}
خطای اصلی	E _a	12	0.015	0.00006	1.33	0.006	0.07	0.006	148203
نیتروژن	Nitrogen (B)	2	0.014 ^{ns}	0.00006 ^{ns}	6.05**	0.007**	0.14**	0.029 ^{ns}	203927**
سال × نیتروژن	Y×B	2	0.00003 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.003 ^{ns}	16241 ^{ns}
کود سبز × نیتروژن	A×B	6	0.092**	0.0004**	6.71**	0.004**	0.17**	0.13**	111751*
سال × کود سبز × نیتروژن	Y×A×B	6	0.00005 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.004 ^{ns}	41618 ^{ns}
خطای فرعی	E _b	32	0.0095	0.00004	0.74	0.0003	0.01	0.012	35231
ضریب تغییرات	CV (%)		12.22	8.24	13.19	0.22	6.19	10.01	13.24

ns و * به ترتیب معنی دار در سطح ۱٪ و ۵٪ غیر معنی دار می باشد.
**، * and ^{ns} are significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر کود سبز بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و جذب نیتروژن توسط خرفه

Table 4- Comparison of the effect of green manure on some chemical properties of soil and N uptake by Purslane

کود سبز Green manure	کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)	نیتروژن خاک Soil Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH	نیتروژن زیست توده Biomass Nitrogen (%)
شاهد (عدم مصرف کود) Control	0.69 c	0.072 c	5.22 c	7.95 a	1.11 bc
منداب <i>Eruca sativa</i>	0.78 b	0.078 b	6.04 b	7.54 b	1.13 b
ماشک گل خوشه‌ای <i>Vicia villosa</i>	0.90 a	0.086 a	8.38 a	7.55 b	1.04 c
مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای <i>Eruca sativa</i> + <i>Vicia villosa</i>	0.81 b	0.080 b	6.50 b	7.53 c	1.24 a
LSD 5%	0.08	0.005	0.83	0.056	0.056

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$).

منداب و ماشک گل خوشه‌ای و منداب به‌ترتیب باعث افزایش ۶۰/۵۳، ۲۴/۵۲ و ۱۵/۷ درصدی فسفر قابل جذب خاک نسبت به شاهد شد (جدول ۴). نتایج مطالعه محققان متعددی حاکی از افزایش میزان فسفر خاک در اثر مصرف کود سبز می‌باشد (Silva, Carvalho, 2015; Mirzashahi et al., 2016; Adekiya et al., 2017; Trupiano et al., 2017). در تحقیقی به اثر مثبت گیاهان لگوم به‌عنوان کود سبز در افزایش میزان فسفر خاک اشاره شده است (Dabighi et al., 2016). با افزایش سطوح نیتروژن میزان فسفر قابل جذب خاک افزایش یافت (جدول ۹). نتایج برخی محققان حاکی از تأثیر مثبت مصرف نیتروژن بر میزان فسفر قابل جذب خاک است (Mirzashahi et al., 2016; Adekiya et al., 2017). به نظر می‌رسد افزایش نیتروژن از طریق کاهش pH خاک (جدول ۹) باعث افزایش حلالیت فسفر و افزایش آن در خاک شده باشد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که افزایش سطوح نیتروژن در تیمار شاهد و ماشک گل خوشه‌ای موجب افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک شد. این در حالی بود که افزایش نیتروژن در تیمارهای منداب و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای میزان فسفر قابل جذب خاک را کاهش داد (جدول ۵). در این پژوهش، استفاده از ماشک گل خوشه‌ای به همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن باعث افزایش ۲/۴۷ برابری فسفر قابل جذب خاک در مقایسه با شاهد (عدم مصرف کود) شد (جدول ۵). نتایج مطالعه‌ای حاکی از این بود که برگشت بقایای گیاهی همراه با کاربرد نیتروژن باعث افزایش فسفر قابل‌دسترس خاک می‌شود (Mirzashahi et al., 2016).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل منابع آلی، شیمیایی و زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین، میکوریزا و بیوسولفور در تلفیق با ورمی‌کمپوست و همچنین، استفاده از کود زیستی بیوسولفور در تلفیق با کود شیمیایی NPK باعث افزایش درصد کربن و نیتروژن خاک شد، اما در سایر موارد تأثیر کودهای زیستی به‌تنهایی و یا همراه با کود گاوی و NPK با کاهش این صفات همراه بود (جدول ۸). در تحقیقی استفاده تلفیقی از کودهای آلی و زیستی (Mohiti et al., 2011) و در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی موجب افزایش درصد کربن آلی و نیتروژن خاک شد (Ebrahimpour et al., 2012). منبع تأمین انرژی میکروارگانیسم‌ها، کربن آلی موجود در خاک است (Mohiti et al., 2011). بنابراین، به نظر می‌رسد کودهای زیستی از طریق تولید هورمون و تشدید فعالیت میکروارگانیسم‌ها موجب تسریع در تجزیه کربن آلی خاک و کاهش آن شده باشند. نتایج تحقیقی، نشان داد که همبستگی نزدیکی بین مقدار ماده آلی خاک و میزان نیتروژن وجود دارد (Jahan et al., 2014). بنابراین تغییرات ماده آلی بر درصد نیتروژن خاک تأثیرگذار است.

میزان فسفر قابل جذب خاک

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر میزان فسفر قابل جذب خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین در خصوص تأثیر کود سبز بر میزان فسفر قابل جذب خاک نشان داد که استفاده از کود سبز باعث افزایش فسفر قابل جذب خاک شد. به‌طوری‌که استفاده از تیمارهای ماشک گل خوشه‌ای، مخلوط

جدول ۵ - مقایسه میانگین اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر خصوصیات شیمیایی خاک، جذب نیتروژن و عملکرد دانه خرفه

کود سبز Green manure	سطوح کود نیتروژن Nitrogen fertilizer levels (kg. ha ⁻¹)	کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)	نیتروژن خاک Soil Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil (mg.kg ⁻¹)	pH	اسیدیته	هدایت الکتریکی EC (dS. m ⁻¹)	نیتروژن زیست توده Biomass Nitrogen (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg. ha ⁻¹)
شاهد (عدم مصرف کود) Control	0	0.80 cd	0.079 cd	4.23 e	7.95 a	7.95 a	1.84 e	0.95 d	1256.68 c
	50	0.47 e	0.057 e	5.96 d	7.95 a	7.95 a	2.16 abc	1.08 cd	1361.37 bc
	100	0.79 cd	0.079 cd	5.46 d	7.95 a	7.95 a	2.22 abc	1.30 a	1350.94 bc
منداب <i>Eruca sativa</i>	0	0.81 bcd	0.080 bcd	6.43 cd	7.59 b	7.59 b	2.22 abc	1.23 b	1345.67 bc
	50	0.77 d	0.078 d	5.73 d	7.52 d	7.52 d	2.30 a	1.03 cd	1456.43 bc
	100	0.74 d	0.075 d	5.96 d	7.52 d	7.52 d	2.12 bc	1.14 bc	1505.35 b
ماشک گل خوشدای <i>Vicia villosa</i>	0	0.85 bcd	0.083 bcd	7.21 bc	7.55 c	7.55 c	2.25 ab	0.99 d	1322.83 bc
	50	0.90 abc	0.086 abc	7.48 b	7.55 c	7.55 c	2.08 cd	0.99 d	1309.87 bc
	100	0.96 a	0.090 a	10.46 a	7.55 c	7.55 c	2.15 abc	1.16 bc	1798.94 a
مخلوط منداب و ماشک گل خوشدای	0	0.76 d	0.077 d	7.00 bc	7.55 c	7.55 c	2.13 bc	1.36 a	1382.98 bc
	50	0.92 ab	0.088 ab	6.25 cd	7.55 c	7.55 c	1.93 de	1.29 a	1433.44 bc
<i>Eruca sativa</i> + <i>Vicia villosa</i>	100	0.76 d	0.077 d	6.25 cd	7.48 e	7.48 e	2.25 ab	1.08 cd	1476.05 bc
LSD 5%		0.11	0.007	1.01	0.02	0.02	0.11	0.12	220.7

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$).

جدول ۶ - تجزیه واریانس مرکب (مربعات میانگین) تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر خصوصیات شیمیایی خاک، جذب نیتروژن، فسفر و عملکرد دانه خرفه

منابع تغییرات	S. O.V	درجه آزادی d.f	درصد کربن خاک Soil organic carbon percentage	درصد نیتروژن خاک Nitrogen percentage of soil	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil	pH	اسیدیته	هدایت الکتریکی EC	درصد نیتروژن Percentage of nitrogen biomass	درصد فسفر Percentage of phosphorus biomass	عملکرد دانه Grain yield
سال	Year (Y)	1	0.001 ^{ns}	0.000008 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.15 ^{**}	0.01 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	126722 ^{ns}
تکرار (سال)	Rep (Y)	4	0.002	0.00000013	0.35	0.05	3.01	0.25	0.0009	0.0009	369229
منابع آلی و شیمیایی	Inorganic and Organic Sources (A)	3	0.097 ^{**}	0.00043 ^{**}	24.57 [*]	0.01 ^{**}	0.19 ^{ns}	0.15 [*]	0.264 ^{**}	0.264 ^{**}	491639 ^{**}
سال × منابع آلی و شیمیایی	Y×A	3	0.00002 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	181512 ^{ns}
کود زیستی	Biofertilizer (B)	3	0.00091 ^{ns}	0.000004 ^{ns}	21.91 [*]	0.01 ^{**}	0.08 ^{ns}	0.120 ^{ns}	0.0039 ^{**}	0.0039 ^{**}	48424 ^{ns}
سال × کود زیستی	Y×B	3	0.00001 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	415623 ^{ns}
منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی	A×B	9	0.01 ^{**}	0.000062 ^{**}	25.62 ^{**}	0.003 ^{**}	0.39 ^{**}	0.459 ^{**}	0.0117 ^{**}	0.0117 ^{**}	172843 ^{ns}
سال × منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی	Y×A×B	9	0.00001 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	390653 ^{ns}
خطای اصلی	E _a	60	0.002	0.000011	6.03	0.001	0.1	0.048	0.00089	0.00089	112636
ضرب تغییرات	CV (%)		5.97	4.05	31.74	0.45	14.18	16.59	9.55	9.55	18.82

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

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

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و شیمیایی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک، جذب نیتروژن، فسفر و عملکرد دانه خرفه

Table 7- Comparison of the effect of organic and inorganic on some chemical properties of soil, N, P uptake and grain yield Purslane

منابع کود آلی و شیمیایی Inorganic and Organic Sources	درصد کربن خاک Soil organic carbon percentage	درصد نیتروژن خاک Nitrogen percentage of soil	فسفر قابل جذب خاک phosphorus absorbable in soil (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH	درصد نیتروژن زیست توده Percentage of nitrogen biomass	درصد فسفر زیست توده Percentage of phosphorus biomass	عملکرد دانه Grain yield (kg. ha ⁻¹)
شاهد (عدم مصرف کود) Control	0.80 b	0.079 b	6.91 b	7.94 a	1.30 b	0.20 d	1644.88 b
کود گاوی Cow manure	0.92 a	0.088 a	8.25 ab	7.92 b	1.30 b	0.36 b	1835.36 ab
ورمی کمپوست Vermicompost	0.80 b	0.079 b	6.86 b	7.88 c	1.24 b	0.24 c	1690.50 b
کود شیمیایی NPK	0.79 b	0.079 b	8.90 a	7.91 b	1.43 a	0.43 a	1959.29 a
LSD 5%	0.02	0.001	1.41	0.01	0.12	0.01	193.8

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$).

استفاده از کودهای زیستی مورد مطالعه باعث افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک شد (جدول ۱۰). نتایج مطالعات برخی محققان به افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک در اثر مصرف کود زیستی اشاره دارد (Ebrahimpour *et al.*, 2012; Seyyedi *et al.*, 2015). به نظر می‌رسد کودهای زیستی از طریق تولید هورمون و کاهش pH خاک و افزایش حلالیت فسفر موجب افزایش آن در خاک شده باشد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و کود زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی به‌تنهایی و یا در تلفیق با کودهای آلی (کود گاوی و ورمی کمپوست) باعث افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک شد. در تیمار مصرف کود شیمیایی NPK استفاده از کود زیستی تأثیری بر میزان فسفر قابل جذب خاک نداشت، اما کود شیمیایی NPK در تلفیق با میکوریزا باعث کاهش ۱۹/۱۴ درصدی میزان فسفر قابل جذب خاک نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود زیستی) شد (جدول ۸). در این پژوهش، بیشترین میزان فسفر قابل جذب خاک از تلفیق کود گاوی و میکوریزا با افزایش ۲/۷۳ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) حاصل شد و پس از آن استفاده از کود شیمیایی NPK در تلفیق با نیتروکسین و بیوسولفور در رتبه بعدی قرار داشت (جدول ۸). در تحقیقی، استفاده از منابع اصلاح‌کننده خاک (ترکیب ورمی کمپوست، تیوباسیلوس و گوگرد) باعث افزایش فسفر قابل جذب خاک شد (Seyyedi *et al.*, 2015). با توجه به ویژگی‌های مثبت کودهای زیستی از جمله توانایی محلول‌سازی فسفات غیر آلی (Rezvani *et al.*, 2014) و کاهش pH خاک (Moghaddam *et al.*, 2014) و از طرفی نقش مثبت کودهای آلی در بهبود ساختمان خاک، نگهداری رطوبت خاک، فراهمی مواد غذایی به‌ویژه فسفر و افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک (Jahan *et al.*,

در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر منابع آلی و شیمیایی و اثر کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل منابع آلی، شیمیایی و زیستی بر درصد فسفر قابل جذب خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کود شیمیایی NPK و کود گاوی میزان فسفر قابل جذب خاک را به‌ترتیب ۲۸/۷۹ و ۱۹/۳۹ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش داد. این در حالی بود که تفاوت آماری معنی‌داری بین استفاده از ورمی کمپوست و شاهد وجود نداشت (جدول ۷). نتایج مطالعات متعددی حاکی از افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک در اثر کاربرد کود شیمیایی NPK می‌باشد (Mirzashahi *et al.*, 2016; Mohiti *et al.*, 2011; Adekiya *et al.*, 2017). به جهت همسان‌سازی میزان نیتروژن کودهای شیمیایی و آلی مورد مطالعه و توجه به این نکته که کود گاوی در سال اول ۵۰ درصد نیتروژن را آزاد می‌نماید، میزان کود گاوی اضافه‌شده به خاک دو برابر میزان کودهای ورمی کمپوست و شیمیایی بود (Rezvani *et al.*, 2014). بنابراین، براساس درصد فسفر موجود در کود گاوی و ورمی کمپوست (جدول ۲) میانگین دوساله میزان فسفر اضافه‌شده به خاک (با احتساب فسفر اولیه موجود در خاک) توسط کود شیمیایی NPK، کود گاوی و ورمی کمپوست به‌ترتیب ۱۵۰/۳۵، ۱۳۱/۷۶ و ۴۳/۹۱ کیلوگرم در هکتار بود. درنتیجه، انتظار می‌رود با توجه به آزادسازی سریع‌تر عناصر غذایی توسط کودهای شیمیایی نسبت به کودهای آلی و میزان فسفر افزوده شده به خاک توسط تیمارهای کودی مورد مطالعه، مصرف کود شیمیایی NPK و پس از آن تیمار کود گاوی نسبت به سایرین میزان فسفر بیشتری به خاک اضافه نماید.

موجب کاهش درصد فسفر قابل جذب خاک می‌شود (Rezvani, Moghaddam and Seyyedi, 2014).

استفاده تلفیقی از این کودها در افزایش درصد فسفر قابل جذب خاک مؤثر می‌باشد. همچنین، استفاده از کودهای شیمیایی از طریق تأثیر منفی بر فعالیت قارچ میکوریزا و کلونیزاسیون میکوریزایی

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل کود آلی، شیمیایی و زیستی بر خصوصیات شیمیایی خاک، جذب نیتروژن و فسفر توسط خرفه

منابع کود آلی و شیمیایی Inorganic and Organic Sources	کود زیستی Biofertilizer	کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)	نیتروژن خاک Soil Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب خاک phosphorus absorbable in soil (mg.kg ⁻¹)	pH	هدایت الکتریکی EC (dS. m ⁻¹)	نیتروژن زیست‌توده Biomass Nitrogen (%)	فسفر زیست‌توده Biomass phosphorus (%)
منابع کود آلی و شیمیایی Inorganic and Organic Sources	Control	0.83 def	0.081 def	4.37 f	7.96 b	2.11 bcd	1.19 e	0.22 f
	Nitroxin	0.77 fgh	0.078 fgh	8.15 bcd	7.91 c	2.45 ab	1.46 cd	0.23 f
	Myconhiza	0.81 def	0.080 def	6.56 cdef	8.00 a	2.78 a	1.34 cde	0.17 h
	Biosulfur	0.77 fgh	0.078 fgh	8.55 bc	7.91 c	2.24 bcd	1.30 de	0.18 gh
کود گاو Cow manure	Control	0.97 a	0.091 a	7.36 bcde	7.91 c	2.15 bcd	1.18 ef	0.29 e
	Nitroxin	0.91 ab	0.087 ab	7.16 cdef	7.91 c	2.08 bcd	0.94 f	0.33 d
	Myconhiza	0.89 bc	0.086 bc	11.94 a	7.96 b	2.08 bcd	1.76 ab	0.43 ab
	Biosulfur	0.91 ab	0.087 ab	6.56 cdef	7.91 c	2.42 abc	1.32 cde	0.37 c
ورمی کمپوست Vermicompost	Control	0.73 h	0.074 h	4.57 ef	7.86 d	2.64 a	1.23 de	0.21 fg
	Nitroxin	0.82 def	0.081 def	10.14 ab	7.91 c	2.11 bcd	1.31 cde	0.24 f
	Myconhiza	0.85 cde	0.083 cde	5.57 def	7.91 c	1.98 d	1.13 ef	0.21 fg
	Biosulfur	0.80 def	0.080 def	7.16 cdef	7.86 d	2.25 bcd	1.29 de	0.30 de
کود شیمیایی NPK	Control	0.78 fgh	0.078 fgh	9.35 abc	7.91 c	2.17 bcd	1.56 bc	0.43 ab
	Nitroxin	0.79 efg	0.079 efg	9.35 abc	7.91 c	2.09 bcd	1.23 de	0.46 a
	Myconhiza	0.74 gh	0.075 gh	7.56 bcd	7.91 c	2.24 bcd	1.09 ef	0.41 b
	Biosulfur	0.86 bcd	0.083 bcd	9.35 abc	7.91 c	2.43 abc	1.82 a	0.41 b
LSD 5%		0.05	0.003	2.83	0.03	0.36	0.25	0.03

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test (p≤0.05).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک پس از برداشت خرفه

Table 9- Comparison of the effect of nitrogen fertilizer on some soil chemical properties after Purslane harvesting

سطوح کود نیتروژن Nitrogen fertilizer levels (kg. ha ⁻¹)	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS. m ⁻¹)
0	6.03 b	7.66 a	2.03 b
50	6.54 a	7.64 b	2.12 a
100	7.03 a	7.63 c	2.18 a
LSD 5%	0.5	0.008	0.07

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$)

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر کود زیستی بر میزان فسفر قابل جذب خاک، اسیدیته خاک و جذب فسفر توسط خرفه

Table 10- Comparison of the effect of bio-fertilizer on the amount of phosphorus available, pH and P adsorption by Purslane

کود زیستی Biofertilizer	فسفر قابل جذب خاک Phosphorus absorbable in soil (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH	درصد فسفر زیست توده Percentage of phosphorus biomass
شاهد (عدم مصرف کود) Control	6.41 b	7.91 b	0.29 b
نیتروکسین Nitroxin	8.70 a	7.91 b	0.32 a
میکوریزا Mycorrhiza	7.91 a	7.94 a	0.31 a
بیوسولفور Biosulfur	7.91 a	7.89 b	0.32 a
LSD 5%	1.41	0.03	0.01

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$).

pH خاک

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود سبز و نیتروژن نشان داد که افزایش سطوح نیتروژن در تیمارهای منداب و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای باعث کاهش pH خاک شد. در بین تیمارهای مورد مطالعه مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از کمترین pH خاک (۷/۴۸) برخوردار بود (جدول ۵). در این پژوهش، میانگین دوساله بیوماس منداب، ماشک گل خوشه‌ای و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای به ترتیب ۶/۲۷، ۱/۱ و ۷/۶۶ تن در هکتار بود. بنابراین، میزان بالای بقایای برگردانده شده به خاک و تحریک فعالیت‌های میکروبی در سطوح بالای نیتروژن موجب شد کمترین pH خاک از تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای و پس از آن تیمار منداب حاصل گردد.

در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر منابع آلی و شیمیایی، اثر کود زیستی و اثر متقابل آن‌ها بر pH خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین حاکی از کاهش pH خاک در اثر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی بود. به‌طوری‌که از بین کودهای آلی و شیمیایی مورد مطالعه ورمی‌کمپوست از کمترین pH خاک برخوردار بود (جدول ۷). نتایج برخی مطالعات حاکی از کاهش pH خاک در اثر استفاده از کودهای آلی و شیمیایی است (Ngo et al., 2012; Ebrahimian et al., 2017). در تحقیقی، دلیل کاهش pH خاک بعد از اضافه نمودن ورمی‌کمپوست تجزیه مواد

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر کود سبز، اثر متقابل سال و کود سبز، اثر نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر pH خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین حاکی از کاهش pH خاک در اثر استفاده از کود سبز بود. به‌طوری‌که از بین کودهای سبز مورد مطالعه مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای از کمترین pH خاک برخوردار بود (جدول ۴). نتایج برخی مطالعات حاکی از کاهش pH خاک در اثر استفاده از کود سبز و یا بقایای گیاهی است (Ebrahimian et al., 2017). به‌طورکلی، تولید دی‌اکسید کربن در طی فرآیند تجزیه مواد آلی (Ebrahimian et al., 2017)، تجزیه ترکیبات آلی و تولید اسیدهای آلی مانند اسیدسیتریک و اسید اگزالیک در طی فرآیند تجزیه بقایای گیاهی (Ebrahimian et al., 2017) از جمله عواملی است که ممکن است منجر به کاهش موضعی pH خاک شود. با افزایش سطوح نیتروژن pH خاک کاهش یافت (جدول ۹). نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد کودهای شیمیایی باعث اسیدی شدن خاک می‌شود (Ngo et al., 2012). اضافه کردن مقدار زیادی از کودها که یون هیدروژن را به‌طور مستقیم یا پس از یکسری واکنش‌ها به خاک می‌افزایند (مانند ترکیبات اوره) باعث کاهش pH و اسیدی شدن خاک می‌شوند (Ngo et al., 2012).

گیاهان پوششی انجام شده بود حاکی از عدم تأثیر کشت گیاهان پوششی بر هدایت الکتریکی خاک بود (Jahan et al., 2014). در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل منابع کود آلی، شیمیایی و زیستی بر هدایت الکتریکی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. اما اثر کود سبز، نیتروژن و سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای آلی، شیمیایی و زیستی نشان داد که استفاده از میکوریزا و نیتروکسین به تنهایی موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد. همچنین، استفاده از ورمی کمپوست نسبت به کود گاوی و کود شیمیایی NPK موجب شد هدایت الکتریکی خاک افزایش یابد. استفاده از کودهای زیستی در تلفیق با ورمی کمپوست تأثیر مثبت داشته و کاهش هدایت الکتریکی خاک را به دنبال داشت. استفاده از کود زیستی بیوسولفور در تلفیق با کود گاوی و کود شیمیایی NPK موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد. اما استفاده از سایر کودهای زیستی در تلفیق با کود گاوی و شیمیایی بر هدایت الکتریکی خاک مؤثر نبود (جدول ۸). نتایج تحقیقی نشان داد که استفاده از ورمی کمپوست موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد (Ahmad Abadi et al., 2012; Trupiano et al., 2017). همچنین، در خصوص تأثیر کودهای زیستی بر هدایت الکتریکی خاک برخی نتایج بیانگر افزایش آن در اثر مصرف نیتروکسین (Ebrahimpour et al., 2012) و برخی دیگر نشان دهنده عدم تأثیر آن (Jahan et al., 2014) می باشند. در مطالعه‌ای بر روی تأثیر منابع اصلاح کننده خاک مشخص شد که استفاده از باکتری تیوباسیلوس همراه با گوگرد و استفاده از ورمی کمپوست همراه با تیوباسیلوس و گوگرد موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد (Seyyedi et al., 2015). در این پژوهش، به نظر می رسد استفاده از کود زیستی بیوسولفور به جهت همراه بودن با گوگرد موجب افزایش میزان املاح خاک به ویژه در تیمار کاربرد کود شیمیایی و افزایش هدایت الکتریکی خاک شده باشد.

درصد نیتروژن زیست توده

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر کود سبز، اثر متقابل سال و کود سبز و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر درصد نیتروژن زیست توده خرفه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. اما اثر نیتروژن و سایر اثرات متقابل معنی دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین نیتروژن زیست توده از تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای (۱/۲۴ درصد) و پس از آن منداب (۱/۱۳ درصد) و کمترین آن از ماشک گل خوشه‌ای (۱/۰۴ درصد) حاصل شد (جدول ۴). عوامل محیطی از قبیل بارندگی، درجه حرارت، طول دوره رشد و حاصلخیزی خاک و تصمیمات مدیریتی از

آلی و تولید اسید کربنیک و اسیدهای آلی ذکر شد (Ahmad Abadi et al., 2012). در خصوص تأثیر کودهای زیستی بر pH خاک نتایج نشان داد که مصرف میکوریزا موجب افزایش pH خاک شد. اما نیتروکسین و بیوسولفور تأثیری بر pH خاک نداشتند (جدول ۱۰). نتایج تحقیقی نشان داد که استفاده از باکتری تیوباسیلوس به همراه گوگرد موجب کاهش pH خاک شد (Seyyedi et al., 2015). در تحقیقی دیگر، استفاده از قارچ میکوریزا تأثیری بر pH خاک نداشت (Gholami et al., 2015).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای آلی، شیمیایی و زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین و بیوسولفور به تنهایی موجب کاهش pH خاک شد. اما استفاده از میکوریزا به تنهایی pH خاک را افزایش داد. استفاده از میکوریزا با کود گاوی موجب افزایش pH خاک شد. اما استفاده از نیتروکسین و بیوسولفور همراه با کود گاوی تأثیری بر pH خاک نداشت. استفاده از نیتروکسین و میکوریزا با ورمی کمپوست موجب افزایش pH خاک شد. اما استفاده از بیوسولفور همراه با ورمی کمپوست تأثیری بر pH خاک نداشت. همچنین، استفاده از کودهای زیستی به همراه کود شیمیایی NPK نتوانست تغییری در pH خاک ایجاد نماید (جدول ۸). به طور کلی، در خاک‌های حاوی کود گاوی، ورمی کمپوست و کود شیمیایی مصرف کودهای زیستی تغییر چندانی در pH خاک ایجاد نکرد (جدول ۸). نتایج تحقیقی نشان داد که استفاده از تیمارهای اصلاح کننده خاک (ترکیب ورمی کمپوست، تیوباسیلوس و گوگرد) باعث کاهش pH خاک شد (Seyyedi et al., 2015). در تحقیقی دیگر، به کاهش pH خاک در اثر مصرف کودهای زیستی اشاره شده است (Ebrahimpour et al., 2012).

هدایت الکتریکی خاک

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر هدایت الکتریکی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. اما اثر کود سبز و سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۳). افزایش سطوح نیتروژن هدایت الکتریکی خاک را افزایش داد (جدول ۹). نتیجه به دست آمده با نتایج شارما و همکاران (Sharma et al., 2011) مطابقت داشت. به نظر می رسد کودهای شیمیایی از طریق افزایش میزان املاح موجود در خاک باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شده باشند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود سبز و نیتروژن نشان داد که افزایش سطوح نیتروژن در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) و تیمارهای کود سبز باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شد. به عبارت دیگر، استفاده از کود سبز نتوانست موجب کاهش و یا تعدیل هدایت الکتریکی خاک شود. در همین ارتباط، نتایج تحقیقی که بر روی

در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر منابع کود آلی و شیمیایی، اثر کود زیستی و اثر متقابل منابع آلی، شیمیایی و کود زیستی بر درصد نیتروژن زیست‌توده خرفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از تیمار کود شیمیایی NPK باعث افزایش ۱۰ درصدی نیتروژن زیست‌توده خرفه نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) شد. تفاوت آماری معنی‌داری بین سایر تیمارهای مورد مطالعه و شاهد وجود نداشت (جدول ۷). در تحقیقی، استفاده از کود شیمیایی موجب افزایش نیتروژن زیست‌توده شد (Singh, 2012). به نظر می‌رسد تسریع در آزادسازی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در کودهای شیمیایی و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی در کودهای آلی دلیل این موضوع باشد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای آلی، شیمیایی و زیستی نشان داد که در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) استفاده از کود زیستی مورد مطالعه باعث افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده شد. استفاده از تیمارهای کود آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) نیز (به‌جز تلفیق کود گاوی با نیتروکسین و تلفیق ورمی‌کمپوست با میکوریزا) باعث افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده خرفه شد. در تیمار کود شیمیایی NPK مصرف کود زیستی بیوسولفور باعث افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده شد اما در سایر موارد این میزان کاهش یافت (جدول ۸). در این پژوهش، استفاده از تیمار کود شیمیایی NPK و بیوسولفور باعث افزایش ۵۲/۹۴ درصدی نیتروژن زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) شد (جدول ۸). در تحقیقی، استفاده از تیوباسیلوس به همراه گوگرد و ترکیب ورمی‌کمپوست و تیوباسیلوس به همراه گوگرد باعث افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده سیاهدانه شد (Seyyedi et al., 2015). در تحقیقی دیگر، بیشترین میزان جذب نیتروژن توسط بادرشو از تلقیح با نیتروکسین حاصل شد (Rahimzadeh et al., 2013). به نظر می‌رسد که حضور کودهای زیستی حاوی باکتری‌ها و قارچ‌های خاص در کنار سایر میکروارگانیسم‌های خاک باعث تشدید و تسریع تجزیه ماده آلی موجود در خاک و توسعه بهتر ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن می‌شوند. همچنین، استفاده از کودهای آلی از طریق فراهم آوردن مواد آلی لازم جهت تأمین انرژی میکروارگانیسم‌ها و از طریق نگهداری بیشتر آب موجود در خاک به توسعه و فعالیت بیشتر این موجودات کمک می‌کند. با توجه به شرایط اقلیمی و ویژگی‌های خاک‌های ایران به‌ویژه pH بالای خاک‌های آهکی، استفاده از بیوسولفور (باکتری تیوباسیلوس همراه با گوگرد) از طریق اکسیداسیون گوگرد موجب کاهش pH خاک و افزایش جذب عناصر غذایی در خاک می‌شود (Rahimzadeh et al., 2013). بنابراین انتظار می‌رود

جمله عملیات خاک‌ورزی و زمان برگرداندن گیاه پوششی به خاک می‌تواند بر مقدار نیتروژن تجمع‌یافته در گیاه پوششی و قابلیت دسترسی آن برای گیاه بعدی تأثیرگذار باشد (Dabighi et al., 2016). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که برخی از گونه‌های گندمیان (Poaceae) و براسیکا (Brassicaceae) در به دام انداختن نیتروژن در پاییز و زمستان به‌خوبی عمل می‌کنند (Shamsaddin Saied et al., 2017). همچنین، در تحقیقی دیگر از گیاهان پوششی غیر لگوم به‌عنوان گیاهان گیرنده نیتروژن جهت جذب نیتروژن باقیمانده در خاک برای جلوگیری از آبشویی نیترات یاد شده است (Dabighi et al., 2016). در تحقیقی، از منداب به‌عنوان بهترین کود سبز به دلیل تولید زیست‌توده بالا و تجمع میزان زیادی از نیتروژن در برگ‌های آن ذکر شده است (Poorhasankhani Dowlatabad et al., 2015). در این پژوهش، تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای به دلیل بیوماس بالاتر نسبت به سایر تیمارها و سهم بالاتر منداب (خانواده براسیکا و غیر لگوم) در این مخلوط، موجب افزایش نیتروژن زیست‌توده خرفه شد. تیمار ماشک گل خوشه‌ای به دلیل تأخیر در برگرداندن آن به خاک از فرصت کافی جهت آزادسازی نیتروژن برخوردار نبوده و از کمترین درصد نیتروژن زیست‌توده در خرفه برخوردار بود.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود سبز و نیتروژن نشان داد که افزایش سطوح نیتروژن در تیمارهای شاهد (عدم مصرف کود) و ماشک گل خوشه‌ای موجب افزایش نیتروژن زیست‌توده خرفه شد. این در حالی بود که در تیمارهای منداب و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای افزایش نیتروژن باعث کاهش نیتروژن زیست‌توده خرفه شد (جدول ۵). در تحقیقی، بیشترین نیتروژن اندام‌های هوایی کلزا از تیمار کود سبز ماش (لگوم) در ترکیب با ۵۰ درصد کود شیمیایی و نیتروکسین حاصل شد. همچنین در این تحقیق، با افزایش نیتروژن درصد نیتروژن اندام‌های هوایی کلزا افزایش یافت (Dabighi et al., 2016). به نظر می‌رسد که در شاهد، افزایش سطوح نیتروژن موجب افزایش قابلیت دسترسی گیاه به نیتروژن شده باشد. همچنین، تأخیر در برگرداندن ماشک گل خوشه‌ای (به دلیل گل‌دهی دیرتر نسبت به منداب) موجب به تعویق افتادن تجزیه بقایا و آزادسازی نیتروژن هم‌زمان با نیاز گیاه شده است. بنابراین، استفاده از نیتروژن معدنی در مقادیر بالا همانند تیمار شاهد موجب افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن و افزایش درصد نیتروژن زیست‌توده در سطوح بالای نیتروژن شده است. در تیمارهای منداب و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای آزادسازی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن همگام با نیاز گیاه در طول فصل رشد خرفه انجام گرفته و افزایش بیشتر نیتروژن ممکن است از طریق مسمومیت خاک باعث کاهش قابلیت دسترسی و جذب نیتروژن و سایر عناصر غذایی شده باشد.

برهمکنش کود شیمیایی NPK و کود زیستی بیوسولفور از یک رابطه هم‌افزایی برخوردار باشد.

درصد فسفر زیست‌توده

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر منابع آلی و شیمیایی، اثر کود زیستی و اثر متقابل آن‌ها بر درصد فسفر زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما سایر اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کود شیمیایی NPK، کود گاوی و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب از افزایش ۲/۱۵، ۱/۸ و ۱/۲ برابری درصد فسفر زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بود (جدول ۷). نتیجه به‌دست آمده با نتایج سایر محققان مطابقت داشت (Rezvani Moghaddam et al., 2014; Seyyedi et al., 2015). با توجه به اینکه استفاده از کودهای آلی و شیمیایی موجب کاهش pH خاک و افزایش حلالیت فسفر شده (جدول ۷) و همچنین، میزان فسفر اضافه‌شده به خاک در تیمارهای NPK و کود گاوی بیشتر از سایرین بوده و آزادسازی عناصر توسط کودهای شیمیایی سریع‌تر است. بنابراین، بیشترین درصد فسفر زیست‌توده در تیمار کود شیمیایی NPK و سپس در تیمار کود گاوی به‌دست آمد. استفاده از کودهای زیستی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) باعث افزایش فسفر زیست‌توده شد (جدول ۱۰). در تحقیقی، استفاده از تیوباسیلوس همراه با گوگرد موجب افزایش درصد فسفر زیست‌توده شد (Seyyedi et al., 2015). در این پژوهش، استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش درصد فسفر قابل جذب خاک شد (جدول ۱۰) و از طرفی استفاده از کودهای زیستی از طریق توسعه ریشه (نیتروکسین و میکوریزا) و کاهش pH خاک و افزایش حلالیت فسفر (بیوسولفور) موجب افزایش درصد فسفر زیست‌توده خرفه شدند.

نتایج اثر متقابل کودهای آلی، شیمیایی و زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی در تلفیق با کودهای آلی موجب افزایش درصد فسفر قابل جذب خاک شد. همچنین، استفاده تلفیقی از کود شیمیایی NPK و نیتروکسین موجب افزایش و کاربرد تلفیقی از کودهای میکوریزا و بیوسولفور موجب کاهش درصد فسفر زیست‌توده خرفه شد. در این پژوهش، ترکیب کود شیمیایی NPK و نیتروکسین و ترکیب کود گاوی و میکوریزا از افزایش به‌ترتیب ۲/۰۹ و ۱/۹۵ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) برخوردار بودند (جدول ۸). در تحقیقی، استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک (ورمی‌کمپوست، تیوباسیلوس و گوگرد) درصد فسفر زیست‌توده سیاهدانه را افزایش داد (Seyyedi et al., 2015). استفاده از کودهای آلی همراه با کودهای زیستی از طریق افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک، آزادسازی تدریجی

عناصر غذایی و ایجاد شرایط مناسب جهت توسعه ریشه گیاه باعث بهبود رشد و جذب فسفر در گیاه می‌شوند (Rezvani Moghaddam et al., 2014). با توجه به نقش نیتروکسین و میکوریزا در توسعه و افزایش سطح جذب ریشه و همچنین افزایش فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای ترکیب کود شیمیایی NPK و نیتروکسین و ترکیب کود گاوی و میکوریزا (جدول ۸) بیشترین درصد فسفر زیست‌توده خرفه از این تیمارها به‌دست آمد.

عملکرد دانه

در آزمایش اول، نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح احتمال به‌ترتیب یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بود، اما اثر کود سبز و سایر اثرات دوگانه و سه‌گانه بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر عملکرد دانه نشان داد که در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) افزایش نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش ۷/۶۹ درصدی عملکرد دانه شد. با افزایش کود نیتروژن از ۵۰ به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تغییری در عملکرد دانه مشاهده نشد. در تیمار کاربرد منداب و ماشک گل‌خوشه‌ای افزایش نیتروژن از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمارهای منداب و ماشک گل‌خوشه‌ای به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰/۶ و ۲۶/۴۶ درصدی عملکرد دانه شد. افزایش نیتروژن تأثیری بر عملکرد دانه در تیمار مخلوط منداب و ماشک گل‌خوشه‌ای نداشت (جدول ۵). به عبارتی دیگر، زمانی که فقط از کود نیتروژن استفاده شد بیشترین عملکرد دانه از ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد اما زمانی که از تلفیق کود سبز (منداب و ماشک گل‌خوشه‌ای) و نیتروژن استفاده شد، افزایش نیتروژن تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه را افزایش داد. به نظر می‌رسد زمانی که از کود سبز استفاده شده است مصرف نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار صرف رقابت میکروارگانیسم‌ها در جذب نیتروژن شده و افزایش بیشتر کود نیتروژن همراه با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) توسط کود سبز علت افزایش عملکرد دانه در این تیمارها باشد. در این تحقیق، بیشترین عملکرد دانه خرفه از تیمار کاربرد منداب و ماشک گل‌خوشه‌ای (۱۷۹۸/۹۴ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که به علت بهبود برخی خصوصیات شیمیایی خاک از جمله درصد کربن آلی، درصد نیتروژن و فسفر قابل جذب خاک می‌باشد (جدول ۵). در تحقیقی چند ساله، کاربرد گیاهان به‌عنوان کود سبز (به‌ویژه خانواده بقولات) به همراه استفاده از کود شیمیایی نیتروژن باعث افزایش کارایی جذب این عنصر و افزایش عملکرد شد (Shah et al., 2011). در آزمایش دوم، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر منابع آلی و شیمیایی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما اثر کود زیستی و سایر اثرات متقابل بر این صفت

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج دوساله این آزمایش حاکی از نقش مؤثر کودهای سبز (به‌ویژه ماشک گل خوشه‌ای) و کودهای آلی (به‌ویژه کود گاوی) بر خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد دانه خرفه بود. همچنین، نقش نیتروژن و کودهای زیستی بر خصوصیات شیمیایی خاک محدود به افزایش درصد فسفر قابل جذب خاک بود. تأثیر تلفیق کودهای سبز و نیتروژن و کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی با کودهای زیستی در اغلب موارد بر خصوصیات شیمیایی خاک بسیار اندک بود. این در حالی بود که حداکثر عملکرد دانه از تیمار تلفیقی ماشک گل خوشه‌ای و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن حاصل شد. به دلیل پایین بودن ماده آلی خاک در اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به‌ویژه خراسان جنوبی، به نظر می‌رسد با مدیریت صحیح در استفاده از منابع آلی بتوان ضمن بهبود وضعیت خاک‌های این مناطق شرایط برای رشد و عملکرد گیاهان دارویی مانند خرفه را فراهم نمود. طبق نتایج این آزمایش، به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و در راستای کشاورزی پایدار جهت حداکثر میزان نیتروژن زیست‌توده خرفه تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای بدون مصرف کود نیتروژن و تیمار تلفیقی کود گاوی و میکوریزا، جهت حداکثر جذب فسفر زیست‌توده خرفه تیمار تلفیقی کود گاوی و میکوریزا و جهت تولید حداکثر عملکرد دانه تیمار ماشک گل خوشه‌ای و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و استفاده از تیمار کود گاوی به‌عنوان جایگزین کود شیمیایی (NPK) در منطقه بیرجند توصیه می‌شود.

معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر منابع آلی و شیمیایی بر عملکرد دانه نشان داد که کاربرد کود گاوی و شیمیایی (NPK) نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) باعث افزایش ۱۶/۰۴ و ۱۰/۳۷ درصدی عملکرد دانه شد اما تفاوت آماری معنی‌داری بین کود ورمی‌کمپوست و شاهد وجود نداشت (جدول ۷). در تحقیقی، کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) باعث افزایش عملکرد دانه خرفه شد (Inanloofar et al., 2013). محققان دیگری نیز به اثرات مثبت کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد دانه اشاره نموده‌اند (Nasirzade et al., 2015; Ghamari et al., 2016). استفاده از کودهای شیمیایی به دلیل آزادسازی سریع نیتروژن (Yang et al., 2015) و در دسترس بودن مواد غذایی مورد نیاز گیاه در مراحل مختلف رشدی، همچنین افزایش فسفر قابل جذب خاک و درصد نیتروژن و فسفر زیست‌توده (جدول ۷) و استفاده از کودهای آلی به دلیل افزایش ماده آلی و نیتروژن خاک (جدول ۷)، بهبود ساختمان خاک و افزایش میزان نگهداری آب در خاک (Sharpley et al., 2004) باعث افزایش عملکرد دانه شد. با توجه به اینکه تفاوت فاحشی بین عملکرد دانه حاصل از کود گاوی و شیمیایی وجود ندارد. لذا جهت جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست و تولید پایدار دانه در گیاه دارویی خرفه پیشنهاد می‌شود تیمار کود گاوی جایگزین کود شیمیایی گردد.

References

1. Adekiya, A. O., Agbede, T. M., Aboyeji, C. M., Dunsin, O., and Ugbe, J. O. 2017. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 16 (4): 1-6.
2. Ahmad Abadi, Z., Ghajar Sepanlou, M., and Rahimi Alashti, S. 2012. Effect of vermicompost on physical and chemical properties of soil. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 15 (58): 125-137.
3. Azeez, J. O., Van Averbek, A. B., and Okorogbona, A. O. M. 2010. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. Bioresource Technology 101: 2499-2505.
4. Bremner, J. M., and Mulvaney, C. S. 1965. Nitrogen-total. In: Methods of Soil Analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agronomy Series 9 (2): 595-622.
5. Concepción Ramos, M. 2017. Changes in soil hydrological and chemical properties of vineyard soils after composted cattle manure application. Geophysical Research Abstracts 19: 1.
6. Dabighi, K. H., Fateh, E., and Ayenehband, A. 2016. Effect of different green manure crops and nitrogen sources on grain yield, oil content and some qualitative traits of canola (*Brassica napus*) var. 401. Pajouhesh and Sazandegi 108: 95-104. (in Persian with English abstract).
7. Den Hollander, N. G., Bastiaans, L., and Kropff, M. J. 2007. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design. II. Competitive ability of several clover species. European Journal of Agronomy 26: 104-112.

8. Ebrahimian, E., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., Khorramdel, S., and Beheshti, A. 2017. Influence of tillage systems and wheat stubble levels on the physical, chemical and biological properties of soil. *Journal of Crops Improvement* 18 (4):893-905. (in Persian with English abstract).
9. Ebrahimpour, F., Eidizadeh, Kh., Mahdavi Damghani, A., and Rezvani, M. 2012. Effects of aiofertilizer application method with integrated chemical fertilizers on Maize production and some chemical characteristics of soil. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10 (1): 240-246. (in Persian with English abstract).
10. Ghalavand, A., Mohammadi, K., Agha Alikhani, M., and Sohrabi, Y. 2009. Effect of organic, biological and chemical fertilizers on chickpea grain yield and quality. *Journal of Water and Soil Science* 1/19 (2): 213-234. (in Persian with English abstract).
11. Ghamari, H., Shafaghkolvagh, J., Sabaghpoore, S. H., and Dabbagh Mohamadi Nassba, A. 2016. Effects of chemical and biological fertilizers on some morpho-physiological traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) and dragon's head (*Lallemantia iberica* Fisch. and C.A. Mey) cultivated under intercropping system. *Notulae Scientia Biologicae* 8 (1): 112-117.
12. Gholami, A., Akbari, I., and Abbas Dokht, H. 2015. Study the effects of bio and organic fertilizers on growth characteristics and yield of Fennel (*Foeniculum vulgare*). *Agroecology* 7 (2): 215-224. (in Persian with English abstract).
13. Hooker, K. V., Coxon, C. E., Hackett, R., Kirwan, L. E., O'Keeffe, E., and Richards, K. G. 2008. Evaluation of cover crop and reduced cultivation for reducing nitrate leaching in Ireland. *Journal of Environmental Quality* 37: 138-145.
14. Hoyle, F. C., Murphy, D. V., and Fillery, I. R. P. 2006. Temperature changes and stubble management influence microbial CO₂-C evaluation and gross N transformation rates. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 71-80.
15. Inanloofar, M., Omidi, H., and Pazoki, A. R. 2013. Morphological, agronomical changes and oil content in Purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and biological /chemical fertilizer of nitrogen. *Journal of Medicinal Plant* 48: 170-184. (in Persian with English abstract).
16. Jahan, M., Amiri, M. B., Aghhavan Shajari, M., and Tahami, M. K. 2014. Quantity and quality of *Cucurbita pepo* L. as affected by winter cover crops (*Lathyrus sativus* and *Trifolium resopinatum*), PGPRs and organic manures. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11 (2): 337-356. (in Persian with English abstract).
17. Javadi, H., Rezvani Moghaddam, P., Seghatoleslami, M. J., and Mosavi, Gh. R. 2017. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of common Purslane (*Protulaca Oleracea* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 15 (1): 113-123. (in Persian with English abstract).
18. Kafi, M., and Rahimi, Z. 2010. Effect of salinity on germination characteristics of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 8 (4): 615-621. (in Persian with English abstract).
19. Kohanmoo, M. A., Aghaali Khani, M., and Rejali, F. 2015. Yield and quality response of three chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) ecotypes to biofertilizers application in Bushehr region. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 31 (3): 460-478. (in Persian with English abstract).
20. Mirzashahi, K., Paknejad, A. R., and Omidvari, Sh. 2016. Effect of rotation, management of nitrogen application, and plant residue on corn (cv.SC704) yield and some soil chemical properties. *Iranian Journal of Soil Reserch* 30 (2): 115-124. (in Persian with English abstract).
21. Mohiti, A., Shahsavani, S., and Gholami, A. 2011. Effect of cow manure, urea fertilizer and Nitroxine manure on some physical and chemical properties of soil and yield of forage corn. MSc. Thesis of Shahrood University. (in Persian with English abstract).
22. Morphy, J., and Riley, J. P. 1962. Phosphorus analysis procedure. In: *Methods of Soil Analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Page, A. L. (Ed). 1982. Second Edition. Madison, Wisconsin USA. pp. 413-427.
23. Nasirzade, S., Fallah, S., Kiani, Sh., and Mohammadkhani, A. 2015. Effect of different levels of cow manure and urea on quantitative and qualitative characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 31(1): 41-51. (in Persian with English abstract).
24. Ngo, P. T., Rumpel, C., Doan, T., and Jouquet, P. 2012. The effect of earthworms on carbon storage and soil organic matter composition in tropical soil amended with compost and vermicompost. *Soil Biology and Biochemistry* 50: 214-220.
25. Nourihoseini, S. M., Khorassani, R., Astaraei, A. R., Rezvani Moghaddam, P., and Zabihi, H. R. 2016. Effect of different fertilizer resources and humic acid on some morphological criteria, yield and antioxidant activity of black zira seed (*Bunium persicum* Boiss). *Applied Field Crops Research* 29 (4): 87-104. (in Persian with English abstract).
26. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watenabe, F. S., and Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate, United States Department of Agriculture. *Cris*. 939. USA.
27. 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. *Plant Production Technology* 15 (2): 69-80. (in Persian with English abstract).

28. Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A., and Khozaie, H. R. 2011. Effect of salinity and silicon on some morphophysiological characters of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (3): 359-374. (in Persian with English abstract).
29. Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, Gh. R., Eivazi, A. R., and Hoseini, S. M. T. 2013. Effect of biofertilizers on macro and micro nutrients uptake and essential oil content in *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (1): 179-190. (in Persian with English abstract).
30. Rathke, G. W., Christen, O., and Diepenbrock, W. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. Field Crops Research 94: 103-113.
31. Rezvani Moghaddam, P., and Seyyedi, S. M. 2014. The Effects of organic and biological fertilizers on phosphorus and potassium uptake by black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Horticultural Science 28 (1): 43-53. (in Persian with English abstract).
32. Rezvani Moghaddam, P., Seyyedi, S. M., and Azad, M. 2014. Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30 (2): 260-274. (in Persian with English abstract).
33. Salehi, A., Fallah, S., and Abbasi Sourki, A. 2017. Organic and inorganic fertilizer effect on soil CO₂ flux, microbial biomass, and growth of *Nigella sativa* L. International Agrophysics 31: 103-116.
34. Seyyedi, M., Khajeh-Hosseini, M., Rezvani Moghaddam, P., and Shahandeh, H. 2015 a. Relation between the increasing soluble phosphorus and nitrogen uptake and its effects on phosphorus harvest index of black seed. Iranian Journal of Field Crop Science 46 (1): 25-36. (in Persian with English abstract).
35. Seyyedi, S. M., Rezvani Moghaddam, P., Khajeh Hossieni, M., and Shahandeh, H. 2015 b. Effects of sulfur, vermicompost + *Thiobacillus* bacteria on some chemical properties of calcareous soil and phosphorus use efficiency of black seed. Journal of Plant Ecophysiology 22: 205-220. (in Persian with English abstract).
36. Shamsaddin, M., Saied, M., Ghanbari, A., Ramroudi, M., and Khezri, A. 2017. Effects of green manure management and fertilization treatments on the chemical and physical properties and fertility of soil. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources 21 (1): 37-49. (in Persian with English abstract).
37. Sharma, P., Shukla, M. K., and Mexal, J. G. 2011. Spatial variability of soil properties in agricultural fields of southern New Mexico. Soil Science 6: 288-302.
38. Shah, Z., Rashid, A., Rahman, H. U., Latif, A., and Shah, A. 2011. Rice and wheat yield in relation to biomass of green manure legumes. Sarhad Journal of Agriculture 27 (1): 73-84.
39. Sharpley, A. N., McDowell, R., and Kleinman, P. J. A. 2004. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. Soil Science Society of America Journal 68: 2048-2057.
40. Silva Carvalho, N., Bruno Bitencourt Oliveira, A., Moura Calação Pessoa, M., Paulo Costa Neto, V., Silva de Sousa, R., Rodrigues da Cunha, J., Gonçalves Coutinho, A., Maria dos Santos, V., and Sergio Ferreira de Araujo, A. 2015. Short-term effect of different green manure on soil chemical and biological properties. African Journal of Agriculture Research 10 (43): 4076-4081.
41. Singh, M. 2012. Influence of organic mulching and nitrogen application on essential oil yield and nitrogen use efficiency of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Archives of Agronomy and Soil Science 59: 273-279.
42. Trupiano, D., Coccozza, C., Baronti, S., Amendola, C., Primo Vaccari, F., Lustrato, G., Di Lonardo, S., Fantasma, F., Tognetti, R., and Stefania Scippa, G. 2017. The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. International Journal of Agronomy 31: 1-12.
43. 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.
44. Yang, Y. C., Zhang, M., Zheng, L., Cheng, D. D., Liu, M., and Geng, Y. Q. 2011. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat. Agronomy Journal 103(2): 479-485.
45. Yevdokimov, I., Gattinger, A., Buegger, F., Munch, J. C., and Schloter, M. 2008. Changes in microbial community structure in soil as a result of different amounts of nitrogen fertilization. Biology and Fertility of Soils 44: 1103-1106.



Effect of Fertilizer Management on Some Chemical Properties of Soil and Absorption of Nitrogen and Phosphorus Elements by Purslane (*Portulaca oleracea* L.)

H. Javadi¹, P. Rezvani Moghaddam^{2*}, M. H. Rashed Mohasel³, M. J. Seghatoleslami⁴

Received: 17-09-2017

Accepted: 29-10-2018

Introduction

Legumes are widely used in agricultural systems as green manure due to their ability to stabilize nitrogen in the soil, as well as providing conditions for beneficial soil microorganisms. Organic fertilizers such as vermicompost and manure have high capacity for water absorption and the maintenance of water and nutrients, high porosity, ventilation and appropriate drainage in the soil. Recently, bio-fertilizers have also been used to improve nutrient uptake and root development of plants along with chemical fertilizers. Lack of organic matter in most soils of Iran and its calcite properties will double the need to replace chemical fertilizers with organic fertilizers. Due to the lack of information on nutritional management of medicinal plants, and in order to increase soil fertility and the need to reduce the application of chemical fertilizers, this study was done to investigate the effect of different fertilizers on some soil chemical properties and the absorption of N and P elements in Birjand.

Materials and Methods

This research was carried out in two separate experiments during two growing years from 2014 to 2016 at the research farm of Birjand University with 3 replications. During the first experiment, the effect of four levels of green manures, including control, *Eruca sativa*, *Vicia villosa*, mix *Eruca sativa* + *Vicia villosa* and three levels of nitrogen (0, 50 and 100 kg.ha⁻¹) on Purslane was studied. Furthermore, during the second experiment, the treatments were combination of four sources of nitrogen supply, including cow manure, vermicompost, chemical fertilizers (NPK) and control, as well as four types of biofertilizers, including *Azotobacter* and *Azospirillum*, *Glomus intraradices*, *Thiobacillus* with sulfur and control on Purslane was studied. The studied traits were included grain yield and soil chemical properties such as organic carbon, the percentage of nitrogen, absorbable phosphorus, pH, EC and nitrogen and phosphorus content of biomass. The percentage of nitrogen in plant tissue was measured by Kjeldahl method and the percentage of phosphorus was measured by Morphy and Riley method. Furthermore, the organic carbon in soil was determined by Walkley- Black method, total nitrogen and available phosphorus were measured using the Kjeldahl and Olsen methods, respectively. The soil acidity was determined on the saturated water through pH meter and electrical conductivity of the soil saturation extract was determined through EC meter. After collecting data, statistical analysis was performed using Minitab 17 software. LSD test was used at the 5% probability level to compare the averages.

Results and Discussion

The results showed that the application of green manure increased the organic carbon and nitrogen content of soil, the amount of phosphorus absorbed by soil and decreased soil pH. Among green manure treatments, *Vicia villosa* was superior to the others. Also, using nitrogen fertilizer increased grain yield and the amount of absorbed phosphorus, soil electrical conductivity and reduced soil pH. Among nitrogen supply sources, cow manure had the greatest impact on grain yield and soil chemical properties, but the role of biofertilizer application was limited to increasing the amount of available phosphorus in the soil. Therefore, the role of cow manure in improving the chemical status of soil was superior to the others. Due to the low soil organic matter in most arid and semi-arid regions of Iran, especially South Khorasan, it seems that proper usage of organic resources can improve soil conditions of these areas for the growth and yield of medicinal plants such as Purslane.

1- Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Associate Professor, Department of Agriculture, Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

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

Conclusions

In this study, in order to reduce the use of chemical fertilizers and to absorb the maximum amount of nitrogen and phosphorus, the Purslane biomass was treated with mix *Eruca sativa* + *Vicia villosa* without using nitrogen fertilizer and combined treatment of cow manure and mycorrhiza. The results recommended that combination of cow manure and mycorrhiza is suitable approach under Birjand condition.

Keywords: Biosulfur, Cow manure, Mycorrhiza, Nitroxin, Vermicompost



فرا تحلیل اثر کاربرد سوپر جاذب رطوبت بر عملکرد گیاهان زراعی در ایران

محسن جهان^{۱*}، مهدی نصیری محلاتی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۱

چکیده

پژوهش حاضر با هدف فراتحلیل نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در کشور و پاسخ به این سوال کلی که آیا کاربرد این مواد به‌طور کلی موفقیت‌آمیز بوده یا خیر و اگر موفق بوده چه مقدار از آن قابل توصیه است، صورت گرفت. برای انجام این پژوهش، مقاله‌های منتشر شده با موضوع تأثیر مقادیر مختلف سوپر جاذب رطوبت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی (شامل غلات، حبوبات، گیاهان دارویی و مرتعی) مورد بررسی قرار گرفتند. نتیجه فراتحلیل نشان داد که میانگین مصرف سوپر جاذب برای غلات، گیاهان دارویی، حبوبات و گیاهان مرتعی به‌ترتیب، ۸۳، ۳۲۲، ۱۰۳۱ و ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار بود و با مصرف این مقدار سوپر جاذب، میانگین عملکرد دانه در غلات، گیاهان دارویی و حبوبات در مقایسه با تیمار شاهد، به‌ترتیب ۱۳/۲، ۱۱/۲ و ۲۷/۵ درصد (معادل ۱۰۵۹، ۳۴۵ و ۴۵۲ کیلوگرم در هکتار) افزایش یافت. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که تأثیر سوپر جاذب بر عملکرد دانه و ماده خشک معنی‌دار و بر شاخص برداشت ناچیز است. اندازه اثر کاربرد سطوح مختلف سوپر جاذب بر عملکرد ماده خشک در تمام سطوح بیشتر از اندازه اثر آن بر عملکرد دانه بود. بیشترین اندازه اثر بر عملکرد دانه، مربوط به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار بود و مقادیر بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، بر خلاف عملکرد ماده خشک، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دانه نداشت. با توجه به نتایج، به نظر می‌رسد که کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار از نظر میزان تأثیر بر افزایش عملکرد دانه و ماده خشک و جنبه اقتصادی، مناسب‌ترین مقدار باشد.

واژه‌های کلیدی: حبوبات، غلات، گیاهان دارویی، متآنالیز

مقدمه

محدود آب و حفاظت از خاک شده و علاوه بر آن موجب افزایش محصول خواهد شد. تاکنون، تلاش‌های زیادی صورت گرفته تا مصرف آب توسط گیاهان زراعی را کاهش دهند، یا به‌عبارت دیگر، به‌ازای هر قطره آب، محصول بیشتری تولید شود. در فهم پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان زراعی نسبت به تأمین آب، هنوز پتانسیل‌های ذاتی بسیاری، همانند رهیافت‌های ژنتیک مولکولی برای بهبود بیشتر وجود دارد (Morison et al., 2008).

رضا و همکاران (Reza et al., 2012) بیان کردند که توزیع مجدد آب از تبخیر خاکی به سمت تعرق گیاهی، از طریق مدیریت بقایا و طراحی تناوب زراعی، کلید افزایش کارایی مصرف آب است. فرآیندهای زیربنایی در اکثر پیشرفت‌های صورت گرفته در بهبود کارایی مصرف آب، به اتفاق پیشنهاد می‌کنند که تحقیقات باید ظرفیت جذب آب توسط گیاه را هدف خود قرار دهند. دنگ و همکاران (Deng et al., 2006) در کنار سازوکارهای بیولوژیکی ذخیره آب و تکنولوژی‌های آبیاری صرفه‌جویانه شامل: آبیاری کم فشار، آبیاری جویچه‌ای، مالچ‌های پلاستیکی، آبیاری قطره‌ای زیر پلاستیک، جمع‌آوری آب باران، ترانس‌بندی، از کم‌آبیاری، کوددهی تکمیلی و اصلاح ارقام جدید، به‌عنوان راه‌کارهای افزایش کارایی مصرف آب نام بردند.

کاربرد برخی از مواد افزودنی اصلاح‌کننده نظیر هیدروژل‌های سوپر جاذب به‌منظور استفاده‌ی بهینه از آب در کشاورزی به‌منظور

اساسی‌ترین مشکل کشاورزی به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک، کمبود آب است. در این مناطق نه‌تنها مقدار کل نزولات جوی کم است، بلکه توزیع آن در طول فصل رشد نیز غیریکنواخت بوده و بر نیاز آبی محصول منطبق نیست. تنش خشکی محدودکننده‌ترین عامل در تولید عملکرد محصولات زراعی در سراسر جهان به‌شمار می‌رود (Bannayan et al., 2010). ایران به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره‌ی زمین، با مشکل کم آبی جدی مواجه است. رشد فزاینده‌ی جمعیت و نیاز بیشتر به محصولات کشاورزی و محدودیت منابع آب و خاک به‌عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی، مسئله‌ی کم‌آبی را به‌گونه‌ای بسیار جدی فراروی کشور قرار داده است. مصرف بهینه آب در تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی موثر بر رشد و نمو گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (Bayat et al., 2009; Kohestani et al., 2009; Mirzaei et al., 2005). بهینه‌سازی عوامل مؤثر در تولید و مدیریت کاربرد آب در مزرعه باعث صرفه‌جویی در منابع

۱- دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: jahan@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v17i2.68101

تحلیل اولیه داده‌ها به کار می‌رود، تفسیر می‌شود (Hooman, 2007). روش‌های کمی فراتحلیل کمک می‌کند تا برخی از چالش‌های ناشی از وجود پاسخ‌های متعدد به یک پرسش پژوهشی واحد مورد بررسی قرار گیرد. فراتحلیل ترکیب نتایج عددی حاصل از چندین پژوهش و برآورد دقیق مشخصه‌ها و تبیین ناهماهنگی‌ها و نیز کشف عوامل تعدیل‌کننده و میانجی‌ها را در مجموعه یافته‌های پژوهشی ممکن می‌سازد (Hedges and Olkin, 1985; Rosenthal, 2001). فراتحلیل پژوهشگران را قادر می‌سازد تا تناقض‌ها و تفاوت‌های موجود در پژوهش‌های انجام شده را توجیه کنند و نسبت به آنچه در یک یا چند مطالعه مقدماتی یا حتی در بازنگری‌های غیرکمی، سنتی و روایتی دیده می‌شود، به نتیجه‌گیری‌های ملموس، دقیق‌تر و معتبرتری دست یابند. وقتی اثر یک تیمار از یک پژوهش تا پژوهشی دیگر هماهنگ باشد، فراتحلیل برای تشخیص این اثر مشترک مفید است و زمانی که این اثر از یک بررسی تا بررسی دیگر تغییر کند، فراتحلیل ممکن است به تشخیص دلیل یا دلایل این تغییر کمک کند.

فراتحلیل را می‌توان به عنوان یک بازنگری پیشینه پژوهشی در نظر گرفت که مبتنی بر انگاره (پارادایم) تراکمی دانش است. زیرا مهم‌ترین فرض این انگاره آن است که دانش حالت تراکمی دارد و پژوهشگران بر اساس آثار و یافته‌های پژوهشگران قبلی، مطالعات خود را پیش می‌برند (Neuman, 2000). واحد آماری در فراتحلیل، یک پژوهش انجام شده قبلی است. رویکرد فراتحلیل به دلیل به دست دادن نتیجه‌گیری‌های مطمئن‌تر و عینی‌تر، در برجسته کردن و نیز تعدیل شکاف‌ها و تنگناهای موجود در پیشینه پژوهشی موضوع مورد مطالعه، مؤثر و مفید است و بینش لازم را درباره رویکردهای جدید برای پژوهش در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد (Rosenthal, 2001). بر اساس نتایج حاصل از فراتحلیل، در مورد موضوعاتی معین با صراحت می‌توان گفت که «به پژوهش بیشتر، نیاز هست یا نیست» (Wolf, 1986).

وان گرونیگن و همکاران (Van Groenigen et al., 2014) ضمن انجام فراتحلیل روی اثر کرم‌های خاکی در افزایش تولید گیاهی گزارش کردند که حضور کرم‌های خاکی در اگرواکوسیستم‌ها به طور متوسط سبب افزایش ۲۵ درصدی عملکرد گیاهان زراعی و افزایش ۲۳ درصدی زیست‌توده بالای خاک شدند. آن‌ها بیان کردند که اثر مثبت کرم‌های خاکی زمانی که بخش بیشتری از بقایای گیاهی به خاک برگردانده شد، بیشتر بود و زمانی که فراهمی نیتروژن خاک بیشتر بود، این اثر کاهش یافت. آن‌ها نتیجه گرفتند که کرم‌های خاکی در کاهش خلاء عملکرد برای کشاورزانی که از کودهای نیتروژنی استفاده نمی‌کنند، تأثیری حیاتی دارند.

سلطانی و سلطانی (Soltani and Soltani, 2014) با فراتحلیل اثر پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی، گزارش کردند که پرایمینگ باعث

افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، سال‌ها است که در دنیا در سطح تجاری مورد توجه قرار گرفته است. در ایران نیز به تازگی توجه برخی محققین به این موضوع معطوف شده است (Salar et al., 2005; Talayi and Asadzadeh, 2004; Karimi 2000; Moosavi and Attar, 2004) به عنوان مثال استفاده از هیدروژل‌های سوپر جاذب به عنوان پلیمرهای به شدت آب‌دوست برای کاهش اثرات مضر تنش خشکی توصیه شده است (Kohestani et al., 2009; Dabhi et al., 2013). در همین ارتباط، افزایش فواصل آبیاری در نتیجه ی بهره‌گیری از هیدروژل‌های سوپر جاذب‌ها به عنوان راهکاری اساسی جهت صرفه‌جویی و استفاده ی بهینه ی آب مدنظر قرار گرفته است (Islam et al., 2011). امروزه از پلیمرهای سوپر جاذب به شدت آب‌دوست به عنوان یک ماده افزودنی به خاک و مخزن بالقوه‌ای برای عناصر غذایی و آب در کشاورزی استفاده می‌شود و نقش آن‌ها در کاهش شدت اثرات تنش خشکی و میزان صدمات وارده به گیاهان و همچنین افزایش تولید محصولات زراعی در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است (Abedi-Koupai et al., 2008; Koohestani et al., 2009; Zhong et al., 2012). خواص این مواد به عوامل زیادی از جمله خصوصیات ترکیبی و شیمیایی آنها، بافت خاک، گونه گیاهی و نیز عوامل محیطی، وابسته می‌باشد (Chatzopoulos et al., 2000; Dabhi et al., 2013).

در این پلیمرها مقادیر زیادی آب حاصل از بارندگی یا آب آبیاری (به میزان ۵۰۰-۲۰۰ میلی لیتر آب به ازای هر گرم وزن خشک پلیمر) ذخیره شده (Bowman and Evans, 1991) و از نفوذ عمقی و تلفات آن جلوگیری می‌شود و در صورت نیاز در شرایط خشکی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (Wang and Wang, 2010; Nykanen et al., 2011; Zhong et al., 2013). گزارش شده که پلیمرهای سوپر جاذب نیاز به آب آبیاری را ۱۵ تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (Dabhi et al., 2013). مقدار جذب آب در این پلیمرها بسته به فرمولاسیون، ناخالصی‌های آب و مقدار نمک موجود تا ۴۰۰ برابر وزن سوپر جاذب متغیر است (Monnig, 2005). گفته شده که این پلیمرها می‌توانند رطوبت خاک و برخی عناصر غذایی را تا ۵ سال بعد از کاربردشان در زمین‌های کشاورزی حفظ کنند (Martin, 1997).

فرآیند ترکیب آماری نتایج پژوهش‌های مستقل و جداگانه، برای رسیدن به نتایج کلی درباره تیمارها یا واریانس‌ها، فراتحلیل^۱ نامیده شده است. به بیان دیگر، این تکنیک خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین است که برای مقایسه پیامدها در طول دامنه وسیعی از مطالعات، روش‌های کمی را به کار می‌برد. در فراتحلیل که به واقع ترکیب کمی گزارش‌های تجربی مشابه است، مطالعات پژوهشی گردآوری، کدگذاری و با استفاده از روش‌های آماری، مشابه آن‌چه در

گرفتند. این مطالعات شامل ۳۲ مقاله علمی-پژوهشی بود که در فاصله سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶ به چاپ رسیده‌اند. مقالات به گونه‌ای انتخاب شدند که داده‌های لازم برای اجرای فراتحلیل در آنها موجود باشد. این اطلاعات ضروری شامل میانگین تیمار شاهد و تیمارهای کودی، انحراف معیار میانگین‌ها، واریانس خطای آزمایش و تعداد تکرار هستند (Hedges et al., 1999). اطلاعات لازم از مقاله‌های مرتبط و مناسب استخراج گردید که شامل مشخصات پژوهش (عنوان پژوهش، محل و طول مدت اجرای پژوهش، نوع گیاه زراعی، نوع طرح آزمایشی، تعداد و نوع تیمارهای آزمایشی، مقادیر سوپرجاذب مصرفی، نتایج پژوهش و میزان تأثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب بر روی هریک از فاکتورهای مورد مطالعه) بود که در ادامه جهت اجرای فراتحلیل مورد استفاده قرار گرفت.

از میان ۳۲ مقاله مورد بررسی، ۱۳ مقاله برای فراتحلیل اثر سوپرجاذب بر عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات مقاله‌های استفاده شده در جدول ۱ آورده شده است. ۱۶ مقاله از ۳۲ مقاله مورد بررسی فاقد داده‌های لازم برای فراتحلیل اثر سوپرجاذب بر عملکرد دانه، ماده خشک و شاخص برداشت بودند، با این حال، از برخی اطلاعات آن‌ها برای مثال جهت تعیین سطوح سوپرجاذب مصرفی استفاده شد (جدول ۲). سه مقاله نیز در خصوص تأثیر سوپر جاذب بر ویژگی‌های خاک بود و در آن‌ها گیاه زراعی وجود نداشت.

افزایش ۴ و ۷ درصدی در درصد و سرعت جوانه‌زنی خواهد شد. همچنین، استفاده از اسیدهای آلی و هورمون‌ها بیشترین افزایش در جوانه‌زنی را ایجاد کرد و بعد از آن استفاده از هیدروپرایمینگ بیشترین اثر مثبت را داشت. اسموپرایمینگ اثر منفی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی گذاشت و پرایمینگ بذر بر گیاهان دولپه‌ای نسبت به گیاهان تک لپه‌ای اثر مثبت بیشتری داشت.

با وجود انجام پژوهش‌های متعدد و ویژگی‌های مثبت و متعددی که برای پلیمرهای سوپرجاذب رطوبت و کاربرد آن‌ها در کشاورزی بیان شده، تاکنون جمع‌بندی و نتیجه‌گیری دقیقی در مورد این پژوهش‌ها صورت نگرفته است. از سوی دیگر، وجود تنوع در مقدار مصرف، شرایط و تیمارهای آزمایشی، رسیدن به یک نتیجه قطعی را برای پژوهشگرانی که یک یا تعداد معدودی از مقاله‌های مربوطه را مطالعه می‌کنند، ناممکن یا دشوار می‌سازد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف مرور، بررسی و فراتحلیل نتایج پژوهش‌های انجام شده در کشور با هدف پاسخ به این سوال کلی که آیا کاربرد این مواد به‌طور کلی موفقیت‌آمیز بوده یا خیر و اگر موفق بوده چه مقدار از آن قابل توصیه است، صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منبع داده‌ها

برای انجام این پژوهش، مطالعات انجام شده بر روی تأثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی گیاهان زراعی (شامل غلات، گیاهان دارویی و صنعتی) مورد بررسی قرار

جدول ۱- برخی مشخصات مقاله‌های دارای داده و استفاده شده در پژوهش فراتحلیل اثر سوپرجاذب رطوبت
Table 1- Some information of articles used in meta-analysis of the effect of water superabsorbent

گونه زراعی Crop species	تعداد مقاله Article No.	نویسندگان Authors
ذرت Corn	4	جهان و همکاران، ۱۳۹۲؛ جهان و همکاران، (در دست چاپ)؛ کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ خادم و همکاران، ۱۳۹۰؛ یوسفی فرد و همکاران، ۱۳۹۰ Jahan et al., 2013; Jahan et al., (In press); Koohestani et al., 2009; Khadem et al., 2010; Yousefi Fard et al., 2010
گندم Wheat	1	غلامی و همکاران، ۱۳۹۱ Gholami et al., 2012
نخود Chickpea	2	الهیاری و همکاران، ۱۳۹۲؛ رجبی و همکاران، ۱۳۹۱ Allahyari et al., 2012; Rajabi et al., 2011
لوبیا Bean	2	جهان و همکاران، ۱۳۹۲؛ جهان و همکاران، (پذیرش شده جهت چاپ) Jahan et al., 2012; Jahan et al., (Accepted)
سویا Soybean	1	روستایی و همکاران، ۱۳۹۱ Roostayi et al., 2011
خردل Mustard	1	رحمانی و همکاران، ۱۳۸۸ Rahmani et al., 2009
ریحان Basil	1	جهان و همکاران، ۱۳۹۴ Jahan et al., 2014
کنجد Sesame	1	جهان و همکاران، (در دست چاپ) Jahan et al., (In press)

جدول ۲- برخی مشخصات مقاله‌های فاقد مشخصات لازم و بدون داده که در بخشی از فراتحلیل مورد استفاده قرار نگرفت
Table 2- Some information of the articles, which did not meet required data and partly used in meta-analysis

نویسندگان Authors	تعداد مقاله Article No.	گونه زراعی Crop species
زنگویی نسب و همکاران، ۱۳۹۱	1	آتریپلکس Atriplex
پوراسماعیل و همکاران، ۱۳۸۸	1	لوبیا قرمز Kidney bean
محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۹ Mohammadi et al., 2011; Mohammadi et al., 2010	2	یونجه یکساله Alfalfa
شیخ مرادی و همکاران، ۱۳۹۰	1	چمن اسپورت Bermudagrass
کریمی و نادری، ۱۳۸۶	1	ذرت علوفه‌ای Corn (forage)
رشدی، ۱۳۹۲؛ کریمی، ۱۳۸۰	2	آفتابگردان Sunflower
فاضلی رستم پور و همکاران، ۱۳۸۹؛ فاضلی رستم پور و محبیان، ۱۳۹۰ Fazeli Rostampour et al., 2000; Fazeli Rostampour and Mohebbian, 2010	2	ذرت دانه‌ای Corn (grain)
عابدی کوپایی و مسفروش، ۱۳۸۸	1	خیار گلخانه‌ای Cucumber (greenhouse)
سوری و معتمدی، ۱۳۹۴	1	فستوکا Festuca
پیرزاد و همکاران، ۱۳۹۱	1	بابونه Chamomile
بانج شفیعی و همکاران، ۱۳۸۸	1	پانیکوم Panicum
دهباشی و همکاران، ۱۳۹۳	1	گل جعفری Tagetes
جهان و همکاران، ۱۳۹۳	1	چغندرقد Sugar beet
Jahan et al., 2013		

آنالیز آماری

شرح کامل روش محاسبات آماری فراتحلیل توسط Hedges and Olkin (1985) و Gurevitch and Hedges (1999) ارائه شده است و در ادامه مراحل انجام آن به اختصار توصیف می‌شود. اولین مرحله در اجرای فراتحلیل محاسبه اختلاف استاندارد میانگین تیمار شاهد و تیمارهای آزمایشی (تیمار سوپرچاد) است که به آن اندازه اثر d گفته می‌شود. بنابراین برای هریک از ۱۱ آزمایش مستقلی که در این فراتحلیل مورد بررسی قرار گرفتند یک مقدار d محاسبه شد (معادله ۱). لازم به ذکر است که اندازه اثر، هم برای میانگین سطوح سوپرچاد و هم برای شاهد به‌طور جداگانه محاسبه شد.

$$d = \frac{\bar{X}_t - \bar{X}_c}{S_p} \times J \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن $\bar{X}_t$ و $\bar{X}_c$ به‌ترتیب میانگین تیمارهای شاهد و سوپرچاد، S_p انحراف معیار تلفیق شده میانگین‌ها و J ضریب تصحیح برای اریب بودن انحراف معیار میانگین‌ها می‌باشند. مقادیر J و S_p به‌ترتیب از معادلات ۲ و ۳ محاسبه می‌شود:

$$J = 1 - \left[\frac{3}{4(df_c + df_t) - 1} \right] \quad \text{معادله (۲)}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{df_c(S_c^2) + df_t(S_t^2)}{df_c + df_t}} \quad \text{معادله (۳)}$$

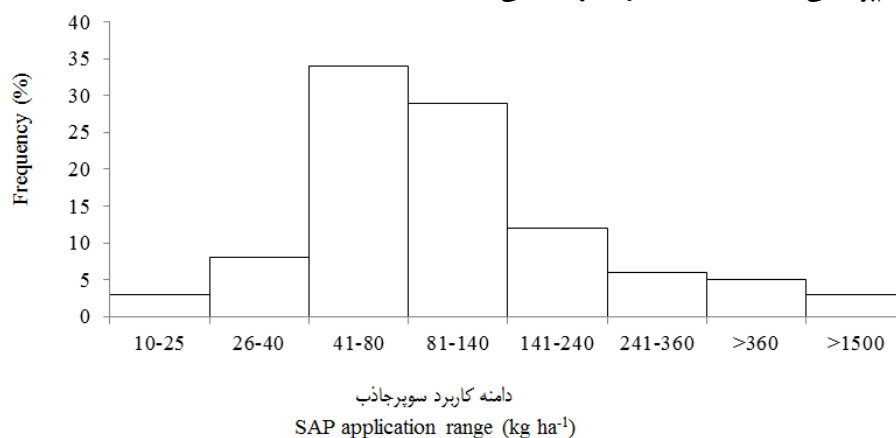
که در آنها S_c و S_t به‌ترتیب انحراف معیار میانگین شاهد و تیمار سوپرچاد، df_c و df_t به‌ترتیب درجه آزادی شاهد و تیمار سوپرچاد می‌باشند. در صورتی که مقادیر انحراف معیار میانگین‌ها در مقاله ذکر نشده باشد، می‌توان مقدار S_p را بر اساس واریانس خطای آزمایش (MSE) که در جداول تجزیه واریانس در مقالات ارائه می‌شود توسط معادله ۴ برآورد کرد:

موزون شده (d^*) بی‌معنی بوده و شاهد با تیمار تفاوتی ندارد و در غیر این صورت اختلاف تیمار از شاهد به‌طور معنی‌داری از صفر بیشتر است. کلیه محاسبات و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

خلاصه نتایج آزمایش‌های تحلیل شده

فراوانی دامنه‌های مقادیر سوپرجاذب به‌کار رفته در ۲۹ مقاله مورد مطالعه (آزمایش بر روی گیاه انجام شده بود)، ارزیابی شد. در شکل یک توزیع فراوانی مقادیر سوپرجاذب مصرفی در واحد سطح در آزمایش‌های تحت بررسی نشان داده شده است. در ۸۳ درصد آزمایش‌ها، دامنه کاربرد سوپرجاذب بین ۲۶ تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین فراوانی مربوط به دامنه کاربرد ۴۱ تا ۸۰ و پس از آن، ۸۱ تا ۱۴۰ کیلوگرم بود که روی هم، ۶۳ درصد کل آزمایش‌ها را شامل شد. در مورد غلات (ذرت و گندم) دامنه مقادیر سوپرجاذب به‌کار رفته در آزمایش‌های مورد بررسی بین ۲۲/۵ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. این مقدار، برای چهار گونه دارویی (گل جعفری *Tagetes marigold* L. بابونه *Matricaria chamomilla* L. و ریحان *Ocimum basilicum* L. بین ۳۰ تا ۳۶۰ و برای یک گونه دارویی (خردل *Sinapis arvensis* L. ۲۲۵۰ تا ۳۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. دامنه مقدار کاربرد سوپرجاذب برای دو گونه لگوم (لوبیا قرمز *Phaseolus vulgaris* L. و نخود) بین ۱۵۰۰ تا ۳۱۵۰ و برای سه گونه لگوم (نخود دیم *Cicer arietinum* L. سویا *Glycine max* L. و لوبیا *Phaseolus vulgaris* L. بین ۹ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. این دامنه برای سه گونه مرتعی، بین ۴۵ تا ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بود.



شکل ۱- توزیع فراوانی سطوح کاربرد سوپرجاذب در آزمایشات مورد بررسی

Figure 1- Frequency distribution of superabsorbent application levels in studied experiments

$$S_p = \sqrt{\left(\frac{n_c + n_t - 2}{n_c + n_t} \right) \text{MSE}} \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن n_c و n_t به‌ترتیب تعداد تکرارهای شاهد و تیمار هستند. بدون شک همه آزمایش‌های تحت بررسی از دقت یکسانی برخوردار نیستند. بنابراین، لازم است که برای هر آزمایش متناسب با دقت آن، وزنی محاسبه شده و سپس مقدار اندازه اثر هر آزمایش به کمک آن موزون شود. به این منظور ابتدا واریانس اندازه اثر برای هر آزمایش (V_d) محاسبه می‌شود (معادله ۵):

$$V_d = \left[\frac{n_c + n_t}{n_c \times n_t} \right] + \left[\frac{d^2}{2n(n_c + n_t)} \right] \quad \text{معادله (۵)}$$

عکس این واریانس، وزن مربوط به آن آزمایش می‌باشد، به این ترتیب هر آزمایشی که واریانس کوچکتری داشته باشد وزن بیشتری خواهد داشت (Von Groenigen et al., 2014):

$$w_i = \frac{1}{V_d}$$

در نهایت یک اندازه اثر کل یا تجمعی (d^*) محاسبه می‌شود که در واقع اختلاف استاندارد شده میان شاهد و تیمارهای کودی برای کلیه آزمایشات تحت بررسی می‌باشد (معادله ۶):

$$d^* = \frac{\sum w_i d_i}{\sum w_i} \quad \text{معادله (۶)}$$

و انحراف معیار آن (S_{d^*}) نیز از معادله ۷ به‌دست خواهد آمد:

$$S_{d^*} = \sqrt{\frac{1}{\sum w_i}} \quad \text{معادله (۷)}$$

آخرین مرحله از فراتحلیل، آزمون معنی‌داری d^* است، با معلوم بودن S_{d^*} می‌توان فاصله اطمینان d^* را محاسبه کرد. چنانچه این فاصله اطمینان با صفر هم‌پوشانی داشته باشد، اندازه اثر تجمعی

میانگین مصرف سوپرجاذب برای غلات، گیاهان دارویی، حبوبات و گیاهان مرتعی به ترتیب، ۸۳، ۳۲۲، ۱۰۳۱ و ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار بود و با مصرف این مقدار سوپرجاذب، میانگین عملکرد دانه در غلات، گیاهان دارویی و حبوبات در مقایسه با تیمار شاهد، به ترتیب ۱۳/۲، ۱۱/۲ و ۲۷/۵ درصد (۱۰۵۹، ۳۴۵ و ۴۵۲ کیلوگرم در هکتار) افزایش یافت (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین صفات مورد بررسی برای سه خانواده گیاهی در نتیجه کاربرد مقادیر مختلف سوپرجاذب

Table 3- The means of studied traits for three crop families as a result of different levels of superabsorbent application

بیشترین سطح سوپرجاذب Max level of SAP	کمترین سطح سوپرجاذب Min level of SAP	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variations	میانگین تیمار شاهد Mean of control Treatment	میانگین تیمارهای سوپرجاذب Mean of SAP treatments	
Cereals (Six experiments) غلات (۶ آزمایش)					
8194.4	7398.8	59.49	6954.8	8013.7	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)
32976.2	29464	78.28	25248	31319.2	عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg ha ⁻¹)
36.11	35.17	35.35	37.22	36.96	شاخص برداشت Harvest index (%)
Medicinal Plants (Three experiments) گیاهان دارویی (۳ آزمایش)					
3119.45	3040.30	38.49	2734.61	3079.62	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)
21829.5	20823	13.83	17056	21323.5	عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg ha ⁻¹)
14.1	15.18	31.44	14.64	15.45	شاخص برداشت Harvest index (%)
Pulses (Five experiments) حبوبات (۵ آزمایش)					
1749.59	1526.22	56.83	1190.32	1642.47	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)
3796.12	3555.83	63.84	3301.30	3684.63	عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg ha ⁻¹)
50.40	48.29	20.29	42.37	49.49	شاخص برداشت Harvest index (%)

واکنش عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت به کاربرد سوپرجاذب

تلفیق داده‌های مربوط به ۱۴ آزمایش تحت بررسی نشان داد که واکنش عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت به کاربرد سوپرجاذب به ترتیب از فرم نمایی، درجه دو و درجه دو پیروی کرد (شکل ۲).

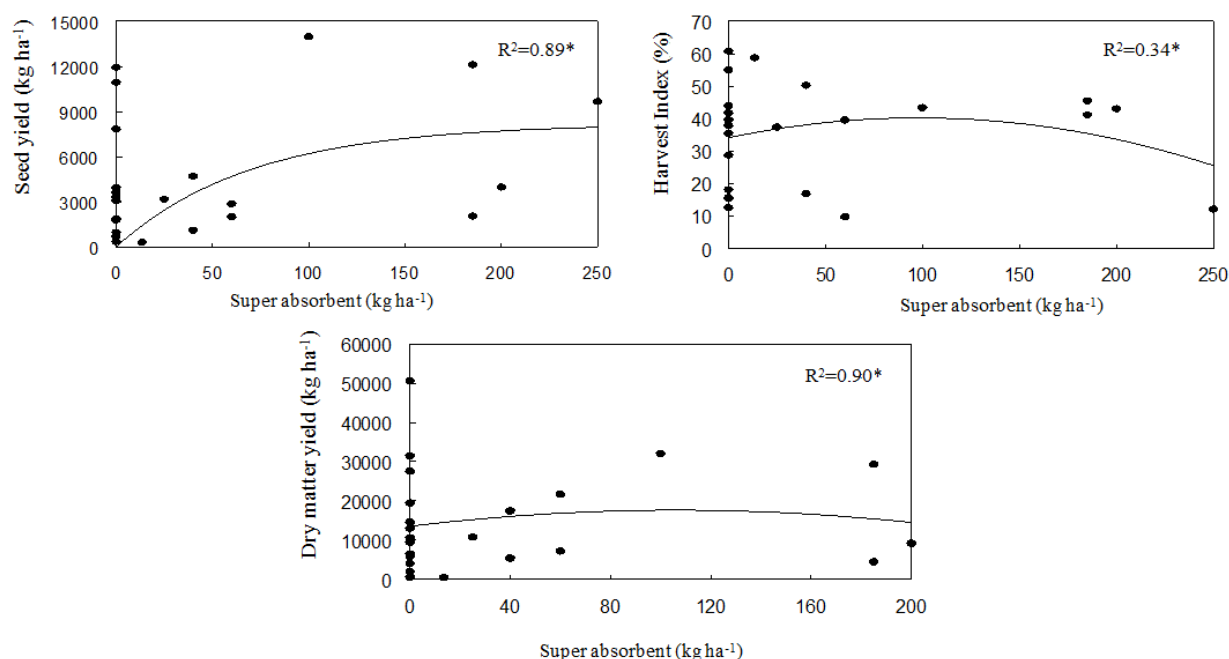
عملکرد دانه با افزایش سوپرجاذب تا حدود ۶۰ کیلوگرم در هکتار به صورت خطی افزایش یافت و پس از آن به شکل نمایی از شیب آن کاسته شد. عملکرد ماده خشک به فرم تابع درجه دو به کاربرد سوپرجاذب واکنش نشان داد. واکنش عملکرد ماده خشک به کاربرد سوپرجاذب در مقایسه با واکنش عملکرد دانه، کندتر بود، به عبارت دیگر، شیب منحنی از نقطه‌ی صفر تا حدود ۶۰ کیلوگرم در هکتار، ملایم‌تر از شیب متناظر در شکل مربوط به واکنش عملکرد دانه بود، ضمن این که شیب منحنی در دامنه کاربرد ۱۰۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم ثابت

شد و پس از آن تا نقطه ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، به تدریج از آن کاسته شد.

واکنش شاخص برداشت به کاربرد سوپرجاذب همانند عملکرد ماده خشک از فرم درجه دو پیروی کرد (شکل ۲)، با این تفاوت که پس از رسیدن به شیب ثابت در دامنه ۱۰۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، شیب نزولی آن شدیدتر از شیب کاهش عملکرد ماده خشک بود. گزارش شده است که وجود فرم درجه دو در واکنش عملکرد گندم و ذرت به افزایش نیتروژن کودی، بیان‌کننده نوعی بازده نزولی در سطوح بالای کود می‌باشد که به لحاظ آماری و زراعی به تأیید رسیده است (Nelson et al., 1985). البته سراتو و بلکمر (Cerrato and Blackmer, 1990) با برازش انواع منحنی‌های پاسخ به کود در گیاهان زراعی مختلف و تحلیل آماری این معادلات نشان دادند که معادله درجه دوم که در نهایت به ثبات برسد، بهترین فرم آماری برای توصیف واکنش گیاهان به کود نیتروژن است. در مطالعه حاضر نیز، اگرچه منحنی‌های پاسخ با ثبات نهایی و بدون بازده نزولی برای

مطالعات تحت بررسی که به طور مستقل انجام شده اند انطباق دارد، البته نقطه نزول منحنی در مقالات تحت بررسی بسیار متفاوت است.

عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت، ضریب تبیین قابل قبول تری داشتند، ولی به دلیل کمتر کاربردی تر بودن آن ها و نیز برخی ملاحظات آماری، از فرم درجه دو استفاده شد. این روند با نتایج اغلب



شکل ۲- واکنش عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت گیاهان به سطوح سوپرجاذب استفاده شده در آزمایش ها
Figure 2- Response of seed yield, dry matter yield and harvest index of studied crops in experiments to superabsorbent application levels

به طور کلی نتایج نشان داد که تأثیر سوپرجاذب بر عملکرد دانه و ماده خشک قابل توجه و بر شاخص برداشت ناچیز است. اندازه اثر کاربرد سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد ماده خشک در تمام سطوح، بیشتر از اندازه اثر آن بر عملکرد دانه بود. در این ارتباط، سطوح ۸۰، ۱۰۰ و بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، بیشترین تأثیر را داشتند، اگرچه که اختلاف بین آن ها معنی دار نبود، ولی تفاوت این سه سطح با سطح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، معنی دار بود (شکل ۳). در مورد عملکرد دانه، سطوح ۸۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، به ترتیب بیشترین تأثیر را داشتند، ضمن آن که تفاوت سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار با دو سطح دیگر معنی دار و تفاوت سطوح ۸۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار با یکدیگر معنی دار نبود. بیشترین اندازه اثر بر عملکرد دانه مربوط به سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود و مقادیر بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، بر خلاف عملکرد ماده خشک، تأثیر قابل توجهی نداشت (شکل ۳). با توجه به نتایج و مطالب بیان شده، به نظر می رسد که کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب از نظر میزان تأثیر بر افزایش عملکرد دانه و ماده خشک، مناسب ترین سطح باشد و صرف هزینه و انرژی بیشتر در جهت کاربرد

مقایسه آماری بین سطوح سوپرجاذب

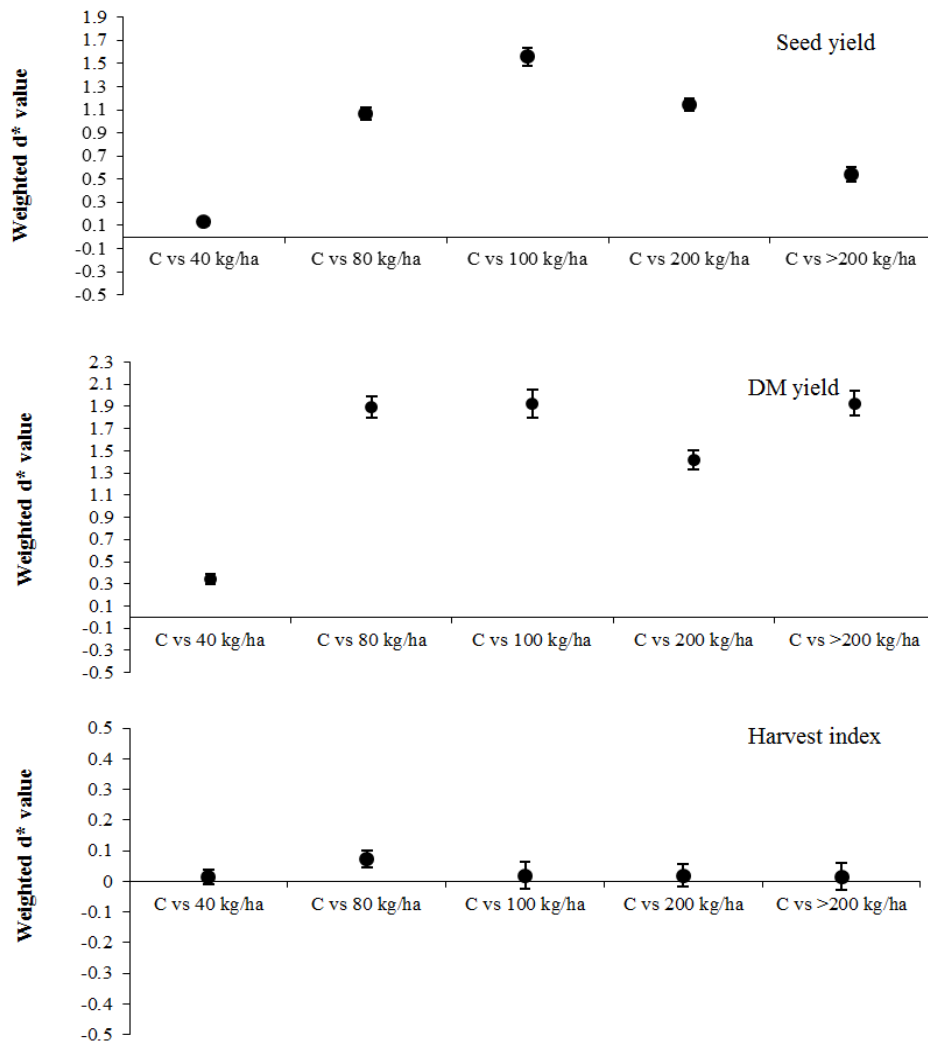
در شکل ۳، تیمار شاهد به طور جداگانه با سطوح مختلف کاربرد سوپرجاذب مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج فراتحلیل نشان داد که در مورد عملکرد دانه، بیشترین تأثیر سوپرجاذب در دامنه صفر تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب حاصل شد.

اندازه اثر سوپرجاذب بر عملکرد ماده خشک بارزتر و مقادیر عددی آن بیشتر از اثر آن بر عملکرد دانه بود. در سطح کاربرد بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، تفاوت بین عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک، بسیار چشمگیر بود. همچنین، مقدار صفر تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب از نظر تأثیر با مقدار صفر تا صد کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب تفاوت چندانی از نظر عملکرد دانه و تفاوت معنی داری از نظر تأثیر بر عملکرد ماده خشک نداشت.

شاخص برداشت فقط تحت تأثیر سطح کاربرد صفر تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب قرار گرفت، اگرچه برای سطح یاد شده نیز اندازه اثر ناچیز بود. یکسان بودن نسبی شیب تغییرات عملکرد دانه و ماده خشک به کاربرد سوپرجاذب، سبب شده تا شاخص برداشت که نسبت این دو متغیر است واکنش قابل توجهی به سطوح سوپرجاذب نشان ندهد (شکل ۳).

کارایی استفاده از منابع در مقادیر زیاد منابع، توجه ندارد.

مقادیر بیشتر سوپرجاذب، به پیروی از قانون کلی مبنی بر کاهش



شکل ۳- مقایسه تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب رطوبت بر عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت گیاهان مورد مطالعه. خطوط عمودی فاصله اطمینان اندازه اثر تجمعی موزون شده در بین آزمایشات تحت بررسی است.

Figure 3- Comparison of the effect of different levels of superabsorbent application on seed yield, dry matter yield and harvest index of studied crops. Bars indicate the confidence intervals of accumulated weighted of the effect size among the investigated experiments.

بخشی از تنوع موجود در نتایج آزمایش‌ها، به جنبه‌های آماری مثل ضریب تغییرات و تعداد تکرار در آزمایش‌ها برمی‌گردد و بخش دیگری از آن به شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک و عوامل دیگر مربوط می‌شود. دابهی و همکاران (Dabhi et al., 2013) ضمن مرور چندین آزمایش با موضوع بررسی اثر کاربرد سوپرجاذب، نتیجه گرفتند که تعیین میزان کاربرد پلیمر سوپرجاذب باید بر مبنای تحلیل نتایج تجزیه خاک و کیفیت آن، کیفیت آب مورد استفاده و نوع گیاه زراعی باشد. آن‌ها پیشنهاد کردند که به‌منظور پاسخ به این سؤال که آیا کاربرد سوپرجاذب می‌تواند عملکرد محصولات نقدینگی را بهینه سازد و در نتیجه شرایط اقتصادی و اجتماعی کشاورزان خرده‌پا و حاشیه‌ای

اندازه اثر سطوح مختلف سوپرجاذب بر شاخص برداشت، ناچیز بود که با نتیجه فراتحلیل انجام شده روی نتایج پژوهش‌های مربوط به مصرف کود شیمیایی نیتروژنی در تولید غلات، همخوانی دارد (Koocheki et al., in Press). گزارش‌های متعددی وجود دارد مبنی بر این که شاخص برداشت، صفتی وراثتی است و عوامل مدیریتی بر آن تأثیر چندانی ندارند. کنترل ژنتیکی شاخص برداشت در برنج *Oryza sativa* L. (Peng et al., 2000)، گندم *Triticum aestivum* L. (Austin et al., 1998) و ذرت *Zea mays* L. (Kiniry et al., 2004) به تأیید رسیده است.

به کارگیری گسترده آن توسط کشاورزان و تولیدکنندگان بخش زراعت و باغبانی فراهم آورد.

در ۸۳ درصد از آزمایشات، دامنه کاربرد سوپر جاذب بین ۲۶ تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین فراوانی مربوط به محدوده کاربرد ۴۱ تا ۸۰ و سپس ۸۱ تا ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار بود که ۶۳ درصد از کل آزمایشات را شامل شد. پاسخ ماده خشک به کاربرد سوپر جاذب نسبت به پاسخ عملکرد دانه کمتر بود. میانگین مصرف ۸۳ کیلوگرم در هکتار از سوپر جاذب برای غلات، عملکرد دانه را به طور متوسط ۱۳/۲ درصد افزایش داد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از سوپر جاذب مناسب ترین میزان با توجه به اندازه اثر بر عملکرد دانه و ماده خشک است. از سوی دیگر، با میانگین مصرف ۸۳ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب برای غلات، عملکرد دانه به طور میانگین ۱۳/۲ درصد افزایش نشان داد. اگر میزان آب مصرفی در یک مرتبه آبیاری غلات به طور تقریبی ۱۰۰۰ متر مکعب در نظر گرفته شود، کاهش فقط یک مرتبه آبیاری و سود ریالی ناشی از آن در کنار سود حاصل از افزایش عملکرد، بدون در نظر گرفتن مزایای غیرمستقیم اکولوژیکی و باقی مانده سوپر جاذب در خاک برای سال های بعد، می تواند استفاده از این نهاده در سطوح مختلف را توجیه کند.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه این پژوهش از محل اعتبارات طرح پژوهش شماره ۲/۴۳۹۳۳ مورخ ۱۳۹۶/۰۳/۰۱ توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین وسیله سپاسگزاری می شود.

را بهبود بخشید یا خیر، به انجام آزمایش های بیشتری نیاز است. ضمن این که، برنامه های دولتی، سازمان های غیردولتی، موسسات تحقیقات کشاورزی و برنامه های آموزش عملی باید به کشاورزان در جهت به کارگیری این فناوری، آموزش های لازم را ارائه دهند.

نتیجه گیری

یافته های این پژوهش نشان داد که با وجود انجام پژوهش های متعدد در رابطه با تأثیر سوپر جاذب بر عملکرد گیاهان زراعی در کشور، نتایج حاصل بسیار متنوع بوده و از پراکندگی زیادی برخوردار است. این موضوع باعث شده است که با وجود تمایل و استقبال قابل توجه در به کارگیری این نهاده جدید در بخش کشاورزی، کاربرد بهینه آن هنوز مشخص نباشد. فراتحلیل به عنوان یک روش قدرتمند آماری ابزار مناسب و دقیقی را برای تلفیق نتایج آزمایشات مستقل فراهم نمود و دامنه های مشخصی را برای کاربرد سوپر جاذب تعیین نمود. مطالعه حاضر، بر اساس ارزیابی تأثیر کاربرد سوپر جاذب بر عملکرد دانه و ماده خشک انجام گرفت و ابعاد دیگر کاربرد سوپر جاذب مثل تأثیر آن بر صرفه جویی در میزان آب آبیاری و همچنین تأثیر بر کارایی مصرف عناصر غذایی نیز از اهمیت شایانی برخوردار هستند که در طراحی پژوهش های آینده باید مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد. طراحی و اجرای پژوهش هایی با محوریت برآورد و مقایسه مزیت های اقتصادی در مصرف آب در نتیجه کاربرد سوپر جاذب می تواند هزینه نسبتاً بالای این نهاده بوم سازگار را توجیه کرده و زمینه را برای

References

- 1- Abedi-Koupai, J., Sohrab, J., and Swarbrick, G. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *Journal of Plant Nutrition* 31: 317-331. (in Persian with English abstract).
- 2- Allahdadi, A. B., Ghamsari, M., Akbari, G. A., and Zohourmehr, M. 2005. Study the effect of different levels of super absorbent polymer and irrigation on corn (*Zea mays* L.) growth and yield. 3th Congress on Super Absorbent Hydrogel Application in Agriculture. Research Center for Polymer and Petrochemical of Iran. (in Persian with English abstract).
- 3- Allahyari, S., Golchin, A., and Vaezi, A. 2012. Study on effect of super absorbent polymer application on yield and yield components of two chickpea cultivars under rain fed conditions. *Journal of Plant Production Research*, 20 (1): 125-140. (in Persian with English abstract).
- 4- Austin, R. B., Bringham, J., Blackwell, R. D., Evans, L. T., Ford, M. A., Morgan, C. L., and Taylor, M. 1998. Genetic improvement in winter wheat yield since 1980 and associated physiological changes. *Journal of Agricultural Science* 84: 675-689.
- 5- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Sadeghi Lotfabadi, S., and Mohamadian, A. 2010. Association between climate indices, aridity index, and rain fed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research* 118: 105-114.
- 6- Bayat, M., Rostami, G., and Haddadiyan, M. A huge view on extractable water resources and the states of water supplying plans in Iran. *Journal of Civil Engineering* 39: 26-37.
- 7- Bowman, D. C., and Evans, R. Y. 1991. Calcium inhibition of polyacrylamide gel hydration is partially reversible by potassium. *Horticultural Science* 26 (8): 1063-1065.
- 8- Cerrato, M. E., and Blackmer, A. M. 1990. Comparison of models for describing; corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 82: 138-143.
- 9- Chatzopoulos, F., Fugit, J. F., and Ouillous, L. 2000. Etu deocation function do different parameters dolabsption et alla desorption do Sodium retitule, *European Polymer Journal* 36: 51-60.

- 10- Dabhi, R., Bhatt, N., and Pandit, B. 2013. Super absorbent polymers-An innovative water saving technique for optimizing crop yield. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 2 (10): 5333-5340.
- 11- Degaiorgi, C. F. 2002. Hydrogels for immobilization of bacteria used in treatment of metal contaminated wastes. Radiation Physics and Chemistry 63: 109-113.
- 12- Deng, X. P., Shan, L., Zhang, H., and Turner, N. C. 2006. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China. Agricultural Water Management 80 (1-3): 23-40.
- 13- Jahan, M., Sohrabi, R., Doayi, F., and Amiri, M. B. 2013. Effect of super absorbent water application in soil and humic acid foliar application on some agroecological characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mashhad (Iran). Journal of Agroecology 3 (2): 71-90. (in Persian with English abstract).
- 14- Gurevitch, J., and Hedges, L. V. 1999. Statistical issues in ecological meta-analyses. Ecology 80: 1142-1149.
- 15- Hedges, L. V., and Olkin, I. 1985. Statistical Methods for Meta-Analysis. New York: Academic Pub. ISBN-13: 978-0123363800.
- 16- Hedges, L. V., Gurevitch, J., and Curtis, P. S. 1999. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. Ecology 80: 1150-1156.
- 17- Hooman, H. A. 2007. Handbook of meta-analysis in scientific research. SAMT Pub. Tehran, Iran. ISBN: 978-964-530-314-1. (in Persian).
- 18- Islam M. R., Eneji, A. E. Ren, C., Li, J., and Hu, Y. 2011. Impact of water-saving superabsorbent polymer on oat (*Avena* spp.) yield and quality in an arid sandy soil. Scientific Research and Essays 6: 720-728.
- 19- Jahan, M., Ranjbar, F., and Kamayestani, N. 2013. Assay for applying super absorbent polymer in a low-input corn production system aimed to reduce drought stress. Agroecology 5 (3): 272-281. (in Persian with English abstract).
- 20- Jahan, M., Amiri, M. B., Naseri, N., Salehabadi, M., and Abbasi, S. Evaluation of principal components in water use efficiency (WUE) of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and maize (*Zea mays* L.) in response of the increased rates application of water super absorbent. (in Press).
- 21- Jahan, M., Amiri, M. B., and Noorbakhsh, F. 2017. Evaluation and comparison of different economic and environmental scenarios for bean (*Phaseolous vulgaris* L.) production via optimization of water superabsorbent, humic acid and cattle manure application. Iranian Journal of Pulses Research 8 (2): 10-30. (in Persian with English abstract).
- 22- Jahan, M., Amiri, M. B., and Noorbakhsh, F. 2017. Evaluation of the increased rates of water super absorbent and humic acid application under deficit irrigation condition on some agroecological characteristics of *Zea mays* using response surface methodology. Iranian Journal of Field Crops Research 14 (4): 746-764. (in Persian with English abstract).
- 23- Jahan, M., Ghaleñoie, S., Khamooshi, A., and Amiri, M. B. 2014. Evaluation of agroecological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by application of water-saving superabsorbent and humic acid under irrigation interval. Horticultural Science 29 (2): 240-254. (in Persian with English abstract).
- 24- Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Ranjbar, F., Aryaee, M., and Kamayestani, N. 2013. The effects of super absorbent polymer and humic acid application in drought stress reduction and enhancing quantitative and qualitative yield of sugar beet under Mashhad conditions. Journal of Agroecology 6 (4): 753-766. (in Persian with English abstract).
- 25- Khadem, A., Ramroodi, M., Galavi, M., and Roosta, M. G. 2010. The effect of drought stress and application of different rates of manure and superabsorbent polymer on yield and yield components of *Zea mays* L. Iranian Journal of Crops Sciences 42 (1): 115-123. (in Persian with English abstract).
- 26- Kiniry, J. R., Bean, B., Xie, U., and Chen, P. 2004. Maize yield potential: critical processes and simulation modeling in a high-yielding environment. Agricultural Systems 82: 45-56.
- 27- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Bakhshae, S., Davari, A., and Zare Zadeh, T. A meta-analysis of nitrogen fertilizer experiments for cereal crops in Iran. (in Press).
- 28- Koohestani, S., Asgari, N., and Maghsudi, K. 2009. Study the effect of super absorbent hydrogel on corn (*Zea mayz* L.) yield under drought stress. Journal of Iran Water Research 5: 71-78. (in Persian with English abstract).
- 29- Martin, C. A., Ruter, J. M., Robertson, R. W. and Sharp, W. P. 1993. Element absorption and hydration potential of polyacrylamide gels. Communications in Soil Science and Plant Analysis 24 (5-6): 539-548.
- 30- Martin, E. T. 1997. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. Published by the International Fertilizer Industry Association, Paris, France. ISBN 2-9506299-0-3.
- 31- Mirzaei, M., Rezvani, M. A., and Gohari, J. 2005. Effect of water stress at different growth stages on yield and some physiological characteristics of sugar beet. Journal of Sugar Beet 21 (1): 1-14. (in Persian with English abstract).
- 32- Monnig, S. 2005. Water saturated superabsorbent polymers used in high strength concrete. Otto Graf Journal 16: 193-202.

- 33- Moosavi Niya, M., and Attarpoor, A. 2004. Evaluation of the effect of superabsorbent polymer on deficit irrigation of turf grass. Third workshop on superabsorbent Hydrogels application in Agriculture. Research Center for Polymer and Petrochemicals of Iran.
- 34- Morison, J. I. L., Baker, N. R., Mullineaux, P. M., and Davies, W. J. 2008. Improving water use in crop production. *Advances in Water Resources* 34 (2): 272-281.
- 35- 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. Third ed. ASA, Madison.
- 36- Neuman, L. W. 2000. *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. 4th Edition, Allyn & Bacon, Needham Heights. ISBN 0205297714.
- 37- Nykanen, V. P. S., Nykanen, A., Puska, M. A., Goulart-Silva, G., and Ruokolainen, J. 2011. Dual-responsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate-substituted polyphosphazene. *Soft Matter* 7: 4414-4424.
- 38- Peng, S., Laza, R., Visperas, R., Sanico, A., Cassman, K. G., and Khush, G. 2000. Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. *Crop Science* 40: 307-314.
- 39- Pornyazpour, A., Habib, D., and Roshan, B. 2007. What is super absorbent? *Journal of Agricultural and Natural Resources Engineering* 4 (15): 1-3. (in Persian with English abstract).
- 40- Rahmani, M., Habibi, D., Shirani Rad, A. M., and Daneshian, G. 2009. The effect of application of different amounts of super absorbent polymer on yield and antioxidant enzymes activity in *Sinapis arvensis* L. under drought stress conditions. *Journal of Environmental Stress in Plants* 1 (1): 23-38. (in Persian with English abstract).
- 41- Rajabi, L., Sajedi, N. A., and Roshandel, M. 2011. Yield and yield components response of *Cicer arietinum* to salicylic acid and superabsorbent polymer. *Journal of Crop Production Research* 4 (4): 343-353. (in Persian with English abstract).
- 42- Reza, A., Friedel, J. K., and Bodner, G. 2012. Improving Water Use Efficiency for Sustainable Agriculture. In: *Agroecology and strategies for climate change Book Series: Sustainable Agriculture Reviews*. Lichtfouse, E. (Eds.). 8: 167-211.
- 43- Roostayi, Kh., Movahhedi Dehnavi, M., Khadem, M., and Oliyayi, H. R. 2011. The effect of different rates of super absorbent polymer and manure on qualitative and quantitative characteristics of soybean under drought stress. *Journal of Crop Production Research* 14 (1): 33-42. (in Persian with English abstract).
- 44- Rosenthal, R. 2001. Meta-analysis: Recent development in quantitative methods for literature reviews. *Annual Review of Psychology* 52: 59-82.
- 45- Roshdi, M. 2012. Investigation of reproductive traits and yield of sunflower under different irrigation levels and super absorbent polymer. *Journal of Crop Production Research* 5 (4): 373-385. (in Persian with English abstract).
- 46- Salar, N., Farhpoor, M., and Baharim F. 2004. Evaluation of the effect of water super absorbent polymer on irrigation interval in melon cultivation. Third workshop on superabsorbent Hydrogels application in Agriculture. Research Center for Polymer and Petrochemicals of Iran.
- 47- Setter, T. L., Brian, A., Lannigan, F., and Melkonian, J. 2001. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize: carbohydrate supplies, abscisic acid and cytokinins. *Crop Science* 41: 1530-1540.
- 48- Soltani, E., and Soltani, A. 2014. Meta-analysis of seed priming effects on germination: a case study in Iran. Abstract. 1st International and 13rd Iranian Seed Science and Technology Conference. August 24-26, Karaj, Iran.
- 49- Talayee, A., and Asadzade, A. 2004. Evaluation of the effect of superabsorbent hydrogels in drought mitigation on olive trees. Third workshop on superabsorbent Hydrogels application in Agriculture. Research Center for Polymer and Petrochemicals of Iran.
- 50- Van Groenigen, J. W., Lubbers, I. M., Vos, H. M. J., Brown, G. G., De Deyn, G. B., and Van Gronigen, K. J. 2014. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports* 4: (6365): 1-7. DOI: 10.1038/srep06365.
- 51- Wang, W., and Wang, A. 2010. Nanocomposite of carboxymethyl cellulose and attapulgit as a novel pH-sensitive superabsorbent: Synthesis, characterization and properties. *Carbohydrate Polymers* 82: 83-91.
- 52- Wolf, F. 1986. *Meta-Analysis: Quantitative Methods for Research Synthesis*. Beverly Hills, CA: Sage.
- 53- Xie, L., Liu, M., Ni, B., Zhang, X., and Wang, Y. 2011. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgit. *Chemical Engineering Journal* 167: 342-348.
- 54- Yazdani, F., Allahdadi, A., Akbari, A., and Behbahani, M. R. 2007. The effect of different levels of super absorbent polymer (Rarawat A200) and different drought level on yield and yield components of soybean. *Pajouhesh and Sazandegi in Agronomy and Horticulture* 75: 168-174. (in Persian with English abstract).
- 55- Yousefi Fard, Y., Asare, A., and Kalhor, M. 2010. The effect of superabsorbent application on yield and yield components of *Zea mays* SC 704 under Lorestan conditions. *Water Science and Engineering* 1 (3): 7-16. (in Persian with English abstract).

- 56- Zhong, K., Lin, Z. T., Zheng, X. L., Jiang, G. B., Fang, Y. S., Mao, X. Y., and Liao, Z. W. 2013. Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. *Carbohydrate Polymers* 92: 1367-1376.
- 57- Zhong, K., Zheng, X. L., Mao, X. Y., Lin, Z. T., and Jiang, G. B. 2012. Sugarcane bagasse derivative-based superabsorbent containing phosphate rock with water-fertilizer integration. *Carbohydrate Polymers* 90: 820-826.



Meta-Analysis of the Effect of Super-Absorbent Application on Crops Yield in Iran

M. Jahan^{1*}, M. Nassiri Mahallati²

Received: 21-10-2017

Accepted: 12-08-2018

Introduction

The most fundamental agricultural obstacle particularly in arid and semi-arid regions is water shortage. To mitigate this problem, application of some soil amendments such as water super absorbent polymers (SAP) for increasing water-holding capacity in the soil has been under attention at commercial level in recent years.

Despite numerous studies in Iran and the apparent positive and various functions have been mentioned for SAP and their advantageous in agriculture, there has not been a precise conclusion about these studies. On the other hand, variations in consumption rate, conditions and experimental treatments, makes an impossibility or hardness to receive a conclusive result for the researchers studying one or few numbers of relevant articles.

Meta-analysis is the statistical procedure for combining data from multiple studies. When the treatment effect (or effect size) is consistent from one study to the next, meta-analysis can be used to identify this common effect. When the effect varies from one study to the next, meta-analysis may be used to identify the reason for the variation. Decisions about the utility of an intervention or the validity of a hypothesis cannot be based on the results of a single study, because results typically vary from one study to the next. Rather, a mechanism is needed to synthesize data across studies (Rosenthal, 2001). Narrative reviews had been used for this purpose, but the narrative review is largely subjective (different experts can come to different conclusions) and becomes impossibly difficult when there are more than a few studies involved. Meta-analysis, by contrast, applies objective formulas (much as one would apply statistics to data within a single study), and can be used with any number of studies.

Therefore, this study was conducted with the aim of doing meta-analysis on the results of conducted researches in Iran and to answer a general question that whether the application of SAP has been successful or not, and if yes, how much of SAP is recommended.

Materials and Methods

To conduct this research, articles were published during 2006-2016 with the subject of the effect of different rates of SAP on yield and yield components of crops (including cereals, legumes, medicinal and rangeland plants) were investigated. Amongst 32 articles were checked, 13 articles have enough data to conduct the meta-analysis for seed yield, dry matter yield and harvest index.

Results and Discussion

The result of meta-analysis showed that the mean consumption rate of SAP for cereals, legumes, medicinal and rangeland plants were 83, 322, 1031 and 210 kg ha⁻¹, respectively, and with this consumption rate of SAP, the mean seed yield in cereals, medicinal plants and legumes increased by 13.2, 11.2 and 27.5% (equal to 1059, 345 and 452 kg ha⁻¹), respectively, compared with control.

Generally, the results showed that the effect of SAP on seed yield and dry matter was significant but was not significant for harvest index. The effect size of the application of different SAP rates on dry matter yield and at the whole levels was greater than its effect size on seed yield. The most effect size on seed yield was considered for the application of 100 kg ha⁻¹ SAP and the application rates greater than 200 kg ha⁻¹, unlike the dry matter yield, had no significant effect on seed yield.

Conclusions

According to the results, it seems that application of 100 kg ha⁻¹ SAP is the most appropriate rate on seed yield and dry matter increment and economical aspects. Design and implementation of the researches focused on estimation and comparison of economic benefits about water consumption as the result of SAP application can

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

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

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

justify the relatively high cost of this ecological input and provide the necessary ground for its widespread use by farmers and producers involved in agronomy and horticultural sections.

Keywords: Cereals, Medicinal plants, Meta-analysis, Pulses



تعیین محتوی کلروفیل و وضعیت نیتروژن در ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم با استفاده از کلروفیل متر (SPAD)

ولی فیضی اصل^{1*}، امیر فتوت²، علیرضا آستارایی³، امیر لکزیان⁴، جعفر جعفرزاده⁵

تاریخ دریافت: 1396/09/04

تاریخ پذیرش: 1397/08/22

چکیده

امروزه تشخیص گیاه مینا یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین وضعیت نیتروژن در گیاه می‌باشد. به منظور برقراری ارتباط بین داده‌های حاصل از کلروفیل متر و وضعیت نیتروژن در ژنوتیپ‌های گندم دیم در مدیریت‌های مختلف مصرف نیتروژن به‌عنوان ابزاری جهت دستیابی به عملکردهای مطلوب، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دوبارخردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی 1389-90 در مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه به‌اجرا درآمد. آزمایش شامل زمان مصرف نیتروژن (کل نیتروژن مصرفی در پاییز و مصرف تقسیمی آن به‌صورت $\frac{2}{3}$ در پاییز و $\frac{1}{3}$ در بهار در مرحله ZGS32) به‌عنوان عامل اصلی، چهار سطح نیتروژن (صفر، 30، 60 و 90 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی اول و 7 ژنوتیپ گندم دیم به‌عنوان عامل فرعی دوم بود. در مراحل شروع پنجه (GS22)، پنجه کامل (GS29)، طویل شدن ساقه (GS32)، ظهور برگ پرچم (GS39) و گلدهی (GS60)، شاخص نسبی کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD قرائت و با اجزای کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل c و کاراتنوئیدهای اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاهی برازش داده شد. نتایج نشان داد، شاخص کلروفیل همبستگی مثبت و معنی‌داری با کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل c و کاراتنوئیدها داشت. مصرف تقسیمی نیتروژن توانست شاخص کلروفیل (8/3 درصد) و اجزای کلروفیل (کلروفیل کل، a، b و c به‌ترتیب 15/0، 11/1، 10/9 و 27/0 درصد) و پروتئین دانه (8/5 درصد) را به استثنای کاراتنوئیدها به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. مصرف نیتروژن توانست تمامی شاخص‌های کلروفیل را در گیاه تحت تاثیر قرار داده و به‌طور معنی‌داری آنها را تغییر دهد. ایده‌آل‌ترین شرایط از لحاظ شاخص‌های کلروفیل در گیاه با مصرف 72 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. ژنوتیپ 1 مطلوب‌ترین و آذر 2 نامناسب‌ترین وضعیت را از لحاظ شاخص‌های کلروفیل و نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها (مطلوب 40-70) در گیاه به‌عنوان شاخص مقاومت به تنش به خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: اجزای کلروفیل، تنش رطوبتی، روش بای پلات، مراحل رشد، مصرف اقتصادی نیتروژن

مقدمه

این عنصر باعث می‌شود تا تنش نیتروژنی مهمترین عامل محدودکننده تولید گندم (*Triticum aestivum*) دیم پس از تنش رطوبتی در این مناطق باشد. از این رو، تأمین کافی نیتروژن قابل استفاده در خاک برای رشد بهینه گندم دیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Feiziasl et al., 2014; Feiziasl et al., 2016). اگرچه کشاورزان در سرتاسر دنیا عملاً به این نتیجه رسیده‌اند که با مصرف زیاد نیتروژن می‌توان به عملکردهای بیشتری دست یافت اما مصرف بیش از حد نیتروژن باعث کاهش عملکرد دانه گندم و تلفات بیشتر نیتروژن می‌شود (Wang et al., 2011).

امروزه با پیشرفت تکنیک سنجش از راه دور، برخی برای توصیه کودهای نیتروژنی از تشخیص‌های گیاه مینایی⁶ مانند شاخص نسبی کلروفیل (Follet et al., 1992)، شاخص نرمال شده پوشش

کمبود نیتروژن بیش از هر عنصر دیگری عامل محدودکننده رشد می‌باشد. این عنصر به مقدار زیادی توسط گیاهان از خاک جذب می‌شود. کمبود نیتروژن به دلیل کمی مواد آلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان منشاء طبیعی نیتروژن مورد نیاز گیاه اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر، وجود تنش رطوبتی به‌عنوان مانع اصلی جذب

- 1- استادیار مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
 - 2- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 3- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 4- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 5- استادیار مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
- (*) - نویسنده مسئول:
(Email: vfeiziasl@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v17i2.68973

برگ ارقام مختلف گندم پیش‌بینی نماید، اما این شاخص رابطه معنی‌داری با عملکرد دانه نداشت. صالحی و همکاران (Salehi et al., 2004) اعلام داشتند، در شرایط شوری قرائت‌های کلروفیل‌متر توانست 84 درصد از تغییرات نیتروژن کل را در برگ پرچم گندم در مرحله ساقه رفتن و گلدهی توجیه نمایند. اگرچه بین سطوح شوری و نیتروژن برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری (88 درصد) مشاهده شد، اما در سطوح بالای شوری (300 میلی مول بر لیتر) تقریباً ارتباطی بین اعداد حاصل از SPAD و نیتروژن گیاه وجود نداشت. در تحقیقات خادمی و اسدی (Khademi and Asadi, 2013)، با وجود همبستگی بین غلظت نیتروژن در گیاه و مقادیر قرائت کلروفیل‌متر، بیشترین همبستگی (85 درصد) در مرحله 7 برگی ذرت (*Zea mays*) مشاهده شد. این در حالی است که در برخی از پژوهش‌های انجام گرفته رابطه معنی‌داری بین شاخص کلروفیل و غلظت نیتروژن گیاه وجود نداشته است. اصفهانی و همکاران (Esfahani et al., 2008) به این نتیجه رسیدند که داده‌های به‌دست آمده از SPAD تنها توانست 23 درصد از تغییرات غلظت نیتروژن کل را در مراحل مختلف رشد برنج (*Oryza sativa*) توجیه نماید. لی و همکاران (Li et al., 2011) نیز در محصول برنج با ادغام داده‌های حاصل از مراحل مختلف اندازه‌گیری شاخص کلروفیل گزارش کردند که رابطه معنی‌داری (یک درصد) بین داده‌های SPAD و غلظت نیتروژن در برگ به‌دست نیامد. با توجه به مطالب یادشده، هدف این تحقیق بررسی امکان ارتباط بین اعداد کلروفیل‌متر با نیتروژن کل برگ پرچم ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم و ارزیابی وضعیت نیتروژنی گیاه به‌عنوان ابزاری کمکی برای توصیه کودهای نیتروژنی در شرایط دیم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور واسنجی داده‌های حاصل از کلروفیل‌متر با مقادیر نیتروژن کل در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دوبارخردشده (اسپلیت اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی 90-1389 در مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه به اجرا درآمد. آزمایش شامل زمان مصرف نیتروژن (کل نیتروژن مصرفی در پاییز و مصرف تقسیمی آن به‌صورت $\frac{2}{3}$ در پاییز و $\frac{1}{3}$ در بهار در مرحله ZGS32) به‌عنوان عامل اصلی، چهار سطح نیتروژن (صفر، 30، 60 و 90 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی اول و 7 ژنوتیپ گندم دیم (آذر 2، رصد، اوحدی، Genotype 1، Genotype 2، SARA-BW-F6- و Genotype 3 به‌ترتیب با شجره DH-TEVEE'S//CROW/VEE'S' 2، 06-85-86-29-1 و 2049-3 و HN7/OROFEN//BGN8/3/SERI/4/.. که از این به بعد با شماره‌های 1، 2، 3 و 4 خوانده می‌شوند) به‌عنوان عامل

گیاهی¹ (NDVI) و غیره را در مقابل واسنجی نیتروژن در خاکرخ با پاسخ گیاه مناسب‌تر و کم هزینه‌تر می‌دانند (Limon-Ortega, 2009). با این حال، برای تأیید صحت و دقت اغلب این روش‌ها از واسنجی آنها با مقادیر نیتروژن معدنی خاک و نیتروژن جذب شده توسط گیاه استفاده می‌شود. برای مدیریت کوددهی نیتروژن، ارزیابی وضعیت نیتروژن گیاه در طول دوره رشد مهم است. امروزه استفاده از کلروفیل‌متر² (SPAD) یکی از راهکارهای مفید برای پی بردن به وضعیت نیتروژن و شدت فتوسنتز گیاه از طریق تخمین میزان کلروفیل آن است، زیرا نزدیک به 75 درصد نیتروژن جذب شده در گیاه در ساختمان کلروفیل و آنزیم‌های مرتبط با کلروفیل شرکت دارد (Gianquinto and Bona, 2000; Tilling et al., 2007; Esfahani et al., 2008). این عمل افزون بر کاهش هزینه‌های کوددهی، باعث افزایش کارایی استفاده از نیتروژن، حفظ محیط‌زیست و جلوگیری از نمونه‌گیری‌های تخریبی روش‌های سنتی در برآورد میزان نیتروژن و کلروفیل گیاه می‌شود (Andraski et al., 2000; Gianquinto et al., 2003; Hirel et al., 2007). زمانی که گیاه در معرض تنش نیتروژن قرار گرفته باشد، میزان کلروفیل آن به شدت کاهش می‌یابد که با استفاده از کلروفیل‌متر می‌توان این وضعیت را تشخیص داد. دستگاه SPAD قادر است وضعیت نیتروژن برگ را با تخمین مقدار کلروفیل برگ ارزیابی کند. کار با این دستگاه بسیار سریع و آسان بوده و قرائت در مدت چند ثانیه می‌تواند انجام شود. از آنجا که کلروفیل‌متر میزان سبزیگی گیاه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد، از طریق مقایسه عدد آن با قرائت کلروفیل‌متر در گیاهان شاهد کوددهی شده (تیمار مرجع)، می‌توان به محتوای نیتروژن گیاه نیز پی برد. این موضوع به پژوهش‌گر اجازه می‌دهد که عملیات کوددهی به گیاه را بر اساس نیاز واقعی گیاه برنامه‌ریزی نماید و ریسک کاهش عملکرد در اثر کمبود مواد غذایی و همچنین هزینه ناشی از کوددهی اضافی را کاهش دهد (Arshadi et al., 2016).

نتایج ضد و نقیضی در خصوص کاربرد دستگاه SPAD در شناسایی وضعیت نیتروژن در گیاه گزارش شده است، اما اغلب این نتایج گویای رابطه معنی‌دار بین قرائت‌های کلروفیل‌متر با میزان کلروفیل و نیتروژن کل موجود در گیاه می‌باشد. چانجیانگ و همکاران (Chunjiang et al., 2007) در آزمایش مزرعه‌ای در چین، همبستگی خطی بین اعداد حاصل از کلروفیل‌متر (SPAD) با نیتروژن در برگ (0/81) و عملکرد دانه (0/85) را در گندم نان گزارش نمودند. مجیدی (Majidi, 2014) گزارش کرد، کلروفیل‌متر توانست به‌طور موفقیت‌آمیزی (63 الی 88 درصد) تغییرات غلظت نیتروژن کل را در

1- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

2- Soil Plant Analysis Development (SPAD) or Chlorophyll Content Index (CCI)

لوم تا رس سiltی می‌باشد. بارندگی و آمار هواشناسی در سال زراعی یادشده نزدیک به میانگین بلندمدت ایستگاه بود (جدول 1). از خاک محل اجرای آزمایش از عمق صفر تا 25 سانتی‌متری به روش مرکب نمونه‌برداری شد. نتایج آزمایش خاک در جدول 2 آمده است.

فرعی دوم بود. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم واقع در 25 کیلومتری جاده مراغه - هشتروند در 46 درجه و 20 دقیقه طول شرقی و 37 درجه و 12 دقیقه عرض شمالی و ارتفاع 1720 متری از سطح دریا با اقلیم نیمه‌خشک سرد هم‌مرز با فراسرد دارای سری خاک رگل آباد با مشخصات Fine mixed, Mesic, Verti Calcixereptsv با بافت

جدول 1- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در سال زراعی 90-89 و میانگین بلندمدت (20 ساله)
Table 1- Maragheh dryland agriculture research station climate data in cropping year 2010-2011 and long term (20 years)

سال Year	بارندگی Rainfall (mm)	میانگین دمای کمینه Mean Min. Temperature (°C)	میانگین دمای حداکثر Mean Max. Temperature (°C)	میانگین دما Mean Temperature (°C)	تعداد روزهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد Days of below zero °C	رطوبت نسبی هوا Relative humidity (%)	تبخیر Evaporation (mm)
2010-2011	353	2.5	16.5	8.7	130	50.3	1485
1992-2012	365	4.2	14.6	9.4	128	53.0	1757

جدول 2- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک قبل از کاشت (عمق 0-25 سانتی‌متری)
Table 2- Soil physical and chemical characteristics before sowing (0-25 cm depth)

شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	کربنات کلسیم معادل CaCO ₃ (%)	کربن آلی OC (%)	درصد اشیاع SP (%)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)
25	40	35	5.1	0.72	47	7.7	0.15
نیترات NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	آمونیم NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	مس Cu (mg kg ⁻¹)
7.2	4.6	5.8	677	7.6	13.6	1.1	2.3

قرائت شد (میانگین تعداد قرائت در 30 کرت در سطوح مختلف نیتروژن) بلافاصله از گیاه جدا و در داخل کیسه‌های پلاستیکی به محفظه حاوی یخ منتقل شدند. برای استخراج کلروفیل برگ‌ها در آزمایشگاه از روش آرنون (Arnon, 1949) استفاده شد. مقدار یک گرم وزن تر برگ با ترازوی 0/0001 گرم توزین و در 10 میلی‌لیتر استن 80 درصد با هاون در داخل بوته چینی ساییده و پس از صاف کردن با کاغذ واتمن شماره 2، بخش باقی‌مانده برگ بر روی بوته چینی و کاغذ صافی مجدداً با استفاده از 10 میلی‌لیتر استن 80 درصد به‌طور کامل ساییده و حجم نهایی عصاره صاف شده با استن 80 درصد به 20 میلی‌لیتر رسانده شد. مقدار جذب نور در طول موج‌های A₄₇₀، A₆₄₇ و A₆₆₃ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و برای تنظیم دستگاه از استن 80 درصد به‌عنوان شاهد استفاده شد. غلظت کلروفیل‌های a، b، c، کل و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم در میلی‌لیتر به‌ترتیب از طریق روابط 1، 2، 3، 4 و 5 تعیین گردید (Humphrey and Jeffrey, 1975; Lichtenthaler et al., 2001):

$$\begin{aligned} Chl.a &= (12.25 \times A_{663} - 2.97 \times A_{647}) & (1) \\ Chl.b &= (21.51 \times A_{647} - 5.10 \times A_{663}) & (2) \\ Chl.c &= (24.36 \times A_{630} - 3.73 \times A_{664}) & (3) \\ Chl.Total &= (Chl.a + Chl.b) & (4) \\ C_{x+c} &= [(1000 \times A_{470}) - (1.8 \times Chl.a) - (85.02 \times Chl.b)] / 198 & (5) \end{aligned}$$

فسفر بر اساس حد بحرانی 10 میلی‌گرم در کیلوگرم (Feiziasl et al., 2004) به میزان 65 کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل و به‌صورت جای‌گذاری هم‌زمان با کاشت مصرف گردید. با توجه به بالا بودن میزان پتاسیم و عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز، روی و مس قابل استفاده در خاک (جدول 2) از حد بحرانی ارائه شده برای این عناصر (پتاسیم 250، آهن 9، منگنز 1.1، روی 1 و مس 1/8 میلی‌گرم در کیلوگرم)، نیاز به مصرف کودهای پتاسیمی و عناصر کم‌مصرف نشد (Feiziasl et al., 2009; Malakouti and Gheibi, 2000).

مقادیر نیتروژن کرت‌ها در مصرف پاییزی با استفاده از دستگاه کاشت هاسیا از منبع اوره هم‌زمان با کاشت در عمق 5-7 سانتی‌متری زیر بستر بذر جای‌گذاری شد. بذره‌ای گندم با تراکم 400 دانه در مترمربع پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسین‌تیرام به نسبت دو در هزار و به کمک بذرکار آزمایشی (وینتراشتاگر) در عمق 5-7 سانتی‌متری در دهه اول مهر ماه کشت شد.

در مراحل شروع پنجه (GS22)، پنجه کامل (GS29)، طویل شدن ساقه (GS32)، ظهور برگ پرچم (GS39) و گلدهی (GS60)، شاخص نسبی کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD قرائت و به‌منظور برازش و تبدیل اعداد به‌دست آمده از کلروفیل‌متر (SPAD-Hansatech مدل CI-01) با میزان واقعی کلروفیل و اجزای آن در گیاه در مرحله گلدهی (GS60)، برگ‌هایی که توسط کلروفیل‌متر

در این معادله‌ها:

$Chl.a$: غلظت کلروفیل a (میلی گرم در میلی لیتر)

$Chl.b$: غلظت کلروفیل b (میلی گرم در میلی لیتر)

$Chl.c$: غلظت کلروفیل c (میلی گرم در میلی لیتر)

$Chl.Total$: غلظت کلروفیل کل (میلی گرم در میلی لیتر)

C_{x+c} : غلظت کاروتنوئیدها شامل کاروتن‌ها و گزانتوفیل‌ها (میلی گرم در میلی لیتر)

A_{647} ، A_{663} و A_{647} : به ترتیب جذب نور در طول موج‌های 647، 663 و 470 نانومتر می‌باشد.

شاخص نیتروژن (NI) برای تیمارهای آزمایشی با استفاده از معادله 6 محاسبه گردید (Gianquinto and Bona, 2000; Arshadi and Asgharipour, 2011):

$$NI = \frac{SPAD \text{ chl. each plot}}{SPAD \text{ chl. control plot}} \times 100 \quad (6)$$

در این رابطه:

NI : شاخص نیتروژن

$SPAD \text{ chl. each plot}$: قرائت کلروفیل‌متر در تیمارهای

نیتروژنی

$SPAD \text{ chl. control plot}$: قرائت کلروفیل‌متر در تیمار شاهد

(بدون مصرف نیتروژن) می‌باشد.

همچنین شاخص دیگری را تحت عنوان شاخص کفایت کلروفیل¹ (CSI) یا شاخص نسبی کلروفیل‌متر² (RCM) که همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد گیاهان و میزان نیتروژن گیاه دارد، برای تیمارهای آزمایشی از طریق معادله 7 محاسبه شد (Peterson et al., 1993):

$$RCM = \frac{SPAD \text{ chl. each plot}}{SPAD \text{ chl. reference plot}} \times 100 \quad (7)$$

در این رابطه:

RCM : شاخص کفایت کلروفیل

$SPAD \text{ chl. each plot}$: قرائت کلروفیل‌متر در تیمارهای نیتروژنی

(شرایط تغذیه نیتروژنی غیرنرمال)

$SPAD \text{ chl. reference plot}$: قرائت کلروفیل‌متر در تیمار مرجع

(تغذیه بهینه نیتروژن یا متوسط نیاز نیتروژنی گندم دیم برای دستیابی به حداکثر عملکرد معادل با 60 کیلوگرم در هکتار) است (Feiziasl et al., 2014).

پس از تعیین غلظت اجزای کلروفیل در نمونه‌ها، رابطه آنها با مقادیر شاخص کلروفیل دستگاه SPAD و انسجی و مدل خطی بین اجزای کلروفیل و کلروفیل کل با این شاخص تعیین گردید. در نهایت برای تمامی مقادیر قرائت شده دستگاه SPAD در مراحل مختلف

رشد، مقادیر کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها از طریق معادلات برازش شده توسط نرم‌افزار Datafit9 محاسبه شد.

حد بهینه اقتصادی مصرف نیتروژن برای دستیابی به حداکثر سود اقتصادی³ از طریق برازش مناسب‌ترین معادله رگرسیونی بین مقادیر نیتروژن مصرفی با متوسط عملکرد دانه در سه تکرار برای هر ژنوتیپ از طریق بیشترین ضریب تبیین و کمترین خطای استاندارد به کمک نرم افزار Datafit9 تعیین و از معادله 8 نسبت به نیتروژن مشتق‌گیری و نتیجه مساوی با متغیر اقتصادی عمومی⁴ قرار داده شد (Feiziasl et al., 2014).

$$E_N = \frac{dY}{dN} \quad (8)$$

که در آن:

$\frac{dY}{dN}$: مشتق از معادله عملکرد نسبت به نیتروژن و

E_N : متغیر اقتصادی عمومی برای نیتروژن که از معادله 9 محاسبه گردید:

$$E_N = \frac{C_N(1+R)^t}{V} \quad (9)$$

که در آن:

C_N : قیمت هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی به صورت کود (ریال)

R : نرخ بهره یا سود بانکی وام اخذ شده برای خرید کود نیتروژن (درصد)

t : تعداد دوره‌های بازپرداخت اقساط وام (سال) و

V : قیمت هر کیلوگرم بذر تولیدی گندم (ریال) می‌باشد.

از طریق حل معادله (8)، حد بهینه اقتصادی نیتروژن برای هر ژنوتیپ به صورت جداگانه محاسبه (جدول 5) و سپس تفاوت از حد بهینه اقتصادی مصرف نیتروژن⁵ (NRD) برای هر ژنوتیپ تعیین گردید.

پس از برداشت محصول، نیتروژن کل دانه با استفاده از روش کجلال تعیین و از طریق معادله 10 غلظت پروتئین دانه محاسبه شد (Fowler et al., 1989):

$$Seed \text{ protein } (\%) = 5.7 \times Total \text{ Seed } N \quad (10)$$

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در سطوح مصرف نیتروژن و تشخیص اینکه برای هر ژنوتیپ کدام سطح مصرف کودی مناسب است، از روش GGE بای‌پلات استفاده شد (Yan, 2001). برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار GenStat 14 و مقایسات میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. برای تعیین مناسب‌ترین رگرسیون‌ها از نرم‌افزار Excel و CurveExpert140 و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

3- Maximum economical profit

4- General economic variable

5- Nitrogen Rate Difference (NRD)

1- Chlorophyll Sufficiency Index (CSI)

2- Relative Chlorophyll Meter (RCM)

نتایج و بحث

ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده شاخص کلروفیل (SPAD) گندم دیم در مرحله گلدهی (GS60) در مزرعه با اجزای کلروفیل اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاهی برای همین مرحله برآزش داده شد. تمامی معادلات برآزش شده از نوع خطی افزایشی و معنی‌دار بودند. تغییرات شاخص کلروفیل (SPAD) در شرایط مزرعه‌ای توانست تغییرات کلروفیل کل (شکل 1الف)، کلروفیل a (شکل 1ب)، کلروفیل b (شکل 1ج) و کاراتنوئیدها (شکل 1د) را به ترتیب 93، 95، 79 و 79 درصد توجیه نماید. سپس با استفاده از معادلات برآزش داده شده، مقادیر شاخص کلروفیل (SPAD) قرائت شده در تمامی مراحل رشد گیاه به اجزای مختلف کلروفیل تبدیل و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت (جدول 3)، زیرا که در گیاهان مختلف مانند گندم (Peltonen et al., 1995)، جو (*Hordeum vulgare*) (Wienhold and Krupinsky, 1999)، برنج (Peng et al., 1993) و ذرت (Schepers et al., 1992) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص کلروفیل (SPAD) با کلروفیل گیاه و میزان نیتروژن کل در برگ به اثبات رسیده است. بابر و همکاران (Babar et al., 2006) وجود همبستگی بسیار قوی بین شاخص کلروفیل (SPAD) و اجزای مختلف کلروفیل a (0/73)، کلروفیل b (0/74) و کلروفیل c (0/72) و همچنین شاخص کلروفیل و زیست‌توده (0/64) را در گندم گزارش نمودند. رفیق الاسلام و همکاران (Rafiqul Islam et al., 2014) نیز همبستگی مثبت و قوی (0/85-0/99) را بین شاخص کلروفیل (SPAD) در مراحل مختلف رشد با عملکرد دانه گندم تأیید کردند. شاه و همکاران (Shah et al., 2017) بین شاخص کلروفیل و کلروفیل کل (0/93) و کاراتنوئیدها (0/85) همبستگی مثبت و معنی‌داری را در گندم نان گزارش کردند. برخی از پژوهش‌گران مانند یاموتو و همکاران (Yamamoto et al., 2002) این معادلات را در گیاهان لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و سورگوم (*Sorghum bicolor*) خطی با ضریب تبیین به ترتیب 0/75 و 0/88 به‌دست آوردند. این در حالی است که کوست و همکاران (Coste et al., 2010) در درختان مناطق حاره‌ای این روابط را نمایی با ضریب تبیین 0/89 گزارش کرده‌اند. بریتو و همکاران (Brito et al., 2011) نیز معادلات برآزش داده شده را بین شاخص کلروفیل (SPAD) و اجزای کلروفیل در گیاه پنبه (*Gossypium barbadense*) از نوع غیر خطی (درجه دوم) با ضریب تبیین 0/73 تا 0/91 به‌دست آورده‌اند. ریچاردسون و همکاران (Richardson et al., 2002) نتیجه مشابهی را برای گیاه فلفل (*Capsicum annuum*) گزارش کردند. بنابراین اگرچه در پژوهش‌های مختلف روابط خطی و یا غیرخطی بر حسب نوع گیاه، خاک و شرایط اقلیمی بین شاخص کلروفیل (SPAD) و اجزای مختلف کلروفیل در گیاهان زراعی، باغی و درختان غیرمثمره

مطرح شده است، اما تمامی این پژوهش‌ها وجود ارتباط قوی بین آنها را مشابه با نتایج پژوهش حاضر مورد تأیید قرار می‌دهند.

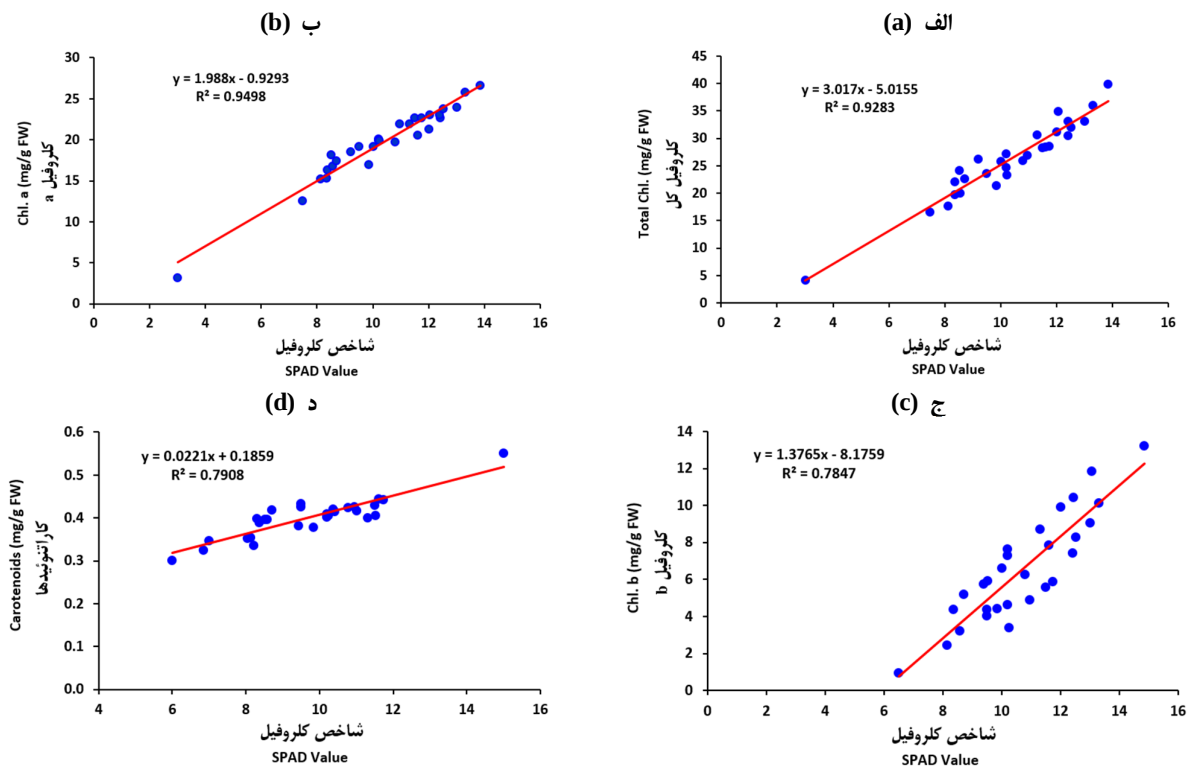
نتایج تجزیه واریانس اجزا و پارامترهای مربوط به کلروفیل در گیاه نشان داد، اثر زمان مصرف پاییزی و تقسیتی نیتروژن بر شاخص کلروفیل (SPAD) در سطح احتمال یک درصد و بر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل c و کلروفیل کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر نیتروژن بر تمامی پارامترها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ژنوتیپ بر شاخص کلروفیل (SPAD)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاراتنوئیدها، کلروفیل c و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد و شاخص نسبی کلروفیل (RCM) در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول 3). اثر متقابل زمان مصرف نیتروژن در ژنوتیپ و نیتروژن در ژنوتیپ تنها بر صفت شاخص نیتروژن (NI) به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود. اثر مرحله رشد و اثر متقابل مرحله رشد در نیتروژن همانند اثر نیتروژن بر تمامی پارامترها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل زمان مصرف نیتروژن در مرحله رشد بر دو پارامتر شاخص نسبی کلروفیل (RCM) و شاخص نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثرات سه‌جانبه مرحله رشد در زمان مصرف نیتروژن در نیتروژن بر پارامترهای شاخص کلروفیل (SPAD)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد و بر کاراتنوئیدها و شاخص نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر سه‌جانبه مرحله رشد در زمان مصرف نیتروژن در ژنوتیپ تنها بر شاخص نسبی کلروفیل (RCM) در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول 3).

شاخص کلروفیل (SPAD) در مصرف تقسیتی نیتروژن به‌طور معنی‌داری در مقایسه با مصرف پاییزی افزایش یافت. چنین وضعیتی برای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کلروفیل c در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت. بنابراین مصرف تقسیتی نیتروژن توانسته است محتوی کلروفیل و اجزای آن را در گندم دیم افزایش دهد (جدول 4). با توجه به این‌که نزدیک به 75 درصد از نیتروژن جذب شده در گیاه در ساختمان کلروفیل شرکت دارد و ارتباط مثبت و معنی‌دار بین غلظت نیتروژن در برگ با کلروفیل برگ به اثبات رسیده است (Ma et al., 1995; Feibo et al., 1998; Junior et al., 2010)، لذا منطقی است با مصرف بخشی از نیتروژن در مرحله پنجه‌زنی، شاخص کلروفیل (SPAD) و کلروفیل a، b و c در گیاه افزایش یابد. موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2012) روش‌های مصرف کود نیتروژنی را بر گندم دیم رقم سرداری در شرایط لرستان مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش کردند، اگرچه مصرف کود پایه در پاییز همزمان با کاشت در مقایسه با بدون مصرف کود پایه و مصرف نواری آن اثر مثبتی در کلروفیل برگ و

تقسیمی نیتروژن به اثبات می‌رساند (شکل 2الف). همچنین مصرف تقسیمی نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار غلظت پروتئین دانه (شکل 2ب) شد و توانست آن را به‌طور متوسط یک واحد بهبود بخشد. که این موضوع در ظاهر می‌تواند برای ارتقاء کیفیت ارقامی که میزان پروتئین پایینی دارند، مفید واقع شود. پژوهش‌گران بر این باورند که کاربرد پاییزی نیتروژن سبب افزایش تعداد پنجه بارور و تعداد سنبله در واحد سطح و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه گندم می‌شود، اما کوددهی در مرحله پنجه‌زنی گندم به‌صورت سرک موجب افزایش اندازه دانه و محتوای پروتئین آن می‌شود (Rasmussen *et al.*, 1997; Fowler, 2002). معمولاً کاربرد دیر هنگام کودهای نیتروژنی در غلات از طریق افزایش فعالیت آنزیم نیترات ریداکتاز باعث افزایش پروتئین دانه و ویژگی‌های کیفی آن می‌شود (Spiertz *et al.*, 1984). این در حالی است که نتایج پژوهش‌های لیمون اورتگا (Limon-Ortega, 2009) نشان داد که کاربرد تقسیمی نیتروژن نتوانست ویژگی‌های کیفی دانه را در گندم افزایش دهد، زیرا نتایج کاربرد پاییزی و یا تقسیمی کودهای نیتروژنی بیشتر به شرایط اقلیمی منطقه بستگی دارد و در اغلب موارد نتایج حاصله غیرقابل پیش‌بینی است (Fowler and Brydon, 1989).

شاخص‌های رشد داشت، اما مصرف یک مرتبه نیتروژن به‌صورت سرک در مرحله پنجه‌زنی (به همراه کود پایه) در مقایسه با تقسیم بیشتر آن در مراحل مختلف رشد گندم باعث افزایش حداکثری شاخص کلروفیل در برگ شد. ترابی و همکاران (Torabi *et al.*, 2011) نیز افزایش شاخص کلروفیل را با مصرف نیتروژن تا سطح 75 کیلوگرم در هکتار برای گندم به‌صورت تقسیمی (سرک در مرحله ساقه رفتن) گزارش کرده‌اند. نتایج یادشده در خصوص افزایش شاخص کلروفیل گندم در مصرف تقسیمی نیتروژن با نتایج پژوهش حاضر کاملاً مطابقت دارد.

مصرف تقسیمی نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار شاخص نسبی کلروفیل (RCM) در کل آزمایش شد (شکل 2الف)، زیرا که میزان کلروفیل در گیاه به غلظت نیتروژن در آن بستگی دارد و مصرف تقسیمی آن منجر به افزایش نیتروژن در برگ می‌شود. مطابق این نتایج در مصرف بهینه اقتصادی کود نیتروژنی (جدول 5)، حد مطلوب (NRD=0) شاخص نسبی کلروفیل (RCM) در مصرف تقسیمی و پاییزی نیتروژن مطابق روش پیشنهادی ساویر و همکاران (Sawyer *et al.*, 2011) به ترتیب 1/10 و 0/96 تعیین گردید که این نتایج مطلوب بودن نسبی وضعیت کلروفیل را در گیاه در شرایط مصرف



شکل 1- روابط بین مقادیر شاخص کلروفیل (SPAD) با کلروفیل کل (الف)، کلروفیل a (ب)، کلروفیل b (ج) و کاراتنوئیدها (د) در برگ گندم
Figure 1- Relationship between chlorophyll index values (SPAD) with total chlorophyll (a), chlorophyll a (b), chlorophyll b (c) and carotenoids (d) in leaf of dryland wheat

جدول ۳- میانگین مربعات و سطوح معنی‌داری پارامترهای کلروفیل در گندم دیم در تیمارهای مورد بررسی
Table 3- Mean squares and significance level for chlorophyll components of dryland wheat leaf in treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	شاخص کلروفیل SPAD	میانگین مربعات Mean squares					شاخص نسبی کلروفیل-متر RCM	شاخص نیتروژن Nitrogen index
			کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total chl.	کاروتنوئیدها Carotenoids	کلروفیل c Chl. c	کلروفیل a/کلروفیل b Chl a/Chl b	
Replication	2	11.9 ns	63.4 ns	7.45 ns	101.4 ns	0.253 ns	0.0003 ns	0.0387 ns	89301 ns
Time	1	120.9**	653.9*	76.86*	1046.7*	0.312 ns	0.0600*	0.0091 ns	3086 ns
Error a	2	2.3	11.9	1.39	19.0	0.114	0.0013	0.0042	13325
Nitrogen	3	439.0**	2386.7**	280.51**	3820.3**	2.974**	0.1601**	0.3495**	33700.2**
Time*Nitrogen	3	19.5 ns	107.7 ns	12.66 ns	172.4 ns	0.148 ns	0.0102 ns	0.0095 ns	24629 ns
Error b	12	14.7	80.8	9.49	129.3	0.144	0.0040	0.0235	23372
Genotype	6	64.3**	348.1**	40.92**	557.2**	0.413**	0.0212**	0.0447**	880 ns
Time*Genotype	6	1.4 ns	7.6 ns	0.89 ns	12.2 ns	0.020 ns	0.0026 ns	0.0060 ns	6763*
Nitrogen*Genotype	18	4.4 ns	24.3 ns	2.85 ns	38.8 ns	0.041 ns	0.0036 ns	0.0064 ns	5653**
Time*Nitrogen*Genotype	18	3.3 ns	18.3 ns	2.15 ns	29.2 ns	0.025 ns	0.0022 ns	0.0091 ns	2805 ns
Error c	96	4.9	26.5	3.11	42.4	0.044	0.0025	0.0064	2615
Stage	4	146.0**	793.3**	93.24**	1269.8**	1.176**	0.0319**	0.1163**	115840**
Time*Stage	4	3.6 ns	19.8 ns	2.33 ns	31.7 ns	0.027 ns	0.0024 ns	0.0114 ns	145008**
Nitrogen*Stage	12	15.0**	81.7**	9.60**	130.7**	0.098**	0.0064**	0.0243**	37471**
Genotype*Stage	24	4.5 ns	24.7 ns	2.90 ns	39.6 ns	0.041 ns	0.0022 ns	0.0057 ns	3272 ns
Stage*Time*Nitrogen	12	8.1*	43.2*	5.07*	69.1*	0.118**	0.0018 ns	0.0153*	64569**
Stage*Time*Genotype	24	2.8 ns	15.3 ns	1.80 ns	24.5 ns	0.018 ns	0.0013 ns	0.0053 ns	4539 ns
Stage*Nitrogen*Genotype	72	2.9 ns	15.8 ns	1.86 ns	25.3 ns	0.026 ns	0.0020 ns	0.0047 ns	1948 ns
Stage*Time*Nitrogen*Genotype	72	2.3 ns	12.3 ns	1.44 ns	19.6 ns	0.028 ns	0.0016 ns	0.0046 ns	2196 ns
Error (Sampling)	448	4.2	22.9	2.69	36.7	0.031	0.0018	0.0071	5131
CV%		23.4	29.6	28.5	27.7	43.6	58.5	3.0	28.4

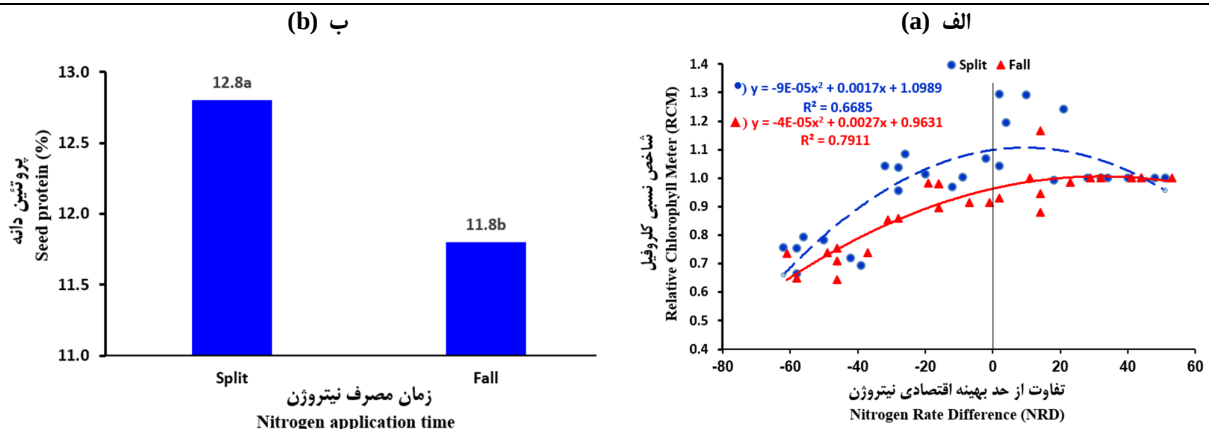
ns, *, ** : non-significant and significant at 5% and 1% probability levels respectively.

ns, *, **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول 4- مقایسه میانگین پارامترهای کلروفیل در برگ برای زمان مصرف نیتروژن

Table 4- Mean comparison for chlorophyll components in leaf for nitrogen application time

شاخص نیتروژن Nitrogen index	شاخص نسبی کلروفیل متر RCM	کلروفیل a/کلروفیل b Chl a/Chl b	کلروفیل c Chl. c	کاراتنوئیدها Carotenoids	کلروفیل کل Total chl.	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل a Chl. a	شاخص کلروفیل SPAD	زمان Time
					(mg/g fresh leaf)				
148	0.98	2.78	0.080	0.39	23.0	6.1	17.0	9.1	تقسیمی
152	0.90	2.77	0.063	0.43	20.8	5.5	15.3	8.4	پاییز
34	0.14	0.02	0.011	0.10	1.3	0.4	1.0	0.5	LSD 5%



شکل 2- رابطه بین تفاوت از حد بهینه اقتصادی نیتروژن (NRD) و شاخص نسبی کلروفیل (RCM) (الف) و محتوی پروتئین دانه در مصرف پاییزی و تقسیمی نیتروژن

Figure 2- Relationship between nitrogen rate difference with relative chlorophyll meter (a) and seed protein content (b) in fall and split nitrogen application

جدول 5- رابطه بین نیتروژن مصرفی با عملکرد دانه و نیاز نیتروژن برای دستیابی به عملکرد حداکثر و اقتصادی در ژنوتیپهای مختلف گندم دیم

Table 5- Relationship between nitrogen application rates and grain yield and N requirements for obtaining maximum and economical grain yield in dryland wheat genotypes

ژنوتیپ	معادله رگرسیون	ضریب تبیین	خطای	نیاز نیتروژنی (kg.ha ⁻¹)	
Genotype	Regression equation	(R ²)	(SE)	عملکرد حداکثر Max. Yield	حداکثر سود اقتصادی Max. Economical Profit
Azar2	Y=-0.342N ² +44.48N+1883.9	0.931**	200.4	65	55
Ohadi	Y=-0.230N ² +27.96N+2227.1	0.997**	313.1	59	50
Rasad	Y=-0.430N ² +52.89N+1932.6	0.995**	192.9	61	52
ژنوتیپ 1	Y=-0.276N ² +37.11N+1418.8	0.807*	181.6	67	57
ژنوتیپ 2	Y=-0.307N ² +42.03N+1525.4	1.000**	282.0	68	58
ژنوتیپ 3	Y=-0.362N ² +36.81N+1987.9	0.979**	449.2	50	43
ژنوتیپ 4	Y=-0.393N ² +50.29N+1932.3	1.000**	1839	63	54

* و **: Significant at 5% and 1% probability levels

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 5% و 1%

(SPAD) از لحاظ تغییرات و گروه بندی در پارامترهای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کلروفیل c نیز مشاهده شد. این در حالی است که در شاخص نسبی کلروفیل (RCM) تیمارهای N₆₀، N₃₀ و N₉₀ در کلاس برتر A در مقایسه با تیمار شاهد (کلاس B) قرار گرفتند. در شاخص نیتروژن (NI) دو تیمار N₃₀ و N₆₀ در کلاس مشابه و تیمار N₉₀ در برترین کلاس قرار گرفت. همان طوری که

مصرف نیتروژن توانست تمامی شاخص های کلروفیل را در گیاه تحت تاثیر قرار داده و به طور معنی داری آنها را تغییر دهد. در این خصوص تغییرات کلی تمامی پارامترها به استثنای کارتنوئیدها افزایشی بود (جدول 6). شاخص کلروفیل (SPAD) با افزایش مصرف نیتروژن افزایش یافت، اما دو تیمار N₆₀ و N₉₀ از این لحاظ در یک کلاس آماری قرار گرفتند. وضعیت کاملاً مشابهی با شاخص کلروفیل

کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a به کلروفیل b و شاخص نسبی کلروفیل (RCM) به‌ترتیب به مقدار 9/8، 18/6 میلی‌گرم بر گرم، 6/5 میلی‌گرم بر گرم، 0/096 میلی‌گرم بر گرم، 25/3 میلی‌گرم بر گرم، 2/81 و 1/1 از مصرف به‌ترتیب 72، 70، 83، 75 و 61 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و حداقل مقدار کاراتنوئیدها به مقدار 0/32 میلی‌گرم بر گرم از مصرف 71 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (جدول 7). بنابراین به‌طور متوسط مصرف 72 کیلوگرم نیتروژن در هکتار توانست ایده‌آل‌ترین شرایط را از لحاظ پارامترهای کلروفیل در گیاه در شرایط آزمایش مهیا نماید که مطابق با قانون بازده نزولی میچرلیخ، توصیه مقدار کود مورد نیاز برای دستیابی به نقطه ماکزیمم اقتصادی نیست. ساویر و همکاران (Sawyer et al., 2004) توصیه کرده‌اند، حد بهینه قابل دسترس و مقادیر نیتروژن مورد نیاز بر حسب تفاوت از حد بهینه اقتصادی نیتروژن (ND) که قابل دسترس و واقعی‌تر از حداکثر مقدار رشد می‌باشد، محاسبه و توصیه شود. بر این اساس، مقادیر بهینه پارامترهای شاخص کلروفیل (SPAD)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل c، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a به کلروفیل b و شاخص نسبی کلروفیل (RCM) در حد بهینه اقتصادی مصرف نیتروژن (جدول 5) به‌ترتیب 9/4، 16/6 میلی‌گرم بر گرم، 5/9 میلی‌گرم بر گرم، 0/077 میلی‌گرم بر گرم، 23/9 میلی‌گرم بر گرم، 2/78 و 1/0 بود. مقایسه این اعداد با نتایج به‌دست آمده از تیمار (جدول 6) N₆₀ نشان داد که این مقادیر کمتر از مقادیر مربوط به تیمار N₆₀ می‌باشند و حد بهینه اقتصادی مصرف نیتروژن برای گندم دیم نیز کمتر از تیمار N₆₀ است.

با مصرف نیتروژن میزان شاخص کلروفیل (SPAD) و به دنبال آن میزان کلروفیل و اجزای آن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول 6). معمولاً در گیاهان دچار کمبود نیتروژن مصرف نیتروژن می‌تواند میزان کلروفیل و کارایی آن را به‌ویژه در شرایط تنش آبی در استفاده از نور افزایش داده و موجب افزایش فعالیت چرخه فتوسنتز گیاه و تولید بیشتر ماده خشک نماید که نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های مختلف این موضوع را به اثبات می‌رساند (Li et al., 2014; Zivcak et al., 2012). بر این اساس در پژوهش حاضر نیز با افزایش میزان مصرف نیتروژن، شاخص کلروفیل (SPAD) افزایش یافت و به دنبال آن عملکرد دانه گندم دیم به‌طور معنی‌داری و به‌صورت خطی افزایش یافت (شکل 3الف). بنابراین، افزایش شاخص کلروفیل و اجزای آن یکی از صفات مهم در دستیابی به عملکردهای مطلوب در شرایط دیم به‌شمار می‌آید که تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله مدیریت مصرف نیتروژن می‌باشد. وجود چنین ارتباطی بین میزان کلروفیل در گیاه با عملکرد دانه مورد تأیید بسیاری از پژوهش‌گران بوده است (Redillas et al., 2011; Shah et al., 2017).

بیان شد، تغییرات میزان کاراتنوئیدها با پارامترهای یادشده عکس بود و مصرف نیتروژن باعث کاهش آن در گیاه شد، اگرچه این کاهش تا آخرین سطح نیتروژن ادامه داشت، اما سه تیمار N₃₀، N₆₀ و N₉₀ از لحاظ آماری در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول 6). پژوهش‌گران وجود رابطه افزایشی بین میزان نیتروژن مصرفی و کلروفیل را در چمن گیته (*Poa compressa*) (Junior et al., 2010)، ذرت چمن گیته (Sawyer et al., 2011)، قهوه (*Coffea*) (Reis et al., 2009)، برنج (Li et al., 2011)، گندم دوروم (*Triticum durum*) (Kızılgöç et al., 2015)، گندم نان (Shah et al., 2017) گزارش کرده‌اند. کزیلگچی و همکاران (Kızılgöç et al., 2017) با بررسی اثرات مصرف نیتروژن روی نسل‌های F₂ گندم دوروم در ترکیه گزارش کردند، مصرف نیتروژن توانست به‌طور معنی‌داری شاخص کلروفیل (SPAD) را در مرحله ظهور سنبله در برگ پرچم افزایش دهد. دبیک و همکاران (Debaeke et al., 2006) اثرات کاربرد نیتروژن را بر شاخص کلروفیل (SPAD) در گندم دوروم در فرانسه از نوع نمایی تعیین کردند. از سوی دیگر، کاراتنوئیدها علاوه بر نقش آنها به‌عنوان گیرنده‌های نوری مکمل، حفاظت ساختار کلروفیل‌ها را در برابر اثرات تخریبی انواع اکسیژن‌های فعال در مراحل اولیه تنش‌های محیطی (رطوبتی و حرارتی) به عهده دارند که با گذشت زمان و در تطابق گیاه با تنش، میزان و نقش آنها نیز کاهش می‌یابد، زیرا آنها می‌توانند اکسیژن یکتایی را غیرفعال و یا به‌وسیله اکسیژن یکتایی اکسید شوند. بنابراین کاراتنوئیدها به‌طور غیرمستقیم تولید گونه‌های اکسیژن را کاهش می‌دهند (Koyro, 2006; Groppa and Benavides, 2008). بر این اساس، در تیمارهای مصرف نیتروژن کاهش مقدار کاراتنوئیدها در مقایسه با تیمار شاهد (N₀) خود می‌تواند دلیل متقنی بر کاهش اثر تنش رطوبتی بر گندم دیم در اثر کاربرد نیتروژن باشد (جدول 6). فیضی اصل (Feiziasl et al., 2014) نیز گزارش کردند، مصرف 30، 60 و 90 کیلوگرم نیتروژن در هکتار توانست شدت تنش رطوبتی را به‌ترتیب 55، 88 و 64 درصد در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم کاهش دهد که این کاهش معادل با افزایش به‌ترتیب 810، 1362 و 942 کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه بود.

بررسی روابط بین پارامترهای کلروفیل در گیاه با میزان نیتروژن مصرفی نشان داد، روابط معنی‌داری بین آنها وجود دارد. به‌طوری که تغییرات نیتروژن مصرفی توانست 98 الی 100 درصد تغییرات این پارامترها را توجیه نماید. به‌استثنای شاخص نیتروژن (NI)، تمامی روابط از نوع درجه دوم بود، با این تفاوت که معادله کاراتنوئیدها از نوع کاهشی و سایر پارامترها از نوع افزایشی بودند. در این میان، تنها رابطه بین شاخص نیتروژن (NI) با میزان نیتروژن مصرفی از نوع خطی افزایشی بود. مطابق این روابط حداکثر مقادیر پارامترهای شاخص کلروفیل (SPAD)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل c،

جدول 6- مقایسه میانگین پارامترهای کلروفیل در برگ برای سطوح مصرف نیتروژن

Table 6- Mean comparison for chlorophyll components in leaf for nitrogen application rates

شاخص نیتروژن Nitrogen (kg.ha ⁻¹)	شاخص کلروفیل SPAD	کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total chl.	کاراتنوئیدها Carotenoids	کلروفیل c Chl. c	کلروفیل a/کلروفیل b Chl a/Chl b	شاخص نسبی کلروفیل متر RCM	شاخص نیتروژن Nitrogen index
		(mg/g fresh leaf)							
0	6.7	11.4	4.1	15.8	0.58	0.033	2.72	0.72	100
30	8.8	16.3	5.8	22.0	0.39	0.073	2.79	0.97	143
60	9.7	18.5	6.6	24.8	0.34	0.087	2.80	1.07	160
90	9.8	18.5	6.6	24.9	0.32	0.094	2.80	1.00	197
LSD 5%	0.8	1.9	0.7	2.4	0.08	0.013	0.03	0.10	33

جدول 7- روابط رگرسیونی بین میزان نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) با پارامترهای کلروفیل در برگ

Table 7- Regression equations between nitrogen application rates (kg.ha⁻¹) and leaf chlorophyll components

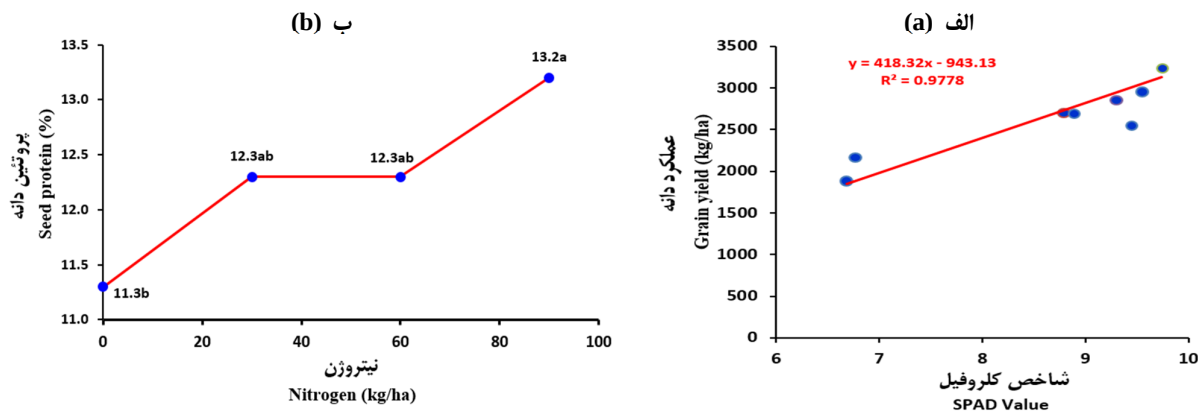
پارامتر	Parameter	معادله رگرسیونی Regression equation	انحراف استاندارد (SE)	ضریب تبیین (R ²)
شاخص کلروفیل	SPAD	SPAD = -0.0006N ² + 0.0863N + 6.6902	0.098	1.00**
کلروفیل a (mg/g fresh leaf)	Chl. a	Chl. a = -0.0014N ² + 0.2011N + 11.372	0.011	1.00**
کلروفیل b (mg/g fresh leaf)	Chl. b	Chl. b = -0.0005N ² + 0.0689N + 4.1309	0.022	1.00**
کلروفیل c (mg/g fresh leaf)	Chl. c	Chl. c = -9*10 ⁻⁶ N ² + 0.0015N + 0.0334	0.004	0.99**
کلروفیل کل (mg/g fresh leaf)	Total Chl. b	Total Chl = -0.0017N ² + 0.2544N + 15.821	0.016	1.00**
کاراتنوئیدها (mg/g fresh leaf)	Carotenoids	Carotenoids = 5*10 ⁻⁵ N ² - 0.0071N + 0.5742	0.024	0.99**
نسبت کلروفیل a به b	Chl a/Chl b	Chl. a/ Chl. b = -2*10 ⁻⁵ N ² + 0.0028N + 2.7164	0.011	0.99**
شاخص نسبی کلروفیل	RCM	RCM = -9*10 ⁻⁵ N ² + 0.0109N + 0.7231	0.004	1.00**
شاخص نیتروژن	Nitrogen index	NI = 1.0217N + 103.85	7.576	0.98*

* و **: Significant at 5% and 1% probability levels respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 5٪ و 1٪

510 میلی متر روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم گزارش کردند که با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی عملکرد دانه و میزان پروتئین دانه افزایش یافت، اما در سطوح نهایی مصرف نیتروژن (125 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) در برخی مناطق عملکرد دانه سیر نزولی داشت، این در حالی است که میزان پروتئین دانه همچنان به صورت خطی افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط هاگینس و همکاران (Huggins, 1989)، فیز و همکاران (Fiez et al., 1994)، گای و گاریو (Guy and Gareau, 1998) و بوتلر (Buteler, 2008) برای گندم دیم گزارش شده است. بریسز (Berecz, 2001) معتقد است، از بین سه عنصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم، اثر نیتروژن بر ویژگی‌های گیاهی و اجزای عملکرد دانه گندم در شرایط دیم بیشتر است و تأمین نیتروژن به اندازه کافی برای گندم دیم اهمیت زیادی در تولید میزان پروتئین و کیفیت دانه دارد. نتایج این پژوهش‌گران در خصوص افزایش عملکرد دانه و غلظت پروتئین دانه با مصرف نیتروژن، با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر کاملاً مطابقت دارد.

مصرف نیتروژن افزون بر میزان کلروفیل و اجزای آن، میزان پروتئین دانه را نیز به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل 3ب). در تیمارهای N₃₀ و N₆₀ افزایش یک واحدی پروتئین در مقایسه با تیمار شاهد (N₀) دیده شد، به‌طوری که این دو تیمار مصرف نیتروژن فوق از لحاظ آماری در کلاس مشابه قرار گرفتند و نسبت به دو تیمار شاهد و N₉₀ تفاوت معنی‌داری نداشتند. کاربرد تیمار N₉₀ مقدار پروتئین دانه را 0/9 واحد نسبت به تیمار N₃₀ و N₆₀ و 1/9 واحد نسبت به تیمار N₀ افزایش داد که تنها با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشت. مطابق این نتایج، اگرچه کاربرد نیتروژن در محدوده نیاز نیتروژنی گندم دیم (50-60 کیلوگرم در هکتار) می‌تواند میزان پروتئین دانه را افزایش دهد، اما این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نخواهد بود. با مصرف مقادیر بیشتر نیتروژن (بیش از 60 کیلوگرم در هکتار) امکان افزایش معنی‌دار پروتئین دانه وجود دارد. کوئینگ و همکاران (Koenig et al., 2011) با انجام پژوهش دو ساله‌ای در سه نقطه شرق ایالت واشینگتن با متوسط بارندگی سالیانه 196 تا



شکل 3- رابطه بین شاخص نسبی کلروفیل و عملکرد دانه (الف) و میزان مصرف نیتروژن و پروتئین دانه (ب)
Figure 3- Relationship between SPAD values with grain yield (a) and nitrogen rate with seed protein content (b)

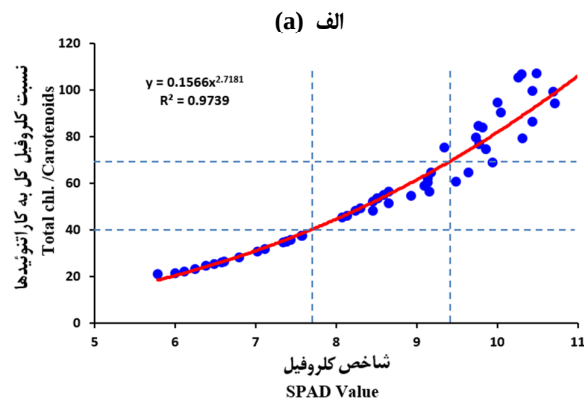
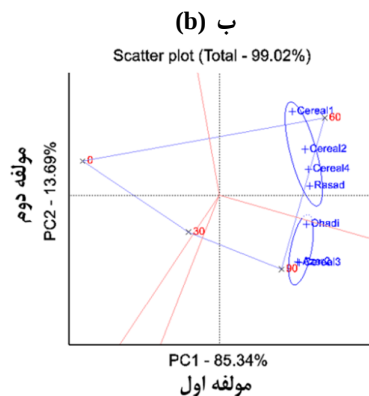
توجه به محتوی کلروفیل می‌توان ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش‌های رطوبتی و دمایی را تفکیک نمود. در این خصوص ژنوتیپ‌های دارای کلروفیل بیشتر مقاومت بالایی به تنش‌های رطوبتی و دمایی دارند (Keyvan, 2010). در خصوص گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس محتوی کلروفیل آنها توصیه شده است، بیشتر از نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها و یا نسبت کلروفیل a به کلروفیل b استفاده شود که این دو عامل بهتر می‌توانند ماهیت ژنوتیپ‌ها و شرایط محیطی رشد آنها را به تصویر بکشانند، زیرا که در شرایط تنش، این پارامترها در گیاه به شدت تحت تاثیر قرار گرفته و تغییر پیدا می‌کنند (Richardson et al., 2002; Nascimento and Marenco, 2010). بریتو و همکاران (Brito et al., 2011) از بین این دو شاخص، نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها را مناسب‌ترین شاخص برای تشخیص شرایط تنش و غیرتنش در گیاه و تنش‌های اکسیداتیو و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها معرفی نمودند. رابطه بین شاخص کلروفیل کل به نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها از نوع نمایی بود که تغییرات شاخص کلروفیل توانست 96 درصد از تغییرات نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها را توجیه نماید (شکل 4الف). مطابق این رابطه مقادیر پایین نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها شرایط نامناسب را برای تیمارهای آزمایشی و ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد، اما مقادیر بالای آن سالم بودن غشای تیلاکوئیدی و انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I را نشان می‌دهد. با استفاده از انحراف معیار نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها در میانگین تیمارهای آزمایشی (56 قرائت)، داده‌های مربوطه به سه گروه کم ($\bar{X}-SD$)، متوسط ($\bar{X}-SD$ to $\bar{X}+SD$) و زیاد ($\bar{X}+SD$) تقسیم شدند (Feiziasl et al., 2016). نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها کمتر از 40 به ناحیه کم، 40-70 به ناحیه مناسب و بیش از 70 به ناحیه زیاد کلروفیل تفکیک شد. در نتیجه، مطابق این تقسیم‌بندی مقادیر کمتر از 7/7

مقایسه میانگین پارامترهای کلروفیل در گیاه برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد، بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ شاخص کلروفیل (SPAD)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاراتنوئیدها، کلروفیل c و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b و از لحاظ شاخص نسبی کلروفیل (RCM) تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول 8). بیشترین مقدار شاخص کلروفیل (SPAD)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کلروفیل c و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b و شاخص نسبی کلروفیل (RCM) به ژنوتیپ ژنوتیپ 1 اختصاص داشت. رقم فوق در پارامتر شاخص نسبی کلروفیل (RCM) با رقم اوحدی در یک گروه آماری قرار گرفتند. حداقل پارامترهای یادشده به رقم آذر 2 اختصاص یافت که در صفت نسبت کلروفیل a به کلروفیل b با رقم اوحدی کلاس مشابهی داشت. برعکس پارامترهای کلروفیل و اجزای آن در خصوص میزان کاراتنوئیدها بیشترین مقدار به رقم آذر 2 و اوحدی و کمترین آن به ژنوتیپ 1 اختصاص یافت. در پژوهش‌های سایرین نیز از لحاظ میزان کلروفیل در گیاه تفاوت‌هایی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشاهده شده است. در گندم نان و دوروم تفاوت‌های بین شاخص کلروفیل (SPAD) در ژنوتیپ‌های مختلف بیشتر به تفاوت در مقادیر کلروفیل در برگ و همچنین ضخامت پهنک برگ ارتباط داده شده است (Giunta et al., 2002; Hoel, 2002)، اما در ذرت این تفاوت بیشتر با نوع واریته، مرحله رشد و عملیات مزرعه‌ای انجام گرفته مرتبط بوده است (Schepers et al., 1992). میزان کلروفیل در گندم به‌عنوان شاخص ارزیابی منابع ژنتیکی این محصول شناخته شده است (Herzog, 1986)، بر این اساس، کاهش میزان کلروفیل گیاه نشانگر فاکتور محدودیت غیرروزنه‌ای فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی می‌باشد. در واقع میزان کلروفیل بیشتر، سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نشان می‌دهد. بنابراین با

نیتروژنی را در شرایط آزمایش داشتند و از این لحاظ ژنوتیپ 4 و رصد نیز وضعیت مطلوبی را نشان دادند. در مطالعه شمسی پور و همکاران (Shamsipour *et al.*, 2010) ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم از لحاظ محتوی کلروفیل و مقاومت به تنش‌های اکسیداتیو در سه گروه قرار گرفتند و بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت. برخی نیز همانند روش بای پلات از طریق نسبت کلروفیل a به کلروفیل b مجموع کلروفیل a و کلروفیل b و یا نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها، ژنوتیپ‌ها را به دو گروه مقاوم و حساس گروه‌بندی کرده‌اند که در پژوهش آنها نیز تفاوت محتوی شاخص‌های کلروفیل در بین ژنوتیپ‌ها مورد تأیید بوده است و همانند نتایج پژوهش حاضر به‌عنوان معیاری در شناسایی ارقام مقاوم به تنش‌ها از آن استفاده شده است (Sairam and Siravastav, 2002; Keyvan, 2010).

مقایسه میانگین برای پارامترهای کلروفیل در مراحل مختلف رشد گندم دیم نشان داد، بین تمامی پارامترهای مورد بررسی در مراحل مختلف رشد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول 9). به‌تعبیر دیگر، یکی از عوامل موثر در ویژگی‌های مربوط به کلروفیل گیاه تغییر فصل و مرحله رشد این گیاه می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص کلروفیل (SPAD) در مرحله پنجه کامل (GS29) به‌دست آمد که با مراحل طولی شدن ساقه با ظهور دو گره کامل (GS32) و ظهور برگ پرچم (GS39) در کلاس مشابه A قرار گرفتند. حداقل مقدار این پارامتر به دو مرحله ظهور دو پنجه کامل (GS22) و گلدهی (GS60) اختصاص داشت. تغییرات و کلاس‌بندی مشابهی با شاخص کلروفیل (SPAD) برای پارامترهای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل مشاهده گردید. مطابق این نتایج، از اواخر مرحله پنجه‌زنی پارامترهای یادشده در گیاه افزایش یافت و تا شروع رشد زایشی گیاه (ظهور برگ پرچم) وضعیت تقریباً یکنواختی را داشتند، اما در مرحله رشد زایشی به‌طور متوسط 21 درصد این پارامترها کاهش یافتند.

شاخص کلروفیل (SPAD) به ناحیه کمبود کلروفیل و حساس به شرایط تنش، 7/7-9/5 به ناحیه مناسب و بیش از 9/5 به ناحیه زیاد کلروفیل و مقاوم به شرایط تنش رطوبتی و دمایی تقسیم شد (شکل 4الف). بر این اساس، رقم آذر 2 در ناحیه کمبود و حساس به شرایط تنش رطوبتی و دمایی، سایر ژنوتیپ‌ها به استثنای ژنوتیپ 1 در گروه مناسب و ژنوتیپ 1 در گروه زیاد کلروفیل و مقاوم به تنش‌های اکسیداتیو قرار گرفت (جدول 8). افزون بر این، برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در سطوح مصرف نیترژن برای پارامتر نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تفکیک تیمارهای مقاوم به تنش‌های اکسیداتیو از روش بای پلات استفاده شد (شکل 4ب). در این روش، بیشترین مقادیر این پارامتر در ژنوتیپ‌ها از مصرف دو تیمار N_{60} و N_{90} به‌دست آمد و سایر تیمارها (N_{30} و N_0) در تولید حداکثر نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها در گیاه بی‌تأثیر بودند. ژنوتیپ‌های شماره 1، 2 و 4 و رصد بیشترین نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها را از مصرف 60 کیلوگرم نیترژن در هکتار داشتند که در این میان ترتیب بیشترین این مقدار در ژنوتیپ‌های 1 و 2 (تقریباً مشابه)، 4 و رصد بود. این در حالی است که سه ژنوتیپ دیگر شامل آذر 2، اوحدی و ژنوتیپ 3 بیشترین این پارامتر را در مصرف 90 کیلوگرم نیترژن در هکتار داشتند و از این لحاظ ژنوتیپ آذر 2 و ژنوتیپ 3 وضعیت مشابهی قرار گرفتند و برتر از رقم اوحدی بودند. از نتایج یادشده استنباط می‌شود، رقم آذر 2 و ژنوتیپ 3 با رتبه بیشتری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها حساس به کمبود نیترژن و مقاومت آنها نسبت به تنش‌های رطوبتی، دمایی و یا تنش‌های اکسیداتیو پایین می‌باشد که در این خصوص رقم اوحدی در اولویت بعدی قرار دارد (شکل 4ب)، زیرا که این ژنوتیپ‌ها بیشترین مقدار کلروفیل کل به کاراتنوئیدها را با مصرف مقدار بالاتر از نیاز نیترژنی خود (N_{90}) به‌دست آوردند (جدول 8) و در مقادیر نزدیک به نیاز نیترژنی و کمتر از آن حائر رتبه نبودند. ژنوتیپ 1 و 2 مناسب‌ترین وضعیت تغذیه



شکل 4- رابطه بین شاخص کلروفیل با نسبت کلروفیل به کاراتنوئیدها (الف) و بای پلات ژنوتیپ در نیترژن برای نسبت کلروفیل به کاراتنوئیدها (ب)
Figure 4- Relationship between SPAD values with total chlorophyll per carotenoids ratio (a) and genotype $\times$ nitrogen interaction by biplot for total chlorophyll per carotenoids ratio (b)

جدول 8- مقایسه میانگین پارامترهای کلروفیل برگ در سطوح ژنوتیپ‌ها
Table 8- Mean comparison of leaf chlorophyll components for genotypes

ژنوتیپ Genotype		شاخص کلروفیل SPAD	کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total chl.	کاراتنوئیدها Carotenoids	کلروفیل c Chl. c	کلروفیل a/ب کلروفیل Chl a/Chl b	شاخص نسبی کلروفیل متر RCM	شاخص نیتروژن Nitrogen index
(mg/g fresh leaf)										
Azar2	آذر 2	7.6	13.5	4.8	18.5	0.49	0.048	2.75	0.94	147
Ohadi	اوحدی	8.2	14.8	5.3	20.2	0.46	0.065	2.75	0.93	148
Rasad	رصد	8.9	16.4	5.9	22.2	0.40	0.077	2.77	0.98	154
Genotype1	ژنوتیپ 1	9.9	18.9	6.7	25.4	0.31	0.092	2.80	0.98	152
Genotype2	ژنوتیپ 2	9.1	16.9	6.0	22.8	0.39	0.076	2.79	0.94	148
Genotype3	ژنوتیپ 3	8.9	16.5	5.9	22.4	0.39	0.075	2.78	0.92	148
Genotype4	ژنوتیپ 4	8.7	16.0	5.7	21.7	0.40	0.069	2.78	0.89	151
LSD5%		0.6	1.3	0.5	1.7	0.05	0.013	0.02	0.06	13

نیتروژن همانند روش NSI نرمال گردد. ریس و همکاران (Reis *et al.*, 2009) تغییرات شاخص کلروفیل (SPAD)، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل را در سطوح مختلف مصرف نیتروژن در طول دوره رشد قهوه مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با زمان رشد تمامی پارامترهای یادشده سیر نزولی دارند و با گذشت زمان به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. آنها علت این کاهش را خروج برگ‌های پیر و قدیمی از چرخه فعال فتوسنتز و شرکت آنها در مکانیسم انتقال مجدد عنوان نمودند. مقایسه نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر با نتایج سایرین کاهش شاخص کلروفیل (SPAD)، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل را از مرحله پنجه کامل (GS29) تا رسیدگی فیزیولوژیک کاملاً تأیید می‌نماید و مغایرتی با پژوهش‌های شمسی‌پور و همکاران (Shamsipour *et al.*, 2010) و دبیک و همکاران (Debaeke *et al.*, 2006) ندارد.

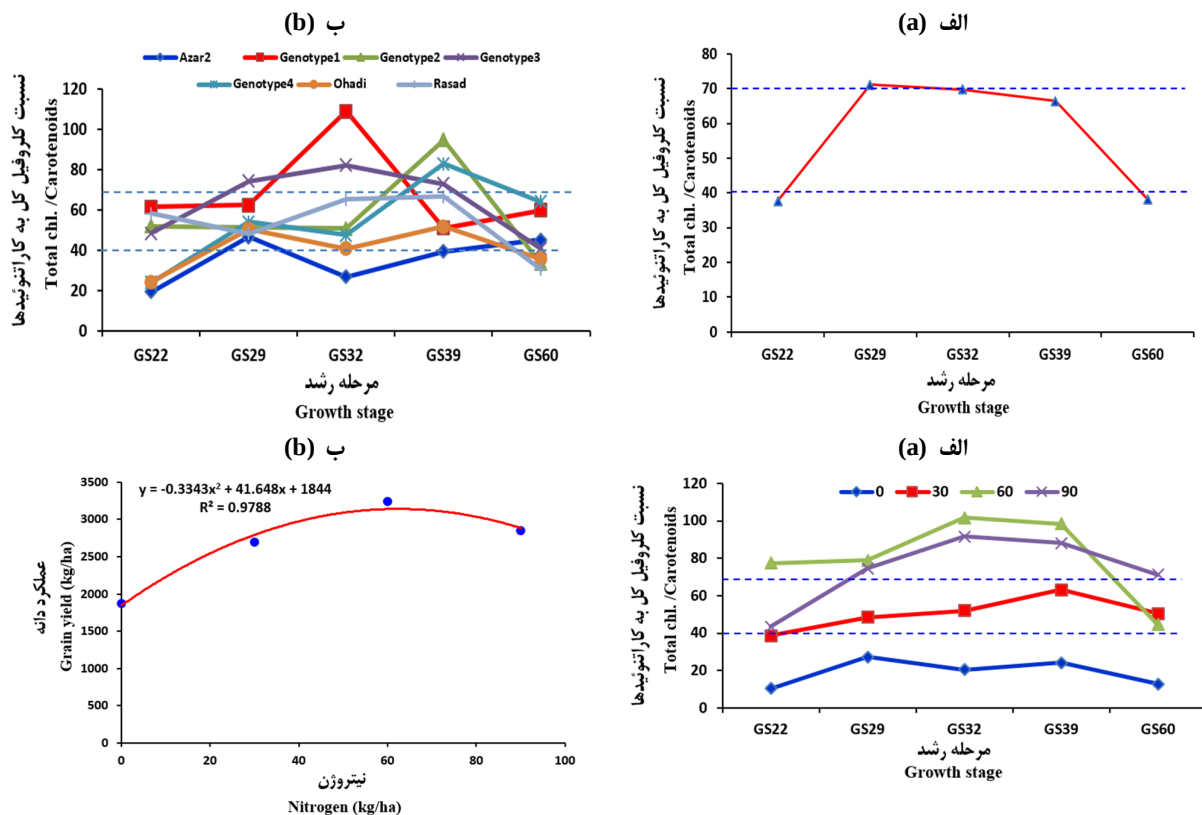
به‌منظور تشخیص وضعیت تغذیه‌ای گیاه در مراحل مختلف رشد از تغییرات شاخص نسبت کلروفیل به کاراتنوئیدها در این دوره استفاده شد (شکل 5الف). بر این اساس، گندم دیم در دو مرحله ظهور دو پنجه کامل (GS22) و گلدهی (GS60) به دلیل پایین بودن این شاخص (کمتر از 40) تا حدودی با مشکل تغذیه نیتروژنی مواجه بوده است. اما در مرحله طویل شدن ساقه با ظهور دو گره کامل (GS32)، گیاه کاملاً در شرایط مطلوبی قرار داشته است. در دو مرحله پنجه کامل (GS29) و ظهور برگ پرچم (GS39) شرایط تغذیه‌ای گیاه هم‌مرز با شرایط مطلوب و زیاد نیتروژن بود. از نتایج یادشده استنباط می‌شود، به غیر از دو مرحله اوایل پنجه‌زنی (GS22) و گلدهی (GS60) گندم دیم از لحاظ تغذیه نیتروژنی با مشکل مواجه نبوده و شرایط مطلوب فتوسنتز و تولید در آن به خوبی انجام گرفته است.

مقدار کاراتنوئیدها برعکس پارامترهای یادشده وضعیت متفاوتی داشت. بدین ترتیب بیشترین آن در مراحل ابتدای (ظهور دو پنجه) و انتهای (گلدهی) اندازه‌گیری با کلاس A و کمترین آن در بخش میانی (پنجه کامل، ساقه با دو گره کامل و ظهور برگ پرچم) با کلاس B مشاهده گردید. بیشترین مقدار کلروفیل c از مرحله ظهور برگ پرچم (GS39) و کمترین آن به‌طور مشترک از مراحل ساقه با دو پنجه کامل (GS22) و گلدهی (GS60) به‌دست آمد. نسبت کلروفیل a به کلروفیل b تا حدودی وضعیت مشابهی با پارامترهای شاخص کلروفیل (SPAD)، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل داشت، با این تفاوت که مرحله ظهور برگ پرچم (GS39) هم‌کلاس با مراحل پنجه کامل (GS29) و طویل شدن ساقه با دو گره کامل (GS32) نبود و به جای کلاس برتر A در کلاس B قرار گرفت. برای شاخص نسبی کلروفیل (RCM) بیشترین مقدار از مرحله ظهور برگ پرچم (GS39) با کلاس A و کمترین آن از مرحله ساقه با دو پنجه کامل (GS22) به‌دست آمد و سایر مراحل وضعیت مشابهی داشتند و در کلاس B قرار گرفتند. شمسی‌پور و همکاران (Shamsipour *et al.*, 2010) با بررسی 10 ژنوتیپ گندم در شرایط تنش رطوبتی گزارش کردند، در مرحله زایشی گندم شاخص کلروفیل (SPAD) با مراحل رشد سیر نزولی داشت. دبیک و همکاران (Debaeke *et al.*, 2006) نیز با بررسی ژنوتیپ‌های گندم دوروم گزارش کردند، شاخص کلروفیل در برگ با طول دوره رشد در تیمارهای مختلف مصرف نیتروژن از مرحله ساقه رفتن سیر نزولی یافت و در نهایت به وضعیت ثابتی رسید. آنها نتیجه گرفتند که از شاخص کلروفیل (SPAD) به تنهایی نمی‌توان در تشخیص وضعیت نیتروژن در گیاه و توصیه تیمار نیتروژنی استفاده نمود، مگر اینکه این شاخص از طریق منحنی رقت

جدول 9- مقایسه میانگین پارامترهای کلروفیل در برگ برای مراحل مختلف رشد گیاه

Table 9- Mean comparison for chlorophyll components in leaf for difference growth stages

مرحله رشد Growth stage	شاخص کلروفیل SPAD	کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total chl.	کاراتنوئیدها Carotenoids	کلروفیل c Chl. c	کلروفیل a/ب کلروفیل Chl a/Chl b	شاخص نسبی کلروفیل متر RCM	شاخص نیتروژن Nitrogen index
		(mg/g fresh leaf)							
GS22	7.7	13.7	4.9	18.8	0.50	0.056	2.75	0.95	190
GS29	9.5	17.9	6.4	24.1	0.34	0.079	2.80	0.91	120
GS32	9.4	17.7	6.3	23.8	0.34	0.077	2.80	0.85	136
GS39	9.4	17.6	6.3	23.7	0.36	0.088	2.78	1.01	155
GS60	7.7	13.8	5.0	18.9	0.50	0.058	2.75	0.97	148
LSD5%	0.4	1.0	0.4	1.3	0.04	0.009	0.02	0.06	15



شکل 5- تغییرات نسبت کلروفیل به کاراتنوئیدها در مراحل مختلف رشد (الف)، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در مراحل مختلف رشد (ب)، اثرات متقابل

نیتروژن در مراحل رشد (ج) و عملکرد دانه در مقادیر مختلف مصرف نیتروژن (د) گندم دیم

Figure 5- Variation of total chlorophyll per carotenoids ratio (a), genotypes (b) and nitrogen rates (c) in dryland wheat growth stages and relationship between nitrogen rate with grain yield (d)

گرفت و در دو مرحله دیگر، با خط مرزی بین ناحیه کمبود و کفایت فاصله زیادی نداشت. ژنوتیپ‌های اوحدی و ژنوتیپ 4 در مرحله اول و ژنوتیپ‌های اوحدی، رصد و ژنوتیپ 2 در مرحله نهایی رشد از لحاظ تغذیه نیتروژنی و فتوسنتز در ناحیه کمبود قرار گرفتند. با توجه به

بررسی وضعیت ژنوتیپ‌ها در مراحل مختلف رشد از لحاظ صفت نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها نشان داد (شکل 5ب)، رقم آذر 2 در سه مرحله ظهور دو پنجه کامل (GS22)، طولی شدن ساقه (GS32) و ظهور برگ پرچم (GS39) در ناحیه کمبود نیتروژن قرار

تولید عملکرد دانه دارد و تیمارها و یا ارقامی که در این مرحله قادر باشند نیتروژن بالایی را در اندام‌های رویشی خود تجمع نمایند در شرایط تنش رطوبتی عملکردهای مطلوبی را تولید می‌نمایند (Abbate *et al.*, 1995). این مطالب، نتایج پژوهش حاضر را در خصوص تولید بالاترین عملکرد دانه (3237 کیلوگرم در هکتار در کلاس A) در تیمار N₆₀ در مقایسه با تیمار N₉₀ با عملکرد 2853 کیلوگرم در هکتار کاملاً تأیید می‌نماید (شکل 5د).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد، پاسخ ارقام مختلف گندم دیم به مصرف نیتروژن متفاوت بود و از لحاظ محتوی کلروفیل و اجزای آن نیز بین ارقام اختلاف وجود داشت. با استفاده از کلروفیل‌متر می‌توان میزان واقعی کلروفیل و اجزای آن را در ژنوتیپ‌های گندم دیم در مراحل مختلف رشد با دقت بالایی تخمین زد. همچنین از طریق مدیریت میزان و زمان مصرف نیتروژن می‌توان مقادیر کلروفیل و اجزای آن را در گیاه بهبود بخشید. برای تولید حداکثر و حد بهینه اقتصادی گندم دیم به ترتیب حدود 20 و 10 کیلوگرم نیتروژن در هکتار کمتر از نیتروژن مورد نیاز برای شرایط ایده‌آل وضعیت کلروفیل و اجزای آن در گیاه لازم است. مقادیر کلروفیل a (16/6 میلی‌گرم بر گرم)، کلروفیل b (5/9 میلی‌گرم بر گرم)، کلروفیل c (0/077 میلی‌گرم بر گرم)، کلروفیل کل (23/9 میلی‌گرم بر گرم) و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b (2/78)، شاخص کلروفیل (9/4) و شاخص نسبی کلروفیل (1/0) برای حد بهینه اقتصادی مصرف نیتروژن تعیین گردید.

پیشنهادهای

به‌منظور کاربردی نمودن داده‌های حاصل از کلروفیل‌متر در کمک به مدیریت مصرف کودهای نیتروژنی برای گندم دیم پیشنهاد می‌شود، از طریق یک پروژه ملی مدیریت مصرف کودهای نیتروژنی (میزان و زمان مصرف) روابط بین تیمارهای مختلف با نتایج حاصل از کلروفیل‌متر واسنجی و از نتایج حاصله در توصیه کودهای نیتروژنی برای مزارع کشاورزان استفاده شود.

اینکه رقم آذر2 در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه روشن‌ترین رنگ برگ را در مقادیر مختلف مصرف نیتروژن دارد، لذا صحت نتایج یادشده را به خوبی تأیید می‌نماید. ژنوتیپ 1 در هیچ‌کدام از مراحل رشد در ناحیه کمبود قرار نگرفت. در بین ارقام موجود در پژوهش رقم رصد مناسب‌ترین وضعیت را از لحاظ تغذیه نیتروژنی داشت و در بین چهار ژنوتیپ دیگر ژنوتیپ‌های 1 و 2 وضعیت مطلوبی را در تمامی مراحل رشد داشتند.

تغییرات نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها در سطوح مصرف نیتروژن نیز در مراحل مختلف رشد نشان داد (شکل 5ج)، تیمار N₀ در تمامی مراحل رشد در وضعیت کمبود نیتروژن قرار گرفت و تغییرات زیادی در این مراحل نداشت. تیمار N₃₀ در تمامی مراحل به استثنای مرحله اول در ناحیه کفایت قرار گرفت و به تدریج از مرحله ظهور دو پنجه (GS22)، طولی شدن ساقه (GS32) تا ظهور برگ پرچم (GS39) مقدار نسبت کلروفیل کل به کاراتنوئیدها در آن افزایش و در مرحله نهایی گلدهی (GS60) مقداری کاهش یافت. البته این تیمار در مرحله اول رشد یا ظهور دو پنجه (GS22) هم مرز با ناحیه کمبود قرار گرفت. در تیمار N₆₀ چهار مرحله اولیه رشد در ناحیه زیاد بود و ناحیه پنجم در ناحیه کمبود قرار گرفت. این در حالی است که در تیمار N₉₀ مرحله اولیه در ناحیه کفایت و چهار مرحله نهایی در ناحیه زیادبود نیتروژن قرار گرفت. مطابق این نتایج، اولاً تیمار بدون مصرف نیتروژن (N₀) وضعیت تغذیه نیتروژنی نامناسب داشت. ثانیاً تیمار N₆₀ از لحاظ تغذیه نیتروژنی در اغلب موارد بالاتر از تیمار N₉₀ قرار گرفت و مطلوب‌ترین شرایط را داشت، به‌ویژه اینکه تغذیه نیتروژنی در شرایط دیم در مراحل اولیه رشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تولید ماده خشک و عملکرد دانه مناسب از طریق مکانیسم انتقال مجدد در دوره زایشی گیاه به تغذیه مطلوب در مراحل رویشی و قبل از ظهور سنبله بستگی دارد (Anderson and Impiglia, 2002). با استناد بر مطالب یادشده و اقتصاد مصرف کود استنباط می‌شود، تیمار N₆₀ از تیمار N₉₀ برای چنین شرایطی مطلوب‌تر و قابل توصیه‌تر باشد. از سوی دیگر، نتایج تحقیقات نشان می‌دهد، غلظت نیتروژن در گیاه در مرحله گلدهی همبستگی بالایی با

References

1. Abbate, P. E., Andrade, F. H., and Culot, J. P. 1995. The effect of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *Journal of Agricultural Science* 124: 351-360.
2. Anderson, W. K. and Impiglia, A. 2002. Management of dryland wheat. In: B.C. Curtis, S. Rajaram and H. Gómez Macpherson. *Bread wheat Improvement and Production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
3. Andraski, T. W., Bundy, L. G. and Byre, K. R. 2000. Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. *Journal of Environmental Quality* 29:1095-1103.
4. Arnon, D. L. 1949. A copper enzyme is isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta Vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.
5. Arshadi, J., and Asgharipour, M. 2011. Effect of nitrogen top-dress management using chlorophyll meter on yield, quality and correlation between some agronomic traits in potato. *Advances in Environmental Biology* 5 (4): 711-718.
6. Arshadi, M., Khazaei, H., Nassiri Mahallati, M., and Agheli, O. 2016. Evaluation of effects of some important

- agronomic traits on potato yield and possibility determining of required time of potato crop to nitrogen fertilizer levels by using chlorophyll meter. *Agroecology* 2 (1): 119-128. (in Persian with English abstract).
7. Babar, M. A., Reynolds, M., Van Ginkel, M., Klatt, A., Raun, W. R., and Stone, M. L. 2006. Spectral reflectance to estimate genetic variation for in-season biomass, leaf chlorophyll and canopy temperature in wheat. *Crop Science* 46: 1046-1057.
8. Berecz, K. 2001. Grain yield and quality of winter wheat varieties as affected by different nutrient supply. *Plant Nutrition* 342-343.
9. Brito, G. G., Sofiatti, V., Brandao, Z. N., Silva, V. B., Silva, F. M., and Silva, D. A. 2011. Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in cotton plants. *Acta Scientiarum. Agronomy* 33 (4): 671-678.
10. Buteler, M. 2008. Integrated management of the wheat stem sawfly by exploiting semiochemicals to enhance trap crops. Ph.D. Thesis, Montana State University. Land Resources and Environmental Sciences. Pages 218.
11. Chunjiang, Z., Aning, J., Wenjiang, H., Keli, L., Liangyun, L., and Jihua W. 2007. Evaluation of variable-rate nitrogen recommendation of winter wheat based on SPAD chlorophyll meter measurement. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 50 (5): 735-741.
12. Coste, S., Baraloto, C., Leroy, C., Marcon, E., Renaud, A., Richardson, A. D., Roggy, J. C., Schimann, H. Uddling, J., and Herault, B. 2010. Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana. *Annals of Forest Science* 67 (607): 1-5.
13. Debaeke, P., Rouet, P., and Justes, E. 2006. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. *Journal of Plant Nutrition* 29: 75-92.
14. Esfahani, M., Abbasi, H. R. A., Rabiei, B., and Kavousi M. 2008. Improvement of nitrogen management in rice paddy fields using chlorophyll meter (SPAD). *Paddy and Water Environment* 6: 181-188.
15. Feibo, W., Lianghuan, W., and Fuhua, X. 1998. Chlorophyll meter to predict nitrogen side dress requirements for short-season cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Research* 56: 309-314.
16. Feiziasl, V., Fotovat, A., Astarai, A. R., Lakzian, A., and Mousavi, S. B. 2014. Effect of Optimized Nitrogen Application in Reducing Drought Stress Effect on Grain Yield of some Rainfed Bread Wheat Genotypes. *Seed and Plant Production Journal* 30 (2): 169-198. (in Persian with English abstract).
17. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Pala, M., and Mosavi, S. B. 2009. Determination of micronutrient critical levels by plant response column order procedure for dryland wheat (*T. aestivum* L.) in Northwest of Iran. *International Journal of Soil Science* 4 (1): 14-19.
18. Feiziasl, V., Kasraei, R., Moghaddam, M., and Valizadeh, G. R. 2004. Investigation on uptake limitation and nutrient deficiency diagnosis at applied phosphorus and zinc fertilizers by different methods in Sardari wheat. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 11: 23-33. (in Persian with English abstract).
19. Feiziasl, V., Fotovat, A., Astarai, A., Lakzian, A., and Mosavi Shalmani, M. 2016. Evaluation of Nitrogen Status in Dryland Wheat Genotypes Using ¹⁵N. *Iranian Journal of Field Crops Research* 15 (3): 494-510. (in Persian with English abstract).
20. Fiez, T. E., Miller, B. C., and Pan, W. L. 1994. Winter wheat yield and grain protein across varied landscape positions. *Agronomy Journal*. 86: 1026-1032.
21. Follett, R. H., Follett, R. F., and Halvorson, A. D. 1992. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23 (7-8): 687-697.
22. Fowler, D. B. 2002. Nitrogen Fertilization. Winter Cereal Production. Chapter 17. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada. http://www.usask.ca/agriculture/cropsci/winter_cereals. 2014/Jul/27.
23. Fowler, D. B., and Brydon, J. 1989. No-till winter wheat production on the Canadian prairies timing of nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 81: 817-825.
24. Fowler, D., Brydon, J., and Buker, R. J. 1989. Nitrogen fertilization of no-till winter wheat and rye. II. Influence on grain protein. *Agronomy Journal* 81: 72-77.
25. Gianquinto, G., and Bona, S. 2000. The significance of trends in concentrations of total nitrogen and nitrogenous compounds. In: A.J. Haverkort and D.K.L. MacKerron (Eds), *Management of nitrogen and water in potato production*, Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. pp. 35-55.
26. Gianquinto, G., Sambo, P., and Pimpini, F. 2003. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimising the nitrogen supply in potato crop: first results. *Acta Horticulture* 627: 225-230.
27. Giunta, F., Pruneddu, G., and Motzo, R. 2009. Radiation interception, biomass and nitrogen accumulation in different cereal and grain legume species. *Field Crops Research* 110: 76-84.
28. Giunta, F., Motzo, R., and Deidda, M. 2002. SPAD readings and associated leaf traits in durum wheat, barley and triticale cultivars. *Euphytica* 125: 197-205.
29. Groppa, M. D., and Benavides, M. P. 2008. Polyamines and abiotic stress: recent advances. *Amino Acids* 34: 35-45.
30. Guy S. O., and Gareau, R. M. 1998. Crop rotation, residue durability, and nitrogen fertilizer effects on winter wheat production. *Journal of Production Agriculture* 11 (4): 457-461.

31. Herzog, H. 1986. Source and sink during the reproductive period of wheat: development and its regulation with special reference to cytokinins. Scientific Publication, Berlin and Hamburg.
32. Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., and Gallais, A. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: toward a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany* 58 (9): 2369-2387.
33. Hoel, B. O. 2002. Chlorophyll meter readings in winter wheat: Cultivar differences and prediction of grain protein content. *Acta Agriculture Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* 52: 147-157.
34. Huggins, D. R., Pan, W. L., and Smith, J. L. 1989. Management considerations for improving yield, percent protein and N use efficiency of dryland hard red spring wheat. STEEP Progress Report, pp. 96-98, Annual STEEP Conference, Portland, OR. January 4-5, 1989.
35. Jeffrey, S. W., and Humphrey, G. F. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll *a*, *b*, *c* 1 and *c* 2 in higher plants and natural phytoplankton. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen (BPP)*. 165: 191-194.
36. Junior, J. L., Junior, S., and Monteiro, F. A. 2010. Nitrate reductase activity and SPAD readings in leaf tissues of guinea grass submitted to nitrogen and potassium rates. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34 (3): 801-809.
37. Keyvan, S. 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal and Plant Sciences* 8 (3): 1051-1060.
38. Khademi, Z., and Asadi, F. 2013. Estimation of nitrogen fertilizer requirement and corn grain yield using by chlorophyll meter in different growth stages. *Iranian Journal of Soil Research* 27 (3): 303-315. (in Persian with English abstract).
39. Kizilgeci, F., Akinci, C., Albayrak, O., and Yildirim, M. 2017. Nitrogen effects on SPAD meter and grain yield relationships in F2 durum wheat populations. *Scientific Journal of Crop Science* 6 (5): 176-182.
40. Kizilgeci, F., Yildirim, M., Akinci, C., Albayrak, O., and Basdemir, F. 2015. The Availability of advanced durum wheat population in yield and quality basis selection. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 10 (2): 62-68.
41. Koenig, R. T., Cogger, C. G., and Bary, A. I. 2011. Dryland winter wheat yield, grain protein, and soil nitrogen responses to fertilizer and biosolids applications. *Applied and Environmental Soil Science* 2011: 1- 9.
42. Koyro, H. W. 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* L. *Environmental and Experimental Botany* 56: 136-149.
43. Kucey, R. M. N. 1987. Nitrogen fertilizer application practices for barley production under Southwestern Canadian Prairie conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26: 3023-3032.
44. Lemaire, G., van Oosterom, E., Sheehy, J. Jeuffroy, M. H. Massignam, A., and Rossato, L. 2007. Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? *Field Crops Research* 100: 91-106.
45. Li, J. W., Yang, J. P., Li, D. S., Fei, P. P., Guo, T. T., Geand, C. S., and Chen W. 2011. Chlorophyll meter's estimate of weight-based nitrogen concentration in rice leaf is influenced by leaf thickness. *Plant Production Science* 14: 177-183.
46. Li, X. H., Han, X. Z., Li, H. B., Song, C., Yan, J., and Liang, Y. 2012. Soil chemical and biological properties affected by 21-year application of composted manure with chemical fertilizers in a Chinese Mollisol. *Canadian Journal of Soil Science* 92: 419-428.
47. Lichtenthaler, H. K., and Buschmann C. 2001. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, Universitaet Karlsruhe Karlsruhe, Germany.
48. Limon-Ortega, A. 2009. Wheat grain yield response to N application evaluated through canopy reflectance. *Cereal Research Communications* 37 (4): 595-601.
49. Ma, B. L., Morrison, M. J., and Voldeng, H. D. 1995. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. *Crop Science* 35: 1411-1414.
50. Majidi, A. 2014. Use of Minolta SPAD-502 Chlorophyll Meter for Estimating Leaf N Concentration and Grain Protein Content in Three Varieties of Wheat (Text in Persian). *Iranian Journal of Soil Research* 31 (2): 245-254. (in Persian with English abstract).
51. Malakouti, M. J., and Gheybi, M. N. 2000. Determination of nutrient critical levels in strategic crops and correct fertilizer recommendation in Iran. *Agricultural Education Publication*, Iran Tehran, pp: 56. (in Persian with English abstract).
52. Mousavi, S., Feizian, M., and Ahmadi A. 2012. Influence of Nitrogen Fertilizer Application Techniques on. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10 (3): 532-545.
53. Nascimento, H. C. S., and Marengo, R. A. 2010. SPAD-502 readings in response to photon fluence in leaves with different chlorophyll content. *Revista Ceres* 57 (5): 614-620.
54. Peltonen, J., Virtanen, A., and Haggren, E. 1995. Using a chlorophyll meter to optimize nitrogen fertilizer application for intensively-managed small-grain cereals. *Journal of Agronomy Crop Science* 174: 309-318.

55. Peng, S., Garcia, F. C., Laza, R. C., and Cassman, K. G. 1993. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meters estimation of rice leaf nitrogen concentration. *Agronomy Journal* 85: 987-990.
56. Peterson, T. A., Blackmer, T. M., Francis, D. D., and Schepers J. S. 1993. Using a chlorophyll meter to improve N management. NebGuide G93-1171, Cooperative Extension Service, University of Nebraska, Lincoln.
57. Rafiqul Islam, M., Shamsul Haque, K. M., Akter, N., and Abdul Karim, M. 2014. Leaf chlorophyll dynamics in wheat based on SPAD meter reading and its relationship with grain yield. *Scientia Agriculture* 8 (1): 13-18.
58. Rasmussen, P. E., Rickman, R. W., and Klepper, B. L. 1997. Residue and fertility effects on yield of no-till wheat. *Agronomy Journal* 89: 563-67.
59. Redillas, M. C. F. R., Jeong, J. S., Strasser, R. J., Kim, Y. S., and Kim, J. K. 2011. JIP analysis on rice (*Oryza sativa* cv. Nipponbare) grown under limited nitrogen conditions. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 54: 827-832.
60. Reis, A.R., Favarin, J.L., Malavolta, E., Junior, J.L. and Moraes, M. F. 2009. Photosynthesis, chlorophylls, and SPAD readings in coffee leaves in relation to nitrogen supply. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40: 1512-1528.
61. Richardson, A. D., Duigan, S. P., and Berlyn G. P. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist* 153: 185-194.
62. Sairam, R. K., and Siravastava, G. C. 2002. Changes in antioxidant activity in subcellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Plant Science* 162:897-907.
63. Salehi, M., Koochaki, A., and Nassiri Mahalati, M. 2004. Leaf nitrogen and chlorophyll as indicators for salt stress. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11 (2): 2-10. (in Persian with English abstract).
64. Sawyer, J., Lundvall, J., Hawkins, J., and Barker, D. 2011. Sensing nitrogen stress in corn. Iowa State University, University Extension. Pages 4.
65. Sawyer, J. E., Barker, D. W., and Lundvall, J. P. 2004. Using chlorophyll meter readings to determine N application rates for corn. North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference, November 17-18, 2004, Des Moines, IA.
66. Schepers, J. S., Francis, D. D., Vigil, M., and Below, F. E. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23: 2173-2187.
67. Shah, S. H., Houborg, R., and McCabe, M. F. 2017. Response of Chlorophyll, Carotenoid and SPAD-502 Measurement to Salinity and Nutrient Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy* 7(61): 2-21.
68. Shamsipour, M., Fotout, R., and Jabari, F. 2010. The relationship between chlorophyll content index grain yield of wheat under drought stress conditions *Journal of Crop Ecophysiology* 2 (1): 8-16.
69. Spiertz, J. H. J., Vos, N. M. and Holte, L. 1984. The role of nitrogen in yield formation of cereals, especially of winter wheat. p. 49-259. In: E. J. Gallagher (ed.). *Cereal production*. Royal Dublin Society, Butterworth, UK.
70. Tilling, K., Leary, G. J. O., Ferwerda, J. G., Jones, S. D., Fitzgerald, G. J., Rodriguez, D., and Belford, R. 2007. Remote sensing of nitrogen and water stress in wheat. *Field Crops Research* 104: 77-85.
71. Torabi B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali E. 2011. Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Science* 4 (4): 1-17.
72. Wang, D., Xu, Z., Zhao, J., Wang, Y., and Yu, Z. 2011. Excessive nitrogen application decreases grain yield and increases nitrogen loss in a wheat-soil system. *Acta Agriculture Scandinavica* 61: 681-692.
73. Wienhold, B. J., and Krupinsky, J. M. 1999. Chlorophyll meter as nitrogen management tool in malting barley. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30: 2551-2562.
74. Yamamoto, A., Nakamura, T., Adu-Gyamfi, J. J., and Saigusa, M. 2002. Relationship between chlorophyll content in leaves of sorghum and pigeon pea determined by extraction method and by chlorophyll meter (SPAD-502). *Journal of Plant Nutrition* 25: 2295-2301.
75. Yan, W. 2001. GGE biplot-A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*. 93: 1111-1118.
76. Zivcak, M., Olsovska, K., Slamka, P., Galambosova, J., Rataj, V., Shao, H. B., and Brestic, M. 2014. Application of chlorophyll fluorescence performance indices to assess the wheat photosynthetic functions influenced by nitrogen deficiency. *Plant, Soil and Environment* 5: 210-215.



Determination of Chlorophyll Content and Nitrogen Status Using SPAD in Dryland Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes

V. Feiziasl^{1*}, A. Fotovat², A. Astaraei³, A. Lakzian², J. Jafarzadeh¹

Received: 25-11-2017

Accepted: 13-11-2018

Introduction

Nitrogen is the most important limiting factor, after water deficit for biomass production in natural ecosystems. Efficient use of nitrogen fertilizer is important to economical dryland wheat production and to the quality of ground and surface waters. Researchers have been looking for ways to increase the efficiency of N fertilizer use. Soil and in-season plant tissue testing for nitrogen status are a time consuming and expensive process. Chlorophyll concentration in a leaf is closely correlated with leaf N concentration so the Soil Plant Analysis Development (SPAD) chlorophyll meter is one of the most commonly used diagnostic tools to measure crop nitrogen status. The SPAD chlorophyll meter is a simple, portable, diagnostic and nondestructive light weight device used to estimate leaf chlorophyll content. Chlorophyll meter techniques provide a substantial saving in time and resources and offer a new strategy for synchronizing nitrogen application with actual crop demand. The objective of this study was to establish and analyze the relationships between measurements from a SPAD instrument and the leaf pigments, as extracted at different stages. The study also seeks to evaluate the utility of a chlorophyll meter to inform nitrogen fertilization rates of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in dryland condition.

Materials and Methods

This experiment was carried out in split split plot based on RCBD design with three replications. Treatment included: N application time (whole fertilization of N in fall, and its split fertilization as 2/3 in fall and 1/3 in spring), N rates (0, 30, 60 and 90 kg N ha⁻¹) as urea and 7 genotypes (Azar2, Rasad, Ohadi, HN7/OROFEN//BGN8/3/SERI/4/..., SARA-BW-F6-06-85-86-29-1, TEVEE'S//CROW/VEE'S' and DH-2049-3. A chlorophyll meter (SPAD-Hansatech Cl-01) was used to read leaf chlorophyll content (SPAD value) at tillering (GS22), shooting (29), stem elongation (GS32), flag leaf (GS39) and anthesis stages. Fresh plant leaf samples were collected from each plot for the estimation of chlorophyll a (Chla), chlorophyll b (Chlb), carotenoids (Ct), total chlorophyll (Chlt) and concentrations. The chlorophylls and carotenoids were determined by spectrophotometric analysis of chemically extracted pigments. To examine the relationship between pigments chlorophyll and SPAD values, 30 wheat leaves were sampled. Average Chla, Chlb, Chlt, carotenoids and SPAD values were computed, and linear regression analysis was performed by least-squares method with Excel.

Results and Discussion

The results showed a strong positive and statistically significant ($p < 0.01$) relationship between SPAD values and total chlorophyll ($R^2 = 0.93$), chlorophyll a ($R^2 = 0.95$), chlorophyll b ($R^2 = 0.78$) and carotenoids content ($R^2 = 0.79$). We demonstrated that the SPAD readings and plant photosynthetic pigment content per-leaf are profoundly affected by nitrogen rate and timing of application. Nitrogen split application increased significantly ($p < 0.01$) the SPAD values (8.3%), Chla (11.1%), Chlb (10.9%), Chlc (27%), Chlt (15%), (exception of carotenoids) and seed protein content (8.5%). Nitrogen application could affect significantly ($p < 0.01$) all chlorophyll indices in plant. The ideal conditions for the chlorophyll indices in the plant were obtained using 72 kg N ha⁻¹. Nitrogen requirement for maximum and optimum economical dryland wheat production is about 20 and 10 kg ha⁻¹ less than nitrogen requirement for creation the ideal conditions for chlorophyll status and its components in dryland wheat. Using chlorophyll meter, chlorophyll a (16.6 mg g⁻¹), chlorophyll b (5.9 mg g⁻¹), chlorophyll c (0.077 mg g⁻¹), total chlorophyll (23.9 mg g⁻¹) and chlorophyll a per Chlorophyll b ratio (2.78), chlorophyll index (9.4) and chlorophyll relative index (1.0) were determined in economical optimum N rate (NRD = 0). Genotype1 was most suitable and Azar2 was the most inappropriate condition in terms of

1- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

2- Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

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

chlorophyll index and total chlorophyll ratio per carotenoids (optimum range 40-70) in the plant as a stress resistance index.

Conclusions

It can be concluded that, the actual chlorophyll content and its components can be estimated using chlorophyll meter (SPAD) in dryland wheat genotypes at different growth stages. Chlorophyll components and seed protein can be improved by nitrogen fertilizer application time and rates in dryland wheat.

Keywords: Chlorophyll components, Biplot method, Economical optimum N rate, Growth stages, Water stress



ارزیابی پایداری ژنتیکی برخی از صفات زراعی هیبریدهای سیب‌زمینی تحت شرایط آب و هوایی مختلف

شیوا محمدنیا^۱، علی اصغری^{۲*}، داود حسن‌پناه^۳، رحمت‌الله کریمی‌زاده^۴، علی‌اکبر شکوهیان^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰

چکیده

این پژوهش به منظور دستیابی به هیبریدهای مناسب از نظر صفات زراعی با شرایط اقلیمی مناطق تولید سیب‌زمینی کشور اجرا شد. تعداد ۲۰ هیبرید سیب‌زمینی همراه با پنج رقم تجاری (ساوالان، آگریا، کایزر، لوتا و ساتینا)، در آزمایشی بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، خراسان رضوی، کرج، اصفهان و همدان در سال ۹۴-۱۳۹۵ ارزیابی گردیدند. در طول دوره‌ی رشد و پس از برداشت محصول برخی از صفات از جمله ارتفاع بوته، تعداد روز تا غده‌زایی، تعداد ساقه اصلی در بوته، تعداد و وزن غده در بوته، عملکرد غده کل و درصد ماده خشک غده اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد ارزیابی نشان داد که بین هیبریدهای سیب‌زمینی از لحاظ تمام صفات اختلاف معنی‌دار وجود دارد و اثر متقابل هیبرید × محیط در صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا غده‌زایی، تعداد و وزن غده در بوته، عملکرد غده کل و درصد ماده خشک غده معنی‌دار بود. هیبریدهای ۵، ۹، ۱۷ و ۱۹ بیشترین عملکرد غده کل و هیبرید ۲۰ و رقم ساتینا دارای کمترین وزن غده در بوته بودند. در تجزیه عامل‌ها، ۳ عامل مستقل از هم ۷۵/۷۴ درصد از تنوع را توجیه نمودند. عامل اول، عامل عملکرد عامل دوم، عامل غده‌زایی و عامل سوم عامل ساختاری بوته نام‌گذاری شد. سه عامل اول برای گروه‌بندی هیبریدها مورد استفاده قرار گرفتند. هیبریدهای ۵، ۱۷ و ۱۹ به‌عنوان هیبرید برتر انتخاب گردید. هیبریدهای ۱، ۳ و ۲۰ با دارا بودن بیشترین درصد ماده خشک برای فرآوری (چیپس) قابل توصیه می‌باشد. صفت وزن غده در بوته و تعداد غده در بوته دارای بیشترین شاخص پیشرفت ژنتیکی، وراثت‌پذیری، ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی بودند. لذا می‌توان این صفات را در برنامه‌های اصلاحی از طریق گزینش بهبود داد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای ژنتیکی، پیشرفت ژنتیکی، سیب‌زمینی، عملکرد، هیبرید، وراثت‌پذیری

مقدمه

به‌صورت جنسی و از طریق خودگرده‌افشانی و یا دگرگرده‌افشانی تولید می‌شوند (Hassanpanah, 2013). این گیاه از نظر اهمیت غذایی و تولید بعد از گندم و برنج قرار دارد که علاوه بر استفاده‌های صنعتی، در مواردی نیز جایگزین گندم بوده و یکی از چهار ماده غذایی اصلی جهان بعد از گندم و برنج و ذرت به‌شمار می‌رود (Hassanpanah and Hassanabadi, 2012). تولید سالیانه بیش از ۳/۵ میلیون تن سیب‌زمینی در کشور، این محصول را در ردیف مهم‌ترین مواد غذایی قابل مصرف بعد از گندم قرار داده است. وجود انواع ویتامین‌ها به‌ویژه ویتامین C و پروتئین‌ها در سیب‌زمینی، مصرف آن را به‌عنوان یک ماده غذایی با ارزش و سرشار از کربوهیدرات در جهان رایج کرده است. به‌طوری‌که، ۵/۲ درصد انرژی مصرفی روزانه جمعیت جهان از سیب‌زمینی تأمین می‌شود (Khazaee et al., 2012). با توجه به روند افزایش روزافزون جمعیت جهان که تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر خواهد رسید، در آینده امنیت غذایی انسان‌ها مهم‌ترین چالش پیش روی دولت‌ها خواهد بود. نیاز شدید به تأمین مواد غذایی برای جمعیت رو به رشد کشور از یک طرف و لزوم نیل به خودکفایی در امر تولیدات کشاورزی، بی‌نیازی از واردات و ایجاد امنیت غذایی از طرف

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) گیاهی یک‌ساله و اتوتتراپلوئید است که به دو روش جنسی و غیرجنسی تکثیر می‌شود. ارقام زراعی و کلون‌های تولیدی به‌صورت غیرجنسی از طریق غده تولید و تکثیر می‌یابند. خصوصیت مهم سیب‌زمینی تکثیر غیر جنسی آن است که باعث تثبیت ژنتیکی می‌شود. جوامع ژنتیکی جدید

۱- دانشجوی دکترا، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران، رشته اصلاح نباتات

۴- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی گچساران، ایران، رشته اصلاح نباتات

۵- دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی، رشته علوم باغبانی

(*- نویسنده مسئول: Email: ali_asgharii@yahoo.com)

دیگر ایجاب می‌کند تا میزان تولیدات کشاورزی در کشور افزایش داده شود (Mohammadnia et al., 2014). عملکرد بالا یکی از اهداف اصلی برنامه‌های به‌نژادی در گیاهان است (Vahabzadeh and Ghasemi, 2012). وجود اثرات متقابل محیط و ژنوتیپ همواره از مشکلات اصلاح‌گران می‌باشد. زیرا، عملکرد در محیط‌های مختلف تغییر می‌یابد و این امر موجب دشواری برنامه‌های اصلاحی می‌شود. لذا، نظر به این که تهیه ارقام اصلاح شده و سازگار با عملکرد بالا برای هر محیط از نظر اقتصادی متضمن هزینه سنگین و صرف وقت زیاد است، باید سعی در انتخاب ارقامی کرد که برای چند منطقه متفاوت قابل توصیه باشند (Mohaddesi et al., 2013). یک رقم زراعی وقتی حداقل از نظر یک صفت زراعی مهم، بهتر از شاهد باشد و از نظر سایر صفات به‌طور معنی‌داری ضعیف نباشد، رقم برتر در نظر گرفته می‌شود. توانایی محصول‌دهی در محیط‌های مختلف یک پیش شرط لازم برای یک رقم جدید است. فقط تعداد معدودی از صفات در شرایط اقلیمی مختلف ثابت می‌مانند و بسیاری از آن‌ها به شدت به شرایط محیطی واکنش نشان می‌دهند. بنابراین، لازم است که پایداری ارقام در مناطق و سال‌های مختلف بررسی شود (Bolandi and Hamidi, 2016).

موفقیت در انتخاب، بستگی به اثر ژن و وراثت‌پذیری صفات دارد و دانستن میزان توارث‌پذیری یک صفت در اصلاح یک رقم به محقق کمک شایانی خواهد نمود. وراثت‌پذیری نه تنها خصوصیت یک صفت، بلکه خصوصیت یک اجتماع، خصوصیت شرایط محیطی که افراد در معرض آن قرار دارند و خصوصیت روشی که توسط آن فنوتیپ محاسبه می‌گردد، محسوب می‌شود. وراثت‌پذیری‌ها در ارتباط با نوع صفت تفاوت زیادی با هم دارند. به‌طور کلی، صفات با وراثت‌پذیری کم عملکرد ارتباط نزدیکی با توان تولید مثلی دارند. در حالی که صفات با وراثت‌پذیری بالا ممکن است با توان تولید مثلی ارتباط خیلی زیادی نداشته باشند (Farshadfar, 1997).

نتایج پژوهش پانی‌جراحی و همکاران (Panigrahi et al., 2017) نشان داد که بیشترین میزان توارث‌پذیری به‌ترتیب مربوط به صفات درصد ماده خشک، عملکرد کل و عملکرد قابل فروش بود. حیدر و همکاران (Haydar et al., 2009) تجزیه و تحلیل پارامترهای ژنتیکی عملکرد و اجزای عملکرد ۳۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی را طی سه سال متوالی در ۴ منطقه انجام دادند و نتایج نشان داد که صفات تعداد برگ در گیاه، وزن تازه گیاه و عملکرد غده در بوته عمدتاً با اثرات افزایشی ژن‌ها کنترل می‌شوند و انتخاب مستقیم در آن‌ها موثر است. هم‌چنین بیان کردند که صفات تعداد برگ در گیاه، وزن تازه غده در گیاه و میانگین وزن ساقه گیاه دارای ضریب تغییرات ژنوتیپی و پیشرفت ژنتیکی بالایی بودند. در تحقیقی ۲۸ کلون مختلف سیب‌زمینی با زمان رسیدگی متفاوت به همراه ۶ رقم شاهد مورد ارزیابی قرار گرفت و گزارش کردند که از میان صفات اندازه‌گیری

شده درصد ماده خشک، وزن مخصوص و میزان نشاسته بالاترین وراثت‌پذیری عمومی و تعداد ساقه به دلیل بالا بودن ضریب تغییرات و در نتیجه بالا بودن تنوع، پایین‌ترین وراثت‌پذیری عمومی را به خود اختصاص دادند (Masoummpour et al., 2013). حسن‌پناه و همکاران (Hassanpanah et al., 2016 b) تعداد ۱۰۴ هیبرید سیب‌زمینی انتخابی در طی ۵ سال را همراه با ارقام شاهد ساوالان، کایزر، آگریا و خاوران به‌عنوان شاهد در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آرالوق اردبیل و موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج مورد مقایسه قرار دادند و پس از بررسی برخی صفات از جمله ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد و وزن غده در بوته و عملکرد غده، تعداد ۸۱ هیبرید را به‌عنوان هیبرید برتر از لحاظ صفات عملکرد غده قابل فروش و درصد ماده خشک غده انتخاب کردند. طی آزمایشی در کشور اتیوپی تعداد هشت ژنوتیپ سیب‌زمینی به مدت دو سال در پنج منطقه مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت ژنوتیپ CIP-396004.337 به‌عنوان ژنوتیپ ایده‌آل انتخاب شد (Gedif and Yigzaw, 2014). در بررسی که بین هیبریدهای حاصل از دورگ‌گیری ارقام آگریا و کایزر انجام گرفت، گزارش شد که از نظر عملکرد غده کل اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شد. میانگین عملکرد غده در هیبریدها به‌ترتیب ۳۸/۳۴ تن در هکتار و در والدین آن‌ها نیز ۳۹/۲۵ تن در هکتار بود. دامنه عملکرد غده در بین هیبریدها و والدین آن‌ها به‌ترتیب ۴۳/۹۷ و ۲۸/۳۶ تن در هکتار و هم‌چنین در والدین آن‌ها بین ۴۱/۷۶ و ۳۶/۷۴ تن در هکتار متغیر بود. هیبریدهای شماره ۱، ۳، ۶ و ۹ و رقم آگریا دارای بیشترین عملکرد غده بودند و با بقیه هیبریدها و رقم کایزر تفاوت معنی‌دار داشتند (Bagherniae-kasbakhi and Hassanpanah, 2014).

علی‌رغم رشد زیاد تقاضا برای مصارف مختلف سیب‌زمینی، کشور ما به‌جز رقام جاوید، ساوالان و خاوران عملاً فاقد ارقام اصلاح شده است و تقریباً کلیه ارقام سیب‌زمینی موجود در کشور وارداتی می‌باشد. با وجود ارقام متعدد در دنیا، کسب اطلاعات از پارامترهای ژنتیکی صفات برای اصلاح سیب‌زمینی و معرفی ارقام جدید به‌منظور دستیابی به کمیت و کیفیت مطلوب یک امر مهم و ضروری است. هدف اصلی این پژوهش محاسبه پارامترهای ژنتیکی و ارزیابی پایداری برخی از صفات مهم زراعی سیب‌زمینی در مناطق آب و هوایی مختلف بود.

مواد و روش‌ها

در این بررسی ۲۰ هیبرید و پنج رقم شاهد (ساوالان، آگریا، کایزر، لوتا و ساتینا) سیب‌زمینی (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه‌های اردبیل، خراسان رضوی، کرج، اصفهان و همدان مورد ارزیابی قرار گرفت. بعد از آماده‌سازی زمین، کود شیمیایی فسفات آمونیوم، اوره و سولفات پتاسیم بر اساس آزمون

خاک محاسبه و با خاک مخلوط شد. هریک از هیبریدها و ارقام شاهد در دو خط شش متری با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر و ۲۵ سانتی‌متر فاصله بوته کشت شدند.

جدول ۱- هیبریدها و ارقام شاهد سیب‌زمینی مورد بررسی در این تحقیق
Table 1-The studied potato hybrids and control cultivars studied in this research

شماره NO	کد هیبرید Hybrid cod	والد مادری	والد پدری	شماره NO	کد هیبرید Hybrid cod	والد مادری	والد پدری	شماره NO	ارقام شاهد Control cultivars
1	16	لوتا Luta	کایزر Caesar	11	3	لوتا Luta	کایزر Caesar	13	کایزر Caesar
2	9	لوتا Luta	کایزر Caesar	12	2	لوتا Luta	کایزر Caesar	22	ساتینا Satina
3	15	لوتا Luta	کایزر Caesar	14	21	لوتا Luta	ساوالان Savalan	23	لوتا Luta
4	11	لوتا Luta	کایزر Caesar	15	5	لوتا Luta	ساوالان Savalan	24	آگریا Agria
5	13	لوتا Luta	کایزر Caesar	16	1	لوتا Luta	ساوالان Savalan	25	ساوالان Savalan
6	5	لوتا Luta	کایزر Caesar	17	2	لوتا Luta	ساوالان Savalan		
7	23	لوتا Luta	کایزر Caesar	18	3	لوتا Luta	ساوالان Savalan		
8	56	لوتا Luta	کایزر Caesar	19	16	لوتا Luta	ساوالان Savalan		
9	12	لوتا Luta	کایزر Caesar	20	14	لوتا Luta	ساوالان Savalan		
10	4	لوتا Luta	کایزر Caesar	21	13	لوتا Luta	ساوالان Savalan		

$$PCV = \frac{\sqrt{\sigma_{ph}^2}}{\bar{x}} \times 100 \quad (3)$$

$$GA = h^2 \times K \times \frac{\sqrt{\sigma_{ph}^2}}{\bar{x}} \times 100 \quad (4)$$

شدت گزینش (K) در سطح احتمال ۵ درصد برابر ۲/۰۶ در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که هیبریدها از نظر تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۲). اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای تمامی صفات به‌جز تعداد ساقه معنی‌دار بود که این بدین مفهوم است که هیبریدها در شرایط محیطی مختلف واکنش متفاوتی نشان داده‌اند. مقایسه میانگین هیبریدها بر اساس صفت تعداد ساقه (شکل ۱) نشان داد که هیبرید شماره ۹، ۱۱ و ۱۲ دارای بیشترین تعداد ساقه بودند و هیبرید شماره ۱۹، ۲۰ و ۲۱ کمترین تعداد ساقه را داشتند. نتایج مقایسه میانگین هیبریدها در محیط‌های مختلف نشان داد که

به‌طوری‌که، در هر خط ۲۵ غده قرار گرفت. ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار سم کنفیدور جهت مبارزه با سوسک کلرادو استفاده شد. همچنین، مبارزه با علف‌های هرز در دو مرحله ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری بوته‌ها انجام شد. صفات تعداد روز تا غده‌زایی، ارتفاع بوته، تعداد ساقه، تعداد غده در بوته، وزن غده در بوته، عملکرد غده کل و درصد ماده خشک اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها به‌صورت مرکب و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با نرم‌افزارهای SAS و SPSS انجام شد.

پارامترهای ژنتیکی وراثت‌پذیری (۱)، پیشرفت ژنتیکی (۴)، ضریب تغییرات ژنتیکی (۲) و فنوتیپی (۳) با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه گردید:

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_{ph}^2} \times 100 \quad (1)$$

$$GCV = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{x}} \times 100 \quad (2)$$

هیبریدهای ۵، ۹، ۱۷ و ۱۹ دارای بیشترین عملکرد غده در هکتار بودند و عملکرد بیشتری نسبت به شاهد ها داشتند و کمترین عملکرد غده در هکتار متعلق به هیبرید ۲۰ و رقم شاهد ساتینا بود (شکل ۵). ارقام و هیبریدهایی که دارای تعداد ساقه های قوی، ایستاده و باز بوده و در چند هفته پس از کاشت دارای سطح سبز یکنواخت هستند انتخاب می شوند و هرچه رشد اولیه بوته ها سریع تر باشد، عملکرد غده نیز بالا خواهد بود (Hassanpanah et al., 2016 a).

هیبریدهای ۱۵، ۱۷ و ۲۱ بیشترین تعداد روز و هیبریدهای ۲، ۳ و ۴ کمترین تعداد روز تا غده زایی را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). بیشترین طول ساقه مربوط به رقم شاهد کایزر و هیبریدهای شماره ۱، ۲، ۳، ۱۱ و ۱۵ و کمترین آن به هیبرید ۹، ۱۰ و ۲۰ تعلق داشت (شکل ۳). بیشترین تعداد غده در بوته در هیبریدهای ۵، ۷، ۱۲، ۱۷ و ۱۸ و کمترین تعداد غده در بوته در هیبریدهای ۳ و ۲۱ بود. هیبریدهای ۱، ۵، ۸ و ۱۷ بیشترین و هیبرید ۷ و شاهد های کایزر و ساتینا کمترین وزن غده در بوته را به خود اختصاص دادند (شکل ۴).

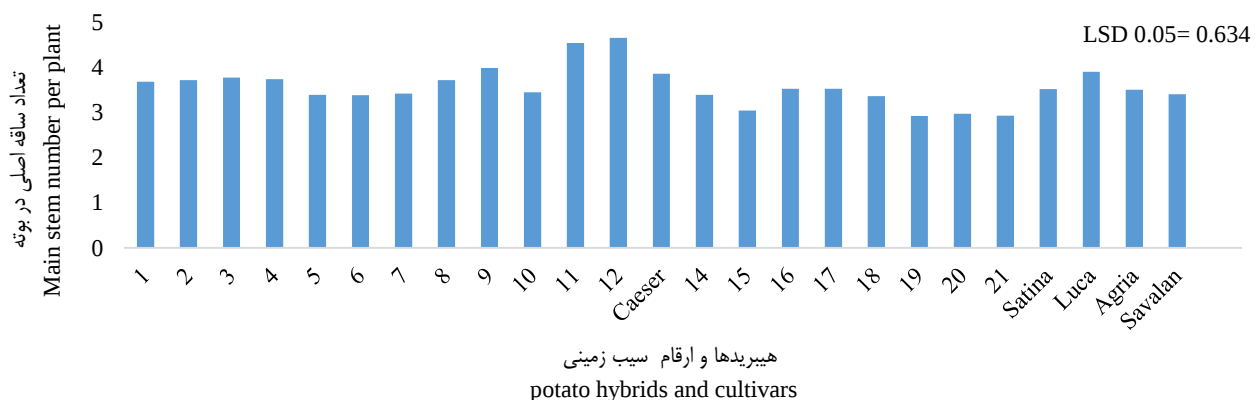
جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد ارزیابی در هیبریدهای سیب زمینی

Table 2- Combined analysis of variance of evaluated traits in potato hybrids

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات						درصد ماده خشک Dry matter percentage (%)
		تعداد روز تا غده زایی Day of tuberization (Day)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number	تعداد غده در بوته Tuber number per plant	وزن غده در بوته Tuber weight per plant (g)	عملکرده غده کل Total yield (ton ha ⁻¹)	
محیط Environment	4	122.079**	449.038 ^{ns}	1.136 ^{ns}	69.998 ^{ns}	1155403.457*	5849.268**	31.641 ^{ns}
تکرار درون محیط Repeat/ Environment	10	14.647	171.534	0.866	39.715	248838.122	71.431	34.405
هیبرید Hybrid	24	77.687**	148.891**	2.669**	20.375**	108219.605**	239.098**	64.145**
هیبرید × محیط Hybrid × Environment	96	8.625**	92.122**	0.846 ^{ns}	8.568**	58294.476**	203.923**	41.966**
Error خطا	240	3.74	39.604	0.776	2.513	18012.94	32.61	11.383
C. V. (%) ضریب تغییرات		3.213	9.84	24.683	20.70	20.907	17.528	16.16

ns، * و ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی دار

ns, * and ** Non-Significant, Significant at 5% and 1% probability levels respectively



شکل ۱- مقایسه میانگین صفت تعداد ساقه در هیبریدها و ارقام شاهد سیب زمینی مورد مطالعه

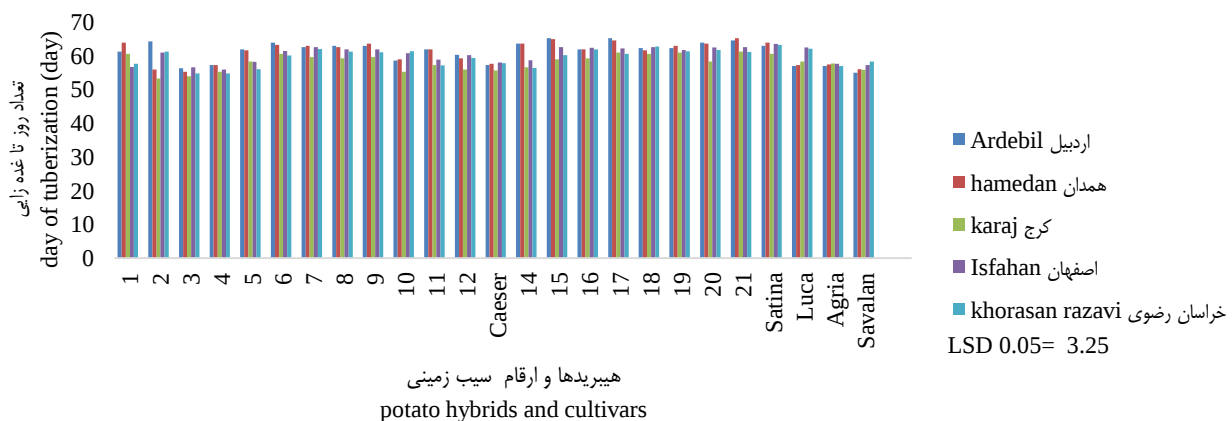
Figure 1- Mean comparison for main stem number per plant trait in studied potato hybrids and control cultivars

مهم ترین گزینه در تعیین نوع مصرف آن می باشد. از غده هایی با درصد پایین ماده خشک می توان در صنعت کنسروسازی استفاده کرد.

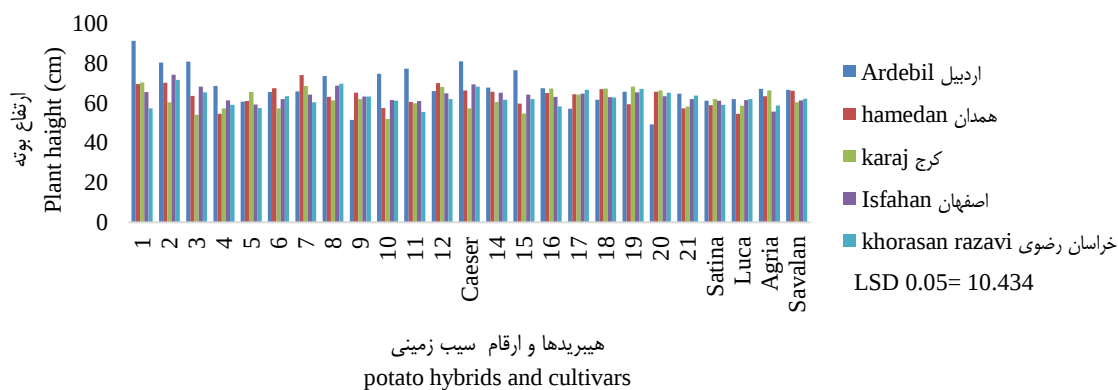
بیشترین درصد ماده خشک مربوط به هیبریدهای ۱، ۳ و ۲۰ و کمترین آن به هیبرید ۷ تعلق داشت (شکل ۶). درصد ماده خشک

خشک بالا به انرژی کمتری در طی سرخ یا خشک کردن جهت حذف آب نیاز دارند و بازده بالاتری در واحد وزن تر نسبت به غده‌هایی با ماده خشک پایین حاصل می‌کنند و در حین سرخ کردن روغن کمتری جذب می‌کنند (Hassanpanah and Hassanabadi, 2012). لذا، با در نظر گرفتن این موضوع هیبریدهای ۱، ۳ و ۲۰ در بین هیبریدهای مورد مطالعه برای فرآوری (چیپس) قابل توصیه می‌باشد. باتوجه به جدول ضرایب همبستگی (جدول ۳) مشخص شد که صفت تعداد روز تا غده‌زایی با صفت تعداد ساقه همبستگی منفی و معنی‌دار و با صفت تعداد غده در بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد. بین صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته و تعداد غده در بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد. در تحقیقی با بررسی چهار رقم شاهد شامل ارقام لوکا، ساتینا، ساوالان و کایزر به‌همراه ۸۰ کلون نسل F_2 حاصل از تلاقی این ارقام با یکدیگر، نتیجه گرفتند که بین صفت وزن غده در بوته با صفت تعداد غده در بوته و وزن متوسط غده در بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفت تعداد روز تا گلدهی همبستگی منفی و معنی‌دار وجود دارد (Tarbali et al., 2015).

بالا بودن میزان ماده خشک در فرآوری سیب‌زمینی اهمیت ویژه‌ای دارد. زیرا، با افزایش ماده خشک بازدهی فرآوری بیشتر، زمان پخت کوتاه‌تر، بافت سیب‌زمینی بهتر و در صورت استفاده برای چیپس و فرنچ فرایز روغن کمتری مصرف می‌شود. درصد ماده خشک غده تحت شرایط محیطی مختلف تغییر می‌نماید. عموماً عواملی که رشد شاخ و برگ را تحریک می‌کند، درصد ماده خشک را کاهش می‌دهند و عواملی که رشد غده را تحریک می‌کند، درصد ماده خشک را افزایش می‌دهد. همچنین، در هفته‌های آخر فصل رشد درصد ماده خشک غده‌های بزرگتر بیش از انواع کوچکتر افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که، در هنگام بلوغ درصد ماده خشک غده‌های کوچکتر کمتر از درصد ماده خشک غده‌های بزرگتر است (Beukema and Vanderzaag, 1990). باید در نظر داشت که برای یک رقم خاص درصد ماده خشک همیشه ثابت نمی‌باشد. بعضی از ارقام به دلیل ژنتیکی دارای ماده خشک بالاتری نسبت به دیگر ارقام می‌باشند. پس باید در انتخاب رقم به خصوصیات ژنتیکی آن توجه شود (Hassanpanah and Hassanabadi, 2012). غده‌های با ماده

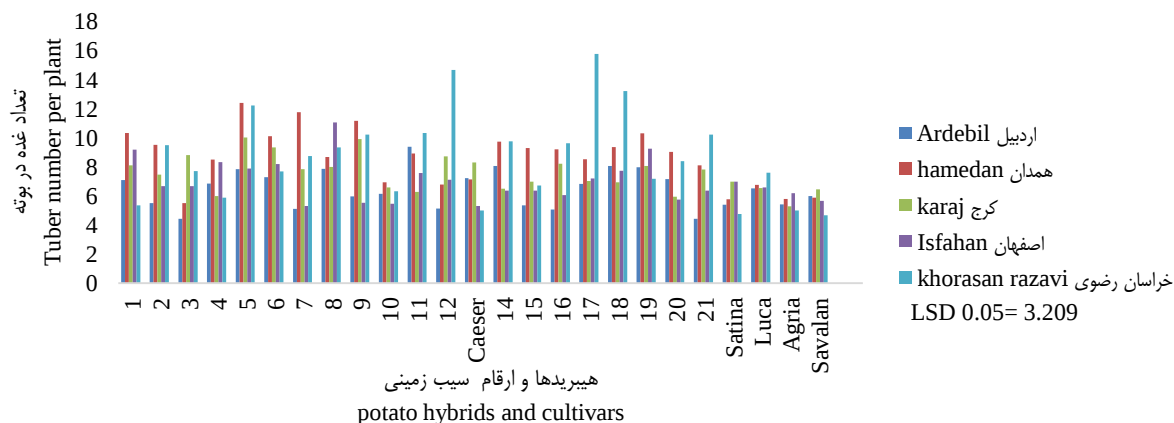


شکل ۲- مقایسه میانگین صفت تعداد روز تا غده‌زایی ارقام و هیبریدهای مورد مطالعه در پنج منطقه
Figure 2- Mean comparison of days to tuberization trait in studied potato hybrids and cultivars in five regions



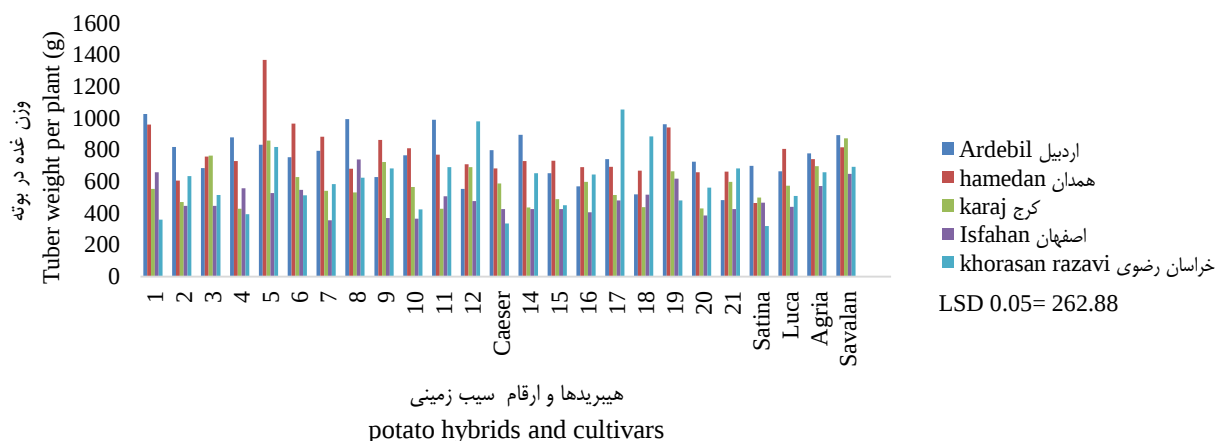
شکل ۳- مقایسه میانگین صفت ارتفاع بوته در ارقام و هیبریدهای مورد مطالعه در پنج منطقه

Figure 3- Mean comparison of plant height trait in studied potato hybrids and cultivars in five regions



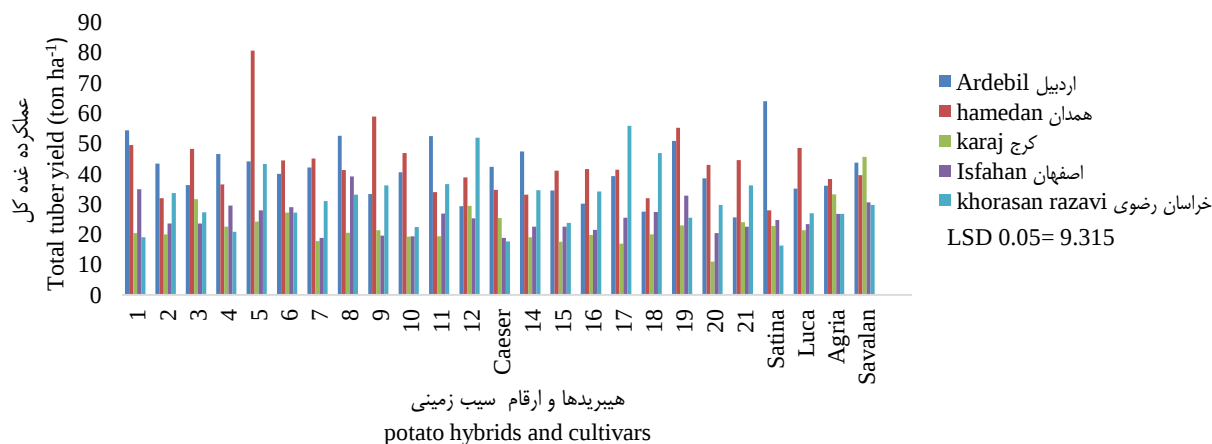
شکل ۴- مقایسه میانگین صفت تعداد غده در بوته در ارقام و هیبریدهای مورد مطالعه در پنج منطقه

Figure 4- Mean comparison of tuber number per plant trait in studied potato hybrids and cultivars in five regions



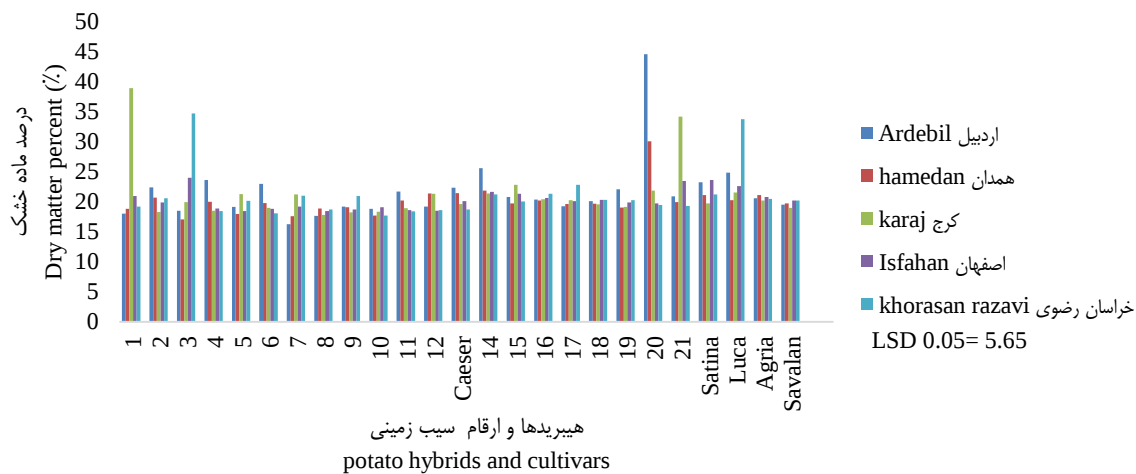
شکل ۵- مقایسه میانگین وزن غده در هر بوته در ارقام و هیبریدهای مورد مطالعه در پنج منطقه

Figure 5- Mean comparison of tuber weight per plant trait in studied potato hybrids and cultivars in five regions



شکل ۶- مقایسه میانگین عملکرد غده کل در ارقام و هیبریدهای مورد مطالعه در پنج منطقه

Figure 6- Mean comparison of total tuber yield trait in studied potato hybrids and cultivars in five regions



شکل ۷- مقایسه میانگین درصد ماده خشک در ارقام و هیبریدهای مورد مطالعه در پنج منطقه
Figure7- Mean comparison of dry matter percent trait in studied potato hybrids and cultivars in five regions

جدول ۳- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه در هیبریدها و ارقام سیب‌زمینی
Table 3- Simple correlation coefficient between studied traits in potato hybrids and cultivars

	تعداد روز تا غده‌زایی Day of tuberization	ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number	تعداد غده در بوته Tuber number per plant	وزن غده در بوته Tuber weight per plant	عملکرده غده کل Total yield	درصد ماده خشک Dry matter percentage
تعداد روز تا غده‌زایی Day of tuberization	1						
ارتفاع بوته Plant height	-0.118	1					
تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number	-0.400*	0.173	1				
تعداد غده در بوته Tuber number per plant	0.417*	0.146	0.113	1			
وزن غده در بوته Tuber weight per plant	-0.217	0.073	0.096	0.483*	1		
عملکرده غده کل Total yield	-0.166	0.061	0.113	0.569**	0.974**	1	
درصد ماده خشک Dry matter percentage	0.085	-0.111	-0.275	-0.272	-0.377	-0.337	1

** و *: به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد
* and **: Significant at 5% and 1% probability levels respectively

عامل به‌عنوان عامل عملکرد نام‌گذاری شد. عامل دوم با توجه ۲۲/۳۱۷ درصد از تغییرات دارای ضرایب عاملی مثبت و بزرگ برای صفات تعداد روز تا غده‌زایی و تعداد غده در بوته بود و عامل غده‌زایی نامیده شد. عامل سوم ۱۵/۲۹۵ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داد که بزرگترین ضرایب عاملی آن مربوط به صفات تعداد ساقه و ارتفاع ساقه بود و به‌عنوان عامل ساختاری بوته نام‌گذاری شد. در تجزیه عامل‌ها، صفات موثر در هر عامل شناسایی شده و عوامل نیز بر اساس موثرترین صفات نام‌گذاری می‌شوند این روش، بهبود ژنتیکی عوامل را به‌واسطه صفات مرتبط با آن‌ها امکان‌پذیر می‌سازد

برای درک بیشتر ساختار داده‌ها و روابط بین صفات از تجزیه به عامل‌ها استفاده شد (جدول ۴). در تجزیه به عامل‌ها از روش مولفه‌های اصلی و چرخش وریماکس استفاده گردید. معنی‌دار بودن آماره KMO بیان‌گر همبستگی کافی بین صفات و مطلوب بودن تجزیه به عامل‌ها بود. نتایج حاصل از تجزیه به عامل نشان داد که سه عامل مقادیر ویژه بزرگتر از یک داشتند و در مجموع ۷۵/۷۴۴ درصد از واریانس بین صفات را توجیه کردند. عامل اول با ۳۸/۱۳۳ درصد توجیه تغییرات کل دارای بزرگترین ضرایب عاملی برای صفات عملکرد غده کل، وزن غده در بوته و درصد ماده خشک بود و این

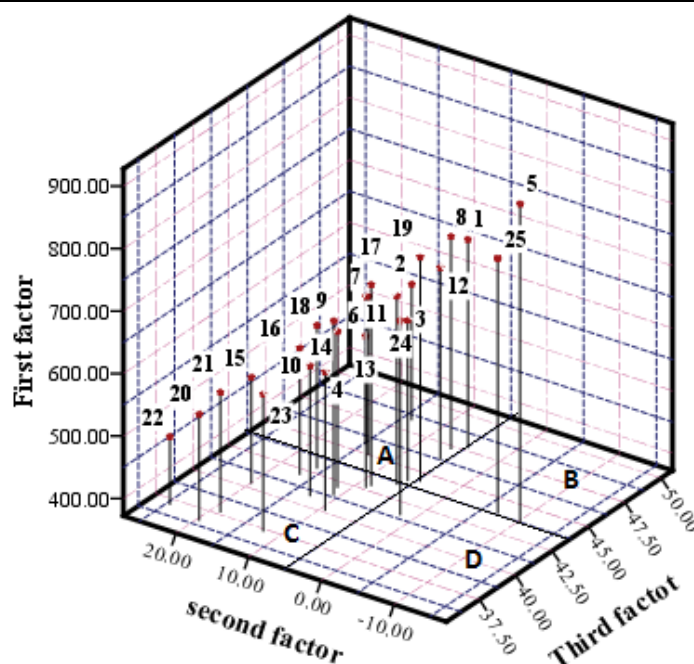
جهت تعیین میزان تنوع موجود در صفات مختلف، اقدام به محاسبه ضریب تغییرات ژنوتیپی و فنوتیپی گردید. ضریب تغییرات ژنتیکی بالا برای صفات تعداد غده در بوته و وزن غده در بوته مشاهده شد (جدول ۵). این روند در مورد ضریب تغییرات فنوتیپی نیز مشاهده گردید. مقادیر ضریب تغییرات فنوتیپی اندکی از ضریب تغییرات ژنتیکی بیشتر بود که نشان‌دهنده تاثیر بسیار پایین محیط بر روی این صفات می‌باشد (Beikzadeh *et al.*, 2015). ضریب تغییرات ژنتیکی صفات نشان می‌دهد که تنوع موجود در صفات مختلف متفاوت است. مسلماً هرچه تنوع موجود در صفات بیشتر باشد انتخاب در آنها منجر به پاسخ به گزینش بهتری خواهد شد (Moosavi *et al.*, 2013).

(Tadesse and Bekele, 2001). نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با نتایج برخی محققین در گیاه سیب‌زمینی مطابقت دارد (Jouyandeh-Kelashemi and Hassanpanah, 2014; Zakerhamidi and Hassanpanah, 2014; Hassanpanah *et al.*, 2016 a). گروه‌بندی هیبریدهای مورد مطالعه بر اساس عامل اول، دوم و سوم انجام شد و موقعیت هر هیبرید و ارقام در شکل ۸ نشان داده شده است. در این گروه‌بندی هیبریدهای ۱، ۲، ۳، ۷، ۸، ۱۲، ۱۷، ۱۹ و رقم کایزر در ناحیه A قرار گرفتن که دارای بیشترین مقدار برای هر سه عامل می‌باشند. هیبرید ۵ و رقم ساوالان علی‌رغم داشتن مقدار بالا برای عامل اول و سوم دارای کمترین مقدار برای عامل دوم بودند و در ناحیه B قرار گرفتند. رقم آگریا در ناحیه D قرار گرفت که دارای کمترین مقدار برای هر سه عامل می‌باشد. مابقی ارقام و هیبریدها در ناحیه C قرار گرفتند.

جدول ۴- ضرایب عامل‌ها، مقادیر ویژه، درصد واریانس تجمعی توجیه شده توسط عامل‌ها بعد از چرخش واریماکس برای هیبریدها و ارقام سیب‌زمینی

Table 4- Factor loadings, Eigen values, present of variance and cumulative present of variance after varimax rotation for potato hybrids and cultivars

عامل Factor	مقادیر ویژه Eigen values	درصد واریانس Variance percent	درصد واریانس تجمعی Cumulative variance percent	عملکرده غده کل Total yield	وزن غده در بوته Tuber weight per plant	درصد ماده خشک Dry matter percentage	تعداد روز تا غده‌زایی day of tuberization	تعداد غده در بوته Tuber number per plant	ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number
1	2.669	38.133	38.133	0.976	0.968	-0.463	-0.140	0.607	-0.04	0.119
2	1.562	22.317	60.449	-0.019	-0.086	0.027	0.932	0.633	0.091	-0.422
3	1.071	15.295	75.744	0.016	0.009	-0.439	-0.146	0.278	0.779	0.657



شکل ۸- گروه‌بندی هیبریدها و ارقام سیب‌زمینی بر اساس ۳ عامل اول

Figure 8- Grouping of potato cultivars and hybrids based on the first three factors

وراثت‌پذیری و واریانس ژنتیکی بود. وراثت‌پذیری بالا به همراه پیشرفت ژنتیکی نشان‌دهنده این است که این صفت توسط ژن‌های افزایشی کنترل می‌شود و می‌توان این صفت را در برنامه‌های اصلاحی از طریق گزینش بهبود داد (Beikzadeh *et al.*, 2015). همچنین، سلواراج و همکاران (Selvaraj *et al.*, 2011) بیان نمودند که ضریب تغییرات ژنتیکی بالا در کنار وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالا معیارهای مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌ها می‌باشند. در پژوهشی که توسط آلام و همکاران (Alam *et al.*, 1998) بر روی سیب‌زمینی شیرین انجام شد، بیشترین ضریب تغییرات ژنوتیپی و فنوتیپی به ترتیب مربوط به تعداد ساقه، تعداد غده در بوته، عملکرد غده در بوته بود.

در تصمیم‌گیری برای گزینش یک صفت خاص وراثت‌پذیری نقش مهمی را ایفا می‌کند. نتایج توارث‌پذیری ژنتیکی نشان داد که صفات تعداد روز تا غده‌زایی، تعداد غده در بوته و وزن غده در بوته توارث‌پذیری بالایی دارند و در نتیجه کمتر تحت تاثیر محیط قرار گرفتند. اگرچه وراثت‌پذیری بالا موثر بودن گزینش را بر اساس کارایی فنوتیپی نشان می‌دهد، اما اطلاعاتی در مورد پیشرفت ژنتیکی برای گزینش افراد را نشان نمی‌دهد. جهت افزایش بهره‌رسانی، وراثت‌پذیری همراه با پیشرفت ژنتیکی نسبت به برآورد وراثت‌پذیری، موثرتر است (Balcha, 2014). پیروسون و همکاران (Pearson *et al.*, 2007) وراثت‌پذیری بیش از ۶۰ درصد و پیشرفت ژنتیکی بالایی را به عنوان معیار سنجش صفات عنوان کردند. صفت وزن غده در بوته و تعداد غده در بوته دارای بیشترین شاخص پیشرفت ژنتیکی،

جدول ۵- میزان وراثت‌پذیری و برخی دیگر از پارامترهای ژنتیکی صفات مورد مطالعه در ارقام و هیبریدهای سیب‌زمینی

Table 5- Heritability and some other genetic parameters of studied traits in potato cultivars and hybrids

	تعداد روز تا غده‌زایی Day of tuberization	ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number	تعداد غده در بوته Tuber number per plant	وزن غده در بوته Tuber weight per plant	عملکرده غده کل Total yield	درصد ماده خشک Dry matter percentage
میانگین مربعات ژنتیکی Means of squares Genetic	77.687	171.534	0.866	39.715	248838.1	71.431	34.405
میانگین مربعات خطا Means of squares error	3.74	39.604	0.776	2.513	18012.94	32.61	11.383
واریانس ژنتیکی Genetic variance	4.929	8.795	0.006	2.48	15388.35	2.588	1.534
واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	6.176	21.996	0.264	3.317	21392.66	13.458	5.329
وراثت‌پذیری عمومی (درصد) Heritability	79.815	39.98	2.267	74.752	71.93	19.23	15.055
ضریب تغییرات فنوتیپی Phenotypic coefficient of variation	4.129	7.333	14.406	23.783	22.784	11.26	11.059
ضریب تغییرات ژنتیکی Genotypic coefficient of variation	3.688	4.637	2.169	20.563	19.323	4.938	5.935
پیشرفت ژنتیکی Genetic advance	6.789	6.04	0.672	36.624	33.761	4.46	3.43

ماده خشک برای فرآوری (چیپس) قابل توصیه می‌باشد. صفت وزن غده در بوته و تعداد غده در بوته دارای بیشترین مقدار پیشرفت ژنتیکی و وراثت‌پذیری بودند و می‌توان این دو صفت را در برنامه‌های اصلاحی از طریق گزینش بهبود داد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها و گروه‌بندی هیبریدها براساس سه عامل اول می‌توان هیبریدهای ۵، ۱۷ و ۱۹ را به عنوان هیبرید برتر در نظر گرفت. هیبریدهای ۱، ۳ و ۲۰ با دارا بودن بیشترین درصد

References

1. Alam, S., Narzary, B. D., and Deka, B. C. 1998. Variability character association and path analysis in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Journal of Agricultural Sciences society of North East India 11 (1): 77-81.
2. Bagherniae-kasbakhi, M., and Hassanpanah, D. 2014. Evaluation of yield and tuber yield components in hybrids from potato intersection of Agria and Kaiser Cultivars. Electronic Conferences on new Finding in Environment and Agricultural Ecosystem. New Energy and Environment Institute of Tehran University, Tehran, Iran.

3. Balcha, A. 2014. Genetic variation for grain yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in sole and maize/bean intercropping systems. *Asian Journal of Crop Science* 6 (2): 158-164.
4. Beikzadeh, H., Alavi Siney, S. M., Bayat, M., and Ezady, A. A. 2015. Estimation of genetic parameters of effective agronomical traits on yield in some of Iranian rice cultivar. *Agronomy Journal* 106: 73-78. (in Persian with English abstract).
5. Beukema, H. P., and Varderzaag, D. 1990. Introduction to potato production. Translation by Rezaee and Soltani. Publication university of Mashhad.
6. Bolandi, A. R., and Hamidi, H. 2016. Evaluation of quantitative and qualitative traits of 18 potato clones. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14 (2): 318-328. (in Persian with English abstract).
7. Farshadfar, E. 1997. Plant breeding methodology. Razi University. Kermanshah.
8. Fufa, M. 2013. AMMI analysis of tuber yield of potato genotypes grown in bale, southeastern ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology* 2: 1-3.
9. Gedif, M., Yigzaw, D. 2014. Genotype by environment interaction analysis for tuber yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.) using a GGE Biplot method in amhara region, ethiopia. *Agricultural Sciences* 5: 239-249.
10. Hassanpanah, D. 2013. The comparative observation of quantitative characteristics, heterosis and dominance degree in hybrids derived from breeding populations of true potato seed. *Journal of Crop Ecophysiology* 7 (27): 259-276. (in Persian).
11. Hassanpanah, D., and Hassanabadi, H. 2012. Evaluation of quantitative, qualitative and tuber yield stability of 18 promising potato clones in Ardabil province. *Journal of Crop Ecophysiology* 6 (2): 219-234. (in Persian with English abstract).
12. Hassanpanah, D., Hassanabadi, H., Hosseinzadeh, A. A., Soheili, B., and Mohammadi, R. 2016 a. Factor analysis, AMMI stability value (ASV) parameter and GGE Bi-Plot graphical method of quantitative and qualitative traits in potato genotypes. *Journal of Crop Ecophysiology* 10 (3): 731-748. (in Persian with English abstract).
13. Hassanpanah, D., Mousapour-Gorji, A., Khabazi, M., Karbalaee-Khiavi, H., and Mohammadi, R. 2016 b. Adaptability evaluation of 104 potato hybrids in ardabil and alborz provinces. *Journal of Crop Ecophysiology* 10 (1): 121-138. (in Persian with English abstract).
14. Haydar, A., Islam, M. A., ARA, T., KHokan, E. H., and KHalequzzaman, K. M. 2009. Studies on genetic variability correlation and path analysis in potato. *International Journal of Sustainable Agricultural Technology* 5 (5): 40-44.
15. Jouyandeh-Kelashemi, I., and Hassanpanah, D. 2014. Evaluation of genetic diversity for yield and yield component in the hybrids produced from breeding population of HPS×II/67 potato. *International Journal of Current Life Sciences* 4 (11): 10107-10110.
16. Khazaei, H. R., Nasiri-Mahallati, M., and Arshadi, M. J. 2012. Determine the amount of reducing sugars in potato using glucose manually and compare it with the enzymatic method. *Iranian Food Science and Technology* 7 (4): 291-297. (in Persian).
17. Masoumpour, E., Mousapour Gorji, A., and Sharghi, Y. 2013. Genetic variation of some traits in potato cultivars and clones. *Agronomy Journal* 106: 193-203. (in Persian with English abstract).
18. Mohaddesi, A., Bakhshipour, S., Abbasian, A., Sattari, M., and Mohammad-Salehi, M. 2013. Study on adaptability, quality and quantity characters of rice genotypes in Mazandaran. *Journal of Plant Production* 20 (2): 19-36. (in Persian with English abstract).
19. Mohammadnia, Sh., Asghari, A., Sofalian, O., Karimizadeh, R., and Mohammaddust- Chamanabad, H. R. 2014. Evaluation of end season drought tolerance in durum wheat advanced lines and its relation with molecular markers. MSc Thesis. Mohaghegh Ardabili University. Ardabil. Iran.
20. Moosavi, S. S., Jalalifar, S., Abdolahi, M. R., and Chaichi, M. 2013. Evaluation of diversity and heritability of some morphological traits in bread wheat under stress and normal conditions. *Journal of Agronomy science* 6 (9): 37-54.
21. Pearson, D. C., Rosielle, A. A., and Boyd, W. J. R. 2007. Heritability of five wheat quality traits for early generation selection. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 21 (3): 512-515.
22. Panigrahi, K. K., Pradhan, J., Panigrahy, P., and Sarkar, K. 2017. Genetic Variability Character Association and Path Coefficient Analysis of Yield Attributes for Medium and Late Maturing Potato Cultivars. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6 (7): 2558-2566.
23. Selvaraj, C. I., Nagarajan, P., Thiyagarajan, K., Bharathi, M., and Rabindran, R. 2011. Genetic parameters of variability, correlation and path coefficient studies for grain yield and other yield attributes among rice blast disease resistant genotypes of rice (*Oryza Sativa* L.). *African Journal of Biotechnology* 10 (17): 3322-3334.
24. Tadesse, W., and Bekele, E. 2001. Factor analysis of yield in grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Lathyrus Lathyrism Newsletter* 2: 416-421.
25. Tarbali, L., Asghari-zakaria, R., Hassanpanah, D., and Sofalian, O. 2015. Evaluation of F₂ potato clones obtained from hybrid true potato seeds. MSc Thesis. Mohaghegh Ardabili University. Ardabil. Iran.

26. Vahabzadeh, M., and Ghasemi, M. 2012. Evaluation of grain yield stability and selection of wheat stable varieties spring in the Caspian sea climate. *Journal of Crop Production in Environmental Stress* 3 (3 and 4): 2-14. (in Persian)
27. Zakerhamidi, S., and Hassanpanah, D. 2014. Investigation of genetic diversity for quantitative traits in 166 potato hybrids of produced from Luca and Caesar cultivars crosses. *Bulletin of Environment. Pharmacology and Life Sciences* 3 (12): 34-37.



Evaluation of Genetic Stability of some Agronomic Traits in Potato Hybrids and Cultivars under Different Climate Conditions

Sh. Mohammadnia², A. Asghari^{2*}, D. Hassanpanah³, R. Karimizadeh⁴, A. A. Shokouhian⁵

Received: 27-12-2017

Accepted: 30-01-2019

Introduction

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is an important food and cash crop ranking fourth after maize, wheat and rice annual production in the world. It is a high biological value crop that gives an exceptionally high yield with more nutritious content per unit area per unit time than any other major crops. Thus, it can play a remarkable role in human diet as a supplement to other food crops such as wheat and rice. The main objective of the breeding program is to increase yield production. One of the major factors contributing to potato yield reduction is limited number of cultivars with wide range of adaptability and stability in tuber yield. Thus, evaluating genotypes across various environments for their stability of performance and range of adaptation is crucial and is an important component of the research activity of the national as well as regional research program.

Materials and Methods

20 potato hybrids along with five commercial cultivars (Savalan, Agria, Caesar, Luta and Satina) were evaluated in randomized complete block design with three replications at Agricultural and Natural Resources Research Station of Ardebil, Khorasan razavi, Karaj, Isfahan and Hamedan in 2016. In this investigation each of the hybrids and control cultivars were planted in 2 rows of six meters. Row spacing of 75 cm and plant spacing of 25 cm was considered. There were 25 tubers in each row. Pest control was performed using 250 ml of Ha⁻¹ Confidor. During growing period and after harvest the traits such as: plant height, day of tuberization, main stem number per plant, tuber number and weight per plant, total tuber yield and percentage of tuber dry matter were measured. Combined analysis of variances was done and comparison of means was done by LSD at five percent probability level. The linear correlation between traits was also calculated. In order to understand the inter-relationships of attributes and determine the variables with the highest correlation, factor analysis with Varimax rotation of factors was used. Grouping of the hybrids was performed based on the first three factors. In order to study the genetic diversity and heritability of traits, some genetic parameters of the traits in potato cultivars and hybrids were calculated. All analyses were carried out using the SAS₉ and SPSS₁₆ softwares.

Results and Discussion

Combined analysis of variance for traits showed significant differences among potato hybrids for all traits. The hybrids and environment interaction was significant for plant height, day of tuberization, tuber number and weight per plant, total tuber yield and tuber dry matter percent. Hybrids with number of 5, 9, 17 and 19 had the highest total tuber yield and the hybrid 20 and Satina cultivar had the lowest total tuber yield. The hybrids number 1, 3 and 20 had the highest amount of dry matter percentage compared to other hybrids suggesting that these hybrids are suitable for chips production. In factor analysis, three independent factors totally explained 75.744 percent of the variations. According to the results of factor analysis the following factors were nomenclature: the first factor as yield, the second factor as tuberization and third factor as plant. The weight per plant and tuber number per plant had the highest heritability, genetic gain, genotypic and phenotypic coefficient of variation. These traits can be improved through selection in breeding programs.

1- PhD. Student, Plant Breeding Branch, University of Mohaghegh Ardabil, Ardabil, Iran
2- Associate Professor, Plant Breeding Branch, University of Mohaghegh Ardabil, Ardabil, Iran
3- Scientific Staff Member, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Plant Breeding Branch, Ardabil, Iran
4- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Plant Breeding Branch, Gachsaran, Iran
5- Associate Professor, University of Mohaghegh Ardabil, Horticulture Branch, Ardabil, Iran
(* - Corresponding Author Email: ali_asgharii@yahoo.com)

Conclusions

In general, the results of the mean comparison and grouping of hybrids based on the first three factors showed that hybrids 5, 17 and 19 were better than the other hybrids. Hybrids 1, 3 and 20 with the highest percentage of dry matter are recommended for processing as chips. The weight per plant and the number of tubers per plant had the highest genetic gain and heritability rates, and these two traits could be improved through selection in breeding programs.

Keywords: Genetic advance, Genetic parameters, Heritability, Hybrid, Potato, Yield



تأثیر تاریخ و بسترهای کاشت بر تقویم رشد گیاه دارویی گل میمونی سازویی

ناصر مجنون حسینی^۱، محمدحسین نعیمی^۲، مصطفی اویسی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۲

چکیده

گیاه دارویی گل سازویی (*Scrophularia striata*) با نام محلی تشنه‌داری، گیاهی خودرو، چندساله و بومی ایران می‌باشد. یک مطالعه مزرعه‌ای به‌منظور شناخت بهترین بستر و تاریخ کاشت برای این گیاه و بررسی تأثیر دو فاکتور روی تقویم رشد (فنولوژی) آن به‌صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل تیمارهای تاریخ کاشت در پنج سطح [پانزدهم ماه‌های خرداد (D1)، شهریور (D2)، مهر (D3)، آبان (D4) و اسفند (D5)] و کرت‌های فرعی شامل بسترهای مختلف کاشت [پیت‌ماس، پیت‌ماس + پرلیت (۱:۱) و کوکوپیت + پیت‌ماس + پرلیت (۱:۱:۲)] در نظر گرفته شدند. نتایج حاصل از بررسی میزان درجه روز رشد (GDD) مورد نیاز برای رسیدن به مراحل مختلف فنولوژیک گل سازویی (گره اول و دوم ساقه، گل‌دهی، کپسول‌دهی، دانه‌بندی و رسیدگی) نشان دادند که در تیمار تاریخ کاشت خردادماه، گیاهان کمترین مقدار GDD را در بستر کاشت پیت‌ماس داشتند. با تأخیر تاریخ کاشت به سمت آبان‌ماه، گیاهان به GDD بیشتری برای مراحل مختلف فنولوژیک نیاز داشتند. در تاریخ کاشت اسفندماه نیز گیاهان در مرحله رویشی باقی ماندند و نتوانستند وارد مرحله زایشی شوند، که نشانگر نیاز گل سازویی به سرما برای ورود به فاز زایشی می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، خرداد ماه به‌عنوان مناسب‌ترین زمان برای کاشت گل سازویی تعیین شد. این نتایج می‌تواند در راستای اهلی‌سازی و کشت زراعی این گیاه اطلاعات مناسبی در اختیار بهره‌برداران قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: اهلی‌سازی، درجه‌روز رشد، گیاه‌بومی

مقدمه

گیاه دارویی گل سازویی (*Scrophularia striata*) با نام محلی تشنه‌داری، گیاهی خودرو، چندساله، به‌صورت بوته‌ای و از تیره میمون (*Scrophulariaceae*) می‌باشد. این گیاه، یک گونه بومی ایران است که دارای پراکندگی جغرافیایی قابل‌توجهی در ایران بوده و اغلب در دامنه‌های کوهستانی و مناطق دشتی استان‌هایی مانند ایلام، لرستان، فارس، خوزستان، آذربایجان غربی و شرقی، گرگان، مازندران، گیلان و تهران می‌روید (Mozaffarian, 2012). تیره‌ی اسکورفولاریاسه از ۲۰۰ نوع گونه گیاهان گلدار تشکیل شده که عموماً به‌عنوان گیاهان دارویی مورد استفاده هستند (Pasdaran et al., 2012). گل سازویی دارای خواص متعدد دارویی از جمله درمان التهاب و عفونت چشم و گوش، اختلالات گوارشی، سرماخوردگی و سوختگی‌های پوستی می‌باشد (Shohani et al., 2009). همچنین گزارش شده است که

عوامل ضد سرطان و افزایشده رشد سلول‌ها در بخش‌هایی از این گیاه وجود دارد (Ardeshiryajimi et al., 2010).

با توجه به پراکندگی قابل‌توجه گل سازویی در مناطق مختلف کشور با شرایط متفاوت اقلیمی، نمی‌توان از شرایط دمایی که این گیاه در طول سال با آن روبه‌رو می‌شود و دمای مورد نیاز برای تکمیل مراحل مختلف فنولوژیک این گیاه تعریف مشخصی داشت. ضمن اینکه گیاهان در شرایط جغرافیایی و اقلیمی مختلف، برای تطبیق خود با شرایط موجود، فعالیت‌های حیاتی‌شان را تنظیم می‌کنند، از این رو نیازهای حرارتی و رطوبتی آنها در مناطق مختلف، متفاوت خواهد بود (Nasiri Mahalati, 2000). از آنجا که اطلاعاتی از شرایط مورد نیاز گل سازویی برای رشد و تکمیل مراحل مختلف فنولوژیک در مزرعه و بازه زمانی مناسب برای کشت آن در دست نیست آگاهی از چگونگی فراهم شدن نیازهای فنولوژیک این گیاه ضروری به نظر می‌رسد.

تقویم رشد^۴، مطالعه‌ی حوادث چرخه‌ی زندگی گیاهی است که با تغییرات زیست‌محیطی ایجاد می‌شود (Meier et al., 2009). با تعیین مراحل فنولوژی در هر منطقه و دانستن نیاز حرارتی هر مرحله‌ی فنولوژی و کل دوره رشد گیاه، می‌توان بسیاری از مسائل زراعی از جمله تاریخ کاشت مناسب، آبیاری به موقع، زمان مناسب برداشت و زمان مناسب مبارزه با آفات و بیماری‌ها را در بهترین زمان

۱- استاد، زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- دانشیار، بیولوژی علف‌های هرز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(*)- نویسنده مسئول

(Email: moveisi@ut.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v17i2.70448

۴- فنولوژی

ممکن انجام و بیشترین تولید را از محصول زراعی به دست آورد (Mirhaji et al., 2010). توجه به تاریخ کاشت مناسب گیاهان دارویی به منظور بهبود عملکرد کمی و کیفی آنها ضروری به نظر می رسد (Ghorbani et al., 2010). کاشت گیاه در زمان مناسب سبب می شود که مجموعه عوامل محیطی مناسب برای رشد و بقای گیاه فراهم شود و گیاه در دوره رشد خود با شرایط مطلوب محیطی روبه رو شده و عملکرد افزایش یابد (Mazahery-Laghab et al., 2011).

عوامل محیطی مختلفی مراحل فنولوژی گیاه را تحت تاثیر قرار می دهند. از میان این عوامل، دما اثر قابل توجهی بر فنولوژی گیاهان دارد. تعیین تاریخ وقوع مراحل فنولوژی با استفاده از زمان، به دلیل تغییرات شرایط جوی از سالی به سال دیگر، دقت لازم را ندارد. در صورتی که با استفاده از شاخص درجه روز رشد (GDD)، به دلیل اینکه هم فاکتور زمان و هم دمای هوا در آن لحاظ شده است، می توان پیشگویی های لازم را در ارتباط با فنولوژی دقیق تر انجام داد (Romo and Eddelman, 1995).

مطالعات متعددی در رابطه با مراحل فنولوژیک رشد در گیاهان مختلف زراعی مانند ارقام مختلف کلزا (*Brassica napus*) (Veldiyani and Tajbakhsh, 2010)، نخود (*Cicer arietinum*) (Soltani et al., 2006)، ذرت شیرین (*Zea mays*) (Olsen et al., 1993)، ژنوتیپ های مختلف لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) (Ghanbari, 2015) و سویا (*Glycine max*) (Piper et al., 1996) و نیز گیاهان وحشی و یا دارویی نظیر خردل سیاه (*Brassica nigra*) (Asgarnejad et al., 2015)، گونه های مختلف گیاه *Larrea species* (Larrea species) (Rossi et al., 1999)، ماریتیغال (*Silybum marianum*) (Nasrabadi et al., 2014)، قیج (*Zygophyllum atriplicoides*) (Mohammadi et al., 2014) و گل محمدی (*Rosa damascene*) (Khoshhal et al., 2012) صورت گرفته است.

بر اساس بررسی منابع جامع، اطلاعاتی درباره استقرار، رشد و مراحل فنولوژیک گل سازویی در دست نیست. با توجه به اهمیت دارویی اعلام شده برای این گیاه لزوم شناخت بهترین بستر و تاریخ کاشت و بررسی تأثیر این دو عامل روی تقویم رشد این گیاه حائز اهمیت است.

مواد و روش ها

کپسول های حاوی بذر گل سازویی مورد استفاده در این آزمایش در آبان ماه سال ۱۳۹۴ از ارتفاعات استان ایلام جمع آوری شد. پس از خارج کردن بذور از کپسول ها تا زمان اجرای آزمایش در ظروف پلاستیکی در بسته نگهداری شدند. مراحل مختلف این آزمایش در آزمایشگاه و گلخانه گروه زراعت و اصلاح نباتات و مزرعه آموزشی و

پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. در ابتدا خواب بذرهای گل سازویی با استفاده از تیمار سرمادهی مرطوب در دستگاه ژرمیناتور دمای سه درجه سانتی گراد برطرف شد. بذرهای روی دو لایه کاغذ صافی مرطوب در داخل پتری دیش های پلاستیکی یکبار مصرف ۸۰ میلی متری در ژرمیناتور با دمای سه درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از گذشت یک هفته و با برطرف شدن خواب، بذرهای داخل لیوان های یکبار مصرف پلاستیکی جهت جوانه زنی در سه نوع بستر کشت مختلف کشت شدند. بسترهای کشت شامل پیت ماس، پیت ماس + پرلیت با نسبت ۱:۱ و کوکوپیت + پرلیت + پیت ماس با نسبت ۱:۱:۲ بودند. با رسیدن گیاهچه ها به مرحله چهار تا شش برگی، انتقال به مزرعه انجام شد. مزرعه آموزشی و پژوهشی در محمد شهر کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵.۸۲° شمالی و ۵۰.۹۷° شرقی واقع شده است. تاریخ کاشت اول در ۱۵ خرداد ماه و در تاریخ های کشت بعدی نیز انتقال گیاهچه ها به مزرعه در تاریخ های ۱۵ شهریور، ۱۵ مهر، ۱۵ آبان و ۱۵ اسفند ماه ۱۳۹۵ انجام شد. به این ترتیب، این آزمایش به صورت طرح کرت های خرد شده در قالب بلوک های تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور تاریخ کاشت شامل پانزدهم ماه های خرداد (D1)، شهریور (D2)، مهر (D3)، آبان (D4) و اسفند (D5) سال ۱۳۹۵ به عنوان کرت اصلی و فاکتور بستر کاشت شامل پیت ماس، پیت ماس + پرلیت و کوکوپیت + پیت ماس + پرلیت به عنوان کرت خرد شده انتخاب شدند. نشاءها با فاصله ۵۰ سانتی متر بین ردیف و ۳۰ سانتی متر روی ردیف کشت شدند.

در سال کشت قبل از فصل سرما، رشد گیاه به صورت روزت باقی ماند. پس از گذشت دوره سرما، رشد مجدد گیاهچه ها آغاز و ثبت مراحل فنولوژیک انجام شد. این مراحل شامل گره اول و دوم ساقه، گل دهی، تشکیل کپسول، تشکیل بذر و رسیدگی بذر بودند که با رسیدن ۵۰٪ بوته ها به هریک از این مراحل، شروع آن مرحله در نظر گرفته شد (Ghanbari and Beyzaei, 2007). تاریخ های رسیدن به مراحل مختلف فنولوژیک با استفاده از میانگین دمای شبانه روزی و دمای پایه رشد گیاه گل سازویی بر اساس درجه روز رشد (GDD) محاسبه شد (معادله ۱).

$$GDD = \sum T_{average} - T_b \quad (1)$$

که در آن، GDD نشان دهنده درجه روز رشد، $T_{average}$ میانگین دمای شبانه روز و T_b دمای پایه گیاه می باشد (Leblanc et al., 2003). دمای پایه برای گل سازویی با توجه به آزمایشات انجام شده قبلی (Naeimi, 2017)، ۴/۹۵ درجه سانتی گراد تعیین شد. داده های میانگین دمای شبانه روز نیز از ایستگاه هواشناسی واقع در مزرعه آموزشی و پژوهشی دریافت شد.

تجزیه واریانس داده ها برای اثر تیمارهای مختلف روی مراحل فنولوژیک رشد، با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. نمودارها نیز از طریق نرم افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی نوع بستر کاشت و تاریخ کاشت و همچنین اثر متقابل بستر در تاریخ کاشت بر صفات فنولوژیک زمان تا گره اول و دوم ساقه، گل‌دهی، کپسول‌دهی، دانه‌بندی و رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۱).

زمان تا گره اول ساقه

مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا گره اول نشان داد که بیشترین درجه روز رشد تا گره اول (۱۷۲/۴ درجه روز رشد) در تیمار تاریخ کاشت اسفند ماه در دو بستر کاشت پیت‌ماس+ پرلیت (۱:۱) و پیت‌ماس+ پرلیت+ کوکوپیت

(۲:۱:۱) به‌دست آمد به‌طوری‌که بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و کمترین میزان آن (۳۹/۵ درجه روز رشد) در تاریخ کاشت خرداد ماه در بستر کاشت پیت‌ماس به‌دست آمد (شکل ۱).

زمان تا گره دوم ساقه

اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا گره دوم نشان داد که بیشترین درجه روز رشد تا گره دوم (۱۸۱/۴۸) در تیمار تاریخ کاشت اسفند ماه در بستر کاشت پیت‌ماس+ پرلیت+ کوکوپیت (۲:۱:۱) و کمترین میزان آن (۵۰/۱۵) در تاریخ کاشت خرداد ماه در بستر کاشت پیت‌ماس به‌دست آمد (شکل ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تاریخ کاشت و بستر کاشت بر صفات فنولوژیک گیاه گل سازویی

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) for effect of planting date and seed bed on phenological traits of *Scrophularia striata*

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	گره اول First node	گره دوم Second node	گلدهی Flowering	کپسول‌دهی Capsule formation	دانه‌بندی Seed formation	رسیدگی Maturity
تکرار Replication	2	20.58 ^{ns}	5.74 ^{ns}	205.4 ^{ns}	66.94 ^{ns}	2.22 ^{ns}	350.1 ^{ns}
تاریخ کاشت (A) Planting date	4	16119.66**	14861.6**	447766.3**	1395509.5**	1625827.2**	5098234.7**
خطای اصلی Main error	8	4.95	12.52	116.85	188.29	124.4	347.5
بستر کشت Seed bed (B)	2	772.53**	731.16**	2770.42**	8511.42**	10475.1**	25149.2**
A*B	8	46.66**	48.78**	332.12**	1126.18**	1483.5**	3358.2**
خطای فرعی Sub error	20	7.23	9.04	27.5	92.04	80	256.8
ضریب تغییرات CV (%)	-	2.5	2.5	1.4	1.4	1.2	1.2

ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

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

بستر کاشت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کمترین درجه روز رشد تا گل‌دهی (۳۰۷/۴۵) در تاریخ کاشت خرداد و بستر کاشت پیت‌ماس به‌دست آمد. در تاریخ کاشت اسفند ماه نیز هیچ بوته‌ای به گل نرفت (شکل ۳).

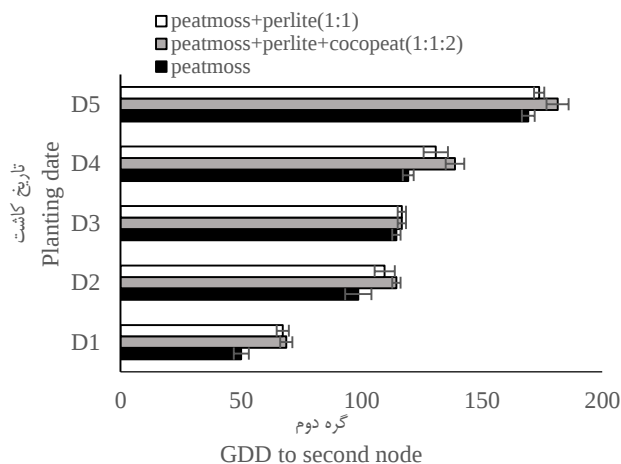
از بین عوامل اقلیمی، درجه حرارت بیشترین تأثیر را روی نمو گیاه در طول رویش و مراحل فنولوژیکی گیاه دارد. درجه حرارت بالا، گل‌دهی زودهنگام گیاهان را به دنبال دارد (Smart et al., 2005; Keith, 2001). گیاهچه‌های گل سازویی که در تاریخ کاشت خرداد ماه در مزرعه کشت شدند تا قبل از سرمای زمستان رشد بیشتری نسبت به گیاهچه‌های سایر تاریخ‌های کاشت داشتند و روزت‌های قوی‌تری تشکیل دادند که می‌تواند دلیلی برای رشد فنولوژیک کوتاه‌تر و نیاز به درجه روز رشد کمتر برای تکمیل مراحل فنولوژیک

با تغییر در تاریخ کاشت گیاه گل سازویی از خرداد تا آبان ماه، به دلیل تغییراتی که در نور و دمای محیط ایجاد می‌شود، طول دوره رشد گیاه طولانی شده و گیاه نیاز به دریافت درجه روز رشد بیشتری برای تکمیل مراحل فنولوژیک خود دارد. کشت زود هنگام در خیلی از موارد به‌عنوان پتانسیلی جهت افزایش عملکرد در گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) مخصوصاً در اقلیم مدیترانه‌ای حائز اهمیت می‌باشد (Baert, 1997).

زمان تا گلدهی

اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا گل‌دهی نشان داد که بیشترین درجه روز رشد تا گل‌دهی (۵۶۸/۶) در تیمار تاریخ کاشت آبان ماه در بستر کاشت پیت‌ماس+ پرلیت+ کوکوپیت (۲:۱:۱) به‌دست آمد و در این تاریخ کاشت بین سه نوع

اسفند ماه، به دلیل دریافت درجه روزهای رشد بیشتر، بالاترین صفات عملکردی را تولید نمود و بدین ترتیب از شرایط محیطی جهت تولید بالا استفاده بهینه نموده است (Asgarnejad et al., 2015). در آزمایش حاضر، بوته‌های گل سازویی که در تاریخ اسفندماه کشت شدند وارد مرحله رشد زایشی نشدند که این موضوع نشان‌دهنده نیاز گیاه گل سازویی به سرما برای ورود به فاز زایشی می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا گره دوم گل سازویی

Figure 2- Mean comparison of planting date and seed bed interaction on GDD to second node

بازه‌ها بر روی میانگین‌ها نشان‌دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشند.

The ranges on the means represent the standard error.

D1, D2, D3, D4, D5: تاریخ‌های کاشت خرداد، شهریور، مهر، آبان و اسفند

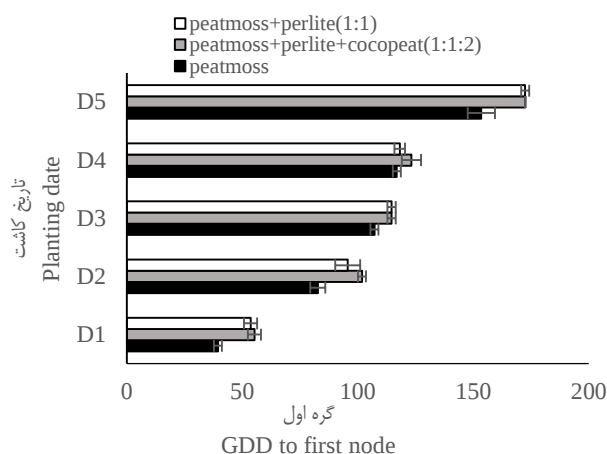
D1, D2, D3, D4, D5: planting dates of June, September, October, November, March

پرلیت+ کوکوپیت (۲:۱:۱) به‌دست آمد و کمترین میزان آن (۶۹۷/۸) در تاریخ کاشت خرداد ماه در بستر کاشت پیت‌ماس به‌دست آمد. (شکل ۵).

زمان تا رسیدگی

اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا رسیدگی نشان داد که بیشترین درجه روز رشد تا رسیدگی (۱۸۸۱/۷) در تیمار تاریخ کاشت آبان ماه در بستر کاشت پیت‌ماس+ پرلیت+ کوکوپیت (۲:۱:۱) به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر بسترها در این تاریخ کاشت وجود نداشت و کمترین میزان آن (۱۲۴۲) در تاریخ کاشت خرداد ماه در بستر کاشت پیت‌ماس به‌دست آمد. در تاریخ کاشت اسفند ماه درجه روز رشد برابر صفر بود. زیرا در این تاریخ کاشت هیچ گیاهی وارد این فاز نشد (شکل ۶). شکل ۷ نمایی از مراحل رسیدگی در تاریخ کاشت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

این بوته‌ها نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت باشد. از عوامل مهم تعیین‌کننده تاریخ کاشت مطلوب در هر منطقه می‌توان به درجه حرارت مناسب خاک جهت جوانه‌زنی، میزان رشد رویشی کافی قبل از گل‌دهی، عدم برخورد زمان گل‌دهی با دمای بالا و سرمای آخر فصل اشاره کرد (Kittelson and Lesica, 2010). خردل سیاه در تاریخ کاشت ۱۰ بهمن نسبت به دو تاریخ کاشت ۳۰ بهمن و ۲۰



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا گره اول گل سازویی

Figure 1- Mean comparison of planting date and seed bed interaction on GDD to first node

بازه‌ها بر روی میانگین‌ها نشان‌دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشند.

The ranges on the means represent the standard error.

D1, D2, D3, D4, D5: تاریخ‌های کاشت خرداد، شهریور، مهر، آبان و اسفند

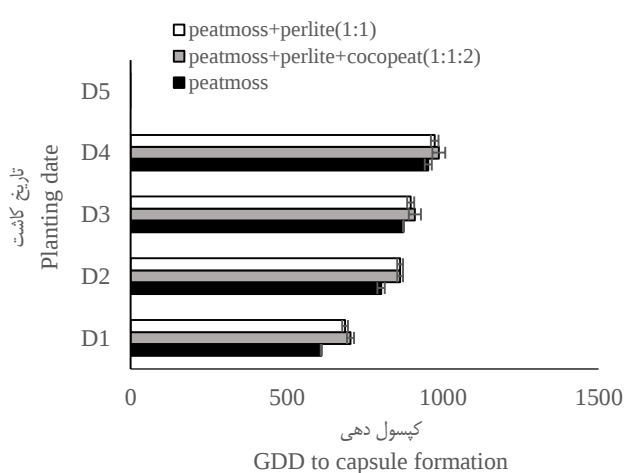
D1, D2, D3, D4, D5: planting dates of June, September, October, November, March

زمان تا کپسول‌دهی

مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا کپسول‌دهی نشان داد که بیشترین درجه روز رشد تا کپسول‌دهی (۹۸۷/۹) در تیمار تاریخ کاشت آبان ماه در بستر کاشت پیت‌ماس+ پرلیت+ کوکوپیت (۲:۱:۱) به‌دست آمد به طوری که در این تاریخ کاشت، بین هر سه بستر کاشت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و کمترین میزان درجه روز رشد تا کپسول‌دهی (۶۱۰/۸۵) در تاریخ کاشت خرداد ماه در بستر کاشت پیت‌ماس به‌دست آمد. البته در تاریخ کاشت اسفند ماه درجه روز رشد برابر صفر بود زیرا در این تاریخ کاشت هیچ گیاهی وارد این فاز نشد (شکل ۴).

زمان تا دانه‌بندی

مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا دانه‌بندی نشان داد که بیشترین درجه روز رشد تا دانه‌بندی (۱۰۳۴/۰۵) در تیمار تاریخ کاشت آبان ماه در بستر کاشت پیت‌ماس+



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا کپسول دهی گل سازویی

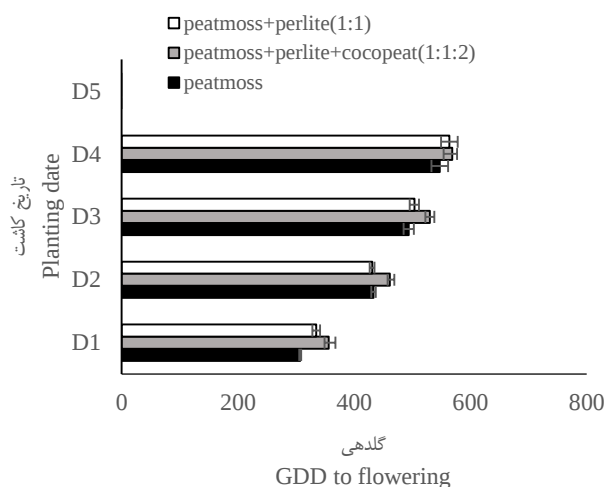
Figure 4- Mean comparison of planting date and seed bed interaction on GDD to capsule formation

بازه‌ها بر روی میانگین‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

The ranges on the means represent the standard error.

D1, D2, D3, D4, D5: تاریخ‌های کاشت خرداد، شهریور، مهر، آبان و اسفند

D1, D2, D3, D4, D5: planting dates of June, September, October, November, March



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا گلدهی گل سازویی

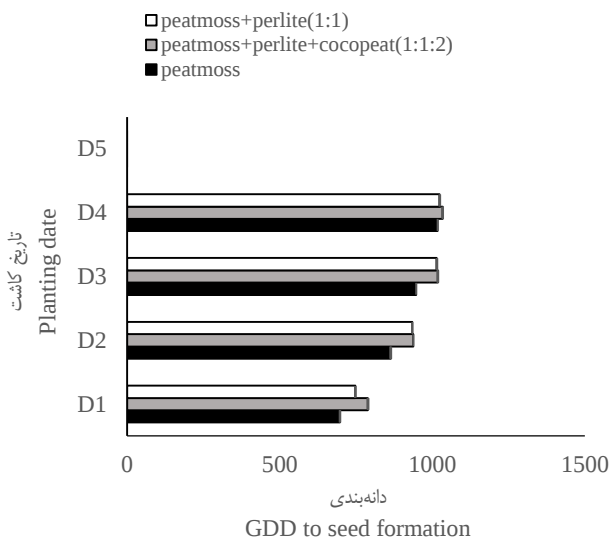
Figure 3- Mean comparison of planting date and seed bed interaction on GDD to flowering

بازه‌ها بر روی میانگین‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

The ranges on the means represent the standard error.

D1, D2, D3, D4, D5: تاریخ‌های کاشت خرداد، شهریور، مهر، آبان و اسفند

D1, D2, D3, D4, D5: planting dates of June, September, October, November, March

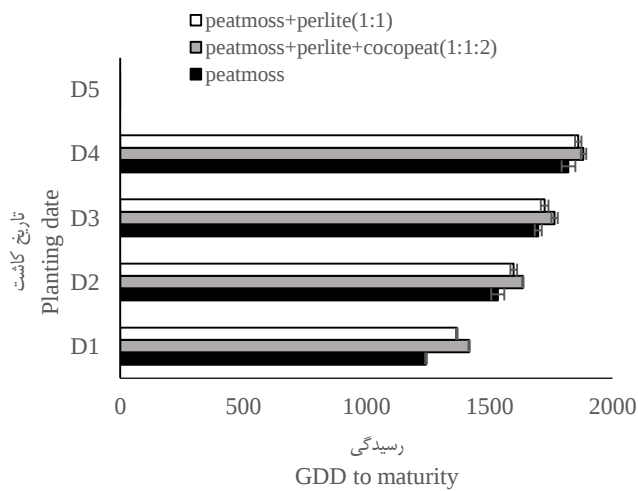


شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا رسیدگی گل سازویی

Figure 3- Mean comparison of planting date and seed bed interaction on GDD to maturity

D1, D2, D3, D4, D5: تاریخ‌های کاشت خرداد، شهریور، مهر، آبان و اسفند

D1, D2, D3, D4, D5: planting dates of June, September, October, November, March



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در بستر کاشت بر درجه روز رشد تا دانه‌بندی گل سازویی

Figure 5- Mean comparison of planting date and seed bed interaction on GDD to seed formation

بازه‌ها بر روی میانگین‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

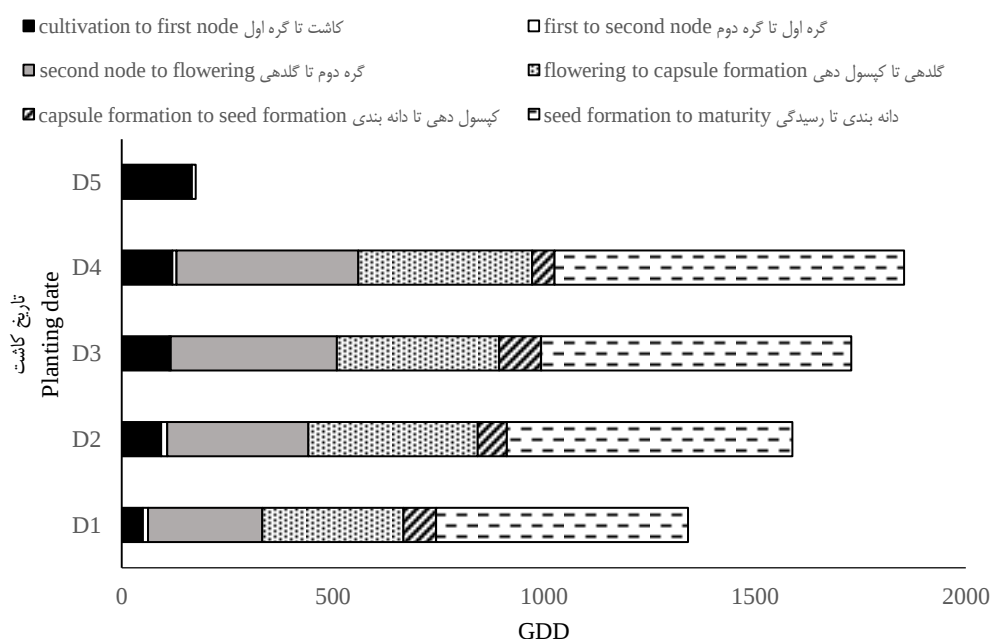
The ranges on the means represent the standard error.

D1, D2, D3, D4, D5: تاریخ‌های کاشت خرداد، شهریور، مهر، آبان و اسفند

D1, D2, D3, D4, D5: planting dates of June, September, October, November, March

(Tavallaee, 2001). تحقیقات اخیر نشان داده است ورمی کمپوست و پیت‌ماس شامل مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی مانند هورمون‌های گیاهی و هیومیک اسید می‌باشد (Arancon et al., 2008). نتایج بررسی بسترهای پیت، ترکیب پیت و پرلیت (به نسبت ۱:۱)، پوست درخت کاج و پرلیت بر عملکرد توت‌فرنگی (*Fragaria ananasa*) (Duch. نشان داد که عملکرد کل در بستر پیت و پرلیت نسبت به بستر پوست درخت کاج افزایش چشمگیری داشته است (Paranjpeand et al., 2003).

در بین بسترهای کاشت استفاده شده در این آزمایش، بوته‌های گل‌سازویی در بستر کاشت پیت‌ماس نسبت به سایر بسترهای کاشت مراحل فنولوژیک خود را با سرعت بیشتر و با دریافت درجه روز رشد کمتر به پایان رساندند که یکی از دلایل این موضوع می‌تواند مربوط به استقرار اولیه مناسب‌تر گیاهچه‌های گل‌سازویی در بستر کاشت پیت‌ماس نسبت به سایر بسترها باشد. وجود مواد آلی و بالا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی باعث افزایش ظرفیت جذب و نگهداری عناصر غذایی و آب شده و با ایجاد شرایط مناسب برای رشد ریشه گیاه موجب بهبود خصوصیات رشدی و فنولوژیک گیاه شده است



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر درجه روز رشد تا رسیدگی گل‌سازویی
Figure 7- Mean comparison of planting date on GDD to maturity of *Scrophularia striata*
D1, D2, D3, D4, D5: تاریخ‌های کاشت خرداد، شهریور، مهر، آبان و اسفند
D1, D2, D3, D4, D5: planting dates of June, September, October, November, March

روز، رشد فنولوژیک بوته‌های گل‌سازویی طولانی‌تر شد و نیاز به دریافت GDD برای تکمیل مراحل مختلف فنولوژیک افزایش پیدا کرد. همچنین گیاهان کشت شده در اسفند ماه وارد فاز زایشی نشده و در مرحله‌ی رشد رویشی باقی ماندند که مشخص می‌شود گیاه گل‌سازویی برای ورود به فاز زایشی نیاز به سرمای زمستان دارد. بر اساس نتایج این تحقیق، خرداد ماه به‌عنوان مناسب‌ترین زمان برای کاشت گل‌سازویی تعیین شد. این نتایج می‌تواند در راستای اهلی‌سازی و کشت زراعی این گیاه اطلاعات مناسبی در اختیار قشر بهره‌مند قرار دهد. پیشنهاد می‌گردد تحقیقات تکمیلی در جهت شناخت تاریخ کاشت مناسب این گیاه و سایر اقتضانات زراعی در راستای کشت و کار اقتصادی این گیاه صورت پذیرد.

نتیجه‌گیری

در رابطه با تأثیر تیمارهای مختلف تاریخ و بستر کاشت روی مراحل فنولوژیک رشد گل‌سازویی مشخص شد که بین تیمارهای مختلف، مقدار درجه روز رشد (GDD) لازم برای رسیدن به هر مرحله فنولوژیک در تاریخ کاشت خرداد ماه و بستر کاشت پیت‌ماس از سایر تیمارها کمتر بود. با رفتن به سمت کشت آبان ماه، مقدار GDD مورد نیاز برای تکمیل هر مرحله فنولوژی افزایش پیدا کرد و در تاریخ کشت آبان ماه این مقدار به بیشترین حد رسید. گیاهان کشت شده در خرداد ماه نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت با دریافت مقدار نور بیشتر و دماهای بالاتر، توانستند قبل از فصل سرما استقرار مناسب‌تری در مزرعه پیدا کرده و رشد روزت بهتری داشته باشند. با کوتاه شدن طول

References

1. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Babenko, A., Cannon, J., Galvis, P., and Metzger J. D. 2008. Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Applied Soil Ecology* 39: 91-99.
2. Ardeshirylajimi, A., Rezaie-Tavirani, M., Mortazavi, S. A., Barzegar, M., Moghadamnia, S. H., and Rezaee, M. B. 2010. Study of anti-cancer property of *Scrophularia striata* extract on the human astrocytoma. *Cell Line* 9: 403-410.
3. Asgarnejad, M. R., Zareei, Gh., and Zarezade, 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).
4. Baert, J. R. 1997. The effect of sowing and harvest date and cultivar on inulin yield and composition of chicory (*Cichorium intybus* L.) roots. *Industrial Crops and Products* 6 (3): 195-199.
5. Ghanbari, A. A. 2014. Developmental stages and phenology of common bean genotypes under normal irrigation and water deficit conditions. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)* 107: 190-199. (in Persian with English abstract).
6. Ghanbari, A. A., and Beyzaei, E. 2007. Study of morphological and phenological traits and correlation analysis in white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines. *Journal of Agricultural Science* 13: 629-638, (in Persian).
7. Ghorbani, R., Koocheki, A., Hosseini, A., Jahani, M., Asadi, G., Aghel, H., and Mohammad Abadi, A. S. 2010. Effects of planting date, time and methods of weed control on weed density and biomass in cumin fields. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8 (1): 120-127.
8. Keith, T. W. 2001. A method to incorporate phenology into land cover change analysis. *Journal of Range Management* 54: A1-A7.
9. Khoshhal, J., Rahimi, D., and Majd, M. 2012. Analyzing the phonological growth stages and required temperature rate of Damask rose. *Geography and Environmental Planning Journal* 52 (4): 169-178. (in Persian with English abstract).
10. Lesica, P., and Kittelson, P. M. 2010. Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments* 74: 1013-1017.
11. Mazahery-Laghab, H., Salvati, S., and Mahmoudi, R. 2011. Response of the yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivar armavirski to sowing time and plant density in rain fed conditions in Ghorveh Kordestan. *Plant Production Technology* 11 (2): 63-74.
12. Meier, U., Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Her, M., Lancashire, D., Weber, E., and Zwerger, P. 2009. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants. *History and publications* 61: 41-52.
13. Mirhaji, T., Sanadgol, A. A., Ghasemi, M. H., and Nouri, S. 2009. Application of Growth Degree-Days in determining phenological stages of four grass species in Homand Absard Research Station. *Iranian journal of Range and Desert Research* 17 (3): 362-376. (in Persian with English abstract).
14. Mohammadi, A., Matinkhah, H., and Khajehdin, J. 2014. *Zygophyllum atriplicoides* phenology study in Mouteh, Isfahan. *Journal of Applied Ecology* 3 (10): 1-12. (in Persian).
15. Mozaffarian, V. 2012. Recognition of medicinal and aromatic plants of Iran. Farhange Moaser. 1444 pages. (in Persian).
16. Naeimi, M. H. 2017. Study of seedling establishment and phenological stages of medicinal plant (*Scrophularia striata*). M.Sc. thesis. University of Tehran. 88 pages. (in Persian).
17. Nasiri Mahalati, M. 2000. Herbage Growth Modeling. Press Jahad University of Mashhad. (in Persian)
18. Nasrabadi, S. E., Ghorbani, R., Moghaddam, P. R., and Mahallati, M. N. 2014. Phenological response of milk thistle (*Silybum marianum* [L.] Gaertn.) to different nutrition systems. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 1 (4): 148-151.
19. Olsen, J. K., McMahan, C. R., and Hammer, G. L. 1993. Prediction of sweet corn phenology in subtropical environments. *Agronomy Journal* 410-415.
20. Piper, E. L., Boote, K. J., Jones, J. W., and Grimm, S. S. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science* 36: 1606-1614.
21. Paranjpeand, A. V., Cantlife, D. J., Lamb, E. M., and Stoffelia, P. J. 2003. Winter strawberry production in greenhouse using soilless substrates: an alternative to methyl bromide soil fumigation. *Selected Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 116: 98-105.
22. Pasdaran, A., Delazar, A., Nazemiyeh, H., Nahar, L., and Sarker, S. 2012. Chemical Composition, and Antibacterial (Against *Staphylococcus aureus*) and Free Radical-Scavenging Activities of the Essential Oil of *Scrophularia amplexicaulis* Benth. *Records of Natural Products* 6 (4): 350-355.
23. Romo, J. T., and Eddleman, L. E. 1995. Use of degree-days in multiple-temperature experiment. *Journal of Range Management* 48 (5): 410-416.

24. Rossi, B. E., Debandi, G. O., Peralta, I. E., and Martinez Palle, E. 1999. Comparative phenology and floral patterns in *Larrea* species (Zygophyllaceae) in the Monte desert (Mendoza, Argentina). *Journal of Arid Environments* 43: 213-226.
25. Shooohani, B., Hemati, A., and Taherimoghadam, M. 2010. Effects of *Scrophularia striata* Extract on Wound Healing in Rabbit. *Ilam University of Medical Sciences Journal* 4: 9-16. (in Persian).
26. Smart, S. M., Bunce, R. G. H., Marrs, R., Le DucM, Firbank, L. G., Maskell, L. C., Scott, W. A., Thompson, K., and Walker, K. J. 2005. Large-scale changes in the abundance of common higher plant species across Britain between 1978, 1990 and 1998 as a consequence of human activity: tests of hypothesized changes in trait representation. *Biological Conservation* 124: 355-371.
27. Soltani, A., Hammer, G. L., Torabi, B., Robertson, M. J., and Zeinali, E. 2006 Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crops Research* 99 (1): 1-13.
28. Tavallaei, M. 2001. Guidance for Cultivation of greenhouse plants by Hydroponic Method. *Agricultural Education*. Karaj. Iran. (in Persian).
29. Veldiyani, A., and Tajbakhsh, M. 2007. Comparison of Phenological Stages and Adaptation Advanced 25 Variety in Autumnal Culture in Oromieh, *Journal of science and Technical Natural Resources* 1 (B): 329-343. (in Persian).



Effect of Planting Time and Seedbed on Growth and Phenology of *Scrophularia striata*

N. Majnoun Hosseini¹, M. H. Naeimi², M. Oveisi^{3*}

Received: 23-01-2018

Accepted: 03-08-2019

Introduction

Scrophularia striata is an originally Iranian wild perennial plant. This plant has many medicinal properties including treatment of some diseases like cold, digestive disorders, inflammation and infection. Although *S. striata* has been reported from various regions of the country with different climatic conditions, however there is no information about phenological growth, suitable time and seedbed of *S. striata*. There are variety of environmental factors that affect phenology growth. Among them temperature is considered as the most effective one. To generalize prediction of phenological growth in different locations, standard measurement is required. Growth degree day (GDD) or thermal time can be a consistent predictor of phenology development in contrasting climates. Determining required thermal time for plant phenological development would provide information for decision making on the time of management practices including planting date, timely irrigation and efficient pest and weed management. To the best of our knowledge there is no information about plant establishment, growth and phenological stages of *S. striata*. Because of its high demands for medicinal products, information about the *S. striata* cultivation is necessary. Therefore the objective of this study was to determining the effect of planting time and seedbed on phenological growth.

Materials and Methods

Field experiment was conducted in experimental farm of agricultural and natural resources college, university of Tehran, Karaj during 2016-2017. Seeds were preconditioned at temperature of 3°C for one week to break dormancy. For seedling establishment, seeds were transferred to the greenhouse and cultivated in three different seedbeds. Seedlings were transferred to the farm at stages of four to six leaves. The experiment was a split plot with three replications. Planting dates comprised Early June (D1), September (D2), October (D3) and November (D4) of 2016 and Early March (D5) of 2017 were the main plots and seed beds of peat moss, peat moss+ perlite (1:1) and coco peat+ peat moss+ perlite (2:1:1) were the sub plots. Growth Degree Days (GDD) for phenological stages of *S. striata* including first and second node, flowering, capsule formation, seed formation and maturity were calculated. Data were subjected to ANOVA using SAS 9.1, and standard error of means was calculated.

Results and Discussion

Results showed significant main effects and interactions between seed bed and planting date at 1% probability level on phenological growth of *S. striata*. Peat moss seed bed with June planting had lowest GDD to first node (39.5 GDD), second node (50.1 GDD), flowering (307.4 GDD), capsule formation (610.8 GDD), seed formation (697.8 GDD) and maturity (1242.0 GDD). With delay in planting time to September, October and November, GDD requirements for phenological growth increased. Between our planting dates, June planting time was the most suitable time for planting. Changes in temperature, day light and precipitation are significant in successful plant establishment and growth. Our results showed that there is a critical time for planting *S. striata* in farm. Very early planting like March planting time was not good and plants did not enter the reproductive stage. Plants of June planting time were entered flowering stage on April 15 in the next year. With delay in planting time to November, plants entered flowering stage on May 10 in the next year. High organic matters percentage and capacity of cation exchange provides increasing potential for water absorption and keeping nourishing elements and water for a longer time. This causes improved conditions for root growth. In addition, vermicompost and peat moss includes regulator hormones such as humic acid that benefits early growth of plant.

1- Professor, Agronomy, Department of Agronomy & Plant Breeding, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

2- M.Sc. graduated, Agronomy, Department of Agronomy & Plant Breeding, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

3- Associate Professor, Weed biology, Department of Agronomy & Plant Breeding, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

(*- Corresponding Author Email: moveisi@ut.ac.ir)

Conclusions

To conclude, 1) peat moss was recognized as a successful bed for initial growing of *S. striata*. To the best of our knowledge, no practical recommendation was formerly provided on the subject. 2) June planting time was determine as the best time for plant establishment that led to acceleration in flowering time and more seed production.

Keywords: Domestication, Endemic plant, GDD



تأثیر سطوح مختلف آبیاری و مالچ پلاستیکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* convar. *pepo* var. *styriaca*) در شرایط مشهد

سیاوش برده‌جی^۱، محمد بنایان^{۲*}، قربانعلی اسدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و مالچ پلاستیکی بر عملکرد و اجزای عملکرد کدو پوست کاغذی و تأثیر مالچ پلاستیکی بر تعدیل اثر تنش خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۴ به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. عوامل آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) به‌عنوان کرت اصلی و دو سطح مالچ پلاستیکی تیره‌رنگ (وجود و عدم وجود مالچ) به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تغییرات آبیاری در تمام صفات مورد مطالعه به تغییر معنی‌دار ($P < 0.01$) منجر شد. همچنین کاهش ۵۰ درصدی در میزان آبیاری باعث کاهش ۶۸ درصدی عملکرد میوه در مقایسه با شاهد شد. تیمار مالچ تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک کل، شاخص سطح برگ، عملکرد میوه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه نشان داد. برهمکنش آبیاری و مالچ پلاستیکی نیز اثر معنی‌داری بر ماده خشک، شاخص سطح برگ، شاخص برداشت و عملکرد میوه و دانه داشت. استفاده از مالچ باعث افزایش ۱۴/۷، ۹۷/۲ و ۳۱۴/۱ درصدی عملکرد دانه به‌ترتیب در آبیاری نرمال، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه شد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که انجام آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کدو پوست کاغذی داشته باشد و با توجه به اینکه بین تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی و تیمار آبیاری نرمال تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اعمال آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و کاربرد مالچ می‌تواند راهکار مناسبی در شرایط کم‌آبی باشد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌پوش، عملکرد دانه، عملکرد میوه، کم‌آبی

مقدمه

(*et al.*, 2001). تنش خشکی خسارات زیادی را بر کشاورزی وارد می‌آورد و حدود نیمی از کل اراضی کشاورزی جهان تحت تأثیر این عامل قرار دارد (Babatunde and Mofoke, 2006). تنش خشکی از طریق کاهش توسعه برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل، سبب کاهش فتوسنتز می‌گردد، انتقال مواد فتوسنتزی تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و موجب اشباع برگ‌ها از مواد فتوسنتزی می‌گردد که ممکن است فتوسنتز را محدود نماید. با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی، رشد گیاه و نهایتاً عملکرد آن کاهش می‌یابد (Ahmadian *et al.*, 2011). تنش خشکی همچنین منجر به برهم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاهان و کاهش دسترسی و جذب عناصر غذایی مختلف از خاک توسط گیاه می‌شود (Pirzad *et al.*, 2006) به همین علت یکی از عوامل تداوم کشاورزی در این مناطق استفاده صحیح از منابع آبی موجود است. کشور ایران نیز از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود و در این مناطق تنش خشکی از بزرگ‌ترین مشکلات در تولید محصولات زراعی به‌شمار می‌رود (Khazaei *et al.*, 2007). لذا در مواقع تنش برای حفظ عملکرد می‌توان از روش‌های مدیریتی مناسب جهت مصرف آب

کدوی پوست کاغذی با نام علمی *Cucurbita pepo* convar. *pepo* var. *styriaca* یکی از گیاهان دارویی ارزشمند در صنایع داروسازی اکثر کشورهای توسعه‌یافته است (Wagner, 2000). روغن دانه‌های این گیاه خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی دارد و جهت جلوگیری از رشد و کاهش اندازه‌ی پروستات، کاهش فشار خون بالا و افزایش کلسترول، کاهش ناراحتی بیماری‌های مفصلی و مثانه، تخفیف دیابت از طریق بالا بردن فلیت تجزیه قند خون و کاهش سطوح سرطان معده، سینه و شش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pranabendu *et al.*, 2009).

یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد گیاهان وجود آب است. محدودیت آب و تنش خشکی رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از این طریق عملکرد گیاه زراعی را محدود می‌کند (Mary

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار گروه اگروتکنولوژی،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول:

(Email: banayan@um.ac.ir

DOI: 10.22067/gsc.v17i2.71035

آبیاری استفاده کرد. با این وجود اگرچه تأثیر کم آبی به طور کامل از بین نمی‌رود، ولی اثرات منفی آن به مراتب کم‌تر می‌شود (Kamkar et al., 2011).

استفاده از خاک‌پوش یا مالچ از جمله روش‌های مدیریتی برای کاهش تبخیر از سطح خاک در این مناطق است. مالچ‌ها با کاهش میزان تابش خورشید به سطح خاک و جلوگیری از تبخیر آب از سطح زمین بر میکروکلیمای تأثیر می‌گذارند و محیطی مساعد برای رشد و توسعه گیاه فراهم می‌نمایند (Korir et al., 2006). براینار و همکاران (Brainard et al., 2012) کاهش آب مصرفی، افزایش درجه حرارت خاک، افزایش میزان رطوبت خاک، افزایش کارایی مصرف آب و نیتروژن را از جمله فواید استفاده از مالچ بیان کردند. در مطالعه‌ای که بر روی گیاه خربزه تحت ۳ دور مختلف آبیاری و استفاده از مالچ پلاستیکی انجام شد نتایج نشان داد که مالچ پلاستیکی سبب افزایش عملکرد کیفی و کمی این گیاه شد (Jaafari et al., 2005).

نستری نصرآبادی و همکاران (Nastarinoratabadi et al., 2012) طی آزمایشی نشان دادند که تأثیر توأم آبیاری و مالچ بر تعداد میوه در هر کرت، عملکرد و زودرسی میوه در خربزه معنی‌دار بود و همچنین مالچ پلاستیکی باعث افزایش درصد قند در خربزه شد. در آزمایشی بر گیاه طالبی مشخص شد که استفاده از مالچ پلی‌اتیلنی می‌تواند با تغییر دادن دور آبیاری گیاه از ۷ روز به ۱۴ روز باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش عملکرد شود. همچنین در تحقیقی دیگر نیز گزارش شد که استفاده از مالچ پلاستیکی به دلیل کاهش مصرف آب، عملکرد گیاه آفتابگردان را افزایش داد (MehdipourAfra et al., 2014).

بنابراین با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور و لزوم استفاده بهینه از آب موجود، این آزمایش با هدف بررسی اثر کاهش میزان آب آبیاری و تأثیر مالچ پلاستیکی تیره‌رنگ در تعدیل اثر تنش خشکی و تأثیر بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی کدو پوست کاغذی در شرایط آب و هوایی مشهد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۴ به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر) اجرا شد. خاک محل انجام آزمایش دارای بافت سیلتی لومی بود. آبیاری به عنوان کرت اصلی به صورت نشتی بعد از استقرار بوته‌ها در مرحله سه الی چهار برگگی در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و مالچ پلاستیکی سیاه‌رنگ با قطر دو میلی‌متر و عرض ۱۲۰

سانتی‌متر به عنوان عامل فرعی، در دو سطح استفاده و عدم استفاده از مالچ بر روی جوی‌های آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک در اوایل اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ انجام شد. فاصله بین ردیف ۲۰۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر کرت سه ردیف کشت به صورت دوطرفه (در مجموع شش ردیف) با تراکم ۳/۳۴ بوته در متر مربع کشت شد و ابعاد هر کرت سه در شش متر بود. نیاز کودی گیاه بر اساس بررسی منابع (Ebadi et al., 2008) معادل ۱۸۰ کیلوگرم کود اوره و ۱۰۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار تخمین زده شد که با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) محاسبه و به زمین داده شد. عملیات کاشت دو هفته پس از آبیاری و با توجه به دمای هوا (دمای هوای مورد نیاز این گیاه برای کاشت بالاتر از ۱۴ درجه سانتی‌گراد است) در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ انجام شد. حجم آب مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A از رابطه زیر تعیین گردید.

معادله (۱) $V = (PE \times KC \times A) / Ei$
 V حجم آبیاری بر حسب متر مکعب، PE تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A بر حسب میلی‌متر، KC ضریب گیاهی (اوایل دوره رشد ۰/۵، اواسط دوره رشد ۱، اواخر دوره رشد ۰/۷۵) (Allen et al., 1998)، A مساحت آبیاری شده بر حسب متر مربع و Ei راندمان آبیاری (۹۰ درصد) است. آبیاری کرت‌ها هر ۷ روز یکبار توسط لوله‌های پلی‌اتیلن صورت گرفت و حجم آب ورودی به کرت با استفاده از کنتور کنترل شد. پس از سبز شدن و در مرحله چهار برگگی عملیات واکاری انجام شد. وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد به صورت دستی انجام شد و در زمان آماده کردن زمین و همچنین در طول فصل رشد گیاه هیچ‌گونه کود شیمیایی، علف‌کش و آفت‌کشی استفاده نشد.

برای تعیین عملکرد محصول، از ابتدای فصل رشد یک‌سوم هر کرت به صورت دست‌نخورده باقی گذاشته شد و بعد از رسیدگی کامل مساحت مشخص شده برداشت شد. میوه‌ها و بذرها هر کرت توزین و شمارش شدند سپس تمام قسمت‌های گیاه در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد و پس از خشک شدن دوباره وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت عملکرد میوه و دانه در هکتار، وزن دانه در بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت (نسبت عملکرد اقتصادی (میوه) به عملکرد بیولوژیک) محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام شد و از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد برای مقایسه میانگین تیمارها استفاده گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 1- Some physical and chemical characteristics of the soil

بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیترژن کل Total nitrogen (%)	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (mg kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorous (mg kg ⁻¹)	pH	EC (ds m ⁻¹)
Silty-loam	21	23	56	0.35	653	194.4	55.5	7.2	0.5

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

برهمکنش آبیاری و مالچ پلاستیکی بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). به طور کلی بالاترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی توأم با مالچ و پایین ترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون مالچ بود. به عبارت دیگر، تنش خشکی و عدم استفاده از مالچ سبب کاهش حدود ۶۶ درصدی شاخص سطح برگ نسبت به تیمار ۷۵ درصد آبیاری و استفاده از مالچ پلاستیکی (جدول ۳).

در تمام سطوح آبیاری استفاده از مالچ پلاستیکی سبب افزایش میزان شاخص سطح برگ در گیاه گردید. بیشینه و کمینه درصد تغییرات (۴۴ و ۱۷ درصد) در نتیجه کاربرد مالچ پلاستیکی به ترتیب در تیمار ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (جدول ۳).

کاهش سطح برگ اولین تغییر مورفوفیزیولوژیکی در شرایط تنش رطوبتی است که موجب کاهش دریافت تشعشع و در نتیجه کاهش تجمع ماده خشک می گردد (Deblonde et al., 1999). فرهادی و همکاران (Farhadi et al., 2002) در آزمایشی بر گیاه گرمک در اصفهان گزارش کردند که تیمار آبیاری سطحی همراه با مالچ پلاستیکی بیشترین سطح برگ را در بین تیمارهای آزمایش دارا بود. استفاده از مالچ پلاستیکی و پوشاندن سطح جوی های آبیاری با مالچ پلاستیکی باعث می شود که تبخیر آب از سطح زمین کاهش یابد و در نتیجه میزان رطوبت در دسترس گیاه افزایش یابد که این امر تأثیر مستقیمی بر افزایش رشد و عملکرد گیاه دارد (Afshar et al., 2012).

روند تغییرات ماده خشک (TDM)

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیشترین میزان تجمع ماده خشک گیاه مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و دارای مالچ پلاستیکی و کمترین میزان ماده خشک با ۷۷/۸ درصد افت نسبت به حداکثر ماده خشک به دست آمده مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون مالچ بود. استفاده از مالچ پلاستیکی سبب افزایش معنی دار ماده خشک در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه گردید درحالی که

مقدار افزایش در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه معنی دار نبود (جدول ۳).

تغییرات وزن خشک گیاه رابطه مستقیمی با سطح برگ و در نتیجه جذب تشعشع خورشیدی و فتوسنتز دارد. باستان و همکاران (Bastan et al., 2004) در تحقیقی روی سیب زمینی بیان کردند که آبیاری مطلوب موجب تولید شاخص سطح برگ بیشتر، افزایش هدایت روزنه ای، افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش وزن خشک در گیاه می شود. مندل و همکاران (Mandel et al., 2006) با اعمال تیمارهای مختلف آبیاری روی کلزا به این نتیجه دست یافتند که وزن خشک گیاه تحت تأثیر آبیاری قرار داشت و تیمارهای دارای تنش خشکی با تیمار شاهد دارای اختلاف معنی دار بود. در تیمارهای تحت تنش خشکی، به دلیل کم شدن میزان سطح برگ و همچنین بسته شدن روزنه ها که باعث کاهش فتوسنتز و کارایی انتقال مواد به دانه ها می شود، تجمع ماده خشک در گیاه کاهش می یابد (Maleki, 1999).

عملکرد میوه

برهمکنش تیمارهای آبیاری و مالچ بر عملکرد میوه کدو پوست کاغذی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و دارای مالچ پلاستیکی بالاترین عملکرد میوه را دارا بود و سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون مالچ کمترین عملکرد میوه را به خود اختصاص داد. استفاده از مالچ تأثیر معنی داری بر عملکرد میوه در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نداشت، در حالی که به ترتیب سبب افزایش ۴۹ و ۷۶ درصدی عملکرد در تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه شد (جدول ۳). به نظر می رسد که افزایش میزان آب در دسترس گیاه در نتیجه افزایش میزان آب آبیاری و استفاده از مالچ پلاستیکی دلیل این افزایش عملکرد باشد. مؤمن و همکاران (Momen et al., 2015) بیان کردند که استفاده از مالچ و افزایش فراهمی آب در زراعت کدو پوست کاغذی موجب کاهش تنش خشکی می شود که در نهایت باعث افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه و عملکرد محصول شد. سروالی و همکاران (Sreevalli et al., 2001) بیان داشتند که افت عملکرد گیاه تحت تنش خشکی می تواند به علت کاهش سطح فتوسنتز کننده، کاهش کلروفیل، افزایش مصرف

انرژی گیاه برای بالا بردن غلظت شیر سلولی و ایجاد تغییر در مسیرهای تنفسی و فعال کردن مسیر پنتوز فسفات و یا بالا بردن رشد ریشه باشد. رجب‌لاریانی و همکاران (Rajablariani et al., 2012) در آزمایشی که روی گوجه‌فرنگی انجام داد به این نتیجه رسیدند که کاهش میزان آب آبیاری باعث کم شدن تعداد میوه‌های گیاه شده و در نتیجه عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد.

جدول ۲- آنالیز واریانس اجزای عملکرد، عملکرد و شاخص برداشت کدو پوست کاغذی تحت تأثیر آبیاری و مالچ

Table 2- Analysis of variance of selected parameters of pumpkin's yield affected by irrigation and plastic mulch treatments

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی d.f	ماده خشک Dry matter	شاخص سطح برگ LAI	عملکرد میوه Fruit yield	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه 1000-seed weight	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	472.2 ^{ns}	0.01 ^{ns}	14.2 ^{ns}	13465.1 ^{ns}	629.4 ^{ns}	15.7 ^{ns}
آبیاری (A) Irrigation	2	638457.1 ^{**}	2.6 ^{**}	2155.1 ^{**}	2038295.1 ^{**}	5476.7 ^{**}	1366.7 ^{**}
خطای a E a	4	8543.98	0.045	56.90	53822.92	150.11	3.15
مالچ (B) Mulch (B)	1	208270.1 ^{**}	1.6 ^{**}	998.3 ^{**}	944192.7 ^{**}	3135.3 [*]	1671.5 ^{**}
A*B	2	97710.5 ^{**}	0.39 ^{**}	181.9 [*]	172059.5 [*]	1130.9 ^{ns}	539.2 ^{**}
خطای b E b	6	1246.0	0.03	28.5	26947.8	240.3	5.1
CV%	-	5.4	9.9	17.0	17.1	14.2	4.2

***, * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns غیر معنی‌دار

***, * are significant, respectively, at 1 and 5% probability levels and ns is non-significant,

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و مالچ بر اجزای عملکرد، عملکرد و شاخص برداشت کدو پوست کاغذی

Table 3- Mean comparison of influence of irrigation and mulching interaction on yield component, yield and harvest index of the pumpkin plant

سطوح تیمارها Levels of treatments		ماده خشک Dry matter (g.m ⁻²)	شاخص سطح برگ LAI	عملکرد میوه Fruit yield (ton.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
آبیاری Irrigation	مالچ پلاستیکی Plastic mulch					
100%	وجود مالچ Mulch	872.66 ^b	2.40 ^a	46.00 ^{ab}	1414.71 ^{ab}	65.33 ^b
	عدم وجود مالچ No mulch	797.38 ^c	2.00 ^b	40.10 ^b	1233.12 ^b	56.25 ^c
75%	وجود مالچ Mulch	1097.58 ^a	2.66 ^a	55.13 ^a	1695.41 ^a	70.33 ^a
	عدم وجود مالچ No mulch	587.86 ^d	1.50 ^c	27.95 ^c	859.64 ^c	56.60 ^c
50 %	وجود مالچ Mulch	304.11 ^e	1.10 ^d	15.29 ^d	470.42 ^d	53.16 ^c
	عدم وجود مالچ No mulch	243.71 ^e	0.90 ^d	3.69 ^e	113.63 ^e	18.71 ^d

* میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری ندارند (p<0.05).

* Numbers followed by the same letter are not significantly different (p<0.05)

که اختلاف معنی‌داری با سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی و دارای مالچ نداشت. کمینه عملکرد دانه از تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون مالچ با افت ۹۳ درصدی نسبت به حداکثر میزان تولید به‌دست آمد. در سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی استفاده از مالچ موجب افزایش عملکرد دانه

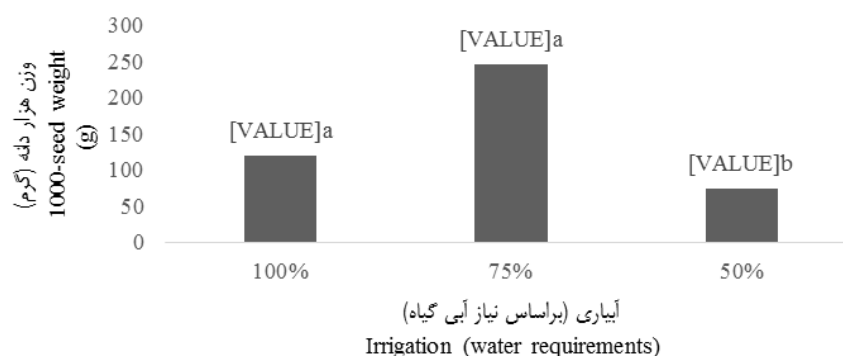
عملکرد دانه

برهمکنش تیمارهای آبیاری و مالچ بر عملکرد دانه کدو پوست کاغذی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشینه عملکرد دانه از تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و کاربرد مالچ به‌دست آمد

وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که تیمار آبیاری از نظر وزن هزار دانه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه مربوط به سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بود. با کاهش میزان آب آبیاری به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، وزن هزار دانه افت ۷۰ درصدی نسبت به حداکثر وزن هزار دانه داشت (شکل ۱). کاهش قدرت و توان منبع در گیاه و همچنین کاهش قدرت ساخت ترکیبات و انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه تحت تنش خشکی و کمبود آب می‌تواند باعث کاهش وزن دانه و در نتیجه کاهش وزن هزار دانه تحت شرایط خشکی شود (Vorasoot et al., 2003). البته تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی باعث افزایش انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه و دمبرگ‌ها به سوی دانه‌ها شده، ولی این امر نمی‌تواند میزان کاهش مواد به‌وجود آمده توسط کاهش فتوسنتز در گیاه را جبران کند (Araus et al., 2002).

تأثیر کاربرد مالچ پلاستیکی بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کرت‌های دارای مالچ پلاستیکی بیشترین وزن هزار دانه و تیمارهای فاقد مالچ پلاستیکی با ۲۱/۶ درصد افت کمترین وزن هزار دانه را داشتند (شکل ۲). استفاده از مالچ باعث افزایش میزان رطوبت خاک گردیده و در شرایط خشکی میزان آب در دسترس گیاه را افزایش می‌دهد و در نتیجه باعث افزایش وزن هزار دانه در گیاه می‌شود (Ramakrishna et al., 2005).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده آبیاری بر وزن هزار دانه کدو پوست کاغذی

Figure 1- Mean comparison of the effect of irrigation on 1000-seed weight of the pumpkin plant

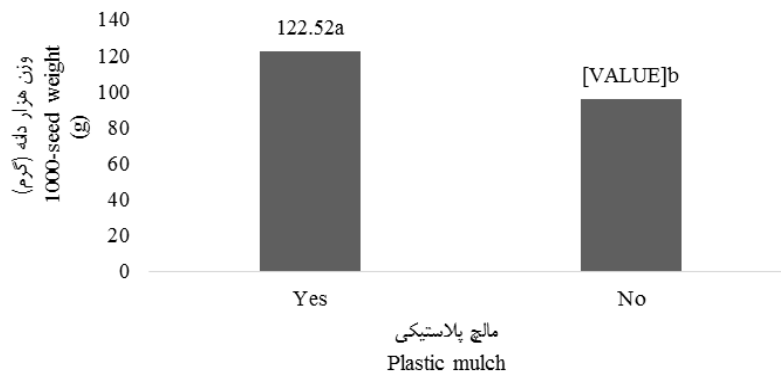
درصد افزایش بود. بیشترین میزان شاخص برداشت مربوط به سطح ۷۵ درصد نیاز آبی و دارای مالچ بود و سطح ۵۰ درصد آبیاری و فاقد مالچ با ۷۳/۴ درصد کاهش نسبت به تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی دارای کمترین میزان شاخص برداشت بود (جدول ۳).

به میزان ۴۹/۳ و ۷۵/۹ درصد شد. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیز استفاده از مالچ سبب افزایش ۲۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم استفاده از مالچ شد، ولی از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). استفاده از مالچ و انجام آبیاری کامل باعث جبران کمبود آب در گیاه شده که این کمبود آب می‌تواند به‌وسیله کاهش تعداد سلول‌های بنیادی، باعث کاهش تعداد دانه در میوه شود و در نتیجه عملکرد دانه در گیاه را کاهش دهد (Daneshian et al., 2010) که با نتایج به‌دست‌آمده توسط سایر محققین نیز مطابقت دارد (Hosseinizadeh, 2011). کاهش مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای رشد جنین و بذر از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد دانه در شرایط وجود تنش خشکی در گیاه است. فراهم بودن رطوبت در مرحله‌ی گلدهی سبب بیشتر شدن مدت زمان پر شدن دانه‌ها در گیاه می‌شود و مواد فتوسنتزی بیشتری برای اختصاص دادن به دانه فراهم می‌شود در نتیجه عملکرد دانه گیاه افزایش می‌یابد (Ullah et al., 2002).

افزایش عملکرد دانه در نتیجه استفاده از مالچ پلاستیکی می‌تواند به دلیل کم شدن میزان آب تبخیر شده از سطح خاک، نگهداری بیشتر رطوبت در خاک و افزایش تعادل دمایی خاک باشد. گلب و کولیگ (Glab and Kulig, 2008) در آزمایشی که روی گندم انجام دادند به این نتیجه رسیدند که استفاده از مالچ می‌تواند از کاهش عملکرد دانه در گیاه جلوگیری کند.

شاخص برداشت

برهمکنش تیمارهای آبیاری و مالچ بر شاخص برداشت کدو پوست کاغذی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در تمام تیمارهای آبیاری استفاده از مالچ سبب افزایش شاخص برداشت گردید و بیشترین میزان افزایش مربوط به سطح ۵۰ درصد نیاز آبی با ۶۴/۹



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ساده مالچ بر وزن هزار دانه کدو پوست کاغذی
Figure 2 -Mean comparison of the effect of mulch on 1000-seed weight of the pumpkin plant

گردید نتیجه گرفته شد که عملکرد دانه یا میوه با میزان آب آبیاری ارتباط مستقیمی دارد و با کاهش میزان آب در دسترس گیاه، کاهش می‌یابد (Aleomran *et al.*, 2005). در شرایط تنش خشکی کمبود آب قابل دسترس گیاه باعث اختلال در فتوسنتز شده و رشد ناکافی و نامناسب گیاه را به همراه دارد و باعث بیشتر شدن رقابت درون گیاه برای تخصیص مواد تولیدی گیاه بین اندام‌ها شده و در نهایت باعث کاهش رشد اندام زایشی می‌شود (Daneshian *et al.*, 2007).

همبستگی بین صفات

نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین ماده خشک با شاخص سطح برگ، عملکرد میوه و دانه و وزن هزار دانه وجود دارد.

دلیل بالا بودن شاخص برداشت، محاسبه آن بر اساس وزن میوه بود، زیرا در گیاهانی مانند کدو پوست کاغذی، میوه سهم زیادی از وزن گیاه را در زمان برداشت به خود اختصاص می‌دهد. علت کاهش شاخص برداشت در سطح ۵۰ درصد آبیاری و عدم استفاده از مالچ می‌تواند کاهش رشد میوه‌ها هنگام بروز شدید تنش خشکی در گیاه باشد. تنش خشکی باعث شده است طول دوره‌ی رشد زایشی گیاه کاهش یابد و گیاه بیشتر انرژی خود را صرف رشد رویشی و تنفس نگهداری کند و میوه‌ها به میزان کمتری رشد یافته و وزن میوه‌ها به بیوماس کل نسبت به سایر سطوح کمتر شود. همچنین تنش کم‌آبی با تأثیر بر پرچم‌های گل و پژمرده شدن آن‌ها باعث کاهش عمل گرده‌افشانی شده و لقاح شده که در نتیجه باعث می‌شود تشکیل میوه در بوته کاهش یابد. در بررسی که روی گیاه کدو پوست کاغذی انجام

جدول ۴- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در گیاه کدو پوست کاغذی
Table 4- Regression coefficient for experimental characters in pumpkin plant

شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد میوه Fruit yield	سطح برگ LAI	ماده خشک Dry matter
ماده خشک Dry matter					
سطح برگ LAI					0.99**
عملکرد میوه Fruit yield				0.99**	0.99**
عملکرد دانه Seed yield				0.99**	0.99**
وزن هزار دانه 1000-seed weight		0.36**	0.55 ^{ns}	0.97**	0.98**
شاخص برداشت Harvest index	0.80 ^{ns}	0.88*	0.88*	0.81*	0.81 ^{ns}

***، * و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار

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

بیشترین عملکرد میوه یا دانه را هنگامی تولید کرد که میزان آب در دسترس آن به اندازه‌ی نیاز آبی گیاه بود و با کاهش میزان آب آبیاری عملکرد آن کاهش یافت. مالچ پلاستیکی نیز با جلوگیری از هدر رفت آب، میزان آب در دسترس گیاه را افزایش داد و در شرایط تنش خشکی اثر تنش را کاهش و عملکرد را بهبود بخشید. به‌طور کلی بهترین شرایط برای کاشت گیاه کدو پوست کاغذی، انجام آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و استفاده از مالچ پلاستیکی است که هم به میزان زیادی سبب صرفه‌جویی در مصرف آب شد و هم بالاترین میزان تولید را در اکثر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری دارا بود.

سپاسگزاری

هزینه این طرح از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به شماره ۳۳۷۰۵ تأمین شده که بدین‌وسیله قدردانی می‌شود.

همچنین شاخص سطح برگ با عملکرد دانه و میوه و وزن هزار دانه در سطح یک درصد و با شاخص برداشت در سطح پنج درصد همبستگی مثبت دارد (جدول ۴). افزایش سطح برگ سبب افزایش بافت فتوسنتزکننده و در نتیجه افزایش تولیدات گیاهی می‌گردد که باعث می‌شود رشد و عملکرد گیاه افزایش یابد.

عملکرد میوه با عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد همبستگی معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). عملکرد دانه نیز با وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد و با شاخص برداشت در سطح ۵ درصد همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار آبیاری و استفاده از مالچ پلاستیکی به‌طور معنی‌داری عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کدو پوست کاغذی را تحت تأثیر قرار داد به‌طوری که کدو پوست کاغذی

References

1. Afshar, H., Sadrghaen, S. H. and Mehrabadi, H. R. 2012. Evaluation of application of plastic Mulch on Water Used and Seed Cotton yield. Journal of Water and Soil 26 (6): 1421-1427.
2. Ahmadian, A., Ghanbari, A., and Golvi, M. 2011. The interaction Effect of Water Stress and Animal Manure on Yield Components, Essential Oil and Chemical Composition of *Cuminumcuminum*. Iranian Journal of Field Crop Science 16: 83-94. (in Persian with English abstract).
3. Aleomran A. M., Sheta A. S., Falatah A. M., and Al-Harbi A. R. 2005. Effect of drip irrigation on squash (*Cucurbitapepo*) yield and water-use efficiency in sandy calcareous soils amended with clay deposits. Agricultural Water Management 73: 43-55.
4. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300 (9): D05109.
5. Araus, L. A., Slafer, G. A., Reynolds, M. P. and Royo, C. 2002. Plant breeding and drought in C₃ cereals: what should we breed for? Annals of botany 89 (7): 925-940.
6. Babatunde, F. E., and Mofoke, A. L. E. 2006. Performance of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as Influenced by irrigation schedules. Pakistan Journal of Nutrition 5 (4): 363-367.
7. Bastan, A., Ozenç, E., Yagc, I. P. and Beceriklisoy, H. B. 2004. Birkedide meme hipertrofisiolgusu. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi 51: 79-82.
8. Brainard, D. C., Bakker, J., Noyes, D. C., and Myers, N. 2012. Rye living-mulch effects on soil moisture and weeds in asparagus. Horticultural Science 47: 58-63.
9. Daneshian, J., Yosefi, M., and Ali Mohamadi, M. 2010. Effect of mycorrhiza fungi and farmyard manure on fruit yield and seed pumpkin seeds under drought stress. A New Season Journal Crops Ecophysiology 3: 136-146. (in Persian with English abstract).
10. Daneshiyan, J., Jabbari, H., and Farrokhi, A. 2007. Reaction yield and yield components of sunflower to water stress at different planting densities. Iranian Journal of Agricultural Research 7 (3): 129-140. (in Persian with English abstract).
11. Deblonde, P., Haverkort, A., and Ledent, J. F. 1999. Responses of early and late potato cultivars to moderate drought conditions: Agronomic parameters and carbon isotope discrimination. European Journal of Agronomy 11: 91-105.
12. Ebadi, A., Gholipoor, A., and Nik-Khah, R. 2008. Effect of pruning and interplant space on yield and yield components of naked-seed pumpkin. Agronomy Journal (Pazhuhesh va Sazandegi) 78: 43-47. (in Persian with English abstract).
13. Farhadi, A., Akbari, M., and Moshref, L. 2002. Effects of irrigation methods and polyethylene mulches on the quality of cantaloupe in Isfahan. Journal of Horticultural Science and Technology 2: 161-170. (in Persian).
14. Glab, T., and Kulig, B. 2008. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). Soil and Tillage Research 99: 169-178.

15. Hossinzadeh, H., Mobser, H. M. and Abdzadegohari, A. 2011. The reaction of bean under different levels of irrigation and nitrogen fertilizer. The Sixth National Conference on New Ideas in Agriculture. Islamic Azad University of Khovastan. (in Persian with English abstract).
16. Jaafari, P., Mollahoseini, H., and Seilsepoor, M. 2005. Investigation of plant in pattern of melon in traditional method and cultivation using plastic mulch. Journal of Research in Agricultural Sciences 2 (2): 61-71. (in Persian).
17. Kamkar, B., Daneshmand, A. R., Ghooshchi, F., Shiranirad, A. H., and Safahani Langeroudi, A. R. 2011. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. Agricultural Water Management 98 (6): 1005-1012.
18. Khazaei, H. R., Timurid constant, M., and Najafi, F. 2007. The effect of different irrigation and seeding rates on yield, yield components and quality of medicinal plant (*plantago ovata* L.). Iran Agricultural Research 23 (1): 99-86. (in Persian with English abstract).
19. Korir, N. K., Aguyohj, N., and Gaoqiong, L. 2006. Enhanced growth and yield of greenhouse produced cucumber under high altitude areas of Kenya. Agricultura Tropica ET Subtropica 39: 321-327.
20. Maleki, A. 1999. The effect of irrigation intervals and nitrogen application on the yield of spring rape (*Brassica napus*). MSc thesis. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
21. Mandel, K. G., Hanti, K. M., Misra, A. K., and Bandyopadhyay, K. K. 2006. Assessment of irrigation and nutrient effect on growth, yield and water use efficiency of Indian mustard (*Brassica juncea*) in central India. Agricultural Water Management 85 (3): 279-286.
22. Mary, J. G., Jeffrey, C. S., Katherine, O. B. and Edward, S. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science 41: 327-335.
23. MehdipourAfra, R., Amiri, R., and Iran Nezhad, H. 2012. The effect of polyethylene and organic mulches under irrigation intervals on morphological characteristics and seed yield of sunflower. Journal of Agroecology 4 (3): 246-254. (in Persian).
24. Mohammadi, Kh. 1998. Evaluation of direct seeding rice by dry soil method. MSc thesis. Islamic Azad University Jiroft. (in Persian with English abstract).
25. Momen, A., Ghorbani, R., Mahallati, N., Ghornanali, A., and Parsa, M. 2015. Evaluations relay intercropping and mulching soils on yield and pumpkin (*Cucurbita pepo*. L.) and peas (*Cicer arietinum* L.) in rainfed and irrigated conditions. Journal of Agroecology 6 (4): 767-778. (in Persian with English abstract).
26. Nastarinosratabadi, H., Nemati, S. H., Sobhani, A., and Aroiee, H. 2012. Effects of mulching and irrigation on yield and fruit quality of two melon cultivars Khorasan Razavi Province. Journal of Horticultural Science 26 (3): 327-333. (in Persian with English abstract).
27. Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M. R., Zehtab- Salmasi, S., and Mohammadi, A. 2006. Essential oil content and composition of german Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different irrigation regimes. Agronomy 5 (3): 451-455.
28. Pranabendu, M. Ramaswamy, H. S., and Chang, K. S. 2009. Pumpkin (*Cucurbita Maxima*) seed oil extraction using supercritical carbon dioxide and physicochemical properties of the oil. Journal of Food Engineering 95: 208-273.
29. Rajablariani, H. R., Hassankhan, F., and Rafezi, R. 2012. Effect of colored plastic mulches on yield of tomato and weed biomass. International Journal of Environmental Science and Development 3 (6): 590.
30. Ramakrishna, A., Tam, H. M., Wani, S. P., and Long, T. D. 2006. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. Field Crops Research 95 (2-3): 115-125.
31. Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandra shekara, R., Kuikkarni, R., SushilHasan, Samresh, D., Kukre, J., Ashok, A., Sharmr Singh, K., Srikant, S., and Rakesh, T. 2001. Preliminary observation on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 22: 356-358.
32. Ullah, A., Bakht, J. Shafi, M., and Islam, W. A. 2002. Effect of various irrigations levels on different chickpea varieties. Asian Journal of Plant Science 4: 355-357.
33. Vorasoot, N., Songsri, P., Akkasaeng, C., Jogloy, S., and Patanothai, A. 2003. Effect of water stress on yield and agronomic characters of peanut (*Arachis hypogaea* L.) Songklanakarin. Journal Science Technology 25 (3): 283-288.
34. Wagner, F. S. 2000. The health value of Styrian pumpkin-seed oil-science and fiction. The health value of Styrian pumpkin-seed oil-science and fiction 2000 (23): 122-123.



The Effect of Different Levels of Irrigation and Plastic Mulch on Yield and Yield Components of Medicinal Pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. *pepo* var. *styriaca*) in Mashhad

S. Bardehji¹, M. Bannayan^{2*}, Gh. Asadi³

Received: 16-02-2018

Accepted: 19-02-2019

Introduction: Medicinal Pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. *pepo* var. *styriaca*) is a valuable medicinal plant in pharmaceutical industry. Iran has a semi-arid climate and located in areas suffer from water stress which can be considered as the biggest problem in crop production. Therefore, to achieve the highest yield of products in times of stress, the crop should be under full irrigation or proper management to make better use of the water in critical phases of crop growth. One of these managements is to reduce soil evaporation by using mulch. Mulching, reduces the amount of sunlight and preventing water evaporation effects on microclimate and provides a favorable environment for plant growth and development. The water resources in the country are limited and it needs to be efficiently used. Then an experiment was carried out aiming to investigate the effects of different levels of irrigation and plastic mulch on yield and yield components of medicinal pumpkins in weather conditions of Mashhad.

Materials and Methods: This study was conducted in split plot design based on randomized complete blocks with three replications at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad during growing season of 2014-2015. The main plots were irrigation including 50, 75 and 100% crop water requirement and two black plastic mulch surface (presence and absence of mulch) arranged as subplot. The distance between rows of 200 cm and distance between two plants was 30 cm. There were three rows of cultivars in each plot with a density of 34.3 plants.m⁻². Based on soil test results and fertilizer requirements, 180 kg.ha⁻¹ of urea and 100 kg kg.ha⁻¹ of P₂O₅ were given to the land. The planting was carried out two weeks after irrigation and according to the air temperature. Irrigation of plots was done every seven days by polyethylene pipes and the volume of water entering the plots was measured. Yield and its components were measured at the end of growing season.

Results and Discussion: The results showed that irrigation reduction resulted in a significant ($p<0.01$) change in all studied traits. For example, 50 percent reduction in irrigation reduced fruit yield by 68 percent compared to control. Reduction in fruit yield under water stress conditions can be related to a reduction in flower production in plant. Mulch had also significant effect ($p<0.01$) on total dry weight, leaf area index, fruit yield, seed yield, harvest index, and also on 1000-seed weight ($p<0.05$). Use of mulch increased fruit and seed yield and harvest index by 38.4%, 38.4% and 30.6% compared to the lack of mulch, respectively through reduced soil evaporation and increases available water of plant. Irrigation× mulch affected significantly ($p<0.01$) on total dry weight, leaf area index, harvest index fruit and seed yield, and seed weight per plant. Plant yield reduction under drought stress could be attributed to decrease in plant photosynthesis, leaves aging, and decrease in gas exchange due to stomatal closure. In general, irrigation of 75% of the plant's water requirement and the use of plastic mulch is the best condition for planting Medicinal Pumpkin. Because it greatly saves water consumption and also had the highest rate of production.

Conclusions: The results of this study indicated that irrigation based on plant need can play an important role in increasing yield and yield components of pumpkin plant in drought conditions. Also, the plastic mulch by preventing water loss, increases the amount of water available to the plant and reduces the effect of stress and improves plant yield.

Acknowledgement: This study has been funded by the University of Mashhad faculty of Agriculture and we would like to thank you in this regard.

Keywords: Deficit irrigation, Fruit yield, Mulch, Seed weight, Seed yield

1, 2 and 3- Former MSc student, Professor and Associate Professor, respectively, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad

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



بررسی همبستگی و تجزیه علیت عملکرد ذرت دانه‌ای و صفات وابسته به آن در شرایط متفاوت دسترسی به آب و نیتروژن

روژین قبادی^۱، مختار قبادی^{۲*}، سعید جلالی هنرمند^۲، بهمن فرهادی^۳، فرزاد مندنی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲

چکیده

به منظور بررسی همبستگی و روابط علت و معلولی بین برخی از صفات با عملکرد ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط مختلف آبیاری و نیتروژن، آزمایشی به صورت کرت‌های یک بار خرد شده طی دو سال در دانشگاه رازی اجرا شد. فاکتور اصلی، آبیاری (تأمین ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی) و فاکتور فرعی، نیتروژن (تأمین ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ درصد نیاز گیاه) بود. نتایج همبستگی، رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت تا حدی مؤید یکدیگر بودند و نشان دادند که روابط صفات با عملکرد دانه تحت تأثیر وضعیت دسترسی به آب و نیتروژن قرار می‌گیرد. در تمام شرایط محیطی، صفات وارد شده به مدل‌های رگرسیونی بیش از ۹۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. بر اساس نتایج تجزیه علیت، در شرایط بیش آبیاری و آبیاری کامل، وزن صد دانه و تعداد دانه در ردیف، در تنش ملایم کم آبی، وزن صد دانه و ارتفاع بوته و در تنش شدید کم آبی، عمق دانه و فاصله گرده‌افشانی تا کاکله‌ی به دلیل اثرات مستقیم و غیر مستقیم قابل توجه بر عملکرد، به عنوان شاخص‌های مناسبی جهت بهبود عملکرد دانه معرفی شدند. در تمام سطوح نیتروژن، انتخاب بر اساس وزن خشک کل و شاخص برداشت مفید خواهد بود. تعداد دانه در ردیف و وزن صد دانه نیز به دلیل اثرات غیر مستقیم بالا بر عملکرد دانه در برخی از سطوح نیتروژن باید مورد توجه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون گام به گام، عملکرد دانه، کم آبی، متغیر مستقل

مقدمه

عملکرد دانه صفت پیچیده‌ای است که توسط صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مختلفی کنترل می‌گردد (Hunter, 1980). بنابراین کنترل ژنتیکی عملکرد به طور غیر مستقیم تحت تأثیر صفاتی است که با عملکرد همبستگی دارند و وراثت‌پذیری آن بیشتر از سایر صفات، تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Kalla et al., 2001). انتخاب برای صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک آسان و دقیق بوده و توارث‌پذیری و بازده ژنتیکی این صفات نسبتاً بالا است (Dawari and Lutra, 1991). کنترل بهتر اثرات محیطی در برنامه‌های اصلاحی به منظور بهبود عملکرد می‌تواند از طریق انتخاب غیر مستقیم برای صفاتی که علاوه بر وراثت‌پذیری بالا، همبستگی خوبی با عملکرد داشته و کمتر تحت تأثیر تغییرات محیطی باشند، انجام شود (Dawari and Lutra, 1991). لازمه این امر تعیین همبستگی و شناسایی روابط علت و معلولی بین صفات و عملکرد در محیط‌های متنوع می‌باشد. اطلاعات حاصل از این روش، امکان شناسایی و انتخاب مناسب‌ترین ترکیب از صفات به منظور دستیابی به عملکرد بیشتر در محیط‌های مختلف را می‌دهد (Griffiths, 1995).

فوتوپ هر فرد ناشی از تأثیر ژنتیک، محیط و اثر متقابل آن‌ها است. ضرایب همبستگی فوتوپ نیز به ضرایب همبستگی ژنتیکی و محیطی تفکیک می‌گردد (Falconer and Mackay, 1996).

عملکرد دانه مهم‌ترین هدف اقتصادی در تولید ذرت (*Zea mays* L.) است و بستگی به پتانسیل ژنتیکی گیاه دارد. با این حال عوامل محیطی و کنترل‌های زراعی نقش مهمی در دستیابی به این پتانسیل ژنتیکی دارند (Asghari and Hanson, 1984). مدیریت نامناسب آبیاری و نیتروژن، اصلی‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد ذرت محسوب می‌شوند (Alizadeh Oghyanous et al., 2008). اگر آب کافی در دسترس نباشد، کاربرد کودها و ارقام با عملکرد بالا بی‌فایده است (Zeid and Semary, 2001). نیتروژن نیز از عوامل مهم دستیابی به عملکرد پتانسیل ذرت است. کمبود نیتروژن باعث بروز صدمات جبران‌ناپذیری به گیاه می‌شود (Alizadeh Oghyanous et al., 2008).

۱- دانش‌آموخته دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲ و ۴- به ترتیب دانشیار و استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۳- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

(*)- نویسنده مسئول: (Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v17i2.71772

(*al.*, 2016) در دو روش محلول پاشی اوره و مصرف خاکی اوره به ترتیب ارتفاع بوته و وزن بلال، دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه بودند. به علاوه در مدل رگرسیونی حاصل از روش محلول پاشی اوره، صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در ردیف، طول بلال و وزن چهارصد دانه ۹۷/۷ درصد از تغییرات عملکرد و در روش مصرف خاکی اوره وزن بلال و وزن چهارصد دانه ۹۸/۱ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمودند.

با توجه به این که علاوه بر ژنوتیپ، عوامل محیطی و زراعی بر تظاهر فنوتیپ مؤثر هستند (*Rahimi et al.*, 2016)، بنابراین این تحقیق با هدف بررسی نحوه ارتباط صفات مختلف با یکدیگر و تأثیر آن‌ها بر عملکرد دانه در وضعیت‌های مختلف دسترسی ذرت به آب و نیتروژن انجام شد. تا ضمن شناسایی تأثیرگذارترین صفات بر عملکرد دانه، درک بهتری از نحوه ارتباط و تظاهر صفات در شرایط متغیر محیطی به دست آید.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش

این تحقیق طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی واقع در شرق شهرستان کرمانشاه (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا) انجام شد.

طرح و تیمارهای آزمایش

آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی چهار سطح آبیاری شامل تأمین ۶۰ درصد (تنش شدید کم آبی، $I_{60\%}$)، تأمین ۸۰ درصد (تنش ملایم کم آبی، $I_{80\%}$)، تأمین ۱۰۰ درصد (آبیاری کامل، $I_{100\%}$) و تأمین ۱۲۰ درصد (بیش آبیاری، $I_{120\%}$) نیاز آبی و فاکتور فرعی چهار سطح نیتروژن شامل تأمین ۴۰ درصد ($N_{40\%}$)، ۷۰ درصد ($N_{70\%}$)، ۱۰۰ درصد ($N_{100\%}$) و ۱۴۰ درصد ($N_{140\%}$) مقدار توصیه شده بر اساس نتایج آزمون خاک بود (جدول ۱).

مدیریت زراعی

به منظور آماده‌سازی زمین، شخم پاییزه و دیسک بهاره انجام شد. در هر دو سال بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، فسفر به میزان ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سوپرفسفات تریپل و پتاسیم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سولفات پتاسیم به صورت پیش کاشت استفاده شد. طول هر کرت شش متر، فاصله ردیف‌های کاشت ۷۵ سانتی‌متر و تراکم ۷/۵ بوته در مترمربع بود. کاشت بذر ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در هفته دوم اردیبهشت ماه به صورت دستی در عمق پنج سانتی‌متری روی پشته انجام شد. در هر کپه سه

همبستگی ژنتیکی بین صفات عمدتاً ناشی از چند شکلی یا پیوستگی ژن‌ها است. همبستگی محیطی ناشی از این حقیقت است که یک محیط می‌تواند باعث واریانس‌های هم‌زمان متفاوت در دو صفت شود (*Singh*, 1990). از این رو احتمالاً ارتباط بین صفات تحت تأثیر شرایط مختلف محیطی قرار می‌گیرد (*Jafarnodeh et al.*, 2017).

هرچند تعیین همبستگی بین صفات با عملکرد می‌تواند در گزینش صفات برای دستیابی به ارقام پر محصول، مؤثر باشد، اما ضرایب همبستگی ماهیت ارتباط صفات را مشخص نمی‌کند. انتخاب یک‌طرفه برای صفات دارای همبستگی بالا با عملکرد دانه و بدون در نظر گرفتن صفات دیگر نتیجه مطلوبی نخواهد داشت (*Paknejad et al.*, 2009). تجزیه علیت به عنوان ابزار دقیق‌تری برای تعیین اهمیت صفات مؤثر بر عملکرد استفاده می‌شود. در این روش ضرایب همبستگی به آثار مستقیم و غیر مستقیم مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل بر یک متغیر وابسته تقسیم می‌گردد (*Kumar et al.*, 2013). قبل از تجزیه علیت، با استفاده از رگرسیون گام به گام طی مراحل صفات غیر مؤثر یا کم تأثیر بر عملکرد از مدل رگرسیونی حذف و در مدل نهایی تنها صفاتی که تغییرات عملکرد را به میزان قابل ملاحظه‌ای توجیه می‌کنند، باقی خواهند ماند (*Kordi et al.*, 2016).

مطالعات زیادی در زمینه بررسی همبستگی و تجزیه و تحلیل پارامترهای مؤثر بر عملکرد دانه در ذرت انجام گرفته است. رفیق و همکاران (*Rafiq et al.*, 2010) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول بلال، وزن هزار دانه و وزن دانه در بلال با عملکرد دانه به دست آوردند. در مطالعه امیری و همکاران (*Amiri et al.*, 2009) نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته نشان داد که صفات وزن هزار دانه و درصد چوب بلال با ضرایب منفی و عمق دانه، وضعیت استقرار و ارتفاع بوته با ضرایب مثبت ۵۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. نتایج به دست آمده از تجزیه علیت در بررسی دوی و همکاران (*Devi et al.*, 2001) نشان داد که صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا ظهور کاکل، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک، طول بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن صد دانه دارای آثار مستقیم بر روی عملکرد می‌باشند.

رابطه بین عملکرد گیاه با صفات مستقل در شرایط مختلف آبیاری متفاوت است (*Razi and Assad*, 1999). پورمیدانی و همکاران (*Pourmeidani et al.*, 1998) با مطالعه هیبریدهای زودرس ذرت در شرایط نرمال و تنش کم آبی دریافتند که در شرایط نرمال ضرایب همبستگی صفات تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، وزن بلال و عمق دانه با عملکرد مثبت و معنی‌دار بود. تعداد دانه در ردیف و عمق دانه دارای اثرات مستقیم و مثبت از طریق یکدیگر بر عملکرد بودند. در شرایط تنش کم آبی، عمق دانه اثر مستقیم و ضریب همبستگی مثبت و بالایی بر عملکرد دانه داشت. در مطالعه کردی و همکاران (*Kordi et al.*

عدد بذر ضد عفونی شده با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام دو در هزار قرار داده شد. به منظور رسیدن به تراکم مطلوب، در مرحله چهار برگی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1- Physical and chemical properties of the soil

سال Year	عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq.100g)	کربن آلی O.C (%)	نیترژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب ava. P (ppm)	پتاسیم قابل جذب ava. K (ppm)
۱۳۹۳ 2014	0-30	Clay	رسی	7.37	0.60	27.00	1.48	0.15	340
	30-60	Clay	رسی	7.40	-	-	1.12	0.11	-
۱۳۹۴ 2015	0-30	Clay	رسی	7.69	0.55	27.00	1.00	0.10	350
	30-60	Clay	رسی	7.60	-	-	0.90	0.09	-

اندازه‌گیری صفات مورد بررسی

در طول فصل رشد گیاه، یادداشت‌برداری تاریخ وقوع مراحل مختلف نمو فنولوژی برای هر یک از کرت‌ها انجام شد. زمانی که گل‌های تاجی در ۵۰ درصد بوته‌های هر کرت به اندازه ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر از بین برگ‌ها بیرون آمده بودند به‌عنوان تاریخ ظهور گل‌تاجی ثبت گردید. زمانی که محور اصلی گل‌تاجی در ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت در حال آزاد کردن دانه گردیده بود به‌عنوان تاریخ شروع گرده‌افشانی یادداشت شد. زمانی که طول کاکل در ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت به دو تا سه سانتی‌متر رسید به‌عنوان تاریخ کاکل‌دهی ثبت گردید. برای تعیین تاریخ وقوع رسیدن فیزیولوژیک، از سه هفته پس از ظهور کاکل، در هر کرت سه دانه از دانه‌های بخش میانی چهار بلال خارج و وضعیت پیدایش لایه سیاه بررسی شد. پس از اطمینان از ایجاد لایه سیاه در ۹۰ درصد از بوته‌های هر کرت، تاریخ وقوع رسیدن فیزیولوژیک ثبت شد.

بعد از توقف رشد طولی ذرت در زمان ظهور گل‌تاجی، ارتفاع هشت بوته از هر کرت از زمین تا اولین شاخه فرعی گل‌تاجی بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد، با حذف دو خط کناری و دو بوته از ابتدا و انتهای هر کرت، بخش هوایی بوته‌های دو خط میانی هر کرت برداشت و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و پس از توزین به‌عنوان وزن خشک کل (گرم در مترمربع) منظور شد. در زمان برداشت، میزان رطوبت دانه‌های هر کرت به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج مدل GMK-303RS ساخت شرکت GWON کره جنوبی تعیین گردید. بعد از جدا کردن دانه‌ها از چوب بلال، عملکرد دانه با توجه به رطوبت اندازه‌گیری شده محاسبه و بر اساس رطوبت ۱۴ درصد بر حسب گرم در مترمربع گزارش شد. برای هر کرت تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه (گرم)، طول بلال (میلی‌متر)، قطر بلال (میلی‌متر)، قطر چوب بلال (میلی‌متر)، عمق دانه (تفاوت قطر بلال و

بر اساس نتایج آزمون خاک، نیاز نیترژن ذرت، در سال اول ۳۵۰ و در سال دوم ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار تعیین گردید. با توجه به سطوح در نظر گرفته شده برای تیمار نیترژن، مقدار کود اوره به‌ازای هر کرت محاسبه شد. تقسیم هر سطح نیترژن به‌صورت یک سوم در مرحله دو برگی، یک سوم در مرحله شش برگی (ابتدای رشد طولی ساقه) و یک سوم قبل از ظهور گل‌تاجی بود. تا قبل از مرحله شش برگی، آبیاری مطلوب برای تمام کرت‌ها صورت گرفت. تیمار آبیاری با شروع مرحله شش برگی بر اساس سطوح در نظر گرفته شده اعمال شد. نیاز آبی با استفاده از اطلاعات روزانه هواشناسی ثبت شده توسط ایستگاه هواشناسی هوشمند مجاور مزرعه تحقیقاتی تخمین زده شد. قبل از هر آبیاری با وارد کردن این اطلاعات در معادله پنمن-مونتیث فائو، ابتدا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه محاسبه گردید. سپس با استخراج مقادیر ضریب گیاهی ذرت در مراحل مختلف رشد آن برای منطقه کرمانشاه از نرم‌افزار AGWAT (Alizadeh et al., 2002) و ضرب آن در مقادیر روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل، تبخیر و تعرق روزانه ذرت محاسبه شد. با جمع کردن مقادیر تبخیر و تعرق روزانه بین دو آبیاری، نیاز خالص آبیاری برای تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. با فرض راندمان آبیاری معادل ۹۰ درصد، نیاز ناخالص آبیاری تخمین زده شد. نیاز آبیاری سایر تیمارها نیز به‌عنوان ضریبی از نیاز آبیاری تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه و مقادیر آب در نظر گرفته شده برای هر کرت در دوره‌های هفت روزه در اختیار گیاهان قرار گرفت. آبیاری توسط لوله پلی‌اتیلن و شلنگ انجام و حجم آب ورودی به کرت‌ها با کنتور کنترل شد. لازم به ذکر است که دلیل انتخاب تیمار بیش آبیاری، عدم اطمینان کافی به دقت روش پنمن-مونتیث فائو برای محاسبه دقیق نیاز آبی در شهرستان کرمانشاه بود.

قطر چوب بلال) و درصد چوب بلال با استفاده از هشت بلال اندازه‌گیری شدند. شاخص برداشت (درصد) نیز با تقسیم عملکرد دانه به وزن خشک کل محاسبه گردید. به منظور تعیین ابعاد دانه، ۳۰ دانه به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و سه بعد اصلی شامل، طول، عرض و ضخامت هر دانه بر حسب میلی‌متر با استفاده از کولیس دیجیتال ساخت شرکت Mitutoyo ژاپن با دقت یک صدم میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌های آماری

آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش Kolmogorov-smirnov و نرمال کردن داده‌های غیر نرمال به روش Box-Cox با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16.0 صورت گرفت. برای هر یک از سطوح آبیاری و نیتروژن ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 برآورد شد. در تمام سطوح آبیاری و نیتروژن عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند و تجزیه رگرسیون گام به گام برای شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد دانه نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام گردید. اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات بر عملکرد دانه از طریق تجزیه علیت با استفاده از نرم‌افزار PATH 2 به روش دوی و لو (Dewey and Lu, 1959) تعیین شدند.

نتایج و بحث

تجزیه همبستگی

بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که در تمام سطوح آبیاری، همبستگی عملکرد دانه با وزن خشک کل مثبت و معنی‌دار (به‌ترتیب ۰/۸۶، ۰/۸۴۷، ۰/۸۹۳ و ۰/۸۸۸ برای شرایط تأمین ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و با فاصله‌گرده‌افشانی تا کاکل منفی و معنی‌دار (۰/۷۰۵، -۰/۸۹۴، -۰/۷۰۸ و -۰/۷۱۲) بود. همچنین در شرایط تأمین ۱۲۰، ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، همبستگی وزن صد دانه (به‌ترتیب ۰/۹۵۹، ۰/۹۴۵ و ۰/۹۸۶)، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک (۰/۸۲، ۰/۸۷۷ و ۰/۹۲۶) و شاخص برداشت (۰/۹۳۴، ۰/۷۴۸ و ۰/۹۳۴) با عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار بود. به علاوه با تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، همبستگی مثبت و معنی‌دار قطر چوب بلال (۰/۷۱۷ و ۰/۹۲) و تعداد دانه در ردیف (۰/۸۸۹ و ۰/۸۸۹) با عملکرد دانه مشاهده شد. از طرفی با تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، عمق دانه (۰/۹۴۷-) و تعداد ردیف در بلال (۰/۸۴۲-)، با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، ارتفاع بوته (۰/۷۴۱) و با تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی، طول بلال (۰/۸۳۳) و طول دانه (۰/۷۱۹) نیز با عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار نشان دادند. با توجه به این نتایج، اعمال تنش شدید کم آبی (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی) نسبت به سایر سطوح آبیاری بیشترین تغییر در

ارتباط و همبستگی بین صفات مورد بررسی با عملکرد دانه را در پی داشته است (جدول ۲).

بر خلاف مقدار آب، مقدار نیتروژن مصرفی همبستگی صفات مورد بررسی را با یکدیگر و با عملکرد دانه چندان تحت تأثیر قرار نداد. به طوری که در تمام سطوح نیتروژن همبستگی طول بلال (به‌ترتیب ۰/۹۱، ۰/۸۹۳، ۰/۹۳۷ و ۰/۹۰۶ برای شرایط تأمین ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ درصد نیاز نیتروژن)، قطر بلال (۰/۹۳۶، ۰/۸۳۸، ۰/۹۵۲ و ۰/۹۲۶)، عمق دانه (۰/۸۸۸، ۰/۷۹۶، ۰/۸۵۳ و ۰/۸۶۴)، تعداد دانه در ردیف (۰/۹۸۷، ۰/۹۶۵، ۰/۹۶۵ و ۰/۸۳۸)، تعداد دانه در بلال (۰/۹۵۲، ۰/۹۴۷، ۰/۹۵۶ و ۰/۹۲۵)، وزن صد دانه (۰/۹۴۵، ۰/۹۰۵، ۰/۸۷۵ و ۰/۸۶۳)، ارتفاع بوته (۰/۹۶۸، ۰/۹۶۵، ۰/۹۸ و ۰/۹۷۱)، طول دانه (۰/۸۷۴، ۰/۷۲، ۰/۸۵۷ و ۰/۸۱۷)، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک (۰/۷۴۱، ۰/۷۳۹، ۰/۷۸۵ و ۰/۸۸۷)، وزن خشک کل (۰/۹۶۳، ۰/۹۷۹، ۰/۹۷۹ و ۰/۹۷۹) و شاخص برداشت (۰/۹۱۶، ۰/۹۶۸، ۰/۹۶۸ و ۰/۹۹۳) با عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار و همبستگی فاصله‌گرده‌افشانی تا ظهور کاکل با عملکرد دانه (۰/۸۸۶، -۰/۷۳۱، -۰/۷۳۶ و -۰/۷۷) منفی و معنی‌دار بود. همچنین همبستگی مثبت بین قطر چوب بلال و تعداد ردیف در بلال با عملکرد دانه و همبستگی منفی بین درصد چوب بلال و ضخامت دانه با عملکرد دانه در برخی از سطوح نیتروژن قابل توجه بود (جدول ۳).

در خصوص رابطه همبستگی سایر صفات با یکدیگر، همبستگی مثبت بین تعداد دانه، وزن صد دانه و وزن خشک کل با تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک، همبستگی مثبت بین تعداد دانه، وزن صد دانه و ارتفاع بوته با وزن خشک کل و همبستگی مثبت بین تعداد دانه و وزن صدانه با شاخص برداشت در بیشتر شرایط مورد بررسی مشاهده شد. همچنین همبستگی مثبت وزن صد دانه با طول دانه و عرض دانه و همبستگی منفی آن با ضخامت دانه قابل توجه بود.

رگرسیون گام به گام

مدل نهایی حاصل از تجزیه رگرسیون گام به گام می‌تواند متغیرهای مستقل مؤثر بر متغیر وابسته را شناسایی و از نظر اهمیت رتبه‌بندی نماید. در این مطالعه عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در شرایط متفاوت آبیاری و نیتروژن مورد بررسی قرار گرفت. در مدل‌های رگرسیونی حاصل از شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، وزن صد دانه نخستین متغیری بود که وارد مدل شد و به تنهایی به‌ترتیب ۹۱/۹ و ۸۹/۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. پس از آن تعداد دانه در ردیف به هر دو مدل اضافه شد و به همراه وزن صد دانه برای شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب ۹۷ و ۹۶/۶ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند.

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در سطوح آبیاری
Table 2- Correlation coefficients between studied traits in irrigation levels

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21
X1	I _{120%}	1																				
	I _{100%}	1																				
	I _{80%}	1																				
	I _{60%}	1																				
X2	I _{120%}	0.893**	1																			
	I _{100%}	0.754*	1																			
	I _{80%}	0.680**	1																			
	I _{60%}	0.925**	1																			
X3	I _{120%}	0.628**	0.467**	1																		
	I _{100%}	0.365**	0.199**	1																		
	I _{80%}	0.886**	0.734*	1																		
	I _{60%}	0.590**	0.523**	1																		
X4	I _{120%}	-0.169**	-0.423**	0.438**	1																	
	I _{100%}	0.133**	-0.095**	0.817*	1																	
	I _{80%}	0.109**	-0.239**	0.076**	1																	
	I _{60%}	-0.431**	-0.322**	-0.196**	1																	
X5	I _{120%}	0.586**	0.812*	-0.136**	-0.763*	1																
	I _{100%}	0.288**	0.680**	-0.532**	-0.733*	1																
	I _{80%}	0.258**	0.837**	0.242**	-0.403**	1																
	I _{60%}	0.189**	0.289**	-0.353**	0.181**	1																
X6	I _{120%}	0.383**	0.538**	-0.267**	-0.430**	0.779*	1															
	I _{100%}	0.249**	0.623**	-0.510**	-0.664**	0.916**	1															
	I _{80%}	-0.275**	0.452**	0.020**	-0.364**	0.629**	1															
	I _{60%}	0.448**	0.469**	-0.229**	-0.168**	0.911**	1															
X7	I _{120%}	0.851**	0.694**	0.879**	0.058**	0.198**	-0.060**	1														
	I _{100%}	0.503**	0.197**	0.585**	0.502**	-0.174**	-0.190**	1														
	I _{80%}	0.553**	0.750*	0.665**	-0.631**	0.536**	0.258**	1														
	I _{60%}	0.313**	0.521**	-0.212**	-0.437**	0.352**	0.404**	1														
X8	I _{120%}	0.913**	0.888**	0.628**	-0.110**	0.580**	0.524**	0.803**	1													
	I _{100%}	0.905**	0.717*	0.232**	0.152**	0.355**	0.407**	0.584**	1													
	I _{80%}	0.631**	0.439**	0.537**	-0.117**	0.194**	-0.402**	0.655**	1													
	I _{60%}	0.562**	0.542**	-0.272**	-0.492**	0.444**	0.710*	0.568**	1													
X9	I _{120%}	0.771**	0.645**	0.872**	0.241**	-0.147**	-0.114**	0.875**	0.717*	1												
	I _{100%}	0.617**	0.279**	0.857**	0.823*	-0.432**	-0.464**	0.751*	0.537**	1												
	I _{80%}	0.424**	0.033**	0.237**	0.053**	-0.144**	-0.556**	0.130**	0.563**	1												
	I _{60%}	0.574**	0.569**	0.576**	-0.385**	-0.383**	-0.277**	0.399**	0.013**	1												
X10	I _{120%}	0.600**	0.796*	-0.121**	-0.792*	0.972**	0.686**	0.212**	0.519**	-0.183**	1											
	I _{100%}	0.617**	0.640**	0.633**	0.359**	0.127**	0.184**	0.560**	0.564**	0.638**	1											
	I _{80%}	0.741**	0.331**	0.542**	0.064**	0.036**	-0.609**	0.473**	0.926**	0.645**	1											
	I _{60%}	-0.228**	-0.243**	0.039**	-0.241**	-0.371**	-0.227**	-0.207**	0.023**	0.380**	1											
X11	I _{120%}	0.290**	0.107**	0.897**	0.627**	-0.471**	-0.505**	0.698**	0.357**	0.657**	-0.501**	1										
	I _{100%}	-0.166**	-0.193**	0.754*	0.769*	-0.589**	-0.600**	0.600**	-0.134**	0.594**	0.334**	1										
	I _{80%}	0.793*	0.598**	0.794*	-0.222**	0.215**	-0.240**	0.835**	0.899**	0.409**	0.843**	1										
	I _{60%}	0.538**	0.404**	0.745*	-0.420**	-0.394**	-0.195**	-0.034**	0.005**	0.502**	0.389**	1										
X12	I _{120%}	0.251**	-0.031**	0.721*	0.702**	-0.511**	-0.625**	0.563**	0.164**	0.659**	-0.508**	0.824*	1									
	I _{100%}	-0.330**	-0.522**	0.665**	0.671**	-0.812*	-0.828*	0.424**	-0.396**	0.454**	0.064**	0.891**	1									
	I _{80%}	0.862**	0.659**	0.898**	0.062**	0.219**	-0.187**	0.707*	0.785*	0.225**	0.764*	0.927**	1									
	I _{60%}	0.341**	0.468**	0.643**	-0.039**	-0.572**	-0.521**	0.104**	-0.193**	0.683**	0.039**	0.405**	1									
X13	I _{120%}	0.158**	0.328**	-0.195**	-0.270**	0.497**	0.490**	-0.241**	0.063**	-0.026**	0.588**	-0.534**	-0.509**	1								
	I _{100%}	0.371**	0.547**	-0.440**	-0.574**	0.674**	0.773*	-0.433**	0.403**	-0.405**	-0.071**	-0.814*	-0.872**	1								
	I _{80%}	-0.687**	-0.495**	-0.633**	0.272**	-0.198**	0.307**	-0.783*	-0.947**	-0.504**	-0.902**	-0.962**	-0.823*	1								
	I _{60%}	-0.601**	-0.565**	-0.678**	0.484**	0.357**	0.140**	-0.227**	-0.173**	-0.585**	-0.402**	-0.943**	-0.552**	1								
X14	I _{120%}	-0.115**	-0.406**	0.607**	0.846**	-0.855**	-0.696**	0.312**	-0.088**	0.318**	-0.848**	0.839**	0.787*	-0.577**	1							
	I _{100%}	-0.206**	-0.251**	0.786*	0.767*	-0.667**	-0.682**	0.501**	-0.243**	0.577**	0.321**	0.981**	0.934**	-0.836**	1							
	I _{80%}	0.857**	0.552**	0.786*	0.115**	0.156**	-0.406**	0.597**	0.909**	0.559**	0.910**	0.910**	0.902**	-0.873**	1							
	I _{60%}	0.432**	0.356**	0.885**	-0.257**	-0.503**	-0.376**	-0.168**	-0.269**	0.520**	0.355**	0.935**	0.589**	-0.873**	1							
X15	I _{120%}	-0.134**	-0.406**	0.605**	0.859**	-0.854**	-0.682**	0.295**	-0.086**	0.310**	-0.858**	0.847**	0.782*	-0.578**	0.998**	1						
	I _{100%}	-0.184**	-0.263**	0.791*	0.790*	-0.687**	-0.690**	0.540**	-0.205**	0.603**	0.319**	0.986**	0.939**	-0.837**	0.998**	1						
	I _{80%}	0.889**	0.550**	0.846**	0.096**	0.105**	-0.392**	0.630**	0.873**	0.541**	0.891**	0.937**	0.940**	-0.879**	0.987**	1						
	I _{60%}	0.428**	0.353**	0.880**	-0.264**	-0.533**	-0.412**	-0.143**	-0.219**	0.571**	0.320**	0.932**	0.616**	-0.875**	0.997**	1						
X16	I _{120%}	-0.188**	-0.440**	0.570**	0.856**	-0.869**	-0.667**	0.245**	-0.117**	0.250**	-0.881**	0.829*	0.733*	-0.574**	0.991**	0.996**	1					
	I _{100%}	-0.294**	-0.289**	0.750*	0.743*	-0.677**	-0.683**	0.392**	-0.338**	0.503**	0.277**	0.959**	0.928**	-0.825*	0.992**	0.984**	1					
	I _{80%}	0.871**	0.578**	0.829*	0.061**	0.158**	-0.360**	0.666**	0.901**	0.492**	0.902**	0.954**	0.954**	-0.906**	0.985**	0.995**	1					
	I _{60%}	0.431**	0.393**	0.867**	-0.259**	-0.525**	-0.391**	-0.112**	-0.227**	0.523**	0.406**	0.916**	0.667**	-0.896**	0.990**	0.987**	1					
X17	I _{120%}	-0.635**	-0.393**	-0.416**	-0.047**	-0.164**	0.190**	-0.596**	-0.365**	-0.703**	-0.253**	-0.224**	-0.594**	0.057**	-0.094**	-0.056**	0.020**	1				
	I _{100%}	-0.367**	0.034**	-0.628**	-0.652**	0.434**	0.421**	-0.948**	-0.457**	-0.772*	-0.367**	-0.676**	-0.582**	0.529**	-0.592**	-0.639**	-0.491**	1				
	I _{80%}	-0.894**	-0.470**	-0.852**	-0.170**	0.014**	0.447**	-0.539**	-0.779*	-0.628**	-0.834*	-0.863**	-0.872**	0.787*	-0.955**	-0.974**	-0.945**	1				

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در سطوح نیتروژن
Table 3- Correlation coefficients between studied traits in nitrogen levels

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21
X1	N _{40%}	1																				
	N _{70%}	1																				
	N _{100%}	1																				
	N _{140%}	1																				
X2	N _{40%}	0.953**	1																			
	N _{70%}	0.901**	1																			
	N _{100%}	0.991**	1																			
	N _{140%}	0.982**	1																			
X3	N _{40%}	0.818*	0.749*	1																		
	N _{70%}	0.873**	0.873**	1																		
	N _{100%}	0.904**	0.874**	1																		
	N _{140%}	0.740**	0.708*	1																		
X4	N _{40%}	-0.658**	-0.724*	-0.330**	1																	
	N _{70%}	-0.704**	-0.732*	-0.408**	1																	
	N _{100%}	-0.863**	-0.855**	-0.668**	1																	
	N _{140%}	-0.691**	-0.668**	-0.443**	1																	
X5	N _{40%}	0.769*	0.831*	0.342**	-0.673**	1																
	N _{70%}	0.837**	0.974**	0.739*	-0.819*	1																
	N _{100%}	0.953**	0.978**	0.753*	-0.871**	1																
	N _{140%}	0.876**	0.918**	0.369**	-0.639**	1																
X6	N _{40%}	0.828*	0.872**	0.386**	-0.765*	0.948**	1															
	N _{70%}	0.640**	0.818*	0.469**	-0.747*	0.911**	1															
	N _{100%}	0.885**	0.924**	0.668**	-0.852**	0.963**	1															
	N _{140%}	0.885**	0.925**	0.417**	-0.715*	0.982**	1															
X7	N _{40%}	0.930**	0.926**	0.658**	-0.818*	0.865**	0.898**	1														
	N _{70%}	0.940**	0.881**	0.834**	-0.765*	0.828**	0.584**	1														
	N _{100%}	0.952**	0.969**	0.881**	-0.860**	0.933**	0.915**	1														
	N _{140%}	0.947**	0.958**	0.572**	-0.743*	0.939**	0.969**	1														
X8	N _{40%}	0.926**	0.905**	0.581**	-0.807*	0.895**	0.922**	0.974**	1													
	N _{70%}	0.970**	0.854**	0.771*	-0.787*	0.820*	0.624**	0.965**	1													
	N _{100%}	0.957**	0.974**	0.869**	-0.864**	0.945**	0.929**	0.997**	1													
	N _{140%}	0.984**	0.982**	0.633**	-0.683**	0.936**	0.937**	0.967**	1													
X9	N _{40%}	0.937**	0.940**	0.855**	-0.682**	0.732*	0.735*	0.931**	0.877**	1												
	N _{70%}	0.914**	0.806**	0.879**	-0.516**	0.704**	0.453**	0.937**	0.912**	1												
	N _{100%}	0.877**	0.835**	0.949**	-0.740*	0.722*	0.660**	0.841**	0.827*	1												
	N _{140%}	0.844**	0.845**	0.884**	-0.295**	0.615**	0.605**	0.714**	0.785*	1												
X10	N _{40%}	0.907**	0.945**	0.613**	-0.861**	0.885**	0.897**	0.972**	0.969**	0.919**	1											
	N _{70%}	0.945**	0.866**	0.755*	-0.813**	0.844**	0.631**	0.947**	0.984**	0.872**	1											
	N _{100%}	0.956**	0.959**	0.843**	-0.924**	0.936**	0.908**	0.962**	0.952**	0.867**	1											
	N _{140%}	0.946**	0.971**	0.610**	-0.529**	0.934**	0.901**	0.904**	0.966**	0.830*	1											
X11	N _{40%}	0.795*	0.862**	0.756*	-0.682**	0.677**	0.616**	0.835**	0.776*	0.944**	0.879**	1										
	N _{70%}	0.679**	0.607**	0.848**	-0.266**	0.443**	0.048**	0.715*	0.628**	0.754*	0.650**	1										
	N _{100%}	0.838**	0.794*	0.923**	-0.742*	0.79**	0.630**	0.820*	0.804*	0.994**	0.851**	1										
	N _{140%}	0.854**	0.873**	0.918**	-0.492**	0.632**	0.681**	0.771*	0.797*	0.936**	0.796**	1										
X12	N _{40%}	0.670**	0.757*	0.829*	-0.545**	0.386**	0.403**	0.659**	0.527**	0.845**	0.675**	0.886**	1									
	N _{70%}	0.607**	0.603**	0.827*	-0.190**	0.448**	0.069**	0.679**	0.567**	0.755*	0.601**	0.926**	1									
	N _{100%}	0.432**	0.456**	0.686**	-0.060**	0.322**	0.251**	0.508**	0.476**	0.552**	0.390**	0.523**	1									
	N _{140%}	0.806*	0.785*	0.977**	-0.579**	0.483**	0.525**	0.660**	0.709*	0.870**	0.684**	0.918**	1									
X13	N _{40%}	-0.683**	-0.770*	-0.656**	0.726*	-0.554**	-0.509**	-0.718*	-0.679**	-0.829*	-0.817*	-0.943**	-0.845**	1								
	N _{70%}	-0.491**	-0.447**	-0.783*	-0.030**	-0.252**	0.131**	-0.525**	-0.410**	-0.647**	-0.427**	-0.945**	-0.944**	1								
	N _{100%}	-0.660**	-0.617**	-0.698**	0.713*	-0.535**	-0.499**	-0.636**	-0.611**	-0.879**	-0.756*	-0.908**	-0.320**	1								
	N _{140%}	-0.798*	-0.826**	-0.904**	0.533**	-0.578**	-0.642**	-0.728*	-0.724*	-0.874**	-0.722*	-0.976**	-0.923**	1								
X14	N _{40%}	-0.196**	-0.187**	0.280**	0.221**	-0.409**	-0.559**	-0.192**	-0.294**	0.095**	-0.171**	0.293**	0.405**	-0.325**	1							
	N _{70%}	-0.262**	-0.333**	0.136**	0.687**	-0.523**	-0.754*	-0.220**	-0.357**	-0.035**	-0.376**	0.420**	0.446**	-0.645**	1							
	N _{100%}	-0.237**	-0.299**	0.161**	0.427**	-0.473**	-0.533**	-0.254**	0.286**	0.212**	-0.267**	0.242**	0.468**	-0.264**	1							
	N _{140%}	-0.172**	-0.188**	0.470**	0.369**	-0.512**	-0.455**	-0.284**	0.291**	-0.276**	0.276**	0.315**	0.282**	1								
X15	N _{40%}	-0.028**	-0.001**	0.434**	0.069**	-0.280**	-0.403**	-0.015**	-0.146**	0.274**	-0.004**	0.453**	0.590**	-0.463**	0.975**	1						
	N _{70%}	-0.130**	-0.196**	0.271**	0.610**	-0.396**	-0.670**	-0.080**	-0.219**	0.120**	-0.231**	0.541**	0.590**	-0.758*	0.983**	1						
	N _{100%}	-0.105**	-0.163**	0.281**	0.272**	-0.341**	-0.391**	-0.102**	-0.139**	0.356**	-0.102**	0.392**	0.535**	-0.426**	0.981**	1						
	N _{140%}	-0.011**	-0.010**	0.614**	0.218**	-0.358**	-0.293**	-0.129**	-0.116**	0.427**	-0.108**	0.449**	0.478**	-0.452**	0.972**	1						
X16	N _{40%}	-0.301**	-0.271**	0.202**	0.266**	-0.510**	-0.632**	-0.288**	-0.406**	-0.004**	-0.272**	0.195**	0.370**	-0.234**	0.985**	0.959**	1					
	N _{70%}	-0.404**	-0.432**	0.004**	0.746*	-0.590**	-0.793*	-0.340**	-0.483**	-0.163**	-0.489**	0.299**	0.366**	-0.550**	0.984**	0.956**	1					
	N _{100%}	-0.414**	-0.459**	-0.026**	0.593**	-0.610**	-0.623**	-0.403**	-0.430**	0.023**	-0.436**	0.056**	0.387**	-0.090**	0.969**	0.928**	1					
	N _{140%}	-0.330**	-0.329**	0.294**	0.440**	-0.590**	-0.541**	-0.389**	-0.417**	0.121**	-0.414**	0.113**	0.144**	-0.125**	0.973**	0.926**	1					
X17	N _{40%}	-0.872**	-0.872**	-0.861**	0.618**	-0.666**	-0.631**	-0.873**	-0.797*	-0.970**	-0.862**	-0.949**	-0.866**	0.859**	-0.228**	-0.400**	-0.122**	1				
	N _{70%}	-0.771*	-0.633**	-0.893**	0.187**	-0.458**	-0.128**	-0.746*	-0.709*	-0.885**	-0.688**	-0.916**	-0.879**	0.891**	-0.348**	-0.488**	-0.211**	1				
	N _{100%}	-0.708*	-0.661**	-0.810*	0.690**	-0.547**	-0.444**	-0.692**	-0.657**	-0.895**	-0.769*	-0.913**	-0.502**	0.921**	</							

طریق عمق دانه ($0/308$) باعث ایجاد همبستگی منفی این صفت با عملکرد دانه شد. علی‌رغم اثر مستقیم منفی تعداد روز تا گرده‌افشانی ($0/295$)، اثرات غیر مستقیم بالا و مثبت آن از طریق عمق دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل (به‌ترتیب $0/468$ و $0/549$) همبستگی مثبت این صفت با عملکرد دانه را موجب شد (جدول ۵).

در رابطه با سطوح نیتروژن، نتایج تجزیه علیت نشان می‌دهد که در شرایط تأمین 40 درصد نیاز گیاه گزینش مثبت صفت تعداد دانه در ردیف مطلوب است. با تأمین 70 درصد نیاز نیتروژن، اثرات مستقیم وزن خشک کل نسبتاً بالا ($0/559$)، شاخص برداشت متوسط ($0/377$) و وزن صد دانه ناچیز ($0/096$) بود. اثر غیر مستقیم وزن خشک کل از طریق شاخص برداشت ($0/339$)، اثر غیر مستقیم شاخص برداشت از طریق وزن خشک کل ($0/503$) و اثرات غیر مستقیم وزن صد دانه از طریق وزن خشک کل و شاخص برداشت (به‌ترتیب $0/467$ و $0/34$) نیز قابل‌توجه بودند. در شرایط تأمین 100 درصد نیاز نیتروژن اثرات مستقیم شاخص برداشت و وزن خشک کل نسبتاً بالا (به‌ترتیب $0/52$ و $0/515$) و اثرات غیر مستقیم آن‌ها از طریق یکدیگر متوسط ($0/443$ و $0/448$) بود. در شرایط تأمین 140 درصد نیاز نیتروژن، نیز اثرات مستقیم شاخص برداشت و وزن خشک کل متوسط (به‌ترتیب $0/458$ و $0/477$) بود. اثرات غیر مستقیم این صفات از طریق یکدیگر نیز متوسط ($0/461$ و $0/443$) و اثر غیر مستقیم آن‌ها از طریق تعداد دانه در ردیف ناچیز ($0/073$ و $0/068$) بود. از طرفی با وجود اثر مستقیم ناچیز تعداد دانه در ردیف ($0/088$)، اثرات غیر مستقیم آن از طریق شاخص برداشت و وزن خشک کل (به‌ترتیب $0/381$ و $0/369$) منجر به ایجاد همبستگی مثبت و معنی‌دار این صفت با عملکرد دانه شد (جدول ۵).

تجزیه همبستگی

مقایسه همبستگی صفات با عملکرد دانه در سطوح مختلف آبیاری نشان داد که همبستگی‌ها با هم متفاوت هستند. به عبارت دیگر مقدار آب بر ارتباط بین صفات تأثیر گذاشته است. همبستگی‌ها در تنش شدید کم آبی (تأمین 60 درصد نیاز آبی) کمتر از سایر سطوح آبیاری بود. بنابراین اثر آب بر همبستگی‌ها بارز بوده است. در کل با توجه به نتایج تجزیه همبستگی، در تمام شرایط آبیاری بیشتر بودن وزن خشک کل و فاصله کمتر بین گرده‌افشانی و ظهور کاکل از ویژگی‌های مطلوب و تعیین‌کننده عملکرد دانه به‌شمار می‌آیند. از این‌رو انتخاب برای این صفات می‌تواند به‌عنوان معیارهایی برای توانایی حفظ عملکرد در شرایط متغیر و غیر قابل پیش‌بینی از نظر تأمین آب مد نظر قرار گیرد. به علاوه انتخاب برای صفات وزن صد دانه، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و شاخص برداشت که به غیر از تنش شدید کم آبی، در سایر سطوح آبیاری با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند نیز مطلوب خواهد بود. در شرایط تنش شدید

در شرایط تأمین 80 درصد نیاز آبی نیز وزن صد دانه اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد و به همراه ارتفاع بوته $99/2$ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه کردند. در شرایط تأمین 60 درصد نیاز آبی، صفات عمق دانه، فاصله گرده‌افشانی تا کاکل، تعداد دانه در ردیف و تعداد روز تا گرده‌افشانی به‌ترتیب اهمیت وارد مدل رگرسیونی شدند و مجموع ضریب تبیین اصلاح شده آن‌ها $1/00$ بود. به عبارت دیگر، صد در صد تغییرات عملکرد دانه بر اساس این صفات قابل توجیه است (جدول ۴). در رابطه با سطوح نیتروژن، در شرایط تأمین 40 درصد نیاز گیاه، فقط صفت تعداد دانه در ردیف با ضریب تبیین $97/4$ درصد وارد مدل گردید. یعنی تعداد دانه در ردیف به تنهایی بیش از 97 درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرده است. در حالی که با تأمین 70 درصد نیاز نیتروژن، صفات وزن خشک کل، شاخص برداشت و وزن صد دانه به‌ترتیب اهمیت وارد مدل رگرسیونی شدند. این مدل با ضریب تبیین $1/00$ ، تمام تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. در شرایط تأمین 100 درصد نیاز نیتروژن، صفات شاخص برداشت و وزن خشک کل در مجموع $99/8$ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. با تأمین 140 درصد نیاز نیتروژن نیز ابتدا صفات شاخص برداشت و وزن خشک کل وارد مدل رگرسیونی شدند و در گام آخر با ورود صفت تعداد دانه در ردیف به مدل، صد در صد تغییرات عملکرد دانه توجیه شد (جدول ۴).

تجزیه علیت

اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات وارد شده به مدل‌های رگرسیونی بر عملکرد دانه در هریک از شرایط آبیاری و نیتروژن بر اساس ضرایب همبستگی فنوتیپی با استفاده از تجزیه علیت، محاسبه شد. براساس نتایج، در شرایط تأمین 120 و 100 درصد نیاز آبی اثر مستقیم صفت وزن صد دانه نسبتاً بالا (به‌ترتیب $0/551$ و $0/635$) و اثر غیر مستقیم آن از طریق تعداد دانه در ردیف متوسط ($0/407$) و $0/31$ بود. همچنین اثر مستقیم تعداد دانه در ردیف ($0/466$) و $0/412$ و اثر غیرمستقیم آن از طریق وزن صد دانه ($0/482$) و $0/477$ نیز متوسط بودند. در شرایط تأمین 80 درصد نیاز آبی، اثر مستقیم وزن صد دانه بالا ($0/871$) و اثر غیرمستقیم آن از طریق ارتفاع بوته ناچیز ($0/115$) بود. از طرفی اثر مستقیم ارتفاع بوته ناچیز ($0/179$) و اثر غیرمستقیم آن از طریق وزن صد دانه نسبتاً بالا ($0/564$) بود. در شرایط تأمین 60 درصد نیاز آبی، اثرات مستقیم عمق دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل (به‌ترتیب $0/874$ و $0/578$) مشابه با ضرایب همبستگی آن‌ها با عملکرد دانه، منفی و بالا بود. اثر غیر مستقیم عمق دانه از طریق فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل ($0/298$) و اثر غیر مستقیم فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل از طریق عمق دانه ($0/451$) نیز قابل توجه و اثر غیر مستقیم آن‌ها از طریق سایر صفات کمتر بود. اثر مستقیم تعداد دانه در ردیف ($0/191$) ناچیز و مثبت بود، اما اثر غیر مستقیم متوسط و منفی آن از

کم آبی گزینش منفی برای عمق دانه و تعداد ردیف در بلال می‌تواند عملکرد دانه را بهبود دهد.

جدول ۴- تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه (متغیر وابسته) با سایر صفات مورد بررسی (متغیرهای مستقل) در سطوح آبیاری و نیتروژن
Table 4- Stepwise regression analysis of grain yield (dependent variable) with other studied traits (independent variables) in irrigation and nitrogen levels

خطای استاندارد	F	ضریب تشخیص	نیتروژن				عرض از مبدأ	متغیرهای مستقل	Independent variables	سطوح آبیاری و نیتروژن Irrigation and nitrogen levels
			ضرایب رگرسیون							
			b ₁	b ₂	b ₃	b ₄				
Standard error		R ²				Intercept				
I _{120%}	68.090**	0.919				-167.828	وزن صد دانه	100 grain weight		
	80.900**	0.970				40.443	تعداد دانه در ردیف	Grain.row ⁻¹		
I _{100%}	49.621**	0.892				-164.163	وزن صد دانه	100 grain weight		
	71.939**	0.966				-345.539	تعداد دانه در ردیف	Grain.row ⁻¹		
I _{80%}	216.824**	0.973				-536.107	وزن صد دانه	100 grain weight		
	306.316**	0.992				-823.340	ارتفاع بوته	Plant height		
I _{60%}	52.539**	0.898				431.593	عمق دانه	Grain depth		
	70.460**	0.966				431.976	فاصله گرده‌افشانی تا کاکل‌دهی	Anthesis to silking		
	156.412**	0.992			1.211	416.584	تعداد دانه در ردیف	Grain.row ⁻¹		
	2219.431**	1.00	-1.023	1.347	-5.807	520.411	تعداد روز تا گرده‌افشانی	Days to anthesis		
N _{40%}	229.21**	0.974				-102.127	تعداد دانه در ردیف	Grain.row ⁻¹		
N _{70%}	141.536**	0.959				-267.524	وزن خشک کل	Total dry weight		
	1234.210**	0.998				-599.767	شاخص برداشت	Harvest index		
	4271.715**	1.00			10.909	-723.305	وزن صد دانه	100 grain weight		
N _{100%}	180.842**	0.986				-978.027	شاخص برداشت	Harvest index		
	1234.210**	0.998				-599.767	وزن خشک کل	Total dry weight		
N _{140%}	406.507**	0.985				-872.838	شاخص برداشت	Harvest index		
	965.341**	0.997				-658.736	وزن خشک کل	Total dry weight		
	4076.925**	1.00			2.338	-595.616	تعداد دانه در ردیف	Grain.row ⁻¹		

** Significant at 1% level.

** معنی‌دار در سطح یک درصد.

و (Darvishzadeh et al., 2011) (*Helianthus annuus* L.) عملکرد گل گیاه گل‌محمدی (*Rosa damascene* mill L.) (Nemati Lafmajani et al., 2012) گزارش شده است.

مقایسه همبستگی صفات در سطوح مختلف نیتروژن نشان می‌دهد که همبستگی اکثر صفات با عملکرد دانه تقریباً با هم برابر و از لحاظ مثبت و منفی بودن هم مشابه هستند. بنابراین مقدار نیتروژن بر ارتباط بین صفات تأثیر چندانی نداشته است. به طور کلی با توجه به نتایج تجزیه همبستگی در سطوح مختلف نیتروژن، حفظ ارتباط مثبت بین اندازه بلال، اجزای عملکرد، ارتفاع بوته، طول دانه، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و شاخص برداشت با عملکرد دانه و

زادوت آغاج و همکاران (Zadtot Aghaj et al., 2000) در بررسی همبستگی صفات هیبریدهای دیررس ذرت گزارش کردند که در شرایط آبیاری مطلوب همبستگی طول بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل با عملکرد دانه معنی‌دار بود. با اعمال کم آبی در مرحله پر شدن دانه درصد پوشش سبز، تعداد برگ‌های بالای بلال، طول بلال، عمق دانه، تعداد دانه در ردیف و وزن هزار دانه همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دادند. تأثیر مقادیر مختلف آب بر تغییر همبستگی صفات با عملکرد دانه ذرت (Pourmeidani et al., 1998; Jafari et al., 2009; Momeni and Monirifar, 2012)، عملکرد دانه آفتابگردان

گزینش منفی برای درصد چوب بلال، ضخامت دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل در هر وضعیت از دسترسی ذرت به نیتروژن منجر به بهبود عملکرد دانه خواهد شد.

جدول ۵- اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات بر عملکرد دانه در سطوح متفاوت آب و نیتروژن
Table 5- Direct and indirect effects of traits on grain yield in different water and nitrogen levels

	صفات Traits	اثرات مستقیم	اثرات غیر مستقیم Indirect effect				همبستگی Correlation
			X1	X2	X3	X4	
I _{120%}	100 grain weight (X1)	وزن صد دانه	0.551	---	0.407		0.959**
	Grain.row ⁻¹ (X2)	تعداد دانه در ردیف	0.466	0.482	---		0.948**
Residual=0.173							
I _{100%}	100 grain weight (X1)	وزن صد دانه	0.635	---	0.310		0.945**
	Grain.row ⁻¹ (X2)	تعداد دانه در ردیف	0.412	0.477	---		0.889**
Residual=0.183							
I _{80%}	100 grain weight (X1)	وزن صد دانه	0.871	---	0.115		0.986**
	Plant height (X2)	ارتفاع بوته	0.179	0.564	---		0.741**
Residual=0.090							
I _{60%}	Grain depth (X1)	عمق دانه	-0.874	---	-0.298	0.067	-0.947**
		فاصله گرده‌افشانی تا	-0.578	-0.451	---	0.037	-0.712*
	Grain.row ⁻¹ (X3)	تعداد دانه در ردیف	0.191	-0.308	-0.112	---	-0.187 ^{ns}
	Planting to anthesis (X4)	کاشت تا گرده‌افشانی	-0.295	0.468	0.549	-0.027	0.695 ^{ns}
Residual=0.018							
N _{40%}	Grain.row ⁻¹ (X1)	تعداد دانه در ردیف	0.987				0.987**
N _{70%}	Total dry weight (X1)	وزن خشک کل	0.559	---	0.339	0.081	0.979**
	Harvest index (X2)	شاخص برداشت	0.377	0.503	---	0.087	0.968**
	100 grain weight (X3)	وزن صد دانه	0.096	0.467	0.340	---	0.904**
Residual=0.018							
N _{100%}	Harvest index (X1)	شاخص برداشت	0.520	---	0.443		0.968**
	Total dry weight (X2)	وزن خشک کل	0.515	0.448	---		0.979**
Residual=0.052							
N _{140%}	Harvest index (X1)	شاخص برداشت	0.458	---	0.461	0.073	0.992**
	Total dry weight (X2)	وزن خشک کل	0.477	0.443	---	0.068	0.988**
	Grain.row ⁻¹ (X3)	تعداد دانه در ردیف	0.088	0.381	0.369	---	0.838**
Residual=0.018							

** Significant at 1% level.

** معنی‌دار در سطح یک درصد.

همبستگی مثبت وزن خشک کل و شاخص برداشت با عملکرد دانه ذرت گزارش کردند.

همبستگی منفی و معنی‌دار فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل در تمام سطوح آب و نیتروژن مشاهده شد. با توجه به این که در گیاه ذرت آغاز آزاد شدن دانه‌های گرده از گل‌های تاجی چند روز زودتر از آمادگی کاکل‌ها برای تلقیح اتفاق می‌افتد و کاکل‌ها بعد از ظاهر شدن تنها تا هفت روز آمادگی دریافت دانه گرده را دارند (Lauer, 2006)، بنابراین در صورت کاهش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل به دلیل همزمانی بیشتر بین ریزش دانه‌های گرده با ظهور کاکل‌ها احتمال باروری افزایش می‌یابد (Ghobadi et al., 2017). چن و دای

وجود همبستگی مثبت بین تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک با عملکرد دانه به دلیل زمان بیشتر برای انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌ای به دانه‌ها است که با نتایج محمدی (Mohammadi, 2014) تطابق دارد. همبستگی مثبت و معنی‌دار وزن خشک کل با عملکرد دانه بیان‌گر تابعیت عملکرد دانه از ماده خشک تجمع یافته در بافت‌های مختلف گیاه است. همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص برداشت با عملکرد دانه در اکثر شرایط مورد بررسی نیز نشان می‌دهد که همراه با افزایش عملکرد دانه، نسبت عملکرد دانه به وزن خشک کل افزایش یافته است. دویر و همکاران (Dwyer et al., 1991) و رفیعی و همکاران (Rafiee et al., 2005) نتایج مشابهی در رابطه با

دانه را توجیه نمودند. با اعمال تنش کم آبی صفات فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، عمق دانه و طول گل‌تاجی وارد مدل رگرسیونی شدند و ۸۳ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. در مطالعه فاطمی و همکاران (Fatemi *et al.*, 2006) فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل و وزن هزار دانه با ضریب تبیین ۶۷/۷ درصد مدل رگرسیونی را تشکیل دادند.

تجزیه علیت

در شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، صفات وزن صد دانه و تعداد دانه در ردیف علاوه بر اثرات مستقیم بالا بر عملکرد دانه، دارای اثرات غیر مستقیم قابل توجهی از طریق یکدیگر بر عملکرد دانه بودند. در نتیجه تلاش برای بهبود هر یک از آن‌ها باعث افزایش دیگری می‌شود. در ضمن این صفات دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه بودند. بنابراین همبستگی‌های ساده رابطه واقعی را نشان داده و در شرایط بدون تنش کم آبی گزینش بر اساس این صفات برای افزایش عملکرد دانه مؤثر خواهد بود. یزدان‌دوست همدانی و رضایی (Yazdandoost Hamedani and Rezai, 2001) نیز اثرات مستقیم مثبت وزن صد دانه و تعداد دانه در بلال و اثرات غیر مستقیم مثبت آن‌ها از طریق یکدیگر بر عملکرد دانه را گزارش کردند. در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، اثر مستقیم بالای وزن صد دانه و اثر غیر مستقیم ارتفاع بوته از طریق آن بر عملکرد دانه مشاهده شد. بر این اساس انتخاب برای وزن صد دانه بیشتر، در شرایط تنش ملایم کم آبی منجر به افزایش ارتفاع بوته و عملکرد دانه خواهد شد. نتایج تجزیه علیت در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی در تأیید نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که گزینش مستقیم برای عمق دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل کمتر به همراه تعداد روز تا گرده‌افشانی بیشتر مناسب خواهد بود. از طرفی با توجه به همبستگی منفی تعداد دانه در ردیف با عملکرد دانه و مثبت بودن اثر مستقیم آن، در شرایط تنش شدید کم آبی باید اثرات غیر مستقیم تعداد دانه در ردیف از طریق سایر صفات نیز به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار گیرد.

در رابطه با سطوح نیتروژن، در شرایط تأمین ۴۰ درصد نیاز گیاه، تعداد دانه در ردیف اثر مستقیم بالایی بر عملکرد دانه داشت. در شرایط تأمین ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ درصد نیاز نیتروژن، صفات وزن خشک کل و شاخص برداشت علاوه بر اثرات مستقیم نسبتاً بالا بر عملکرد دانه، اثر غیر مستقیم بالایی بر یکدیگر داشتند. از طرفی علی‌رغم اثر مستقیم ناچیز صفات وزن صد دانه و تعداد دانه در ردیف بر عملکرد دانه در برخی از سطوح نیتروژن، اثر غیر مستقیم آن‌ها از طریق وزن خشک کل و شاخص برداشت قابل توجه بود. بنابراین این صفات می‌توانند به‌عنوان معیار گزینشی مد نظر قرار گیرند. به‌طور مشابه در مطالعه کردی و همکاران (Kordi *et al.*, 2016) با وجود اثر مستقیم اندک صفات وزن چهارصد دانه و تعداد دانه در ردیف بر عملکرد دانه،

(Chen and Dai, 1996) گزینش برای فاصله کوتاه بین گرده‌افشانی و ظهور کاکل برای تحمل به تنش کم آبی را پیشنهاد دادند. کان و لی (Qun and Li, 1991) عنوان کردند که جهت اصلاح ذرت برای افزایش عملکرد دانه باید بر کاهش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل و افزایش طول دوره پر شدن دانه تأکید کرد. جعفری و همکاران (Jafari *et al.*, 2009) نیز همبستگی منفی و معنی‌دار فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل با عملکرد دانه را در شرایط تنش کم آبی مشاهده کردند.

مشابه با نتایج این مطالعه، محققین همبستگی مثبت بین صفات طول بلال (Gautam *et al.*, 1999; Fatemi *et al.*, 2006)، قطر بلال (Kordi *et al.*, 2016)، ارتفاع بوته (Sadek *et al.*, 2006) اجزای عملکرد (Croos *et al.*, 1991; Fatemi *et al.*, 2006; Jafari *et al.*, 2009; Kordi *et al.*, 2016) و اندازه دانه (Agrama, 1996) با عملکرد دانه را گزارش کردند.

رگرسیون گام به گام

مقایسه ضرایب رگرسیونی وارد شده به مدل‌ها با ضرایب همبستگی نشان‌دهنده مطابقت نتایج تجزیه رگرسیونی با تجزیه همبستگی در بیشتر شرایط مورد بررسی است. به این معنی که به استثنای شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، در سایر سطوح آبیاری و نیتروژن تمام صفات وارد شده به مدل‌های رگرسیونی، با عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار داشتند. از طرفی مشابه با نتایج تجزیه همبستگی، نتایج تجزیه رگرسیون نیز نشان داد که تأثیر صفات بر عملکرد دانه تا حدودی تحت تأثیر شرایط محیطی می‌باشد.

با توجه به نتایج، در شرایط تأمین ۱۲۰، ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی وزن صد دانه به‌عنوان اولین متغیر وارد شده به مدل، درصد بالایی از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد. بنابراین این صفت در شرایط بدون تنش کم آبی و تنش ملایم کم آبی، می‌تواند به‌عنوان مؤثرترین صفت در افزایش عملکرد دانه معرفی شود. در شرایط تنش شدید کم آبی، عمق دانه بیشترین سهم را در توجیه تغییرات عملکرد دانه داشت. در رابطه با سطوح نیتروژن، در شرایط تأمین ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ درصد نیاز گیاه، صفات شاخص برداشت و وزن خشک کل که درصد قابل توجهی از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند به‌عنوان مؤثرترین صفات تعیین‌کننده عملکرد دانه به‌شمار می‌آیند. در صورت کمبود شدید نیتروژن تعداد دانه در ردیف بر عملکرد دانه مؤثر خواهد بود.

جعفری و همکاران (Jafari *et al.*, 2009) با تجزیه رگرسیونی عملکرد دانه ذرت به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل گزارش کردند که در شرایط آبیاری مطلوب صفات تعداد روز تا ظهور کاکل، تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف در بلال و سطح برگ پرچم در مجموع ۹۲ درصد از کل تغییرات عملکرد

این رو برای گزینش ارقام پر عملکرد و مناسب برای سطوح مختلف آب و نیتروژن باید از صفات خاصی بهره برد تا به ارقامی با عملکرد بالا دست یافت. در تمام شرایط مورد بررسی، صفات وارد شده به مدل‌های رگرسیونی بیش از ۹۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. از طرفی با توجه به این که این صفات در اکثر شرایط بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند، می‌توان گفت که تجزیه همبستگی رابطه واقعی بین صفات با عملکرد دانه را نشان داده است. بر اساس نتایج تجزیه علیت، در شرایط بیش آبیاری و آبیاری کامل، صفات وزن صد دانه و تعداد دانه در ردیف و در شرایط تنش ملایم کم آبی، وزن صد دانه و ارتفاع بوته به دلیل اثرات مستقیم قابل توجه و اثرات غیر مستقیم آن‌ها از طریق یکدیگر بر عملکرد دانه سهم به‌سزایی در انتخاب جهت افزایش عملکرد به خود اختصاص می‌دهند. در شرایط تنش شدید کم آبی گزینش مستقیم برای عمق دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل کمتر به همراه تعداد روز تا گرده‌افشانی بیشتر مناسب خواهد بود. به استثنای کمبود شدید نیتروژن، در سایر سطوح نیتروژن انتخاب بر اساس وزن خشک کل و شاخص برداشت مفید خواهد بود. همچنین صفات تعداد دانه در ردیف و وزن صد دانه نیز به دلیل اثر غیر مستقیم بالای آن‌ها بر عملکرد دانه در سطوح مختلف نیتروژن باید مورد توجه قرار گیرند. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد دانه ذرت ویژگی پیچیده‌ای است و برای دستیابی به تولید بیشتر در شرایط محیطی مورد نظر، باید به روابط بین صفات توجه شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات جناب آقای دکتر هوشمند صفری که در انجام مراحل مختلف این پژوهش همکاری داشتند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

به دلیل اثرات غیر مستقیم بالای آن‌ها از طریق سایر صفات، همبستگی این صفات با عملکرد دانه بالا بود.

احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2000) با توجه به بالا بودن اثر مستقیم تعداد دانه در ردیف و قطر بلال بر عملکرد دانه و اثرات غیر مستقیم آن‌ها بر یکدیگر در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم آبی، اهمیت افزایش عملکرد دانه از طریق این صفات را گزارش کردند. به گزارش زادتوت آغاج و همکاران (Zadtot Aghaj et al., 2000) در شرایط بدون تنش کم آبی وزن هزار دانه و طول بلال و در شرایط تنش کم آبی وزن هزار دانه، درصد پوشش سبز و طول بلال دارای اثرات مستقیم و مثبت و ارتفاع بوته دارای اثر مستقیم و منفی بر عملکرد دانه بود. نتایج تجزیه علیت در مطالعه پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad et al., 2009) نشان داد که طول بلال بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه می‌گذارد. به علاوه سایر صفات مؤثر بر عملکرد دانه نیز بیشترین تأثیر غیر مستقیم خود را از طریق طول بلال روی عملکرد دانه گذاشتند. در مطالعه کردی و همکاران (Kordi et al., 2016) در روش محلول‌پاشی اوره قطر بلال، ارتفاع بوته و تعداد دانه در ردیف و در روش مصرف خاکی اوره قطر بلال و وزن بلال بیشترین اثرات مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه دارا بودند. وجود تفاوت بین نتایج این تحقیق با نتایج سایر مطالعه‌ها را می‌توان به متفاوت بودن رقم، شرایط محیطی و مدیریت‌های زراعی نسبت داد. چرا که اهمیت نسبی صفات مختلف در تعیین عملکرد دانه تحت تأثیر این عوامل قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج تجزیه همبستگی، رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت در شرایط مورد بررسی نشان داد که روابط صفات با عملکرد دانه تحت تأثیر وضعیت دسترسی به آب و نیتروژن قرار می‌گیرد. از

References

1. Agrama, H. A. S. 1996. Sequential path analysis of grain yield and it's components in maize. *Plant Breeding* 115: 343-346.
2. Ahmadi, J., Zeinali, H., Rostami, M. A., and Chogun, R. 2000. Study of drought resistance in commercially late-maturing dent corn hybrids. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 31 (4): 891-907. (in Persian with English abstract).
3. Alizadeh, A., Vazifeh Doost, M., Kamali, Gh., Bastani, Kh., Mortazavi, A., and Izadi, A. 2002. Software for optimizing pattern of agriculture water use AWAT.
4. Alizadeh Oghyanous, P., Azari, A., and Salimi, M. 2008. Study the reaction of grain yield maize lines and hybrids on moisture stress and nitrogen fertilizer interaction. *Proceeding of 1st Environmental Tensions in Agricultural Science Conference*. February 4-5, Birjand, Iran. (in Persian with English abstract).
5. Amiri, S., Noormohamadi, S., Jafari, A. A., and Chugan, R. 2009. Correlation, regression and path analysis for grain yield and yield components on early maturing hybrids of grain corn. *Journal of Plant Production* 16 (2): 99-112.
6. Asghari, M., and Hanson, R. G. 1984. Nitrogen, climate and previous crop effect on corn yield and grain N. *Agronomy Journal* 76: 537-542.
7. Chen, J., and Dai, J. 1996. Effect of drought on photosynthesis and grain yield of corn hybrids with different drought tolerance. *Acta Agronomica Sinica* 22 (6): 257-765.

8. Croos, H. Z. 1991. Leaf expansion rate effects on yield and yield components in early maturing maize. *Crop Science* 31: 579-583.
9. Darvishzadeh, R., Maleki, H. H., and Sarrafi, A. 2011. Path analysis of the relationships between yield and some related traits in diallel population of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water stressed conditions. *Australian Journal of Crop Science* 5 (6): 674-680.
10. Dawari, N. H., and Luthra, O. P. 1991. Character association studies under high and low environments in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indiana Journal of Agricultural Research* 25: 515-518.
11. Devi, I. S., Muhammad, S., and Mohammed, S. 2001. Character association and path coefficient analysis of grain yield and yield components in double cross of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Crop Research Hisar* 21 (3): 335-359.
12. Dewey, K. D., and Lu, K. H. 1959. A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. *Journal of Agronomy* 51: 515-520.
13. Dwyer, L. M., Hamilton, R. I., Hayhoe, H. N., and Royds, W. 1991. Analysis of biological traits contributing to grain yield of short-to mid-season corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Canadian Journal of Plant Science* 71: 535-541.
14. Falconer, D. S., and Mackay, T. F. C. 1996. Introduction to quantitative genetics. 4th ed. Longmans Green, Harlow, Essex, UK.
15. Fatemi, R., Kahrarian, B., Ghanbary, A., and Valizadeh, M. 2006. The evaluation of different irrigation regims and water requirement on yield and yield components of corn. *Journal of Agricultural Sciences* 1: 133-141.
16. Gautam, A. S., Mittal, R. K., and Bhandari, J. C. 1999. Correlations and path analysis in popcorn (*Zea mays* Everta.). *Annals of Biology Ludhiana* 15 (2): 193-196.
17. Ghobadi, R., Ghobadi, M., Mondani, F., Jalali Honarmand, S., and Farhadi Bansooleh, B. 2017. Effect of irrigation and nitrogen interactions on phenologic characteristics and growth indices of seed corn. *Journal of Plant Process and Function* 6 (21): 349-368.
18. Griffiths, D. J. 1995. Breeding for higher seed yields from herbage varieties. *Journal of the National Institute of Agricultural Botany* 10: 320-331.
19. Hunter, R. B. 1980. Increased leaf area (source) and yield of maize in short-season areas. *Crop Science* 20: 571-574.
20. Jafari, A., Paknejad, F., and Nasri, M. 2009. Evaluating causal relations in grain yield of corn hybrids under normal soil moisture and drought stress condition. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding* 5 (2): 85-96. (in Persian with English abstract).
21. Jafarnodeh, S., Sheikh, F., and Soltani, A. 2017. Identification of plant characteristics related to seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using regression models. *Iranian Journal of Crop Sciences* 19 (3): 208-219. (in Persian with English abstract).
22. Kalla, V., Kumar, R., and Basandrai, A. K. 2001. Combining ability analysis and gene action estimates of yield and yield contributing characters in maize. *Journal of Crop Research Hisar* 22: 102-106.
23. Kordi, S., Daneshvar, M., Sayyahfar, M., and Shah Karami, Gh. 2016. Study of correlation and path analysis of yield, yield components and some morphological traits in corn hybrids under different fertilizer application methods. *Agronomy Journal* 111: 66-74. (in Persian with English abstract).
24. Kumar, V., Nandan, R., Srivastava, K., Sharma, S. K., Kumar, R., and Kumar, A. 2013. Genetic parameters and correlation study for yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Archives* 13 (1): 463-467.
25. Lauer, J. 2006. Concerns about drought as corn pollination begins. University of Wisconsin, Agronomy department.
26. Mohammadi, S. 2014. The relationship between yield and its components in bread wheat under irrigation and terminal drought stress using multivariate statistical methods. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12 (1): 99-109.
27. Momeni, Y., and Monirifar, H. 2012. Effect of water deficit stress on yield and yield components in corn using path analysis. *Journal of Crop Ecophysiology* 6 (3): 339-352. (in Persian with English abstract).
28. Nemati Lafmajani, Z., Tabaei-Aghdaei, S. R., Lebaschi, M. H., Jafari, A. A., Najafi Ashtiani, A., and Daneshkhah, M. 2012. Path analysis of *Rosa damascena* Mill. Performance under different conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 27 (4): 561-572. (in Persian with English abstract).
29. Paknejad, F., Vazan, S., Golzardi, F., and Habibi, D. 2009. Investigation of traits correlations, regression and path analysis for yield and yield components of SC704 corn hybrid under different irrigation regimes and methods. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding* 5 (2): 97-116. (in Persian with English abstract).
30. Pourmeidani, H., Moghaddam, M., Chogan, R., and Peighambari, A. 1998. Investigating phenotypic and genotypic correlations and path analysis in early ripening corn hybrids in normal and drought stress conditions. 5th congress of agricultural sciences and plants breeding. August 31, Karaj, Iran. (in Persian with English abstract).
31. Qun, T. C., and Li, Z. G. 1991. Studies of the inheritance of kernel growth characters and their relation to yield characters in maize. *Acta Agronomica Sinica* 17 (3): 183-191.

32. Rafiee, M., Karimi, M., Nour-Mohammadi, G., and Nadian, H. A. 2005. Investigation of traits correlations and path analysis of corn (*Zea mays* L.) seed yield in different treatments of drought stress. *Agricultural Research* 4 (2): 33-48. (in Persian with English abstract).
33. Rafiq, M., Rafique, M., Hussain, A., and Altaf, M. 2010. Studies on the heritability, correlation and path analysis in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Research* 48: 35-38.
34. Rahimi, M., Ramezani, M., and Ozoni Davaji, A. 2016. Investigation of path and correlation analysis of pattern and plant densities effect on two rapeseed cultivars. *Journal of Crop Breeding* 8 (19): 218-227. (in Persian with English abstract).
35. Razi, H., and Assad, M. T. 1999. Comparison of selection criteria in normal and limited irrigation in sunflower. *Euphytica* 105: 83-90.
36. Sadek, S. E., Ahmed, M. A., and Abdel-Ganeey, H. M. 2006. Correlation and path coefficient analysis in five parents inbred lines and their six white maize (*Zea mays* L.) single crosses developed and grown Egypt. *Journal of Applied Sciences Research* 2 (3): 159-167.
37. Singh, M. 1990. Standard errors of the estimates of genotypic and phenotypic correlation. *Biometrics Report* 1/90. Computer service. Icarda, 7.pp.
38. Yazdandoost Hamedani, M., and Rezai, A. M. 2001. A study of morphological and physiological basis of corn yield through path analysis. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 32 (3): 671-680. (in Persian with English abstract).
39. Zadtot Aghaj, S., Kazemi Tabar, S. K., Amini, A., and Khalili, M. 2000. Study traits correlation and path analysis in corn late hybrids in normal and drought stress condition in grain filling stage. The 6th Crop Production and Breeding Congress. September 3-6, Babolsar, Iran. (in Persian with English abstract).
40. Zeid, I. M., and Semary, N. A. 2001. Response of two differentially drought tolerant varieties of maize to drought stress. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 4 (7): 779-784.



Study the Correlation and Path Analysis of Yield and its Related Traits of Maize under Different Water and Nitrogen Conditions

R. Ghobadi¹, M. Ghobadi^{2*}, S. Jalali Honarmand², B. Farhadi³, F. Mondani⁴

Received: 20-03-2018

Accepted: 03-11-2018

Introduction

Grain yield depends on genetic potential of plant. Environmental factors play an important role to achieve this potential. Inappropriate management of irrigation and nitrogen are main factors to reduce the maize yield. Better control of environmental effects in breeding programs can be achieved through indirect selection for traits that in addition to high heritability have a good correlation with yield and be less affected by environmental changes. This study was conducted to investigate the correlation and cause and effect relationships between some traits with yield of maize in different irrigation and nitrogen conditions.

Materials and Methods

This experiment was done during 2014-15 at Razi University, Kermanshah, Iran. The experiment was conducted as split plot. Main plot factor was four irrigation levels included supplying 120, 100, 80 and 60% water requirement ($I_{120\%}$, $I_{100\%}$, $I_{80\%}$ and $I_{60\%}$, respectively), and sub-plot factor included four nitrogen levels 40, 70, 100 and 140% ($N_{40\%}$, $N_{70\%}$, $N_{100\%}$ and $N_{140\%}$, respectively) of recommended amount based on the soil test. During growth period, the time of occurrence of growth stages were recorded and at harvest stage, yield, its components, ear size and grain dimensions were measured. Pearson correlation coefficients and stepwise regression analysis were determined using SPSS software. Direct and indirect effects of traits on grain yield were determined by path analysis using PATH2 software.

Results and Discussion

Results of correlation analysis in all irrigation conditions showed that the higher total dry weight and less interval of anthesis until silking are desirable. In addition, selection for 100 grain weight, number of days from planting until physiological maturity and harvest index in $I_{120\%}$, $I_{100\%}$ and $I_{80\%}$ would improve grain yield. Under $I_{60\%}$, negative selection for grain depth and number rows per ear can improve grain yield. Positive correlation between ear size, yield components, plant height, grain length, number of days from planting until physiological maturity and harvest index with grain yield and negative selection for cob percent, grain thickness and interval of anthesis until silking in all nitrogen levels would improve grain yield. Results of regression analysis under $I_{120\%}$, $I_{100\%}$ and $I_{80\%}$ showed that 100 grain weight explained a high percentage of grain yield changes. Under $I_{60\%}$, grain depth had the highest contribution to explaining grain yield changes. Under $N_{70\%}$, $N_{100\%}$ and $N_{140\%}$, harvest index and total dry weight that explain a significant percentage of total grain yield changes. In $N_{40\%}$, number of grain per row will be effective on grain yield. In $I_{120\%}$ and $I_{100\%}$, 100 grain weight and number grains per row, in addition to high direct effects on grain yield, had a significant indirect effect on grain yield through each other. In $I_{80\%}$ direct effect of 100 grain weight and indirect effect of plant height through it on grain yield were observed. In $I_{60\%}$ selection for grain depth, interval of anthesis until silking and days from planting until anthesis would be more appropriate. Due to negative correlation between grain number per row with grain yield and positive direct effect of it in $I_{60\%}$, the indirect effects of grain number per row should be considered. Regarding nitrogen levels, in $N_{40\%}$, grain number per row had a direct effect on grain yield. In $N_{70\%}$, $N_{100\%}$ and $N_{140\%}$, total dry weight and harvest index in addition to relatively high direct effects on grain yield, had an indirect effect on each other.

1- PhD Graduate of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Razi University, Kermanshah

2 and 4- Associate Professor and Assistant Professor respectively, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Razi University, Kermanshah

3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah

(* - Corresponding Author Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

Conclusions

In all environmental conditions, traits entered to regression models explained more than 95% of grain yield changes. Based on the results of path analysis, under $I_{120\%}$ and $I_{100\%}$ conditions, 100 grain weight and number of grains per row, in $I_{80\%}$, 100 grain weight and plant height, under severe deficit irrigation, grain depth and interval of anthesis until silking due to considerable direct and indirect effects on yield introduced as proper indices to improve grain yield. At all nitrogen levels, selection based on total dry weight and harvest index will be helpful. Number of grains per row and 100 grain weight should also be considered due to high indirect effects on grain yield at some nitrogen levels.

Keywords: Grain yield, Independent variable, Stepwise regression, Water deficit



تأثیر کود نیتروژن بر دریافت و کارایی استفاده از تابش در دو رقم کلزای بهاره

سید عطاله سیادت^{۱*}، ابوالفضل درخشان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲

چکیده

زیست‌توده گیاهی بالای سطح زمین را می‌توان به صورت حاصل ضرب تابش تجمعی دریافت شده (IPAR) توسط سایه‌انداز گیاهی و کارایی استفاده از تابش (RUE) بیان نمود. در این مطالعه تأثیر تیمارهای مصرف نیتروژن (N) بر IPAR و RUE دو رقم کلزای بهاره (Hyola 401 و دلگان) بررسی شد. آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. میزان مصرف N در هفت سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان عامل اصلی و نوع رقم کلزا در دو سطح به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که پاسخ زیست‌توده بالای سطح زمین به فراهمی N در هر دو رقم کلزای مطالعه شده به تغییر هردوی IPAR و RUE مربوط بود. کل IPAR تجمعی در طی دوره رشد در دو رقم Hyola 401 و دلگان در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار به ترتیب در حدود ۲۷ و ۳۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. در هر دو رقم کلزا، IPAR به شدت به LAI و LAD وابسته بود. به این معنی که، مصرف N با افزایش LAI و LAD منجر به افزایش IPAR شد. مصرف N تأثیری بر ضریب استهلاک نوری (K) سایه‌انداز گیاهی نداشت و این ضریب برای رقم Hyola 401 معادل 0.65 ± 0.02 و برای رقم دلگان معادل 0.73 ± 0.02 برآورد شد. بسته به فراهمی N، برآورد RUE برای رقم دلگان بین $2/02$ (تیمار شاهد) تا $3/25$ گرم بر مگاژول (۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار) و برای رقم Hyola 401 بین $1/86$ (تیمار شاهد) تا $3/62$ گرم بر مگاژول (۳۰۰ کیلوگرم N در هکتار) متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: دوام سطح برگ، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، ضریب استهلاک نور، کسر تابش دریافت شده

مقدمه

طول دوره رشد گیاه زراعی، کل تابش خورشیدی رسیده (IGR^۶) و کسر تابش دریافت شده توسط سایه‌انداز گیاهی در هر روز (FIR^۷) بستگی دارد (Sandana et al., 2012). طول چرخه رشد گیاه زراعی تحت کنترل ژنوتیپ و عوامل محیطی (به طور عمده دما و دوره نوری) است (Soltani et al., 2006). در واقع، محدودیت‌های خاک مانند کمبود عناصر غذایی تأثیر جزئی بر طول چرخه رشد گیاه زراعی نشان داده‌اند (Abeledo et al., 2003; Sandana and Pinochet, 2011). شدت تابش خورشیدی در یک منطقه به نسبت ثابت است و از آن می‌توان به عنوان منبعی نام برد که به طور کارآمدتری نسبت به سایر منابع مصرفی بر تولید گیاهان زراعی تأثیرگذار است. تشعشع رسیده به بالای سایه‌انداز یا به جامعه گیاهی برخورد کرده و توسط آن دریافت می‌شود و یا از آن عبور کرده و به سطح زمین می‌رسد. تشعشع دریافت شده نیز یا توسط سایه‌انداز گیاهی جذب می‌شود یا به آن برخورد کرده و منعکس می‌شود. FIR به شاخص سطح برگ (LAI) و ضریب استهلاک نوری (K)^۸ سایه‌انداز گیاهی بستگی دارد (Massignam et al., 2009). مطالعات متعدد در مورد گیاهان زراعی

تجمع زیست‌توده گیاه زراعی به طور مستقیم به میزان تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده (IPAR^۳) توسط سایه‌انداز گیاهی در طی دوره رشد وابسته است (Sandana et al., 2012). شیب این رابطه نشان‌دهنده کارایی استفاده از تابش (RUE^۴) است که به عنوان زیست‌توده تولید شده در واحد کل IPAR یا کل تابش خورشیدی دریافت شده (IR^۵) تعریف می‌شود (Sinclair and Muchow, 1999). بنابراین، زیست‌توده بالای سطح زمین (گرم در متر مربع) را می‌توان به صورت حاصل ضرب IR تجمعی (یا IPAR تجمعی) در طول چرخه رشد گیاه زراعی (مگاژول بر متر مربع) و RUE (گرم بر مگاژول) بیان نمود (Sandana and Pinochet, 2011). مقدار IR به

۱- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲- دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

*- نویسنده مسئول: (Email: seyedatasiadat@asnrukh.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v17i2.72882

3- Intercepted photosynthetically active radiation

4- Radiation use efficiency

5- Intercepted solar radiation

6- Incident solar (global) radiation

7- Fraction of intercepted radiation

8- Light extinction coefficient

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای: این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در شهر ملائانی اجرا شد. شهر ملائانی در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۳ متر از سطح دریا واقع شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. میزان مصرف N در هفت سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل اصلی و نوع رقم کلزا در دو سطح (Hyola 401 و دلگان) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. Hyola 401 یک هیبرید وارداتی از کشور استرالیا است و دلگان رقمی آزاد گرده‌افشان است که برای کشت در مناطق گرم جنوب کشور اصلاح شده است. این دو رقم کلزای بهاره تفاوت‌های کوچک‌تری از نظر حداکثر سرعت ذاتی نمو، ضریب حساسیت به فتوپریود و فتوپریود بحرانی و تفاوت‌های بزرگ‌تری از نظر شاخص برداشت، عملکرد دانه و خصوصیات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته و پتانسیل تولید گره (برگ حقیقی) روی ساقه اصلی دارند. با توجه به اینکه نوع پاسخ به طول روز در هر دو رقم از نوع روزبلند کمی است و هر دو رقم فتوپریود بحرانی کوچکی دارند جزء ارقام زودرس طبقه‌بندی می‌شوند و از این رو برای کشت پاییزه در شرایط خوزستان مناسب می‌باشند. انتخاب این دو رقم بر مبنای مطابقت بیشتر نیازهای اکولوژیک هر یک از مراحل نمو فنولوژیک آن‌ها با شرایط محیطی خوزستان در کشت پاییزه (پاییز و زمستان و اوایل بهار) صورت پذیرفت تا هر دو رقم قادر باشند پتانسیل تولید خود را در تاریخ کاشت انتخاب‌شده نشان دهند. بعد از انجام شخم، کود پایه مورد نیاز (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم) برحسب نتایج تجزیه مواد غذایی خاک مصرف شد (جدول ۱). آماده‌سازی زمین با دو مرتبه دیسک عمود بر هم، ایجاد نهر و تسطیح کرت‌ها تکمیل شد. سپس، دو رقم کلزا با تراکم ۲۵۰ بذر در متر مربع در تاریخ ۲۷ آبان در کرت‌های فرعی به طول ۲/۵ متر و عرض ۳ متر کشت شد. در هر تکرار آزمایش، بین کرت‌های فرعی یک متر و بین کرت‌های اصلی دو متر فاصله در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت کلزا معادل ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و کاشت بذرها با دست در عمق یک سانتی‌متری خاک در یک بستر بذر مسطح صورت گرفت. پس از سبز شدن و استقرار گیاهچه، بوته‌های اضافی تنک و تراکم کرت‌ها معادل ۸۰ بوته در متر مربع تنظیم شد. کود N (از منبع اوره) مورد نیاز برای هر یک از سطوح فاکتور کودی به چهار بخش تقسیم و یک بخش از آن در مرحله ۳-۲ برگی (۳ دی)، دو بخش از آن قبل از شروع ساقه رفتن (۲۵ دی) و یک بخش در مرحله شروع گلدهی

مختلف نشان داده است که کمبود نیتروژن (N) (Salvagiotti and Sandana, 2009; Miralles, 2008)، فسفر (P) (Salvagiotti and Miralles, 2008) یا سمیت آلومینیوم (Valle et al., 2009) میزان IR را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد. پاسخ IR به کمبود عناصر غذایی به‌طور عمده به تغییرات LAI مربوط می‌شود و تأثیر سطوح مختلف مصرف عناصر غذایی بر K اندک است و به‌طور معمول از آن صرف‌نظر می‌شود (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006; Salvagiotti and Miralles, 2008).

میزان RUE به ویژگی‌های گیاهی مانند ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها و کارایی تبدیل ماده خشک بستگی دارد (Soltani et al., 2006). بنابراین، عوامل تنش مانند خشکی و دماهای پایین (Jamieson et al., 1995)، فشار بخار (Kermanian et al., 2004)، دسترسی به عناصر غذایی (Plenet et al., 2000) و ترکیب بیوشیمیایی دانه‌ها (Soltani et al., 2006) می‌تواند میزان RUE را تحت تأثیر قرار دهند. در میان همه عناصر غذایی، N بیشترین تأثیر را بر میزان RUE دارد (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006). سینکلر و هوری (Sinclair and Horie, 1989) نشان دادند که محتوای N برگ در واحد سطح برگ (یا N ویژه برگ) میزان RUE را در گیاهان زراعی مختلف تحت تأثیر قرار داد و این رابطه در میان گونه‌ها متفاوت بود. از آنجایی که RUE در محتوای بالای N برگ به اشباع می‌رسد و با کاهش محتوای N برگ به‌طور خطی کاهش می‌یابد (Sinclair and Horie, 1989)، افزایش مصرف N تا زمانی که N ویژه برگ به حد اشباع برسد، با افزایش RUE همراه است. با این حال، کاهش میزان RUE ممکن است در سطوح مصرف بسیار زیاد N رخ دهد (Olesen et al., 2000). مساینم و همکاران (Massignam et al., 2009) گزارش کردند که کاهش فراهمی N در ذرت و آفتابگردان از طریق کاهش هردوی FIR و RUE منجر به کاهش تولید ماده خشک شد. کاهش FIR به دلیل تأثیر فراهمی N بر LAI و کاهش RUE به دلیل کاهش N ویژه برگ بود (Massignam et al., 2009).

یکی از جنبه‌های بهبود بهره‌وری گیاه زراعی در چند دهه گذشته افزایش مصرف کودهای نیتروژن دار بوده است (Massignam et al., 2009). کاربرد N یکی از ورودی‌های کلیدی برای تولید محصول است که پتانسیل تولید کل ماده خشک گیاهی را از طریق تأثیر بر RUE، IPAR و یا هر دو تعیین می‌کند (Zhou et al., 2017). هدف از اجرای این آزمایش ارزیابی مقایسه‌ای دو رقم کلزای بهاره (Hyola 401 و دلگان) از نظر تأثیر میزان مصرف N بر دو عامل اکوفیزیولوژیک تعیین‌کننده تولید زیست‌توده یعنی IPAR و RUE بود.

وجین دستی حذف شدند. هیچ اثری از علائم بیماری‌های گیاهی در مزرعه وجود نداشت. علاوه بر این، به دلیل وجود نی (*Phragmites australis*) در حاشیه مزرعه و میزبانی آن هیچ خسارتی از شته مومی کلم (*Brevicoryne brassicae*) مشاهده نشد.

(۱۵ بهمن) به روش نواری به خاک اضافه شد. آزمایش در شرایط آبیاری بهینه انجام شد، به طوری که در طی دوره رشد گیاه از وقوع کمبود یا بیش بود آب در کرت‌های آزمایشی ممانعت شد. همچنین، آزمایش در شرایط عاری از تنش‌های زیستی حفظ شد. برای این منظور، علف‌های هرز در ابتدای فصل رشد گیاه زراعی در چند نوبت با

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil at the experiment site

نیتروژن	فسفر	پتاسیم	هدایت الکتریکی	سیلت	رس	شن
Nitrogen (%)	Phosphorus (mg kg ⁻¹)	Potassium (mg kg ⁻¹)	Electric conductivity (dS m ⁻¹)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
0.03	20.31	124.00	6.30	34	48	18

آزمایش اندازه‌گیری شد. میزان تابش خورشیدی رسیده در هر روز (DIGR) با استفاده از برنامه SRAD محاسبه گردید (Soltani et al., 2006). این برنامه شدت تابش خورشیدی روزانه را با استفاده از ساعات آفتابی و تابش برون زمین محاسبه می‌کند.

تجزیه داده‌ها: شاخص سطح برگ (LAI) کلزا در روزهای پس از کاشت (t) برای هر رقم در هر سطح از مصرف N با استفاده از مدل بتا (معادله ۲) پیش‌بینی شد (Yin et al., 2003):

$$LAI = LAI_{max} \times \left[\left(\frac{t_e - t}{t_e - t_m} \right) \times \left(\frac{t}{t_m} \right)^{\frac{t_m}{t_e - t_m}} \right]^{\delta} \quad (2)$$

که در این رابطه LAI_{max} ، شاخص سطح برگ بیشینه؛ t_m ، زمان وقوع LAI_{max} و t_e ، زمانی که LAI صفر می‌شود را نشان می‌دهد. دوام سطح برگ (LAD) با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد (Watson, 1947):

$$LAD = \sum \left[\left(\frac{LAI_1 + LAI_2}{2} \right) \times (t_2 - t_1) \right] \quad (3)$$

که در این رابطه t_1 و t_2 روزهای پس از کاشت در دو مرحله نمونه‌برداری متوالی و LAI_1 و LAI_2 میزان شاخص سطح برگ در آن دو مرحله نمونه‌برداری هستند. در هر رقم، تغییرات مقادیر محاسبه شده LAD در پاسخ به افزایش مصرف N با استفاده از یک رابطه کوآدراتیک توصیف شد. سرعت رشد محصول (CGR) برای هر رقم در هر سطح از مصرف N به عنوان شیب رگرسیون خطی بین میزان زیست‌توده گیاه زراعی در نمونه‌برداری‌های مربوط به فاز خطی رشد (داده‌های مربوط به نمونه‌برداری‌های تخریبی چهارم تا دهم) و زمان تجمعی برآورد شد (Sandana et al., 2012). ضریب استهلاک نوری (K) برای هر رقم با برازش معادله ۴ به داده‌های FIR مشاهده شده (معادله ۱) و LAI مشاهده شده از ابتدای دوره رشد تا زمان بسته شدن کامل سایه‌انداز برآورد شد (Justes et al., 2000):

$$FIR = 1 - \exp(-K \times LAI) \quad (4)$$

برای تعیین شاخص‌های رشد گیاه زراعی، ۱۲ مرحله نمونه‌برداری تخریبی به فاصله ۷ تا ۱۰ روز در طول فصل رشد کلزا انجام شد. در هر مرحله، با رعایت اثر حاشیه‌ای ۵ بوته از هر کرت آزمایشی برداشت شد. بلافاصله پس از نمونه‌برداری، تعداد برگ‌های سبز و برگ‌های زرد و افتاده روی ساقه اصلی هر یک از بوته‌ها شمارش و پهنک برگ‌های سبز از دم‌برگ آن جدا شد و سپس سطح پهنک برگ‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل WINAREA-UT-11) تعیین گردید. در مرحله رشد رویشی، وزن برگ و ساقه (ساقه + دم‌برگ) به طور جداگانه پس از خشک شدن در آونی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت اندازه‌گیری شد. پس از ظهور گل‌آذین، وزن خشک خورجین‌ها و دانه خورجین‌ها نیز به طور جداگانه پس از خشک شدن توزین شد. همچنین، پیش از هر مرحله نمونه‌برداری میزان دریافت تابش با استفاده از دستگاه لوکس‌متر (مدل LX-103 Light Meter) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، یک اندازه‌گیری شدت تابش در بالای سایه‌انداز، چهار اندازه‌گیری در زیر سایه‌انداز (۲ اندازه‌گیری بین ردیف‌های کاشت و ۲ اندازه‌گیری روی ردیف‌های کاشت) و اندازه‌گیری دیگری در بالای سایه‌انداز انجام گرفت. میزان تابش رسیده به کف و بالای سایه‌انداز با میانگین‌گیری از اندازه‌گیری‌ها محاسبه و مقادیر مشاهده شده کسر تابش دریافت شده (FIR) در هر کرت با استفاده از معادله ۱ تعیین شد:

$$FIR = 1 - \left(\frac{LBC}{LAC} \right) \quad (1)$$

که در این معادله LBC^1 ، تابش رسیده به پایین سایه‌انداز و LAC^2 ، تابش رسیده به بالای سایه‌انداز است. حساسیت لوکس‌متر مشابه چشم انسان می‌باشد، بنابراین FIR مشاهده شده با این دستگاه مشابه با اندازه‌گیری PAR است (Soltani et al., 2006). دماهای حداقل و حداکثر و تعداد ساعات آفتابی در یک ایستگاه هواشناسی استاندارد (کشت و صنعت دهخدا) واقع در چند کیلومتری محل اجرای

1- Light beneath canopy

2- Light above canopy

اطمینان ۹۵ درصد در برنامه Excel 2007 انجام شد. برای رسم گرافها نیز از نرم افزار SAS و رویه Sgplot استفاده شد.

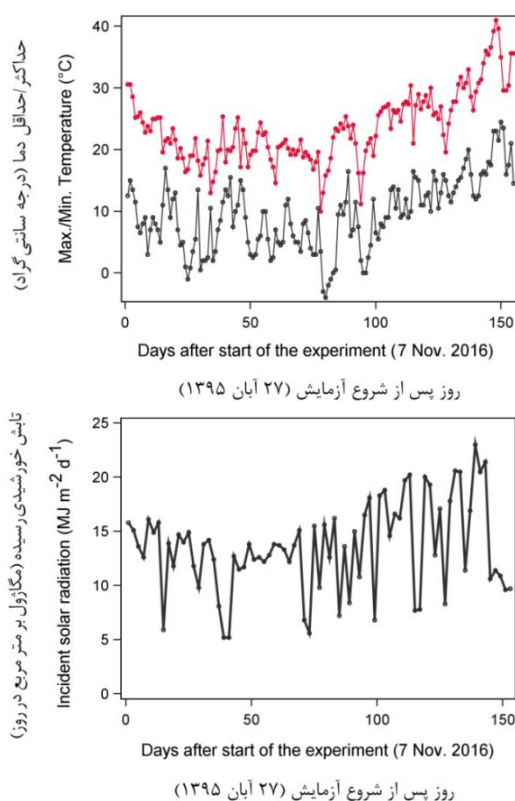
نتایج و بحث

متوسط دمای روزانه در طی دوره کاشت تا شروع مرحله گلدهی بر روی ساقه اصلی هر دو رقم کلزا (حدود ۸۵ روز پس از کاشت) از ۵/۰ تا ۲۲/۸ (به طور متوسط ۱۳/۶) درجه سانتی گراد و تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در هر روز (DIGR) بین ۵/۲ و ۱۶/۳ (به طور متوسط ۱۲/۰) مگاژول بر متر مربع در روز متغیر بود. متوسط دمای روزانه از گلدهی تا رسیدگی هر دو رقم (۱۵۵ روز پس از کاشت) از ۶/۶ تا ۳۲/۰ (به طور متوسط ۲۰/۱) درجه سانتی گراد و DIGR از ۶/۵ تا ۲۵/۸ (به طور متوسط ۱۵/۷) مگاژول بر متر مربع در روز متغیر بود. همچنین، کل تابش خورشیدی تجمعی رسیده به سطح زمین در طی چرخه رشد (CIGR) هر دو رقم کلزا معادل ۲۱۱۲/۲ مگاژول بر متر مربع بود (شکل ۱). از آنجایی که در حدود ۵۰ درصد از کل تابش خورشیدی که به سطح زمین می رسد در محدوده ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر قرار دارد، مجموع PAR رسیده به بالای سایه انداز گیاهی معادل ۱۰۵۶/۱ مگاژول بر متر مربع تعیین شد.

کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده در طول دوره رشد گیاه زراعی (IPAR) برای هر رقم و سطح مصرف N با استفاده از معادله ۵ محاسبه شد (Soltani et al., 2006):

$$IPAR = CIGR \times 0.5 \times FIR \quad (5)$$

که در این معادله CIGR، کل تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در طی چرخه رشد و ۰/۵، ضریبی برای تبدیل کل تابش خورشیدی رسیده به تابش فعال فتوسنتزی (PAR) است. FIR همان ۵ معادله همان FIR مشاهده شده است (معادله ۱) که از ابتدا تا انتهای فصل رشد اندازه گیری و تعیین شده است. در نهایت، کارایی استفاده از تابش (RUE) برای هر رقم در هر سطح مصرف N به عنوان شیب رگرسیون خطی بین زیست توده بالای سطح زمین در هر تاریخ نمونه برداری و IPAR تجمعی در آن تاریخ تعیین شد. از آنجایی که برآورد عرض از مبدأ خط رگرسیونی برای هیچ یک از سطوح مصرف N معنی دار نبود، این پارامتر حذف و رابطه $y=ax$ به این داده ها برازش داده شد. روابط رگرسیونی توصیف شده در بالا با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه 9.3) و رویه nlin به میانگین داده های هر تیمار آزمایشی برازش داده شد و مقایسه بین دو رقم و سطوح مصرف N بر اساس مقادیر خطای استاندارد برآورد پارامترها و با تعیین حدود

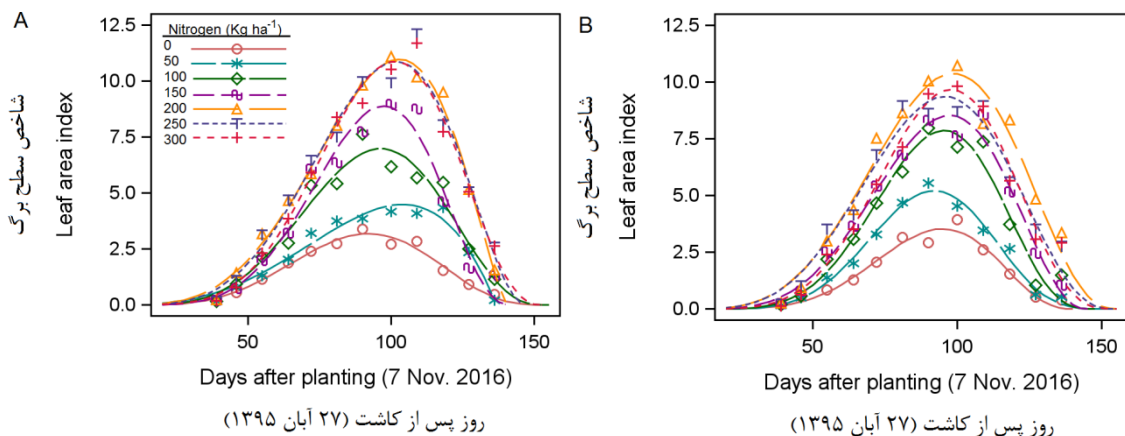


شکل ۱- دماهای حداقل و حداکثر روزانه و تابش خورشیدی رسیده در هر روز در طی چرخه رشد کلزا

Figure 1- Daily minimum and maximum temperatures and daily incident solar radiation during the growing cycle of canola

نظر برآورد LAI_{max} مشاهده نشد. برآورد LAI_{max} رقم Hyola 401 در این سطوح کودی به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد ($3/18 \pm 0/11$) یا مصرف ۵۰ ($4/49 \pm 0/20$)، ۱۰۰ ($6/98 \pm 0/35$) و ۱۵۰ کیلوگرم N در هکتار ($8/89 \pm 0/48$) بود. در رقم دلگان، برآورد LAI_{max} تیمار شاهد ($3/53 \pm 0/20$) به‌طور معنی‌داری کمتر از برآورد آن برای شرایط مصرف ۵۰ کیلوگرم N در هکتار ($5/22 \pm 0/19$) و برای این تیمار نیز به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر سطوح مصرف N بود. هرچند که در این رقم نیز افزایش مصرف N به افزایش LAI منجر شد، اما مقادیر خطای استاندارد برآوردها نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان سطوح مصرف ۱۰۰ ($7/87 \pm 0/43$)، ۱۵۰ ($8/53 \pm 0/33$) و ۲۵۰ کیلوگرم N در هکتار از نظر برآورد LAI_{max} وجود نداشت. علاوه بر این، بین دو رقم کلزای مطالعه شده در هیچ سطحی از مصرف N تفاوت معنی‌داری از نظر برآورد LAI_{max} مشاهده نشد (شکل ۲).

برآزش مدل بتا (معادله ۲) به تغییرات LAI دو رقم کلزای بهاره در روزهای پس از کاشت برای سطوح مختلف مصرف N در شکل ۲ ارائه شده است. بدون در نظر گرفتن مقدار مصرف LAI ، هر دو رقم با رشد گیاه و توسعه سطح برگ آن افزایش یافت و در مدت‌زمان کوتاهی پس از شروع گلدهی بر روی ساقه اصلی به حداکثر رسید (در حدود ۹۶ روز پس از کاشت در رقم دلگان و در حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت در رقم Hyola 401) و پس از آن تا زمان رسیدگی (حدود ۱۵۵ روز پس از کاشت) به دلیل پیری و ریزش برگ‌ها روندی نزولی نشان داد (شکل ۲). میزان مصرف N به‌طور معنی‌داری LAI_{max} هر دو رقم کلزای بهاره را تحت تأثیر قرار داد ($P < 0.05$). در هر دو رقم کلزای مطالعه شده، میان سطوح مصرف ۲۰۰ ($10/37 \pm 0/43$) برای رقم دلگان و $10/97 \pm 0/24$ برای رقم Hyola 401، $9/36 \pm 0/42$ برای رقم دلگان و $10/87 \pm 0/48$ برای رقم Hyola 401 و ۳۰۰ کیلوگرم N خالص در هکتار ($9/67 \pm 0/40$) برای رقم دلگان و $10/89 \pm 0/39$ برای رقم Hyola 401 اختلاف معنی‌داری از

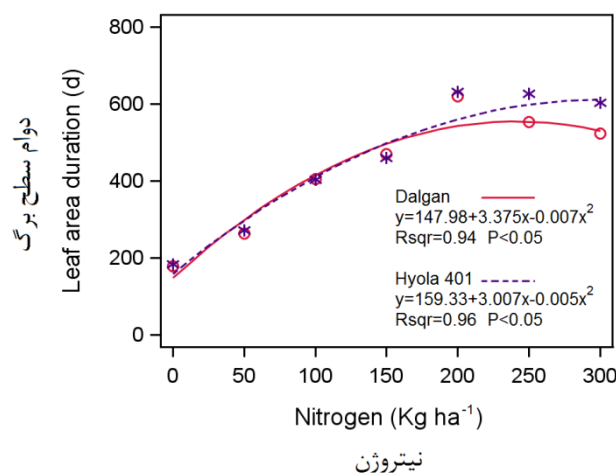


شکل ۲- تغییرات شاخص سطح برگ دو رقم کلزای بهاره Hyola 401 (A) و دلگان (B) در روزهای پس از کاشت در پاسخ به مصرف سطوح مختلف نیتروژن

Figure 2- Changes in leaf area index of two spring canola cultivars Hyola 401 (A) and Dalgan (B) in the days after planting in response to different levels of nitrogen consumption

LAD در پاسخ به افزایش مصرف N افزایش یافت اما در رقم دلگان حداکثر LAD ($554/79$ روز) با مصرف $241/07$ کیلوگرم N در هکتار به‌دست آمد و مقادیر N بیشتر از این حد منجر به کاهش LAD شد، درحالی‌که حداکثر LAD رقم Hyola 401 ($611/43$ روز) با مصرف $300/70$ کیلوگرم N در هکتار به‌دست آمد (شکل ۳).

رابطه کوآدراتیک به‌ترتیب در حدود ۹۶ و ۹۴ درصد از تغییرات LAD دو رقم کلزای Hyola 401 و دلگان در پاسخ به افزایش مصرف N را توجیه کرد (شکل ۳). بر اساس این رابطه، LAD رقم دلگان و Hyola 401 در شرایط بدون مصرف کود به‌ترتیب معادل $147/98$ ($20/76 \pm$) و $159/33$ ($29/09 \pm$) برآورد شد که از این نظر بین دو رقم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در هر دو رقم کلزا،

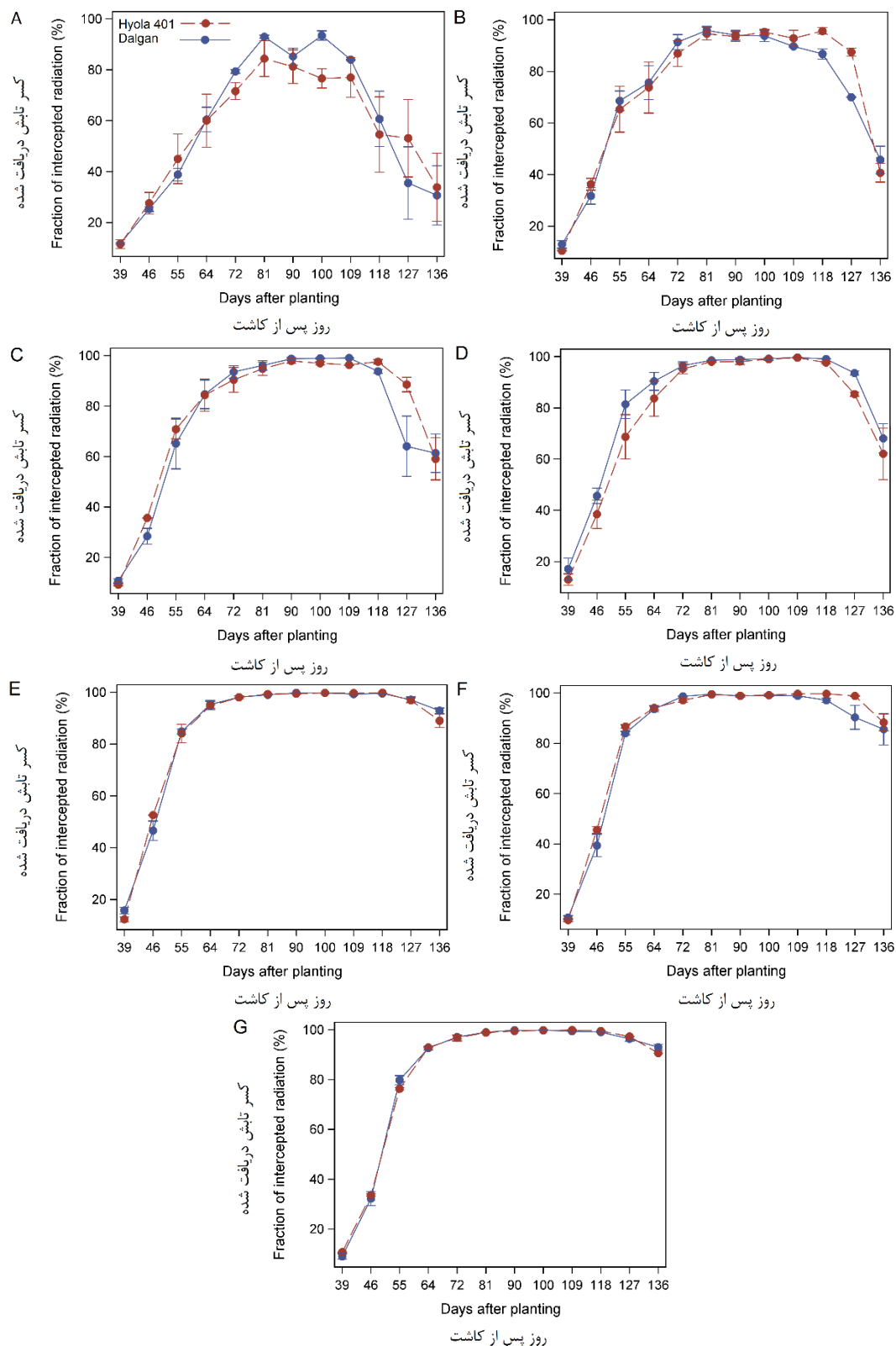


شکل ۳- تغییرات دوام سطح برگ دو رقم کلزای بهاره Hyola 401 و دلگان در پاسخ به افزایش مصرف نیتروژن
 Figure 3- Changes in leaf area duration of two spring canola cultivars Hyola 401 and Dalgan in response to increasing nitrogen consumption

معادل 0.65 ± 0.02 و برای رقم دلگان معادل 0.73 ± 0.02 برآورد شد.

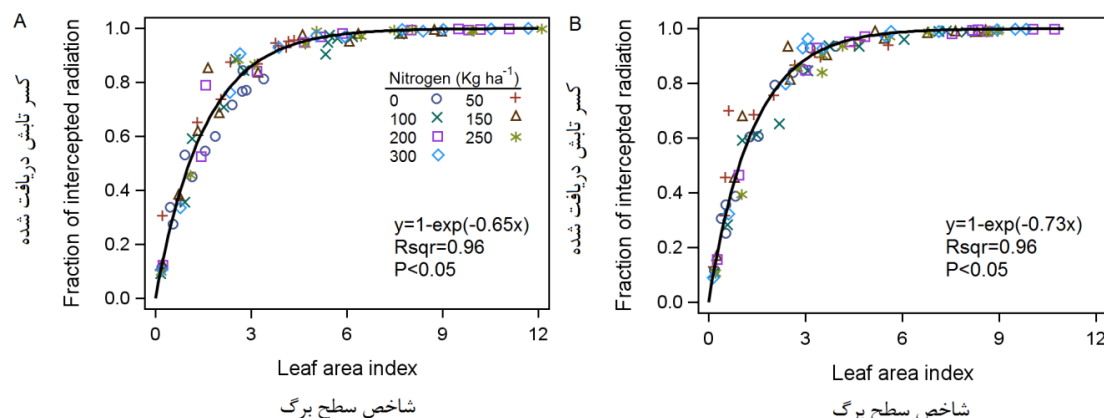
رابطه بین کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده در طول دوره رشد گیاه زراعی (IPAR) با LAI_{max} و LAD در هر دو رقم کلزای مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است. در هر دو رقم، همبستگی مثبت و معنی داری بین IPAR و LAI_{max} ($r=90$) برای رقم Hyola 401 ($r=0.98$ برای رقم دلگان) و بین IPAR و LAD ($r=92$) برای رقم Hyola 401 و ($r=0.99$ برای رقم دلگان) وجود داشت. بنابراین، در هر دو رقم IPAR به شدت به LAI_{max} و LAD وابسته بود. به این معنی که، مصرف N با افزایش LAI_{max} و LAD منجر به افزایش IPAR شده است. بسته به میزان مصرف N، زیست توده بالای سطح زمین در رقم Hyola 401 بین ۹۳۲ تا ۲۱۹۲ گرم در متر مربع و در رقم دلگان بین ۸۵۳ تا ۱۸۱۱ گرم در متر مربع متغیر بود. زیست توده بالای سطح زمین در هر دو رقم کلزای بهاره به شدت به سرعت رشد محصول (CGR) وابسته بود (شکل ۷A). در هر دو رقم کمترین میزان CGR در شرایط بدون مصرف کود ($15/68$ گرم بر متر مربع در روز برای رقم Hyola 401 و $15/58$ گرم بر متر مربع در روز برای رقم دلگان) و بیشترین میزان آن در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار (به ترتیب $34/93$ و $32/07$ گرم بر متر مربع در روز برای رقم Hyola 401 و دلگان) مشاهده شد. علاوه بر این، CGR به شدت به IPAR بستگی داشت (شکل ۷B).

مقادیر اندازه گیری شده کسر تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده (FIR) توسط سایه انداز دو رقم کلزا در روزهای پس از کاشت برای تیمارهای مختلف مصرف N در شکل ۴ ارائه شده است. روند کلی دریافت تابش توسط سایه انداز گیاهی در هر دو رقم مورد مطالعه در شرایط مصرف سطح معینی از N تقریباً مشابه بود. بدون در نظر گرفتن نوع رقم، تأثیر مصرف N بر میزان دریافت تابش در همه تاریخ های نمونه برداری به استثنای نمونه برداری اول (۳۹ روز پس از کاشت) معنی دار بود ($P<0.05$)، به طوری که مصرف مقادیر بالاتر N منجر به دریافت بیشتر PAR توسط سایه انداز گیاهی هر دو رقم شد. بیشترین درصد دریافت تابش در شرایط بدون مصرف کود پس از ۸۱ روز از کاشت مشاهده شد که این میزان به طور معنی داری کوچک تر از FIR مشاهده شده در سایر سطوح مصرف N بود. علاوه بر تکمیل کندتر پوشش سایه انداز و دریافت کمتر تابش در دوره ابتدایی رشد در شرایط مصرف سطوح کمتر N، در دوره انتهایی رشد نیز FIR در این تیمارها سریع تر و به میزان بیشتری کاهش یافت (شکل ۴). همبستگی مثبت و معنی داری ($P<0.05$) بین FIR و LAI در هر دو رقم کلزای Hyola 401 ($r=0.73$) و دلگان ($r=0.76$) وجود داشت. تأثیر تیمارهای N بر FIR به طور عمده مربوط به تغییر LAI بود و از این رو رابطه بین FIR و LAI برای هر رقم با استفاده از یک رابطه واحد توصیف شد (شکل ۵). بر این اساس، K برای رقم Hyola 401

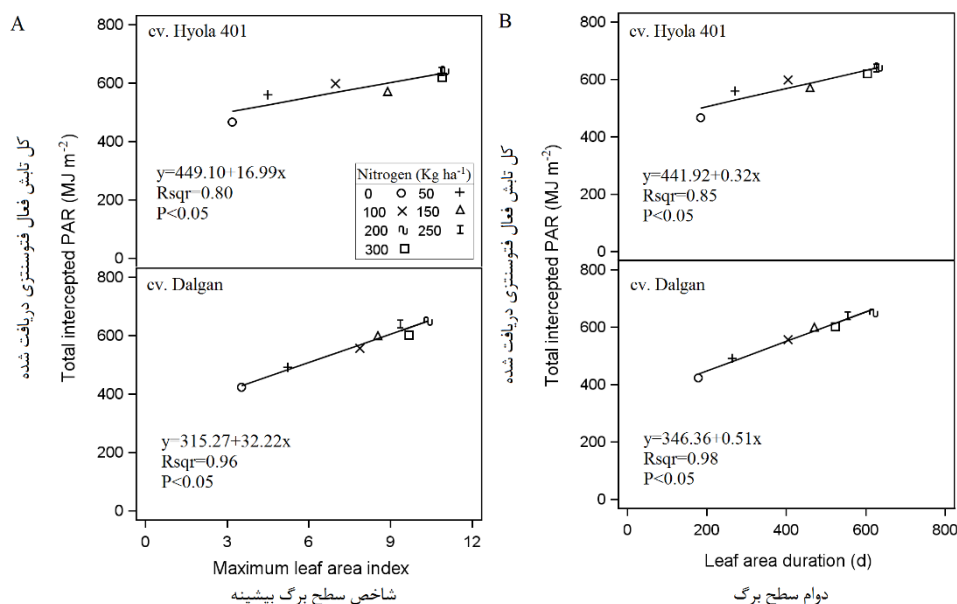


شکل ۴- کسر تابش دریافت شده در روزهای پس از کاشت برای دو رقم کلزا در تیمارهای مصرف صفر (A)، ۵۰ (B)، ۱۰۰ (C)، ۱۵۰ (D)، ۲۰۰ (E)، ۲۵۰ (F) و ۳۰۰ (G) کیلوگرم نیتروژن در هکتار

Figure 4- Fraction of intercepted radiation in the days after planting for two canola cultivars in treatments of consumption of 0 (A), 50 (B), 100 (C), 150 (D), 200 (E), 250 (F) and 300 (G) kg nitrogen ha⁻¹



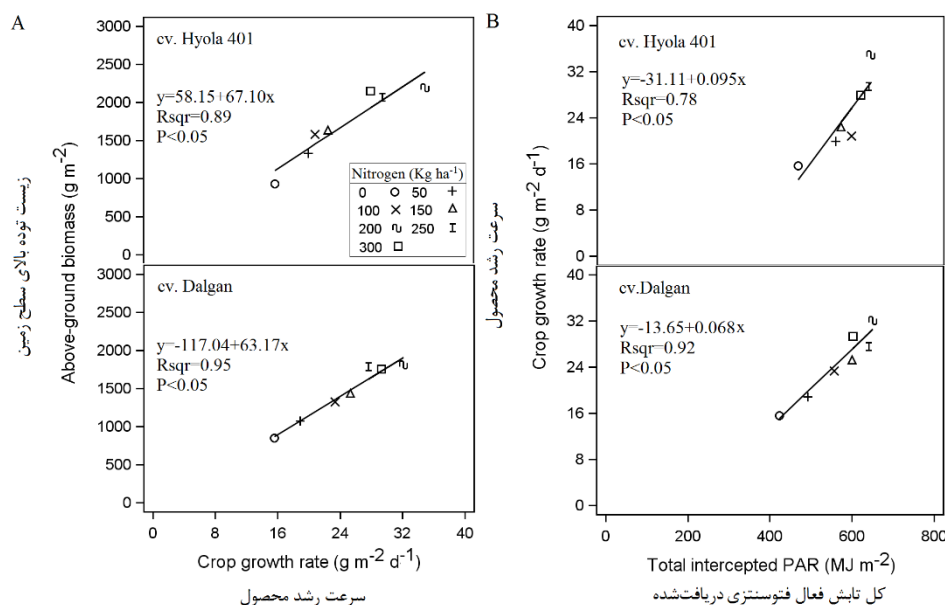
شکل ۵- رابطه بین کسر تابش دریافت شده و شاخص سطح برگ کلزای رقم Hyola 401 (A) و دلگان (B) در تیمارهای مختلف مصرف نیتروژن
Figure 5- Relationship between the fraction of intercepted radiation and the leaf area index of canola cvs. Hyola 401 (A) and Dalgan (B) in different treatments of nitrogen consumption



شکل ۶- رابطه بین کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده با شاخص سطح برگ پیشینه (A) و دوام سطح برگ (B) در دو رقم کلزای مطالعه شده
Figure 6- Relationship between the total intercepted photosynthetically active radiation and (A) maximum leaf area index and (B) leaf area duration for two canola cultivars

بود. بسته به میزان مصرف N، برآورد RUE برای رقم دلگان بین ۱/۸۶ تا ۲/۰۲ گرم بر مگاژول و برای رقم Hyola 401 بین ۱/۸۶ تا ۳/۶۲ گرم بر مگاژول متغیر بود (شکل ۸). با این حال، بین دو رقم کلزای مورد مطالعه تنها در شرایط مصرف ۳۰۰ کیلوگرم N در هکتار اختلاف معنی داری از نظر برآورد RUE وجود داشت. در رقم Hyola 401، افزایش مصرف N تا سطح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش معنی دار RUE شد اما میان سطوح مصرف ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم N در هکتار تفاوت معنی داری از این نظر وجود نداشت.

صرف نظر از میزان مصرف N، تجمع زیست توده بالای سطح زمین به شدت و به طور معنی داری ($P < 0.01$) به IPAR تجمعی توسط گیاه زراعی در طول چرخه رشد وابسته بود (شکل ۸). کل IPAR تجمعی در طی دوره رشد در دو رقم Hyola 401 و دلگان در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار به ترتیب در حدود ۲۷ و ۳۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. با این حال، افزایش زیست توده بالای سطح زمین در این تیمار نسبت به شرایط عدم مصرف N در رقم Hyola 401 در حدود ۵۹ درصد و در رقم دلگان در حدود ۵۳ درصد



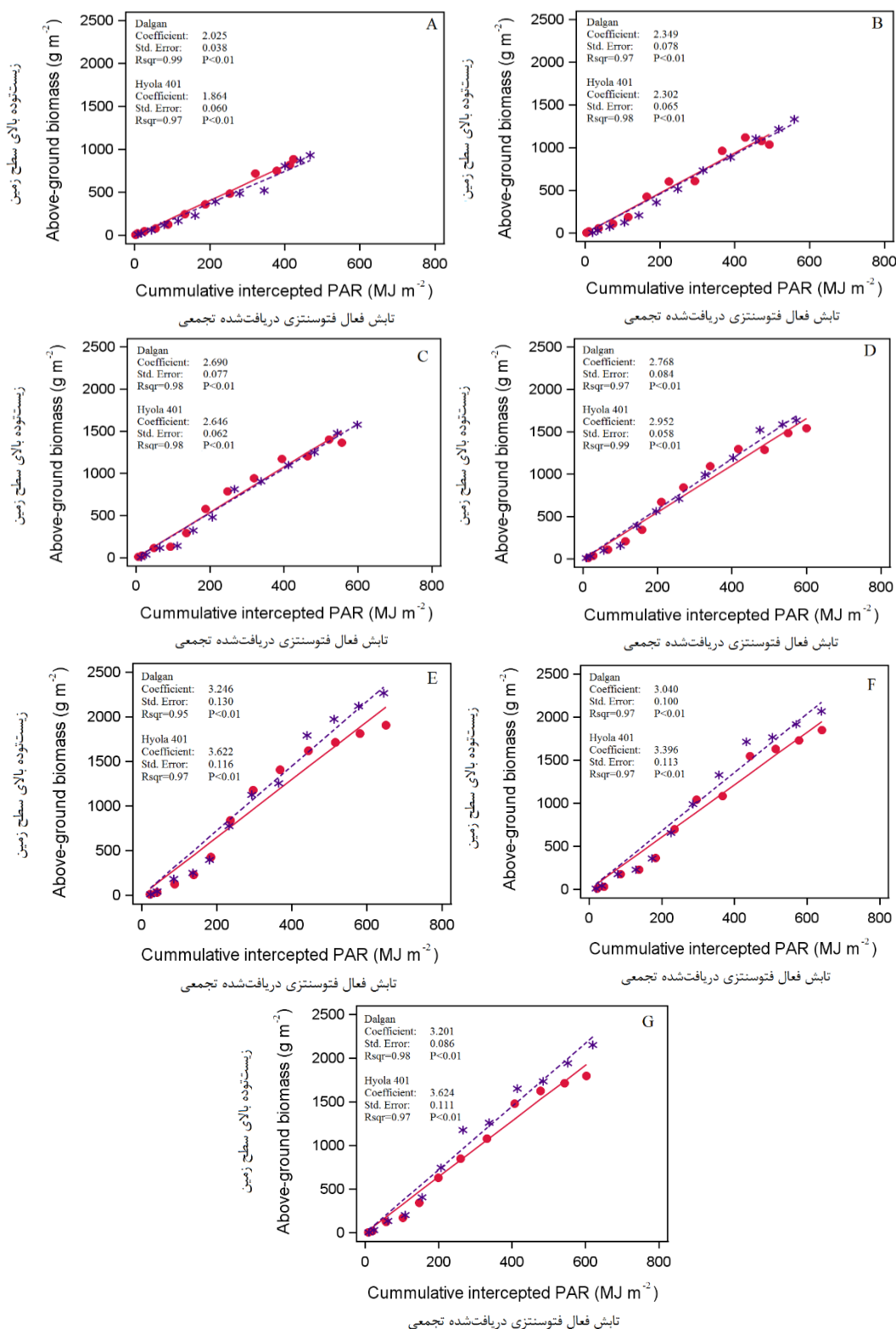
شکل ۷- رابطه بین زیست توده بالای سطح زمین و سرعت رشد محصول (A) و بین سرعت رشد محصول و کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده (B) در دو رقم کلزای مورد مطالعه

Figure 7- Relationship between above-ground biomass and crop growth rate (A), and between crop growth rate and the total intercepted photosynthetically active radiation (B) for two canola cultivars

نسبت دادند که مطابق با ساختار کلی مدل‌های رشد کلزا مانند Ceres Jeuffroy and) Azodyn و (Gabrielle *et al.*, 1998) Rape (Recous, 1999) است. مندم (Mendham, 1995) کاهش LAI در پاسخ به کمبود N در کلزای زمستانه را با تغییر فیلوکرون، کاهش اندازه پهنک برگ‌ها و سرعت بالاتر از دست رفتن برگ‌های مسن توضیح داد. در این مطالعه، سرعت ظهور برگ در شرایط کمبود N به‌طور مشخصی کاهش یافت و زمان وقوع مراحل نمو فنولوژیک تا حدودی به تأخیر افتاد اما بوته‌های رشد یافته در این شرایط سریع‌تر به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند (داده‌ها نشان داده نشده است). همچنین، کمبود شدید N منجر به کاهش چشمگیر سطح پهنک برگ‌ها گردید (شکل ۲)، اما ضخامت برگ‌ها در این شرایط اندکی بیشتر شد (داده‌ها نشان داده نشده است). افزایش سطح ویژه برگ (SLA) به موازات افزایش LAI در پاسخ به افزایش مصرف N توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Ratjen and Kage, 2013; Sieling *et al.*, 2016). سرعت از دست رفتن برگ‌های مسن از ویژگی‌های ژنوتیپ بوده و به‌طور مستقیم توسط عوامل محیطی مثل دما، سایه‌اندازی برگ‌ها و فراهمی N تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Mendham, 1995; Colnenne *et al.*, 2002).

در رقم دلگان بیشترین میزان RUE مربوط به سطح مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار بود که با سطوح مصرف پایین‌تر N تفاوت معنی‌داری داشت اما اختلاف آن با سطوح بالاتر مصرف N معنی‌دار نبود. در این رقم برخلاف رقم Hyola 401 اختلاف معنی‌داری بین سطوح مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم N در هکتار و همچنین بین سطوح مصرف ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم N در هکتار از نظر میزان RUE وجود نداشت (شکل ۸).

نتایج ما نشان داد که پاسخ زیست‌توده بالای سطح زمین به فراهمی N در هر دو رقم کلزای مطالعه شده به تغییر هر دو صفت IPAR و RUE مربوط بود. پاسخ‌های IPAR نتیجه تأثیر تیمارهای N بر طی چرخه رشد گیاه زراعی بود. مشابه با نتایج به‌دست‌آمده در اینجا، میوارین و پالتون-ساینیو (Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006) گزارش کردند که FIR ارقام غله قدیمی و مدرن (گندم، جو و یولاف) در تیمار شاهد در حدود ۲۲ تا ۳۸ درصد نسبت به شرایط مصرف ۹۰ کیلوگرم N در هکتار کمتر بود. کاهش FIR به‌طور عمده به پاسخ‌های LAI و LAD مربوط بود. کلنن و همکاران (Colnenne *et al.*, 2002) نیز پیامدهای ناشی از کمبود N بر تولید زیست‌توده را به تأثیر فراهمی این عنصر بر LAI و RUE



شکل ۸- رابطه بین زیست توده بالای سطح زمین و تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده تجمعی برای دو رقم کلزای Hyola 401 (خط چین) و دلگان (خط ممتد) در سطوح مصرف ۰ (A)، ۵۰ (B)، ۱۰۰ (C)، ۱۵۰ (D)، ۲۰۰ (E)، ۲۵۰ (F) و ۳۰۰ (G) کیلوگرم نیتروژن در هکتار

Figure 8- Relationships between above-ground biomass and cumulative intercepted photosynthetically active radiation of two canola cultivars Hyola 401 (dashed line) and Dalgan (solid line) for consumption levels of 0 (A), 50 (B), 100 (C), 150 (D), 200 (E), 250 (F) and 300 (G) kg nitrogen ha⁻¹

گل)، گلدهی و تشکیل خورجین‌ها را در شرایط مصرف ۲۷۰ کیلوگرم N در هکتار به‌ترتیب ۲/۶۹، ۳/۹۰ و ۳/۴۰ گرم بر مگاژول PAR گزارش کردند که نسبت به تیمار شاهد به‌طور متوسط در حدود ۳۷ درصد بیشتر بود. مندم و همکاران (Mendham *et al.*, 1995) میزان RUE کلزای بهاره را ۳/۳۳ گرم بر مگاژول PAR گزارش کردند که نزدیک به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه است. سینکلر و هوری (Sinclair and Horie, 1989) نشان دادند که LAI تنها اثری جزئی بر RUE دارد. وقتی LAI کم باشد مقادیر RUE نیز پایین است زیرا بیشتر برگ‌ها در شرایط اشباع نوری هستند. بنابراین، برگ‌های در معرض نور ممکن است کارایی کمتری از برگ‌های در سایه داشته باشند (Sinclair and Horie, 1989). کمانیان و همکاران (Kemanian *et al.*, 2004) نشان دادند که کاهش N موجود در برگ‌ها منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی آن‌ها و در نتیجه کاهش RUE شد. میوارین و پالتون-ساینیو (Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006) نیز کاهش RUE در شرایط کمبود N را به دلیل کاهش محتوای نیتروژن برگ گزارش کردند. بنابراین، کاهش RUE در شرایط کمبود نیتروژن در دو رقم مطالعه شده به‌طور محتمل به دلیل کاهش محتوای نیتروژن برگ و در نتیجه کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی بوده است و کاهش SLA در این شرایط می‌توانسته تا حدودی به حفظ ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها کمک کند.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این مطالعه نشان داد که پاسخ زیست‌توده بالای سطح زمین در دو رقم کلزای مطالعه شده به تفاوت سرعت رشد محصول در شرایط فراهمی مقادیر مختلف N مربوط بود. تابش تجمعی دریافت شده در طی دوره رشد و کارایی استفاده از تابش دو صفت فیزیولوژیکی بود که پاسخ‌های زیست‌توده بالای سطح زمین در این دو رقم را توضیح داد. در هر دو رقم کلزای مطالعه شده، ضریب K تحت تأثیر فراهمی N قرار نگرفت که نشان می‌دهد پاسخ‌های IPAR نتیجه تغییرات LAI و LAD در طی دوره رشد بود. دو رقم کلزای بهاره مورد ارزیابی تیپ رشدی مشابهی داشتند و بین آن دو از نظر عوامل اکوفیزیولوژیک تعیین‌کننده تولید زیست‌توده تفاوت اندکی وجود داشت.

در هر دو رقم کلزای مطالعه شده فراهمی N تأثیری بر K نداشت که با گزارش‌های منتشرشده در مورد وابستگی FIR و IPAR به توسعه LAI در شرایط مصرف سطوح مختلف N در کلزای زمستانه (Dreccer *et al.*, 2000; Colnenne *et al.*, 2002) و گیاهان زراعی دیگری مانند آفتابگردان (Massignam *et al.*, 2009)، گندم (Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006; Salvagiotti and Miralles, 2008; Sieling *et al.*, 2016)، جو (Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006; Sieling *et al.*, 2016) و یولاف (Massignam *et al.*, 2009) مطابقت دارد. کلنن و همکاران (Colnenne *et al.*, 2002) ضریب K برای کلزای زمستانه در پاسخ به سطوح مختلف مصرف N را معادل ۰/۷۵ برآورد کردند که نزدیک به برآورد این ضریب برای دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده در اینجا است (۰/۶۵ برای رقم Hyola 401 و ۰/۷۳ برای رقم دلگان). سیلینگ و همکاران (Sieling *et al.*, 2016) ضریب K را برای گندم و جو پاییزه در تمام چرخه رشد و سطوح مختلف مصرف N ثابت و معادل ۰/۷۵ در نظر گرفتند. به نظر می‌رسد ضریب K نه‌فقط در مورد فراهمی مقادیر مختلف N (Justes *et al.*, 2000; Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006) بلکه در پاسخ به عوامل دیگری مانند کمبود فسفر (Sandana and Pinochet, 2011; Sandana *et al.*, 2012)، محدودیت‌های خاک (Salvagiotti and Miralles, 2008; Valle *et al.*, 2009)، تاریخ کاشت (Bassu *et al.*, 2011) و تراکم گیاهی (Ayaz *et al.*, 2004) نیز پارامتر بسیار باثباتی باشد. باین‌حال، در برخی گیاهان این ضریب ممکن است در طی چرخه رشد و بسته به نوع مدیریت زراعی تغییر کند زیرا تراکم سایه‌انداز و در نتیجه توزیع برگ‌ها به‌ویژه در سایه‌اندازهای تنک در طی نمو تغییر می‌کند و شرایط تابش نیز جذب تابش در واحد سطح برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ratjen and Kage, 2013).

در این مطالعه میزان RUE در شرایط محدودیت N به‌شدت کاهش یافت. سیلینگ و همکاران (Sieling *et al.*, 2016) نیز گزارش کردند که RUE گندم و جو زمستانه در شرایط عدم مصرف کود به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت، اما تفاوت میان سطوح بالای مصرف N ناچیز بود. جاستز و همکاران (Justes *et al.*, 2000) RUE کلزای زمستانه برای مراحل نموی آغازش گل (ظهور جوانه

References

1. Abeledo, G., Calderini, D., and Slafer, G. 2003. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica* 133 (3): 291-298.
2. Ayaz, S., McKenzie, B., McNeil, D., and Hill, G. 2004. Light interception and utilization of four grain legumes sown at different populations and depths. *The Journal of Agricultural Science* 142 (3): 297-308.
3. Bassu, S., Giunta, F., and Motzo, R. 2011. Effects of sowing date and cultivar on radiation use efficiency in durum wheat. *Crop and Pasture Science* 62 (1): 39-47.

4. Colnenne, C., Meynard, L. M., Roche, R., and Reau, R. 2002. Effects of nitrogen deficiencies on autumnal growth of oilseed rape. *European Journal of Agronomy* 17 (1): 11-28.
5. Dreccer, F., Schapendonk, A. H. C. M., Slafer, G. A., and Rabbinge, R. 2000. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilization efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. *Plant and Soil* 220 (1-2): 189-205.
6. Gabrielle, B., Denoroy, P., Gosse, G., Justes, E., and Andersen, M. N. 1998. Development and evaluation of a CERES-type model for winter oilseed rape. *Field Crops Research* 57 (1): 95-111.
7. Jamieson, P. D., Martin, R. J., Francis, G. S., and Wilson, D. R. 1995. Drought effects on biomass production and radiation-use efficiency in barley. *Field Crops Research* 43 (2-3): 77-86.
8. Jeuffroy, M. H., and Recous, S. 1999. Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *European Journal of Agronomy* 10 (2): 121-144.
9. Justes, E., Denoroy, P., Gabrielle, B., and Gosse, G. 2000. Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of winter oilseed rape. *European Journal of Agronomy* 13 (2-3): 165-177.
10. Kemanian, A. R., Stöckle, C. O., and Huggins, D. R. 2004. Variability of Barley Radiation-Use Efficiency. *Crop Science* 44 (5): 1662-1672.
11. Masomipour, A., Torabi, B., and Rahimi, A. 2016. Studing extinction coefficient and radiation use efficiency in different cultivars of Safflower under different levels of Nitrogen (N) fertilizer. *Electronic Journal of Crop Production* 9 (3): 67-86. (in Persian with English abstract).
12. Massignam, A., Chapman, S., Hammer, G., and Fukai, S. 2009. Physiological determinants of maize and sunflower grain yield as affected by nitrogen supply. *Field Crops Research* 113 (3): 256-267.
13. Mendham, N. J. 1995. Physiological basis of seed yield and quality in oilseed rape. *Proceedings of the Ninth International Rapeseed Congress*, Cambridge.
14. Mendham, N. J., Russell, J., and Jarosz, N. K. 1990. Response to sowing time of three contrasting Australian cultivars of oilseed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science* 114 (3): 275-283.
15. 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 (2-3): 363-373.
16. Olesen, J. E., Jorgensen, L. N., and Mortensen, J. V. 2000. Irrigation strategy, nitrogen application and fungicide control in winter wheat on a sandy soil. II. Radiation interception and conversion. *The Journal of Agricultural Science* 134 (1): 13-23.
17. Plenet, D., Mollier, A., and Pellerin, S. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II. Radiation use efficiency, biomass accumulation and yield components. *Plant and Soil* 224 (2): 259-272.
18. Ratjen, A. M., and Kage, H. 2013. Is mutual shading a decisive factor for differences in overall canopy specific leaf area of winter wheat crops? *Field Crops Research* 149: 338-346.
19. Salvagiotti, F., and Miralles, D. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy* 28 (3): 282-290.
20. Sandana, P., and Pinochet, D. 2011. Ecophysiological determinants of biomass and grain yield of wheat under P deficiency. *Field Crops Research* 120 (2): 311-319.
21. Sandana, P., Ramírez, M., and Pinochet, D. 2012. Radiation interception and radiation use efficiency of wheat and pea under different P availabilities. *Field Crops Research* 127: 44-50.
22. Sieling, K., Böttcher, U., and Kage, H. 2016. Dry matter partitioning and canopy traits in wheat and barley under varying N supply. *European Journal of Agronomy* 74: 1-8.
23. Sinclair, T. R., and Horie, T. 1989: Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Science* 29 (1): 90-98.
24. Sinclair, T. R., and Muchow, R. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy* 65: 215-265.
25. Soltani, A., Robertson, M. J., Rahemi-Karizaki, A., Poorreza, J., and Zarei, H. 2006. Modeling Biomass Accumulation and Partitioning in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 192 (5): 379-389.
26. Valle, S., Carrasco, J., Pinochet, D., and Calderini, D. 2009. Al toxicity effects on radiation interception and radiation use efficiency of Al-tolerant and Al-sensitive wheat cultivars under field conditions. *Field Crops Research* 114 (3): 343-350.
27. Watson, D. J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops I. Variation in NAR and LAR between species and varieties and within and between years. *Annals of Botany* 11 (1): 41-46.
28. Yin, X., Goudriaan, J., Lantinga, E. A., Vos, J., and Spiertz, H. J. 2003. A flexible sigmoid function of determinate growth. *Annals of Botany* 91 (3): 361-71.
29. Zhou, Z., Plauborg, F., Kristensen, K., and Andersen, M. N. 2017. Dry matter production, radiation interception and radiation use efficiency of potato in response to temperature and nitrogen application regimes. *Agricultural and Forest Meteorology* 232: 595-605.



Effect of Nitrogen Fertilizer on the Radiation Interception and Utilization Efficiency of two Spring Rapeseed Cultivars

S. A. Siadat^{1*}, A. Derakhshan²

Received: 21-05-2018

Accepted: 13-11-2018

Introduction: Crop biomass accumulation is directly related to the amount of photosynthetically active intercepted radiation by the canopy during the crop's cycle. The slope of this relationship represents the radiation use efficiency (RUE), defined as crop biomass produced per unit of total solar or photosynthetically active intercepted radiation (IPAR). Therefore, above-ground biomass (g m^{-2}) can be expressed as a product of the cumulative IPAR (MJ m^{-2}) during the crop cycle and RUE (g MJ^{-1}). The amount of IPAR depends on the length of the crop cycle over which radiation is accumulated, the fraction of intercepted radiation (FIR) by the canopy each day and the total incident solar radiation. The length of crop cycle is affected by the genotype and/or environmental factors mainly temperature and photoperiod. Indeed, soil constraints such as nutritional deficiencies have shown minor impacts on the crop cycle. FIR depends on the leaf area index (LAI) and the canopy light extinction coefficient (k). Several studies on different crops have shown that IPAR is negatively affected by nitrogen (N) deficiency. RUE is affected by the crop species, environmental conditions and also by management factors such as crop nutritional status. Over the past few decades, one of the aspects of improving crop productivity has been increasing N fertilizer utilization. Nitrogen application is one of the key inputs for crop production that determines the potential of total crops dry matter production through its effect on IPAR, RUE, and/or both. The aim of the present study was to comparatively evaluate in two rapeseed cultivars their responses on IPAR, RUE and related traits under different N availabilities at field conditions.

Materials and Methods: In this study, the effects of N utilization on IPAR and RUE of two spring rapeseed cultivars (Hyola 401 and Dalgan) were investigated. Field experiment was conducted as a split plot in a randomized complete block design with three replications at Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. N consumption in seven levels of 0, 50, 100, 150, 200, 250 and 300 kg ha^{-1} was considered as the main factor and the type of rapeseed cultivar in two levels as the sub-factor.

Results and Discussion: The results showed that the response of the above-ground biomass to N supply in both of the studied rapeseed cultivars was related to the change in both IPAR and RUE. The total accumulated IPAR during the growing season under of consumption of 200 kg N ha^{-1} was about 27 and 35% higher than those of the control treatments in the cultivars Hyola 401 and Dalgan, respectively. In both rapeseed cultivars, IPAR was strongly dependent on LAI and LAD. This means that N utilization with increasing LAI and LAD resulted in an increase in IPAR. Reduction of LAI in response to N deficiency can be explained by (1) changing the phyllochron, (2) decreasing leaf blade area, and (3) the higher rate of loss of old leaves. Utilization of N had no effect on the light extinction coefficient (K) of crop canopy, and this coefficient was estimated to be 0.65 (± 0.02) in the cultivar Hyola 401 and 0.73 (± 0.02) in the cultivar Dalgan. Depending on N level, the above-ground biomass varied from 932 to 2192 g m^{-2} in the cultivar Hyola 401 and between 853 and 1811 g m^{-2} in the cultivar Dalgan. Depending on the availability of N, the RUE varied between 2.02 (control treatment) and 3.25 g MJ^{-1} (200 kg N ha^{-1}) for the cultivar Dalgan and between 1.86 (control treatment) and 3.62 g MJ^{-1} (300 kg N ha^{-1}) for the cultivar Hyola 401. Reducing RUE in N-limit treatments may be due to reduced leaves nitrogen content, which reduces their photosynthetic capacity.

Conclusions: The results of this study showed that the above-ground biomass production by two rapeseed cultivars was related to differences in their growth rates in response to the applying different amounts of N. The physiological traits that explained above-ground biomass responses of both cultivars were the cumulative intercepted radiation during the crop cycle and radiations use efficiency. In both rapeseed cultivars, the K coefficient was not affected by N utilization, which indicates that IPAR responses were the result of changes in LAI and LAD during the crop cycle affecting the fraction of intercepted radiation by the crop.

Keywords: CGR, Fraction of intercepted radiation, LAD, LAI, Light extinction coefficient

1- Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

2- Ph.D. in Agronomy, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

(*- Corresponding Author Email: seyedatiasadat@asnruk.ac.ir)



تأثیر بیوچار، پرایمینگ بذر و محلول پاشی با آب و سالیسیلیک اسید بر عملکرد گلرنگ در

شرایط دیم

عبداله ساجدی^{۱*}، نورعلی ساجدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲

چکیده

به منظور بررسی تأثیر بیوچار و پرایمینگ بذر با آب و سالیسیلیک اسید توأم با محلول پاشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن گلرنگ در شرایط دیم، آزمایشی به صورت اسپلیت-اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی اراک انجام شد. عوامل آزمایشی شامل بیوچار در سه سطح (عدم مصرف، ۵ و ۱۰ تن در هکتار)، پرایمینگ بذر در سه سطح (بدون پرایمینگ، پرایمینگ بذر با آب مقطر و پرایمینگ بذر با محلول ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) و محلول پاشی در دو سطح (با آب و محلول ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) بودند. نتایج نشان داد با مصرف ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار، درصد ظهور گیاهچه نسبت به شاهد به ترتیب ۲۳/۷ و ۴۰/۴ درصد افزایش یافت. پرایمینگ بذر همراه محلول پاشی با آب تعداد طبق بارور در بوته را نسبت به شاهد ۱۳/۹ درصد افزایش داد. بیشترین تعداد دانه در طبق از مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و پرایمینگ بذر با آب مقطر حاصل شد. با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار همراه پرایمینگ بذر با آب یا سالیسیلیک اسید، عملکرد دانه به ترتیب ۲۲/۴ و ۸/۷ درصد نسبت به شاهد (عدم پرایمینگ و عدم مصرف بیوچار) افزایش یافت. بیشترین درصد روغن از مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و پرایمینگ بذر با آب توأم با محلول پاشی با سالیسیلیک اسید حاصل شد. به طور کلی نتایج نشان داد که با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و پرایمینگ بذر با آب توأم با محلول پاشی می‌توان به عملکرد کمی و کیفی مطلوب گلرنگ در شرایط دیم دست یافت.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، پیش تیمار بذر، درصد روغن، دانه روغنی، کشت دیم

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از قدیمی‌ترین محصولات زراعی است که به منظور تولید روغن کشت می‌شود و به علت داشتن خاصیت خشکی‌پسندی جزئی و سیستم ریشه‌ای متراکم و عمیق، کارایی بالایی در استفاده از رطوبت خاک دارد (Das et al., 2017). روغن گلرنگ از کیفیت بسیار بالایی برخوردار است که علت آن دارا بودن اسیدهای چرب غیراشباع به‌ویژه اسید اولئیک و لینولئیک است (Weinberg et al., 2005).

در مناطق نیمه‌خشک، کاهش رطوبت خاک در اثر عدم بارندگی و افزایش ناگهانی دما از مهم‌ترین عوامل کاهش رشد و نمو گیاهان در شرایط دیم به‌شمار می‌رود. جوانه‌زنی بذر به شدت تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی به‌ویژه دما و رطوبت خاک قرار می‌گیرد (Soltani et al., 2006). پیش تیمار بذر یک راهکار متداول به منظور افزایش سرعت، درصد و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن بذر در شرایط

نامطلوب محیطی محسوب می‌شود (Patade et al., 2011). بذرهایی خیس شده نسبت به بذرهایی خیس نشده سرعت جوانه‌زنی بالاتری دارند، بنابراین با تسریع در جوانه‌زنی و یکنواختی سبز شدن، گیاه زراعی با موفقیت بیشتری استقرار می‌یابد. استقرار به‌هنگام و مناسب در هر دو شرایط تنش و بدون تنش ضروری می‌باشد (Ashraf and Foolad, 2005). در شرایط مزرعه هیدروپرایمینگ (پرایمینگ با آب) بذر نسبت به اسمو (پرایمینگ با محلول‌های اسمزی) و ماتریک پرایمینگ (پرایمینگ با مواد جامد) از هزینه کمتری برخوردار می‌باشد و به راحتی توسط کشاورزان انجام می‌شود (Harris, 2006). پرایمینگ بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌ویژه سالیسیلیک اسید که یک القاءکننده مهم مقاومت در برابر بیماری‌ها و آفات است، تأثیر معنی‌داری روی کیفیت و عملکرد بذر می‌گذارد (Soliman et al., 2016). سالیسیلیک اسید نقشی کلیدی در واکنش‌های سازگاری گیاهان به تنش اسمزی، شوری بالا، تنش اکسیداتیو، درجه حرارت بالا و تنش یخ‌زدگی ایفا می‌کند (Pirasteh-Anosheh et al., 2012). پیش تیمار با سالیسیلیک اسید نمی‌تواند به طور کامل از آسیب ناشی از تنش جلوگیری کند، اما تا حدودی باعث کاهش آسیب‌های ناشی از تنش‌های محیطی در گیاهان می‌شود (Sakhabutidnova et al., 2003). سطوح مختلف استیل سالیسیلیک اسید به عنوان ضد

۱- باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک،

ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: abdollahsajedi@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v17i2.74484

تغرق عمل می‌کنند و از باز شدن روزنه‌ها جلوگیری می‌نمایند (Larque-Saavedra, 1979). در تحقیقی، پیش‌تیمار بذر سویا (*Glycine max* L.) با سالیسیلیک اسید باعث گلدهی زوتر، تعداد گل بیشتر، تعداد غلاف بیشتر و در نتیجه افزایش عملکرد شد (Sharma et al., 1993). گزارش شده است که پیش‌تیمار بذر کلزا (*Brassica napus*) با غلظت ۱۵۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی‌دار درصد ظهور گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه، سطح برگ، ارتفاع بوته و وزن مخصوص برگ شد (MiarSagegi et al., 2010).

کاهش حفظ محتوای رطوبت خاک و بهبود قابلیت دسترسی برای گیاه یک عامل بحرانی برای تولید کشاورزی پایدار خواهد بود. تبدیل زیست‌توده به بیوپار و اضافه کردن آن به خاک‌های کشاورزی می‌تواند باروری خاک را از طریق تثبیت کربن بهبود دهد، گزارش شده است که با مصرف بیوپار به دلیل افزایش اشباع بازی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش آب قابل دسترس گیاه، عملکرد ذرت از ۱۷ به ۲۱ درصد افزایش یافت (Cornelissen et al., 2013). بیوپار حاصل فرآیند تخریب گرمایی مواد طبیعی در غیاب اکسیژن یا کمبود آن (آتشکافت یا پیرولیز) در دمای بالا می‌باشد و به‌عنوان اصلاح‌کننده و بهبوددهنده خصوصیات خاک استفاده می‌گردد (Lehmann and Joseph, 2009). کاربرد بیوپار در خاک می‌تواند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی، توزیع اندازه منافذ، ساختمان خاک، وزن مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی و نگهداری آب خاک را بهبود (Lu et al., 2014; Omondi et al., 2016) و قابلیت جذب عناصر غذایی خاک را افزایش دهد (Dai et al., 2017; Gul and Whalen, 2016). افزایش عملکرد با کاربرد بیوپار در محیط‌های کنترل‌شده و مزرعه توسط محققین گزارش شده است (Blackwell et al., 2009). با کاربرد ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوپار حاصل از کاه گندم، در منطقه نیمه‌گرمسیری با میانگین بارندگی سالانه ۱۵۴۹ میلی‌متر و میانگین دما سالانه ۱۷/۲ درجه سلسیوس، عملکرد کلزا به‌ترتیب نسبت به شاهد ۱۶/۲۱، ۲۱/۱۵، ۲۷/۹۹، ۲۴/۶۰، ۳۳/۲۰، ۳۶/۰۲ درصد افزایش یافت (Liu et al., 2014). نظر به اینکه در مناطق نیمه‌خشک کشور حفظ رطوبت حاصل از بارندگی‌ها در خاک از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد و تحقیقات بسیار کمی در زمینه تاثیر بیوپار توام با پرایمینگ در شرایط دیم در کشور انجام شده است، بنابراین این آزمایش به‌منظور بررسی تاثیر کاربرد بیوپار و پرایمینگ بذر با آب مقطر و سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن گلرنگ در شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبرار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک با طول جغرافیایی ۴۰ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۷۳۰ متر از سطح دریا اجرا شد. خصوصیات اقلیمی منطقه کشت در جدول ۱ ارائه شده است.

عوامل مورد آزمایش شامل بیوپار در سه سطح (عدم مصرف، ۵ و ۱۰ تن در هکتار)، در کرت‌های اصلی، پرایمینگ بذر در سه سطح (بدون پرایمینگ، پرایمینگ بذر با آب مقطر و محلول ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) در کرت‌های فرعی و محلول‌پاشی در دو سطح (محلول‌پاشی با آب و محلول‌پاشی با محلول یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) در کرت‌های فرعی فرعی بودند. قبل از کاشت از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری شد و به آزمایشگاه خاک و آب اراک پژوهش ارسال گردید. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

در این آزمایش از گلرنگ رقم محلی اصفهان استفاده شد. بذرهای گواهی شده سال ۱۳۹۵ از شرکت کشت دانه‌های روغنی با ۹۸ درصد خلوص و حداقل قوه نامیه ۷۵ درصد تهیه شد. عملیات کاشت به‌صورت دستی در تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۲۳ در عمق ۳-۴ سانتی‌متری انجام شد. هر کرت شامل هشت ردیف کاشت به طول ۵ متر بود. کاشت بذرها در داخل شیارها انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بذور روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. زمین مورد آزمایش در سال قبل آیش بود و لذا هیچ نوع کودی در این آزمایش استفاده نشد. قبل از کاشت، تیمارهای بیوپار در داخل شیار در عمق ۱۵ سانتی‌متری و در زیر بذر قرار داده شد و با خاک مخلوط گردید. بیوپار از کارخانه کربن اکتیو بشل واقع در منطقه سواد کوه استان مازندران تهیه شد. بر اساس اطلاعات درج شده در برچسب تجاری مشخصات بیوپار به شرح زیر بود. مواد اولیه سلولزی طبیعی با پایه جنگلی که تحت فرآیند اکتیواسیون و پیرولیز به‌صورت فعال شده با ابعاد ۲۰ تا ۵۰ نانومتر، قدرت جذب آب ۴ تا ۴/۵ برابر و مدت ماندگاری در خاک ۸ تا ۱۰ سال، عدد ید ۱۸۰-۱۵۰ میلی‌گرم بر گرم بیوپار، میزان جذب سطحی ازت بر اساس روش B.E.T، ۱۵±۱۴۰ متر مربع به‌ازای هر گرم بیوپار، pH برابر ۸/۵ می‌باشد. برای پرایمینگ، بذرها به مدت ۱۲ ساعت در محلول‌های ذکر شده پیش‌تیمار شدند، سپس در سایه در دمای اتاق پهن و خشک شدند و اقدام به کشت گردید. محلول‌پاشی با آب و سالیسیلیک اسید بر اساس ۴۰۰ لیتر در هکتار انجام شد. حجم محلول مورد استفاده با توجه به سطح مورد استفاده برای آب و سالیسیلیک اسید ۱۵ لیتر بود. در دو مرحله رویشی (طویل شدن ساقه) و شروع طبق‌دهی (تکمه‌دهی) در ساعت ۱۷ انجام شد. در زمان رسیدگی کامل از هر کرت ۱۰ بوته برای اندازه‌گیری صفات زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد به‌طور

دوار تقطیر در خلاء صورت گرفت و بالن حاوی روغن وزن شد. تفاوت بین وزن بالن‌های حاوی روغن بیانگر روغن استخراج شده بود که به صورت درصد بیان شد (Omid et al., 2010).

تصادفی انتخاب شد. به منظور اندازه‌گیری روغن دانه، ۱۰ گرم از دانه‌های گلرنگ در حلال پترولیوم اتر حل گردید و با دستگاه سوکسله به مدت ۴ ساعت عصاره‌گیری شد. در داخل بالن عمل تغلیظ عصاره انجام شد و بالن حاوی عصاره وزن گردید. سپس با دستگاه

جدول ۱- آمار هواشناسی شهرستان اراک در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶

Table 1- Metrological data in Arak city in cropping year 2016-2017

ماه‌های سال	Year months	تبخیر ماهیانه Monthly evaporation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	میانگین درجه حرارت Mean of air temperature (°C)	بارندگی Precipitation (mm)
اسفند ۹۵	March	0	53.45	6.2	35.5
فروردین ۹۶	April	136.7	55.15	8.65	40.8
اردیبهشت ۹۶	May	193.6	48.7	18.45	58.9
خرداد ۹۶	Juan	345.3	27.45	24	0
تیر ۹۶	July	354.2	26.3	27.15	0.2
مرداد ۹۶	August	346.2	24.8	27.2	0
شهریور ۹۶	September	277.7	29.4	24.05	0

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical soil properties of the experimental site

عمق خاک Soil depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	پتاسیم K	فسفر P	روی Zn	آهن Fe	منگنز Mn	نیتروژن کل Total N	کربن آلی OC	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay
			(mg kg ⁻¹)							(%)		
0-30	0.87	7.7	180	8	2.7	6.5	15.1	0.12	1.2	49	28	23

پرایمینگ با آب و سالیسیلیک اسید درصد ظهور گیاهچه رانست به تیمارهای مشابه و بدون پرایمینگ افزایش داد (جدول ۵). احتمالاً بیوچار می‌تواند شرایطی را فراهم کند که محتوای رطوبت خاک حفظ شود، بنابراین خصوصاً در خاک‌های شنی (نواحی خشک) می‌تواند ابزار مفیدی برای شروع استقرار بهتر گیاهچه و سبز شدن محصول باشد (Atkinson and Hipps, 2010). در تحقیقی پرایمینگ بذر گندم با آب به مدت ۲۴ ساعت، درصد ظهور گیاهچه را ۴۱/۱۸ درصد نسبت به بذور پرایم نشده افزایش داد. در تحقیق مذکور علت افزایش درصد ظهور گیاهچه در بذور پرایم شده به تسریع در فرآیند جذب آب و شروع فرآیندهای متابولیکی و سنتز DNA و RNA و پروتئین نسبت داده شد (Basra et al., 2003). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که پرایمینگ بذر با آب درصد ظهور گیاهچه بذرهای نخود (*Cicer arietinum* L.) را ۴۱/۷ درصد افزایش داد (Mansouri and Aboutalebian, 2013). افزایش ظهور گیاهچه در اثر اسمو پرایمینگ می‌تواند ناشی از ترمیم بذرهای زوال‌یافته، بهبود همانندسازی DNA (Bray et al., 1989) و کاهش دمای پایه برای جوانه‌زنی باشد (Aboutalebian, 2005).

اعداد خام حاصل از نمونه‌برداری‌ها در طول دوره رشد و در زمان رسیدگی کامل وارد نرم‌افزار Excel شدند و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه قرار گرفتند. چون صفت درصد ظهور گیاهچه قبل از اعمال تیمار محلول پاشی محاسبه شد لذا این صفت به صورت اسپلیت پلات تجزیه گردید. سپس میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

درصد ظهور گیاهچه

اثر پرایمینگ بذر بر درصد ظهور گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که پرایمینگ بذر با آب و سالیسیلیک اسید درصد ظهور گیاهچه را نسبت به تیمار عدم پرایمینگ به ترتیب ۲۷/۴ و ۴۰ درصد افزایش داد (جدول ۴). با وجود اینکه اثر متقابل بیوچار و پرایمینگ بر درصد ظهور گیاهچه معنی‌دار نشد ولی نتایج نشان داد که با مصرف ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار درصد ظهور گیاهچه نسبت به عدم مصرف بیوچار افزایش یافت، همچنین در هر دو سطح مصرف ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار،

ارتفاع بوته

اثر متقابل مصرف بیوجار و پرایمینگ بر ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته از تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوجار همراه پرایمینگ با آب مقطر و تیمار مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوجار همراه پرایمینگ با سالیسیلیک اسید حاصل شد که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول ۵). سلیمانی و همکاران (Soliman et al., 2016) گزارش نمودند که پرایمینگ بذر لوبیا با محلول ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی‌دار در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه شد اما پرایمینگ با غلظت ۱ و ۳ میلی‌مولار اثر بازدارنده‌ای روی جوانه‌زنی داشت و رشد گیاهچه را کاهش داد. اثر تحریک‌کنندگی سالیسیلیک اسید می‌تواند مربوط به اثر تنظیم‌کنندگی زیستی آن بر روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آن در گیاهان از قبیل افزایش تقسیم سلولی، تمایز و طول شدن سلول در مریستم انتهایی ریشه گیاهچه و افزایش بیوسنتز موادغذایی آلی باشد که سبب افزایش رشد گیاهچه می‌شود (Abd El-Wahed et al., 2010; El-Khallal et al., 2009; Delavari et al., 2006). در تحقیقی، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید در غلظت ۱۰-۳ مول بر لیتر اثری بر ارتفاع گیاه و طول ریشه در سویا و ذرت نداشت، ولی سطح برگ را افزایش داد (Khan et al., 2003). در تحقیق دیگری گزارش شد تیمار با سالیسیلیک اسید اثر معنی‌داری در افزایش ارتفاع گیاه جو نسبت به شاهد نشان نداد (Senaratna et al., 2000).

تعداد طبق در بوته

اثر ساده پرایمینگ و اثر متقابل پرایمینگ و محلول‌پاشی بر تعداد طبق در بوته در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده بیوجار و اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر تعداد طبق در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به نتایج، با مصرف ۵ تن در هکتار بیوجار تعداد طبق در بوته نسبت به شاهد ۱۵/۹ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد که پرایمینگ بذر با آب مقطر تعداد طبق در بوته را نسبت به شاهد ۷ درصد افزایش داد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد طبق در بوته از تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوجار همراه پرایمینگ با آب مقطر و محلول‌پاشی با آب حاصل شد که با تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوجار همراه پرایمینگ با سالیسیلیک اسید توأم با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، پرایمینگ با آب مقطر و بدون مصرف بیوجار و محلول‌پاشی با آب و تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوجار توأم با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و بدون پرایمینگ اختلاف معنی‌داری نداشتند. تیمارهای ذکر شده به‌ترتیب تعداد طبق در بوته را نسبت به تیمار شاهد ۳۹/۶، ۳۴، ۱۸/۸ و ۱۶ درصد افزایش دادند (جدول ۶). در

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گل‌رنک تحت کاربرد بیوجار، پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی
Table 3- Analysis of variance of measured traits in safflower under application of biochar, seed priming and foliar application

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	ظهور گیاهچه Seedling emergence	ارتفاع بوته Plant height	تعداد طبق در بوته Number of head per plant	تعداد طبق بارور در بوته Number of fertile head per plant	تعداد دانه در طبق Number of grain per head	وزن دانه در بوته Weight of grain per plant	وزن صد دانه 100 kernel weight	عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن Oil percentage
Replicate	تکرار	2	137.94 ^{ns}	78.92*	14.81**	6.31**	2.53 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.042 ^{ns}	68852.04 ^{ns}	1.58 ^{ns}
Biochar (B)	بیوجار	2	40.44 ^{ns}	9.103 ^{ns}	33.97 ^{ns}	20.43 ^{ns}	10.42*	14.31**	0.129 ^{ns}	733768.97**	3.63 ^{ns}
Ea	انشایه کرت اصلی	4	38.55	14.70	5.99	5.78	1.95	0.33	0.037	25220.49	2.34
Priming (P)	پیش تیمار بذر	2	1575.12**	11.21 ^{ns}	10.05**	8.81**	4.67**	0.94 ^{ns}	0.086 ^{ns}	2409.71 ^{ns}	2.63 ^{ns}
B×P	بیوجار × پرایمینگ	4	177.73 ^{ns}	59.09*	2.64 ^{ns}	3.67*	46.40**	4.41*	0.262*	241024.70**	2.32 ^{ns}
Eb	انشایه کرت فرعی	12	66.64	12.60	1.24	0.75	0.69	0.89	0.075	25702.92	1.43
Spray (S)	محلول‌پاشی	1	-	2.66 ^{ns}	2.84 ^{ns}	3.84 ^{ns}	7.95*	0.18 ^{ns}	0.167 ^{ns}	6968.77 ^{ns}	17.57**
B×S	بیوجار × محلول‌پاشی	2	-	22 ^{ns}	7.75 ^{ns}	4.64 ^{ns}	28.78**	9.94**	0.171 ^{ns}	393310.87**	5.07**
P×S	پرایمینگ × محلول‌پاشی	3	-	8.66 ^{ns}	31.86**	25.91**	13.99**	17.26**	0.050 ^{ns}	852210.71**	3.54**
B×P×S	بیوجار × پرایمینگ × محلول‌پاشی	3	-	7.42 ^{ns}	11.22*	3.71 ^{ns}	5.32*	0.83 ^{ns}	0.047 ^{ns}	100740.71 ^{ns}	5.41**
Ec	انشایه کرت فرعی	18	-	14.35	2.56	1.69	1.56	0.62	0.088	37165.94	0.552
CV	ضریب تغییرات	-	10.3	4.9	13.2	11.9	8.4	15.0	9.7	16.8	3.0

* و **: به ترتیب پانکرو عدم اختلاف معنی‌دار معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.
*، ** Significant at 0.05 and 0.01 level of probability, respectively. ns: no significant

الگوی کشت ذرت - گندم، در گندم با مصرف ۲۵ تن در هکتار بیوچار، تعداد سنبله در مترمربع ۶/۶۴، تعداد دانه در سنبله ۵/۶، وزن هزار دانه ۳/۷۳، عملکرد دانه ۹/۹۶ و عملکرد زیستی ۱۵/۳۶ درصد نسبت به تیمارهای بدون مصرف بیوچار افزایش یافت (Ali et al., 2015).

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ تحت تاثیر کاربرد بیوچار، پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی

Table 4- Mean comparisons of main effects the measured traits in safflower under application of biochar, seed priming and foliar application

تیمارهای آزمایشی Experimental treatment	ظهور گیاهچه Seedling emergence (%)	ارتفاع بوته Plant height(cm)	تعداد طبق بارور در بوته Number of fertile head per plant	تعداد دانه در طبق Number of grain per head	وزن دانه در بوته Weight of grain per plant (g)	وزن صد دانه 100 Kernel weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	درصد روغن Oil percent age (%)
بیوچار Biochar								
B1	78.79a	77.35a	10.83a	14.95ab	5.07b	2.96a	1116.54b	24.44a
B2	77.38a	78.67a	12.00a	15.50a	6.20a	3.09a	1365.97a	25.23a
B3	81.77a	77.57a	9.87a	14.00b	4.44c	3.13a	966.24c	24.47a
پرایمینگ Priming								
P1	64.71b	78.05a	11.02a	14.23b	5.45a	2.99a	1136.25a	24.57a
P2	82.44a	77.00a	11.53a	14.69b	5.25a	3.13a	1157.05a	25.15a
P3	90.58a	78.54a	10.15b	15.52a	5.00a	3.06a	1155.45a	24.42a
محلول‌پاشی Spray								
S1	-	78.08a	11.16a	15.20a	5.29a	3.00a	1160.94a	25.29a
S2	-	77.64a	10.63a	14.43b	5.18a	3.12a	1138.22a	24.14b
B1 (without biochar) عدم مصرف بیوچار				P1 (without priming) بدون پرایمینگ				
B2 (application of 5 t/ha biochar) مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار				P2 (priming with distillate water) پرایمینگ با آب مقطر				
B3 (application of 10 t/ha biochar) مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار				P3 (priming with salicylic acid) پرایمینگ با سالیسیلیک اسید				
S1 (spray with water) محلول‌پاشی با آب معمولی				S2 (spray with salicylic acid) محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید				

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه در هر ستون و برای هر عامل، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by at least one similar letter in each column and each factor, are non- significantly different (P = 0.05) according to Duncan's multiple range test.

تعداد طبق بارور در بوته

اثر ساده پرایمینگ و اثر متقابل پرایمینگ و محلول‌پاشی بر تعداد طبق بارور در بوته در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل بیوچار و پرایمینگ بر تعداد طبق بارور در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و پرایمینگ نشان داد که با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار همراه پرایمینگ با آب، عدم مصرف بیوچار همراه پرایمینگ با آب و تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و بدون پرایمینگ بذر، تعداد طبق بارور در بوته به‌ترتیب نسبت به شاهد (عدم مصرف بیوچار و عدم آماده‌سازی بذر) ۱۷/۸، ۱۱/۷ و ۹/۱ درصد افزایش یافت. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین تعداد طبق بارور از تیمار پرایمینگ با آب همراه محلول‌پاشی با آب حاصل شد که تعداد طبق بارور در بوته را نسبت به شاهد ۱۳/۹ درصد افزایش داد (جدول ۵).

تعداد دانه در طبق

اثر ساده پرایمینگ و اثر متقابل پرایمینگ و محلول‌پاشی بر تعداد طبق در بوته در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده بیوچار و اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر تعداد طبق در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به نتایج، با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار تعداد طبق در بوته نسبت به شاهد ۱۵/۹ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد که پرایمینگ بذر با آب مقطر تعداد طبق در بوته را نسبت به شاهد ۷ درصد افزایش داد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد طبق در بوته از تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار همراه پرایمینگ با آب مقطر و محلول‌پاشی با آب حاصل شد که با تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار همراه پرایمینگ با آب مقطر و بدون مصرف بیوچار و سالیسیلیک اسید، پرایمینگ با آب مقطر و بدون مصرف بیوچار و محلول‌پاشی با آب و تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار توأم با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و بدون پرایمینگ اختلاف معنی‌داری نداشتند.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دوگانه صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ تحت تاثیر کاربرد بیوچار، پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی
Table 5- Mean comparisons of two-way interaction factors the measured traits in safflower under application of biochar, seed priming and foliar application

تیمارهای آزمایشی Experimental treatment	ظهور گیاهچه Seedling emergence (%)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد طبق در بوته Number of head per plant	تعداد طبق بارور در بوته Number of fertile head per plant	تعداد دانه در طبق Number of grain per head	وزن دانه در بوته Weight of grain per plant (g)	وزن صد دانه 100 Kernel weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	درصد روغن Oil percentage (%)
Biochar × Priming									
B1P1	73.46 dc	79.88ab	11.65b	10.90cde	16.61b	5.69b	2.87c	1231.85b	24.43ab
B1P2	54.66e	75.93bc	13.28a	12.18ab	14.42c	5.27bc	3.04abc	1174.78b	25.42a
B1P3	66.00de	76.23abc	10.43b	9.41f	13.81c	4.26cd	2.98bc	943.00c	23.47b
B2P1	77.16bcd	76.06abc	13.25a	11.90abc	11.93d	5.62b	3.26ab	1250.51b	24.73ab
B2P2	86.16abc	81.01a	14.41a	12.85a	17.89a	6.95a	2.98bc	1507.88a	25.71a
B2P3	84.00abc	78.95abc	13.21a	11.25bcd	16.67b	6.02ab	3.03abc	1339.51ab	25.26a
B3P1	85.75abc	78.21abc	11.20b	10.26def	14.15c	5.06bc	2.84c	926.40c	24.31ab
B3P2	91.33ab	74.05c	11.08b	9.56f	11.76d	3.54d	3.37a	788.50c	24.31ab
B3P3	94.66a	80.45ab	10.66b	9.78f	16.07b	4.71cd	3.18abc	1183.81b	24.54ab
Biochar × Spray									
B1S1	-	78.67a	12.71ab	11.68a	16.23ab	5.86ab	2.91b	1278.00ab	25.20a
B1S2	-	76.02a	10.86c	9.98b	13.67de	4.28c	3.02ab	955.08 dc	23.68b
B2S1	-	78.90a	13.27a	11.92a	16.43a	6.28a	3.13ab	1372.66a	25.21a
B2S2	-	78.45a	14.04a	12.07a	14.57dc	6.11a	3.05ab	359.28a	25.26a
B3S1	-	76.68a	11.13bc	9.90b	12.93e	3.74c	2.97ab	832.17d	25.45a
B3S2	-	78.45a	10.83c	9.84b	15.06bc	5.13b	3.28a	1100.31bc	23.49b
Priming × Spray									
P1S1	-	78.76a	12.23b	11.07b	14.51b	5.10bc	2.96b	1112.69bc	24.92ab
P1S2	-	77.34a	14.10a	12.50a	13.96b	5.81ab	3.02b	1159.82ab	24.22bc
P2S1	-	77.52a	10.58cd	9.58c	15.94a	6.03a	3.01b	1321.85a	25.67a
P2S2	-	75.95a	10.43d	9.31c	12.20c	3.71b	3.36a	827.47d	24.10c
P3S1	-	79.16a	12.44b	10.98b	14.94a	4.31dc	3.05ab	954.22dc	25.54a
P3S2	-	77.92a	11.90bcd	10.97b	16.10a	5.69ab	3.07ab	1356.66a	23.31d
B1 (without biochar) عدم مصرف بیوچار					P1 (without priming): بدون پرایمینگ				
B2 (application of 5 t/ha biochar) مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار					P2 (priming with distillate water) پرایمینگ با آب مقطر				
B3 (application of 10 t/ha biochar) مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار					P3 (priming with salicylic acid) پرایمینگ با سالیسیلیک اسید				
S1 (spray with water) محلول‌پاشی با آب معمولی					S2 (spray with salicylic acid) محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید				

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه در هر ستون و برای هر عامل، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by at least one the same letter in each column and each factor, are non-significantly different ($P = 0.05$) according to Duncan's multiple range test.

تیمارهای ذکر شده به ترتیب تعداد طبق در بوته را نسبت به تیمار شاهد ۳۹/۶، ۳۴، ۱۸/۸ و ۱۶ درصد افزایش دادند (جدول ۶). در الگوی کشت ذرت-گندم، در گندم با مصرف ۲۵ تن در هکتار بیوچار، تعداد سنبله در مترمربع ۶/۶۴، تعداد دانه در سنبله ۵/۶، وزن هزار دانه ۳/۷۳، عملکرد دانه ۹/۹۶ و عملکرد زیستی ۱۵/۳۶ درصد نسبت به تیمارهای بدون مصرف بیوچار افزایش یافت (Ali et al., 2015).

تعداد طبق بارور در بوته

اثر ساده پرایمینگ و اثر متقابل پرایمینگ و محلول‌پاشی بر تعداد طبق بارور در بوته در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل بیوچار و پرایمینگ بر تعداد طبق بارور در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و پرایمینگ نشان داد که با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار همراه

پرایمینگ با آب، عدم مصرف بیوچار همراه پرایمینگ با آب و تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و بدون پرایمینگ بذر، تعداد طبق بارور در بوته به ترتیب نسبت به شاهد (عدم مصرف بیوچار و عدم آماده‌سازی بذر) ۱۷/۸، ۱۱/۷ و ۹/۱ درصد افزایش یافت. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین تعداد طبق بارور از تیمار پرایمینگ با آب همراه محلول‌پاشی با آب حاصل شد که تعداد طبق بارور در بوته را نسبت به شاهد ۱۳/۹ درصد افزایش داد (جدول ۵).

اثر ساده پرایمینگ و اثر متقابل پرایمینگ و محلول‌پاشی بر تعداد طبق بارور در بوته در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل بیوچار و پرایمینگ بر تعداد طبق بارور در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و پرایمینگ نشان داد که با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار همراه

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سه گانه صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ تحت تأثیر کاربرد بیوجار، پرایمینگ بذر و محلول پاشی
Table 6- Mean comparisons of three-way interaction factors the measured traits in safflower under application of biochar, seed priming and foliar application

تیمارهای آزمایشی Experimental treatment	ارتفاع بوته Plant height(cm)	تعداد طبق در بوته Number of head per plant	تعداد طبق بارور در بوته Number of fertile head per plant	تعداد دانه در طبق Number of grain per head	وزن دانه در بوته Weight of grain per plant (g)	وزن صد دانه 100 Kernel weight(g)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	درصد روغن Oil percentage (%)
Biochar × Priming × Spray								
B1P1S1	81.10a	16.21a-d	11.65bcd	17.80bc	6.35bc	2.74c	1346.1bcd	24.04 e-h
B1P1S2	78.66ab	12.95def	10.15d-f	15.42def	5.02 cde	3.00bc	1117.6cde	24.82 d-g
B1P2S1	76.80ab	17.14abc	13.23 ab	16.32cde	6.39bc	2.98bc	1420.4 bc	26.30 ab
B1P2S2	75.06ab	12.64ef	11.13 b-e	12.53g-i	4.16 efg	3.11abc	929.2 ef	24.55 d-g
B1P3S1	78.13ab	12.51ef	10.16 c-f	14.58efg	4.85 c-f	3.02bc	1067.6 c-f	25.16 a-f
B1P3S2	74.33ab	9.61f	8.66 ef	13.05 f-i	3.68efg	2.94bc	818.4 ef	21.69i
B2P1S1	77.33ab	14.18cde	11.30 bcd	11.80i	4.96cde	3.40ab	1102.4c-f	25.57a-d
B2P1S2	74.80ab	17.86ab	12.50 bc	12.07 hi	6.29bc	3.13abc	1398.7bcd	23.89g-f
B2P2S1	80.93a	18.82a	15.33a	20.47 a	9.22a	2.92bc	1976.1a	24.93b-g
B2P2S2	81.10a	12.37ef	10.36c-f	15.32def	4.68 d-g	3.04abc	1039.6efd	26.50a
B2P3S1	78.43ab	11.67ef	9.13 def	17.03bcd	4.67d-g	3.08abc	1039.5 def	25.13a-f
B2P3S2	79.46a	18.21ab	13.36 ab	16.32cde	7.37 b	2.98bc	1639.6 b	25.40a-e
B3P1S1	77.86ab	12.32ef	9.96d-f	13.93e-i	4.00 efg	2.74c	889.6 ef	25.16a-f
B3P1S2	78.56ab	12.40ef	10.56 c-f	14.38e-h	6.11bcd	2.94bc	963.2 ef	23.96e-h
B3P2S1	71.26b	13.82cde	11.10b-e	11.66i	3.82 efg	3.11abc	851.3 ef	24.97 b-g
B3P2S2	76.83ab	10.20f	8.03f	11.86i	3.26 g	3.62a	725.8f	23.66 gh
B3P3S1	80.93a	9.73f	8.63ef	13.22 f-i	3.40 fg	3.06abc	755.6ef	26.24 abc
B3P3S2	79.96a	14.95b-e	10.93b-e	18.93 ab	6.03bcd	3.29abc	1612.0b	22.85 hi
B1 (without biochar) عدم مصرف بیوجار				P1 (without priming): بدون پرایمینگ				
B2 (application of 5 t/ha biochar) مصرف ۵ تن در هکتار بیوجار				P2 (priming with distillate water) پرایمینگ با آب مقطر				
B3 (application of 10 t/ha biochar) مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوجار				P3 (priming with salicylic acid) پرایمینگ با سالیسیلیک اسید				
S1 (spray with water) محلول پاشی با آب معمولی				S2 (spray with salicylic acid) محلول پاشی با سالیسیلیک اسید				

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه در هر ستون و برای هر عامل، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by at least one the same letter in each column and each factor, are non- significantly different ($P = 0.05$) according to Duncan's multiple range test.

وزن دانه در بوته

اثر ساده بیوجار و اثر متقابل بیوجار و محلول پاشی و همچنین پرایمینگ و محلول پاشی بر وزن دانه در بوته در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل دوگانه بیوجار و پرایمینگ بر وزن دانه در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل بیوجار در پرایمینگ (جدول ۵) نشان داد که با مصرف ۵ تن در هکتار بیوجار توام با پرایمینگ با آب مقطر یا سالیسیلیک اسید، وزن دانه در بوته به ترتیب ۲۳/۶ و ۷/۱ درصد افزایش یافت. نتایج اثر متقابل بیوجار و محلول پاشی نشان داد که در سطوح عدم مصرف بیوجار و مصرف ۵ تن در هکتار بیوجار، محلول پاشی با آب تأثیر بیشتری بر وزن دانه در بوته داشت ولی با مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوجار محلول پاشی با سالیسیلیک اسید موثرتر بود. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و محلول پاشی نشان داد که بیشترین وزن دانه در بوته از پرایمینگ با آب همراه با محلول پاشی با آب حاصل شد که با تیمارهای بدون پرایمینگ و محلول پاشی با سالیسیلیک اسید و پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و

محلول پاشی با سالیسیلیک اسید تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۵). محققان گزارش نمودند که سالیسیلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مول باعث محافظت گیاهان گوجه‌فرنگی و لوبیا در برابر تنش خشکی شد و از طرفی رشد و عملکرد گیاهان را در چنین شرایطی افزایش داد (Senaratna *et al.*, 2000). علت افزایش عملکرد ناشی از هیدروپرایمینگ می‌تواند مربوط به استقرار سریع‌تر گیاهان (Ashraf and Foolad, 2005) و استفاده بهتر از مواد غذایی، رطوبت موجود در خاک و انرژی خورشیدی باشد (Subedi and Ma, 2005). گزارش شده است که در اثر پرایمینگ در نخود انتقال مواد حاصل از فتوسنتز به اندام‌های زایشی افزایش می‌یابد، در تحقیق مذکور ذکر شده است در قسمت‌های میانگره بوته، مقدار فعالیت آنزیم اسید اینورتاز کاهش یافت که بیانگر کاهش هیدرولیز ساکارز در طول انتقال در ساقه می‌باشد و از این طریق انتقال ساکارز در مخازن بیشتر می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد وقتی ترکیبات آلی بیشتری به غلاف‌ها انتقال می‌یابد، امکان افزایش تخمک‌های بیشتری در آنها فراهم می‌شود (Kaur *et al.*, 2005).

عملکرد دانه

سلولی در برگ‌ها را کاهش داد. سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای آبسازیک اسید و پرولین در جو وحشی شد، در تحقیق مذکور ذکر شده است که آبسازیک اسید و پرولین می‌تواند به توسعه واکنش‌های ضد تنش‌ی القاء شده به وسیله آبسازیک اسید کمک کنند (Bandurska and Stroinski, 2005).

درصد روغن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی و اثر متقابل بیوچار در محلول‌پاشی، پرایمینگ در محلول‌پاشی و اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر درصد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد محلول‌پاشی با آب میزان روغن دانه را نسبت به محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید ۴/۷ درصد افزایش داد (جدول ۴). نتایج اثر دوگانه تیمارها نشان داد که در سطح عدم مصرف بیوچار و مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار، محلول‌پاشی با آب نسبت به سالیسیلیک اسید، درصد روغن را افزایش داد. همچنین نتایج نشان داد در هر سطح پرایمینگ، محلول‌پاشی با آب نسبت به محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید باعث افزایش درصد روغن شد (جدول ۵). نتایج اثر متقابل سه‌گانه عوامل آزمایش نشان داد که بیشترین درصد روغن به ترتیب از تیمار مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار، پرایمینگ با آب و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و تیمار عدم مصرف بیوچار، پرایمینگ با آب و محلول‌پاشی با آب حاصل شد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که پرایمینگ بذر توام با محلول‌پاشی با آب تعداد طبق بارور در بوته را افزایش داد. بیشترین مقادیر تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه از مصرف پنج تن در هکتار بیوچار توام با پرایمینگ با آب حاصل شد. بنابراین نتایج کلی این تحقیق نشان داد که پرایمینگ بذر با آب یا سالیسیلیک اسید توأم با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و محلول‌پاشی با آب طی دو مرحله در طول دوره رشد باعث بهبود صفات زراعی و عملکرد دانه شد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده بیوچار و اثر متقابل دوگانه عوامل آزمایش بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار همراه پرایمینگ با آب مقطر و سالیسیلیک اسید عملکرد دانه به ترتیب ۲۲/۴ و ۸/۷ درصد نسبت به شاهد (B1P1) افزایش یافت. البته مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار توام با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نشان نداد (جدول ۵). نتایج اثر متقابل بیوچار و محلول‌پاشی نشان داد که با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار همراه محلول‌پاشی با آب مقطر یا سالیسیلیک اسید عملکرد دانه نسبت به شاهد (B1S1) افزایش نشان داد ولی معنی‌دار نبود در صورتی که با مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار و محلول‌پاشی با آب عملکرد دانه به طور معنی‌دار کاهش یافت اما با مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار توام با محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید عملکرد دانه نسبت به شاهد کاهش یافت ولی معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین پرایمینگ توأم با محلول‌پاشی نشان داد که با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار همراه محلول‌پاشی با آب و همچنین مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار همراه محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید، عملکرد دانه نسبت به شاهد به ترتیب ۱۸/۷ و ۲۱/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). افزایش عملکرد دانه در برنج و سورگوم با مصرف بیوچار گزارش شده است (Steiner et al., 2007). بیوچار به طور موثری آمونیاک را جذب می‌کند و در خاک به عنوان یک نگهدارنده برای آمونیاک عمل می‌کند، بنابراین باعث کاهش فراریت آمونیاک و افزایش کارایی مصرف نیتروژن می‌شود لذا از این طریق عملکرد محصول علوفه و بیوماس را افزایش می‌دهد (Oya and Iu, 2002). گزارش شده است در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین مقادیر شاخص‌های رشد و عملکرد دانه در گلرنگ از بذور پیش تیمار شده با ۲۸۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید حاصل شد ولی در شرایط تنش پس از گلدهی، گیاهانی که بذور آنها با ۱۴۰۰ میکرومول پیش تیمار شده بودند از عملکرد بهتری برخوردار بودند (Baljain and Shekari, 2012). گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه جو قبل از تنش، اثر سوء ناشی از تنش کمبود آب بر روی غشاء

References

1. Abd El-Wahed, M. S. A., Amin, A. A., and Rashad, El-Sh. M. 2006. Physiological effect of some bioregulators on vegetative growth, yield and chemical constituents of yellow maize plants. World Journal Agricultural Science 2 (2): 149-155.
2. Aboutalebian, M. 2005. Osmotic priming of seeds of some wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in warm, temperate and cold regions of Iran a means of enhancing seed vigour under unsuitable conditions. Thesis of PhD, Tehran University.
3. Ali, K., Arif, M., Jan, M. T., Yaseen, T., Waqas, M., and Munsif, F. 2015. Biochar: a novel tool to enhance wheat productivity and soil fertility on sustainable basis under wheat-maize-wheat cropping pattern. Pakistan Journal of Botany 47 (3): 1023-1031.

4. Arif, M., Ali, A., Umair, M., Munsif, F., Inamullah, K. A., Saleem, M., and Ayub, G. 2012. Effect of biochar FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield and yield components of maize. *Sarhad Journal of Agricultural* 28 (2):191-195.
5. Ashraf, M., and Foolad, M. R. 2005. Pre-sowing seed treatment – A shot-gun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy* 88: 223- 271.
6. Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., and Hipps, N. A. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil* 337: 1-18.
7. Baljain, R., and Shekari, F. 2012. Effects of priming by salicylic acid on yield and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plants under end season drought stress. *Sustainable Agriculture and Production Science*, 22 (1): 87-107.
8. Bandurska, H., and Stroinski, A. 2005. The effect of salicylic acid on barley response to water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum* 27: 379-386.
9. Basra, S. M. A., Pannu, I. A., and Afzal, I. 2003. Evaluation of seedling vigour of hydro and matriprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *International Journal of Agriculture and Biology* 2: 121-123.
10. Blackwell, P., Reithmuller, G., and Collins, M. 2009. Biochar applications to soil. In *Biochar for environmental management: sci and tech*. Eds. J. Lehmann and S. Joseph. Earthscan, London; Sterling, VA. pp. 207-226.
11. Bray, C. M. Davison, P. A., Ashraf, M., and Taylor, R. M. 1989. Biochemical events during osmopriming of leek seed. *Annals Applied Biology* 102: 185-193.
12. Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G. D., Rutherford, D. W., Sparrevik, M., Hale, S. E., Obia, A., and Mulde, J. 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. *Agronomy* 3: 256-274.
13. Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P. C., Xu, J. 2017. Potential role of biochars in decreasing soil acidification-a critical review. *Sci. Total Environ.*
14. Das, R. Ch., Somanagouda, G., and Singh, B. 2017. Effect of integrated nutrient management (INM) practices on growth, yield and oil yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6 (4): 511-516.
15. Delavari, P. M., Baghizadeh, A., Enteshari, Sh., Kalantari, Kh. M., Yazdanpanah, A., and Mousavi, E. A. 2010. The Effects of salicylic acid on some of biochemical and morphological characteristic of *Ocimum basilicum* under salinity stress. *Australian Journal of Basic and Applied Science* 4 (10): 4832-4845.
16. El-Khallal, S. M., Hathout, T. A., Abd El Raheim, A., Ashour, A., and Kerrit A. A. 2009. Brassinolide and salicylic acid induced growth, biochemical activities and productivity of maize plants grown under salt stress. *Research Journal Agriculture Biological Sciences* 5 (4): 380-390.
17. Gul, S., Whalen, J. K., 2016. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biocharamended soils - review paper. *Soil Biol. Biochem* 103: 1-15.
18. Harris, D. 2006. Development and testing of 'on-farm' seed priming. *Advances in Agronomy* 90: 129-178.
19. Kaur, S., Gupta, A. K., and Kaur, N. 2005. Seed priming increases crop yield possibly by modulating Enzymes of sucrose metabolism in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop science* 191: 81-87.
20. Khan, W., Balakrishnan, P., and Smith, D. L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160 (5): 485-492.
21. Liu, Z., Chen, X., Jing, Y., Li, Q., Zhang, J., and Huang, Q. 2014. Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. *Catena* 123: 45-51.
22. Larque-Saavedra, A. 1979. Stomatal closure in response to acetylsalicylic acid treatment. *Zeitschriftfur. Pflanzenphysiologie* 93: 371-375.
23. Lehmann, J., and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management: an introduction. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, pp. 1e12.
24. Lu, S. G., Sun, F. F., Zong, Y. T., 2014. Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena* 114: 37-44.
25. Mansouri, B., and Aboutalebian, M. A. 2013. Effect of on-farm seed priming and supplementary irrigation on emergence rate, yield and yield components of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Plant Production* 20 (2).
26. MiarSadegi, S., Shekari, F., Fotovet, R., and Zangani, E. 2010. The Effect of priming by salicylic acid on vigor and seedling growth of canola (*Brassica napus*) under water deficit condition. *Journal of Plant Biology* 2 (6): 55-70.
27. Omid, A. H., Khazaei, H., Monneux, P., and Stoddard, F. 2012. Effect of Cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Turkish Journal of Field Crops* 17 (1): 10-15.
28. Omondi, M. O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K., and Pan, G., 2016. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma* 274: 28-34.
29. Oya, A., and Lu, W. G. 2002. Deodorization performance of charcoal particles loaded with orthophosphoric acid against ammonia and trimethylamine. *Carbon* 40 (9): 1391-399.

30. Pirasteh Anosheh, H., Emam, Y., Ashraf, M., and Foolad, M. R. 2012. Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. *Advanced Studies in Biology* 11: 501-520.
31. Patade, V. Y., Maya, K., and Zakwan, A. 2011. Seed priming mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. *Research Journal of Seed Science* 4 (3): 125-136.
32. Rab, A., Khan, M. R., Haq, S. U., Zahid, S., Asim, M., Afridi, M. Z., Arif, M., and Munsif, F. 2016. Impact of biochar on mung bean yield and yield components. *Pure and Applied Biology* 5 (3): 632-640.
33. Sakhabutidnova, A. R., Fatkhutdinova, D. R., Bezrukova, M. V., and Shakirova, F. M. 2003. Salicylic acid prevents the damage action of stress factors on wheat plants. *Plant Physiology. Special Issue* (5): 314-319.
34. Sharma, R., Kwon, E. H., and Ganeshan, K. P. 1993. Response of soybean (*Glycine max* L.) to seed priming with salicylic acid. *Indian Journal of Ecology* 20: 27-29.
35. Saxena, J., Rana, G., and Pandey, M. 2013. Impact of addition of biochar along with *Bacillus* sp on growth and yield of French beans. *Scientia Horticulturae* 162: 351-356.
36. Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., and Dixon, K. 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation* 30: 157-161.
37. Soliman, M. H., Al-Juhani, R. S., Hashash, M. A., and Al-juhani, F. M. 2016. Effect of Seed Priming with Salicylic Acid on Seed Germination and Seedling Growth of Broad bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Agricultural Technology* 12 (6): 1125-1138.
38. Soltani, A., Gholipoor, M., and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany* 55: 195-200.
39. Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macedo, J. L. V., Blum, W. E. H., and Zech, W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered central amazonian upland soil. *Plant Soil* 291: 275-290.
40. Subedi, K. D., and Ma, B. L. 2005. Seed priming does not improve corn yield in a humid temperate environment. *Agro. J.* 97: 211-218.
41. Weinberg, Z. G., Landau, S. A., Chen Bar-Tal, Y., Gamburg, M., Brener, S., and Dvash, L. 2005. Ensiling safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as an alternative winter forage crop. *Proceedings of the 15th International Conference, Belfast, Northern Ireland, (ICBN1'05), Wageningen Academic Publ., Wagening, the Netherlands, pp: 169-169.*



Effects of Biochar, Seed Priming and Foliar Application of Water and Salicylic Acid on Yield of Rainfed Safflower

A. Sajedi^{1*}, N. A. Sajedi²

Received: 31-07-2018

Accepted: 13-11-2018

Introduction

Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is one of the oldest seed oil crops cultivated and is known for drought tolerance due to partially xerophytes nature, as well as deep and extensive root system making efficient use of reserved soil moisture. Seed germination depends on environmental factors especially temperature and humidity. Seed priming is one of the current methods for increasing the rate, percentage, germination uniformity and seed emergence under environmental undesirable. Seed priming with plant growth regulators especially salicylic acid improved quality and seed yield. Salicylic acid acts as anti-transpiration and inhibited from open stomata. Salicylic acid plays an important role in plant consistency to osmotic stress, high salinity, oxidative stress, high temperature, and freezing stress. Biochar is created by pyrolysis of natural materials. Biochar increased the soil porosity and therefore improved water retention capacity in soil. It was reported that application of 2.5, 5, 10, 20, 30 and 40 t/ha biochar increased canola yield by 16.21, 21.15, 27.99, 24.60, 33.20 and 36.02% compared with control, respectively.

Materials and Methods

To evaluate the effect of biochar and seed priming with salicylic acid and water along with foliar application on yield, yield components and oil percentage of safflower in rain fed condition, an experiment was performed as split-split plot based on randomized complete blocks design in three replications, at the Research Station of Islamic Azad University, Arak Branch, Iran, during 2016-2017. Experiment factors were included biochar in three levels of 0, 5 and 10 t/ha; seed priming in three levels of zero priming, priming with water distillation and seed priming with 0.5mM salicylic acid and foliar application in two levels of foliar application with water and 1 mM salicylic acid. Seeds primed for 12 hr at distilled water and salicylic acid solutions then dried at shade. Biochar was applied at 15 cm depth and under the seed, before sowing. Each experimental plot included 30cm spacing rows with 15cm spacing between plants in rows. The safflower cultivar was 'Esfahan native'. The seeds were sown at 3-4 cm depth in middle of March 2016. The assay for agronomic traits, yield and yield components was determined from 10 plants. Data were subjected to analysis of variance using SAS. The Duncan's multiple range test at 5% the confidence level were used to compare means.

Results and Discussion

Results showed that the application of 5 and 10 t/ha biochar increased seedling emergence percentage by 23.7 and 40.4% compared to control. Increasing of seedling emergence percentage by seed priming can be due to repair of deteriorated seed, improve DNA representation and decrease of germination base temperature. Application of 5 t/ha biochar increased the number of heads per plant by 15.9% compared to control. Seed priming with distilled water increased the number of heads per plant by 7% compared to control. Seed priming with water distilled along with the foliar application by water increased number of fertile heads per plant by 13.9 percentages as compared with control. The highest number of seeds per head was recorded by the application of 5 t/ha biochar and seed priming with water distillate. Application of 10 t/ha biochar combined with foliar application of salicylic acid, 5 t/ha biochar combined with foliar application of water and application of 10 t/ha biochar combined with foliar application of water increased the number of seeds per head by 13.4, 9.8 and 2.9 compared with control, respectively. The maximum of the 100-grain weight obtained from the application of 10 t/ha biochar combined with seed priming by distilled water that increased the 100-grain weight by 17.4% as compared with control. Application of 5 t/ha biochar along with seed priming with water or salicylic acid increased seed yield by 22.4 and 8.7% compared to control, respectively. Application of 5 t/ha biochar combined with a spray of water or 10 t/ha biochar along with the foliar application of salicylic acid increased grain yield by 18.7 and 21.9% compared with control, respectively. Increasing grain yield in rice and sorghum

1- Young Researchers and Elite Club, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

2- Associate Professor, Department of Agronomy and plant breeding, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

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

by biochar was reported. The highest oil percentage was obtained from the application of 5 t/ha biochar and seed priming with water along with the foliar application of salicylic acid.

Conclusions

In general, it is concluded that seed priming by water or salicylic acid along with the application of 5 t/ha biochar combined with foliar application of water in two stages in the duration of growth improved agronomic traits and grain yield of safflower in Rain-fed Condition.

Keywords: Dryland farming, Oil percentage, Oil seed, Seed pre-treatment, Yield components



تأثیر محلول پاشی با عناصر آهن و روی بر عملکرد و قابلیت فراهمی زیستی عناصر در ارقام گندم نان

منوچهر شیر^{۱*}، مرتضی کامرانی^۲، اصغر مهربان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲

چکیده

به منظور بررسی نقش کودهای نانو کلات آهن و روی بر عملکرد و غلظت عناصر دانه ارقام گندم نان، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مغان به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد. عامل اول محلول پاشی در چهار سطح شامل شاهد و محلول پاشی با آهن، روی و آهن + روی بودند و عامل دوم ارقام در چهار سطح شامل دو رقم آفتاب (G1)، کریم (G2) و دو ژنوتیپ جدید (G3 و G4) بودند. غلظت محلول پاشی آهن و روی به ترتیب با نسبت ۲ و ۱/۵ در هزار در سه مرحله پنجه‌دهی، اوایل سنبله‌دهی و شیری بودن دانه‌ها صورت گرفت. ویژگی‌های مورد مطالعه شامل تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبلچه، و وزن هزار دانه در سنبله اصلی، عملکرد دانه در متر مربع، غلظت روی، غلظت آهن، مقدار اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن دانه بودند. نتایج نشان داد که رقم G3 به همراه ژنوتیپ G2 و G4 نسبت به رقم G1 به طور معنی‌داری عملکرد بیشتر تولید کردند. این افزایش عملکرد عمدتاً به علت تعداد سنبلچه بیشتر، تعداد دانه در سنبلچه بیشتر و یا هر دو بود. ارقام G1 و G2 غلظت روی دانه بیشتری در مقایسه با ژنوتیپ‌های جدید داشتند. کمترین مقدار اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن در رقم G1 و بیشترین مقدار آنها در ژنوتیپ G4 حاصل شد. بیشترین عملکرد دانه در متر مربع (۴۰۰/۷ گرم)، غلظت روی دانه (۳۳/۴ میلی گرم در کیلوگرم) و غلظت آهن دانه (۸۷/۴ میلی گرم در کیلوگرم) به ترتیب با کاربرد برگی آهن + روی، روی و آهن حاصل شد. کاربرد روی در مقایسه با سایر سطوح محلول پاشی کمترین مقدار اسید فیتیک (۶۴۴۲/۵ میلی گرم در کیلوگرم) و نسبت مولی اسید فیتیک به روی (۱۹/۱ میلی گرم در کیلوگرم) را داشت. بنابراین، کاربرد عنصر آهن و به خصوص روی در مناطق دیم با بهبود قابلیت فراهمی زیستی آهن و روی و عملکرد گندم می‌تواند نقش زیادی در فراهمی عناصر روی و آهن مورد نیاز داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: اسید فیتیک، غلظت آهن، غلظت روی، محلول پاشی، نسبت مولی

مقدمه

جدید گندم با ظرفیت تولید بالا و منابع ضعیف از مواد مغذی، به ویژه روی (Zn) و آهن (Fe)، برای تأمین نیازهای روزانه انسان به طور وسیع کشت می‌شوند. گندم غنی از ترکیبات ضد تغذیه‌ای مانند اسید فیتیک است که باعث کاهش قابلیت دسترسی زیستی به آهن و روی در دستگاه گوارش انسان می‌شود (Welch and Graham, 2004). به طور کلی غلظت Zn و Fe دانه در ارقام گندم تجاری ۳۵-۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم است که برای تغذیه مناسب کافی نیستند (Cakmak et al., 2004). با توجه به تجزیه ۵۰ هزار نمونه‌های خاک، تخمین زده شد که ۸۰ درصد خاک‌های زراعی ایران به طور بالقوه دچار کمبود روی هستند (Malakouti, 2007). در مطالعه دیگری در اراضی تحت کشت گندم در ایران، ۳۷ درصد دچار کمبود شدید آهن و ۴۰ درصد دچار کمبود شدید روی گزارش شده است (Dorostkar, et al., 2013).

غنی‌سازی دانه‌های غلات با مواد معدنی ضروری که در رژیم غذایی کمبود دارند، به عنوان یک راه حل پایدار پیشنهاد شده است (Bouis and Welch, 2010; Ficco et al., 2009). این امر مستلزم دست‌یابی به عملکرد بالای دانه به همراه افزایش غلظت مواد

سوء تغذیه ناشی از عناصر ریز مغذی، مثل جذب ناکافی آهن و روی، بیش از ۲ میلیارد نفر را در سراسر جهان به خصوص در کشورهای در حال توسعه تهدید می‌کند (Stein, 2010). کودکان بیشتر تحت تأثیر این گرسنگی پنهان بوده و تقریباً ۱۱ درصد از مرگ و میر کودکان زیر ۵ سال مربوط به کمبود ریزمغذی‌ها است (Black et al., 2008).

در بسیاری از کشورهای آسیای مرکزی و خاورمیانه، گندم تقریباً ۵۰ درصد انرژی روزانه را فراهم می‌کند که این نسبت می‌تواند در مناطق روستایی به ۷۰ درصد افزایش یابد (Cakmak, 2008). ارقام

۱- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۳- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
(Email: Shiri.m@uma.ac.ir)
* نویسنده مسئول:

افزایش غلظت آن در دانه گندم می‌شود (Habib, 2009; Pahlavan-Rad and Pessarakli, 2009). هدف از این تحقیق بررسی احتمال افزایش عملکرد و غلظت عناصر روی و آهن و در نتیجه بهبود قابلیت فراهمی زیستی آهن و روی دانه گندم نان در پاسخ به نانو کودهای آهن و روی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه دیم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مغان به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ آورده شده است. عامل اول محلول‌پاشی در چهار سطح شامل شاهد و محلول‌پاشی با آهن، روی و آهن + روی بودند و عامل دوم ارقام مختلف گندم دیم نان در چهار سطح شامل دو رقم آفتاب (G1)، کریم (G2) و دو ژنوتیپ جدید (G3 و G4) بودند. در جدول ۲ شجره و کد این ارقام درج شده است. داده‌های هواشناسی در جدول ۳ آورده شده است. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف ۵ متری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۳۰۰ بذر در متر مربع بود که بذرهای پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام ۲ در هزار با دستگاه بذرکار تمام اتوماتیک (وینتر اشتایگر، ساخت اتریش) در عمق ۵ تا ۷ سانتی‌متری و در تاریخ پانزدهم آبان ماه کشت شدند. میزان ۵۰ کیلوگرم کود فسفات آمونیم و ۵۰ کیلوگرم کود اوره قبل از کاشت استفاده شد.

معدنی در آن می‌باشد (Morris and Sands, 2006). برگ‌پاشی کود از مؤثرترین روش‌ها برای غنی‌سازی مواد مغذی ضروری است و در حال حاضر بیشترین مطالعات بر روی جذب و توزیع مواد مغذی در ذرت و گندم متمرکز شده است (Kaya and Higgs, 2002; Godsey et al., 2003). روی جزء ساختاری آنزیم‌های مختلف است و یا برای فعال شدن آنزیم مورد نیاز است. بنابراین، کمبود آن متابولیسم کربوهیدرات‌ها را تحت تاثیر قرار داده، به ساختار دانه‌های گرده آسیب زده و عملکرد را کاهش می‌دهد (Pandey et al., 2006; Fang et al., 2008). کمبود آهن منجر به بروز زردی برگ (Mahmoudi et al., 2005) کاهش وزن خشک بخش هوایی (Cakmack and Braun, 2001) و سایر عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی (Chen et al., 2004) می‌شود که این صفات ارتباط نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعی دارند. مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی باعث افزایش عملکرد دانه و کاه گندم می‌شود (Ziaeeian and Malakouti, 2002). محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله پنجه‌زنی و یا مرحله آبستنی و شیری، عملکرد دانه گندم را از طریق افزایش ارتفاع بوته، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه افزایش می‌دهد (Hussain et al., 2005). در تحقیقی، ارقام گندم نسبت به کاربرد روی از نظر عملکرد عکس‌العمل متفاوتی نشان دادند (Khoshgoftarmanesh et al., 2005). به علت افزایش غلظت روی دانه در اثر محلول‌پاشی روی به‌خصوص در خاک‌های فقیر از نظر روی (Habib, 2009) قابلیت فراهمی زیستی روی (Zhang et al., 2012) افزایش می‌یابد. کاربرد آهن نیز منجر به

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری)

Table 1- Soil analysis results (depth 0 to 30 cm)

پتاسیم K _{ava} (ppm)	فسفر P _{ava} (ppm)	نیتروژن N _t (%)	کربن آلی OM (%)	هدایت الکتریکی EC (ds.m ⁻¹)	اسیدیته pH	روی Zn (ppm)	آهن Fe (ppm)	منگنز Mn (ppm)	مس Cu (ppm)
307	23.6	0.01	0.98	0.79	7.9	0.45	5.6	3.2	0.21

جدول ۲- پدیرگی (شجره) ژنوتیپ‌های کشت شده در آزمایش

Table 2- Pedigree of genotypes cultivated for the experiment

Genotype No	Variety / Line
G1	AFTAB
G2	KARIM
G3	KS82142/2*WBL1CMSA01Y00397T-040M-040P0Y-040M-030ZTM-040SY-21M-0Y-0SY
G4	PASTOR/HXL7573/2*BAU/3/WBL1PTSS02Y00023S-0Y-030ZTM-040SY-040M-19Y-0M-0SY

مرحله محلول‌پاشی، برای تیمارهای آهن، روی و آهن + روی به‌ترتیب ۲ کیلوگرم کود آهن، ۱/۵ کیلوگرم کود روی و ۲ کیلوگرم کود آهن + ۱/۵ کیلوگرم کود روی در هکتار بود.

کودهای نانو کلات روی و آهن شرکت خضرا به‌ترتیب با نسبت ۱/۵ و ۲ در هزار در سه مرحله پنجه‌دهی، اوایل ظهور سنبله و شیری بودن دانه‌ها، بر اساس توصیه روی بسته کود، محلول‌پاشی شد. در هر

جدول ۳- شرایط هواشناسی در طول آزمایش
Table 3- Meteorological conditions during the experiment

ماه Month	تبخیر و تعرق ET (mm)	رطوبت نسبی RH	متوسط دما Mean temperature (C°)	بارندگی Rain (mm)
مهر	37.9	79	17	75.8
آبان	36.9	81.9	11.1	38.6
آذر	7.4	79.3	6.5	39
دی	-	84.8	4.8	41
بهمن	-	80.7	4.3	27.1
اسفند	-	81.7	9.7	19.6
فروردین	47.1	78.3	12.4	39.5
اردیبهشت	129.2	74.3	18.1	29.3
خرداد	193.8	65	23.4	44.1

افزایش دادند. در این بین، بیشترین تعداد سنبله در سنبله را محلول پاشی با آهن + روی داشت که اختلاف معنی داری با محلول پاشی با روی نداشت. کمترین تعداد سنبله در سنبله مربوط به رقم G1 بود و بقیه ارقام نسبت به آن به طور معنی داری تعداد سنبله بیشتری را تولید کردند. در تحقیقی، با محلول پاشی عناصر غذایی بر گندم مشخص شد که در بین عناصر ریزمغذی بیشترین تعداد سنبله در سنبله مربوط به تیمار روی بود (Seadh et al., 2009). در گزارش دیگری هم اثر مثبت مصرف کود روی بر تعداد سنبله در سنبله نشان داده شده است (Khan et al., 2008). مطالعه ای نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در ترکیب عناصر ریز مغذی حاصل شد و بین ارقام تفاوت معنی داری وجود داشت (Mekkei and El-Haggan, 2014).

تعداد دانه در سنبله

نتایج نشان داد که سطح شاهد محلول پاشی کمترین تعداد دانه در سنبله را تولید کرد. محلول پاشی با آهن، محلول پاشی با روی و محلول پاشی با آهن + روی نسبت به شاهد تعداد دانه در سنبله را به طور معنی داری افزایش دادند. محلول پاشی با آهن + روی نسبت به همه سطوح دیگر به طور معنی داری تعداد دانه در سنبله بیشتری تولید کرد. در بین ارقام، کمترین و بیشترین تعداد دانه در سنبله به ترتیب مربوط به رقم G1 و ژنوتیپ G3 بود و رقم G2 و ژنوتیپ G4 حد واسطه دو رقم ذکر شده بودند (جدول ۴).

در آزمایشی بیشترین تعداد دانه در هر سنبله با محلول پاشی روی بر گندم حاصل شد (Seadh et al., 2009). ولی مطالعه دیگری بیشترین تعداد دانه را در کاربرد تلفیقی ریزمغذی ها (Mekkei and El-Haggan, 2014) و برخی محققان بیشترین تعداد دانه را با کاربرد برگی و تلفیقی آهن و روی گزارش کردند (Abu-Dahi et al., 2009). اختلاف معنی داری بین ارقام از نظر تعداد دانه در سنبله

صفات تعداد سنبله در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، و وزن هزار دانه در سنبله اصلی، عملکرد دانه در متر مربع، غلظت روی، غلظت آهن، مقدار اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن دانه بررسی شدند. بعد از شستن نمونه ها، دانه ها در دمای ۷۰ درجه به مدت ۲ ساعت خشک شدند. بعد از آسیاب شدن از الک ۱ میلی متری عبور داده شدند تا نمونه آزمایشگاهی آماده شد. همه نمونه های آرد با استفاده از ترکیب اسید نیتریک و کلریدریک هضم شدند. اندازه گیری عناصر Zn و Fe با کمک دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu, AA-6300 به ترتیب در طول موج های ۲۴۸/۳ و ۲۳۳/۹ نانومتر صورت گرفت. اندازه گیری اسید فیتیک دانه به روش هوگ و لانتزس (Haug and Lantzsch, 1983). نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Karami et al., 2013)

(۱)
$$\frac{\text{وزن مولی عنصر/غلظت عنصر در دانه (میلی گرم)}}{\text{وزن مولی اسید فیتیک/غلظت اسید فیتیک (میلی گرم)}} = \text{نسبت مولی}$$
 پیش از تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن داده ها و یکنواختی واریانس تیمارها نشان داد که داده ها نرمال و واریانس تیمارها یکنواخت هستند. محاسبات آماری و مقایسه میانگین داده ها با استفاده از نرم افزار SAS با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تعداد سنبله

اثر محلول پاشی و ارقام بر تعداد سنبله در سنبله معنی دار بود (جدول ۴). مقایسات میانگین ها (جدول ۵) نتایج نشان داد که سطح شاهد محلول پاشی کمترین تعداد سنبله در سنبله را تولید کرد. محلول پاشی با آهن، محلول پاشی با روی و محلول پاشی با آهن + روی نسبت به شاهد تعداد سنبله در سنبله را به طور معنی داری

گزارش شده است (Mekkei and El-Haggan, 2014). عنصر روی به علت تاثیر مثبت بر تشکیل پرچم و دانه گرده تعداد دانه در سنبله را افزایش می‌دهد (Pandey et al., 2006). همچنین با افزایش سنتز کلروفیل (Mahmoudi et al., 2005) و در نتیجه فتوسنتز می‌تواند محدودیت ماده فتوسنتزی را کمتر کند و بنابراین افزایش تعداد دانه را موجب شود.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات تحت اثر محلول پاشی و ارقام گندم
Table 4- Analysis of variance of traits under Spraying and wheat cultivars

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS				وزن هزار دانه Thousands grain weight
		تعداد سنبلچه در سنبله Spikelet numbers/	تعداد دانه در سنبله Grain number/ spike	تعداد دانه در سنبلچه Grain number/ spikelet	عملکرد دانه در متر مربع Grain yield/m ²	
بلوک Replication	2	2.7	133.1	0.31	6581.3	0.7
محلول پاشی Spraying (A)	3	19.3**	317.5**	0.16	14681.8**	7.5 ^{ns}
ارقام Cultivars (B)	3	5.3*	549.6**	1.20**	23562.2**	10.2 ^{ns}
A × B	9	0.48	1.2	0.01	2143.3	1.2
اشتباه آزمایشی Experimental error	30	1.2	14.8	0.13	1201.5	4.3
C.V (%) ضریب تغییرات		6.8	9.0	14.3	9.6	4.8

** و * به ترتیب غیر معنی داری، معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد
** and * are significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۵- اثر ژنوتیپ‌ها و محلول پاشی بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبلچه
Table 5- The effect of genotypes and foliar spraying on thousands grain weight, grain yield, grain number per spikelet, grain number per spike and spikelet numbers

		تعداد سنبلچه Spikelet numbers	تعداد دانه در سنبله Grain number/ spike	تعداد دانه در سنبلچه Grain number/ spikelet	عملکرد دانه در متر مربع Grain yield/m ² (gr)	وزن هزار دانه Thousands grain weight (gr)
ارقام Cultivar	G1	15.43b	32.77c	2.16c	319.6c	42.55a
	G2	16.69a	44.27b	2.64ab	370.6b	44.05a
	G3	16.72a	48.62a	2.92a	391.9a	42.14a
	G4	16.85a	43.99b	2.61b	364.6b	43.76a
ژنوتیپ‌ها Genotype	شاهد (control)	14.83c	36.19c	2.45a	316.6c	42.13a
	آهن (Fe)	16.09b	40.97b	2.55a	371.4b	42.98a
	روی (Zn)	16.99ab	44.12b	2.60a	356.9b	43.37a
	آهن + روی (Fe+Zn)	17.79a	48.38a	2.74a	400.7a	44.03a

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with the same letter are not significantly different based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

تعداد دانه در سنبلچه

نسبت به آن به طور معنی داری تعداد دانه در سنبلچه بیشتری را تولید کردند. ژنوتیپ G4 کمترین مقدار را داشت (جدول ۴). تحقیقی نشان داد که استفاده از محلول غذایی برای گندم عملکرد دانه را افزایش داد ولی بر تعداد دانه در سنبلچه بی‌تاثیر بود (El Habbasha, 2013).

مقایسات میانگین‌ها نشان داد که سطوح محلول پاشی اثری بر تعداد دانه در سنبلچه نداشت. کمترین تعداد دانه در سنبلچه مربوط به رقم G1 بود و ژنوتیپ G3، که اختلاف معنی داری با رقم G2 نداشت،

عملکرد دانه در متر مربع

نتایج نشان داد که کمترین عملکرد دانه در سطح شاهد محلول پاشی و بیشترین مقدار عملکرد در سطح محلول پاشی توام با آهن + روی حاصل شد. تفاوت معنی داری بین محلول پاشی با آهن و محلول پاشی با روی وجود نداشت. در بین ارقام، کمترین عملکرد دانه مربوط به رقم G1 و بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ G3 بود. رقم G2 به همراه ژنوتیپ G4 نسبت به رقم G1 به طور معنی داری عملکرد دانه بیشتری را تولید کردند ولی اختلاف معنی داری بین آنها وجود نداشت (جدول ۴). گزارش دادند که محلول پاشی گندم و ذرت با عناصر ریز مغذی روی موجب افزایش عملکرد دانه در هر دو گیاه گندم و ذرت گردید (Ali et al., 2008). اثر مثبت عنصر روی بر عملکرد دانه گیاهان توسط محققان مختلف گزارش شده است (Daghan et al., 2013; Cakmak et al., 2010; Zou et al., 2012). عنصر روی به علت نقش مثبت در تولید کلروفیل بر فتوسنتز و تولید ماده آلی تاثیر مثبت دارد و از طریق تولید هورمون ایندول استیک اسید نیز بهبود رشد و افزایش ارتفاع را سبب می شود. از طرفی با بهبود تولید دانه گرده می تواند تعداد دانه بیشتری را به عنوان مخزن مواد فتوسنتزی ایجاد نماید. بنابراین با افزایش مخزن و منبع عملکرد دانه را افزایش می دهد. افزایش عملکرد در اثر کاربرد آهن نیز در تحقیقات مشخص شده است (Ali, 2012; Ziaieian and Malakouti, 2001). در تحقیقی، کاربرد برگی و تلفیقی آهن و روی را در افزایش تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه موثر دانستند (Abu-Dahi et al., 2009). مطالعه ای نشان داد که ارقام گندم نسبت به کاربرد سولفات روی از نظر عملکرد عکس العمل متفاوتی دارند (Khoshgoftarmansh et al., 2005). محققان گزارش کردند که محلول پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله پنجه زنی و یا مرحله آبستنی و شیری، عملکرد دانه گندم را از طریق افزایش ارتفاع بوته، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه (Hussain et al., 2005) و تعداد سنبله در واحد سطح (Ziaieian and Malakouti, 2002) افزایش می دهد.

غلظت روی دانه

اثر اصلی ژنوتیپ ها و محلول پاشی بر غلظت روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۶). نتایج مقایسات میانگین ها نشان داد که بین ژنوتیپ ها اختلاف آماری معنی داری وجود دارد. ژنوتیپ G3 کمترین غلظت روی دانه را داشت و نسبت به ژنوتیپ

G4 به طور معنی داری مقدار روی کمتری در دانه خود ذخیره کرده بود. ارقام G1 و G2 نسبت به هر دو ژنوتیپ به طور معنی داری غلظت روی دانه بیشتری داشتند. عدم کاربرد برگی عناصر ریز مغذی کمترین و محلول پاشی روی بیشترین مقدار غلظت روی دانه را موجب شدند. مقدار غلظت روی دانه به هنگام محلول پاشی با آهن و آهن + روی به طور معنی داری بیشتر از شاهد و کمتر از محلول پاشی با روی بود (جدول ۶). گزارش شده است که ارقام مدرن با پتانسیل بالای عملکرد منابع ضعیفی از ریز مغذی ها، به خصوص آهن و روی، برای تأمین نیاز روزانه انسان هستند (Welch and Graham, 2004). تغییرات قابل توجهی در غلظت روی و آهن دانه در بین ارقام گیاهان زراعی اصلی نیز گزارش شده است (White and Broadley, 2009). تحقیقات جدید فرضیه رقیق شدن عناصر ریز مغذی در طول زمان در ارقام گندم را تأیید می کند (Fan et al., 2008). تفاوت در مقدار روی دانه در بین ارقام و ژنوتیپ های گندم به وسیله رجبی نیز گزارش شده است (Rajabi, 2015). افزایش غلظت روی دانه با کاربرد روی به وسیله محققان مختلف ثابت شده است (Cakmak, 2008; Hossain et al., 2008; Shivay et al., 2008).

غلظت آهن دانه

اثر اصلی ژنوتیپ ها و محلول پاشی بر غلظت روی دانه معنی دار شد (جدول ۶). نتایج مقایسات میانگین ها نشان داد که کمترین غلظت آهن دانه را ژنوتیپ G4 داشت. ژنوتیپ G3 بیشترین مقدار آهن دانه را در دانه های خود ذخیره کرده بود و با ارقام G1 و G2 اختلاف غیر معنی داری داشت. کاربرد برگی عنصر روی کمترین غلظت آهن دانه را داشت که با شاهد تفاوت معنی داری نداشت. بیشترین مقدار آهن دانه به هنگام کاربرد برگی آهن حاصل شد که با کاربرد آهن + روی از لحاظ آماری یکسان بود (جدول ۷). برخی محققان گزارش کردند که بین ارقام گندم از نظر مقدار آهن دانه تفاوت وجود دارد (Welch and Graham, 2004; White and Broadley, 2009). کاهش غلظت آهن دانه در ارقام مدرن مورد تأکید واقع شده است (White and Broadley, 2009; Fan et al., 2008). تفاوت در مقدار آهن دانه در بین ارقام و ژنوتیپ های گندم به وسیله رجبی نیز گزارش شده است (Rajabi, 2015). محققان مختلف (Zhang et al., 2010; Pahlavan-Rad and Pessarakli, 2009) افزایش غلظت آهن دانه با کاربرد برگی آهن را نشان داده اند.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی و ارقام گندم بر صفات کیفی
Table 6- Analysis of variance of spraying and wheat cultivars on quality traits

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	MS میانگین مربعات				
		غلظت روی Zn concentration	غلظت آهن Fe concentration	اسید فیتیک Phitic acid (PA)	نسبت مولی اسید فیتیک به روی PA/Zn molar ratio	نسبت مولی اسید فیتیک به آهن PA/Fe molar ratio
بلوک Replication	2	5.05	576.3	6986349.3	47.1	0.73
محلول پاشی Spraying (A)	3	2874**	302.9**	4194456.2**	100.8**	4.15**
ارقام Cultivars (B)	3	10.38**	106.4*	9676922.8**	131.1**	15.5**
A × B	9	0.006	0.009	8209.6	0.39	1.016
اشتباه آزمایشی Experimental error	30	0.58	37.35	384086.6	4.82	0.86
C.V ضریب تغییرات		2.3	7.4	8.6	9.8	12.6

** و * به ترتیب غیر معنی داری، معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد
** and * are significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۷- اثر ژنوتیپها و محلول پاشی بر غلظت روی، غلظت آهن، اسید فیتیک، نسبت مولی اسید فیتیک به روی و نسبت مولی اسید فیتیک به آهن
Table 7- The effect of genotypes and foliar spraying on Zn concentration, Fe concentration, PA, PA/Zn molar ratio and PA/Fe molar ratio

		غلظت روی Zn concentration (mg kg ⁻¹)	غلظت آهن Fe concentration (mg kg ⁻¹)	اسید فیتیک PA (mg kg ⁻¹)	نسبت مولی اسید فیتیک به روی PA/Zn molar ratio	نسبت مولی اسید فیتیک به آهن PA/Fe molar ratio
ارقام Cultivar	G1	33.05a	83.36ab	5960.4c	17.9c	6.0c
	G2	32.61a	82.83ab	7043.2b	21.4b	7.1b
	G3	30.98c	85.39a	7515.8b	24.1a	7.4b
	G4	31.68b	78.39b	8076.7a	25.3a	8.8a
ژنوتیپها Genotypes	شاهد (control)	29.88c	80.95bc	7854.6 a	26.1a	8.2a
	آهن (Fe)	32.70b	87.46a	7311.9b	22.2b	7.2b
	روی (Zn)	33.47a	76.12c	6443.5c	19.1c	7.1b
	آهن + روی (Fe+Zn)	32.27b	85.36ab	6986.2b	21.4b	6.9b

میانگینهای دارای حروف مشترک، اختلاف معنی داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with the same letter are not significantly different based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

فیتیک اسید دانه

نتایج نشان داد که رقم G1 کمترین فیتیک اسید و ژنوتیپ G4 بیشترین مقدار را در دانه داشتند. رقم G2 و ژنوتیپ G3 تفاوت معنی داری نداشته و حدواسط G1 و G4 بودند. کاربرد برگی آهن، آهن + روی و روی نسبت به شاهد مقدار فیتیک اسید را به طور معنی داری کاهش دادند و بیشترین کاهش زمانی مشاهده شد که برگ پاشی روی صورت گرفته بود (جدول ۷). کاربرد روی و آهن باعث کاهش مقدار فسفر دانه می گردد و در این بین اثر روی بیشتر از

آهن بوده و توانسته مقدار فسفر دانه را بیشتر کاهش دهد. بنابراین مقدار فیتیک اسید با کاربرد روی بیشتر کاهش یافته است. چرا که بیشترین مقدار فسفر در فیتیک اسید پیوند می خورد و رابطه مستقیمی بین فسفر دانه و مقدار اسید فیتیک وجود دارد (Malakouti, 2007; Malakouti et al., 2008). غنی سازی دانه با ریز مغذی ها در مزرعه می تواند غلظت روی دانه را افزایش و مقدار فیتیک اسید را کاهش دهد (Malakouti, 2011). کاهش مقدار فیتیک اسید در اثر کاربرد روی به وسیله محققان دیگر گزارش شده است (Malakouti et al., 2010; Malakouti, 2010). در تحقیقی نشان داده شد که با افزایش

نسبت مولی فیتیک اسید به روی شده است که با یافته‌های برخی محققان (Kaya et al., 2009; Ning et al., 2009) مطابقت دارد. برای جذب بهتر روی این نسبت باید کمتر از ۲۵ باشد. در ارقام G1 و G2 که نسبت مولی به‌ترتیب ۱۷/۹ و ۲۱/۴ است در مقایسه با ژنوتیپ‌های جدید که نسبت مولی ۲۴/۱ و ۲۵/۳ است، جذب روی بهتری خواهند داشت. تیمارهای محلول پاشی به‌خصوص کاربرد روی باعث کاهش این نسبت به کمتر از ۲۵ شده و در نتیجه از نظر قابلیت فراهمی زیستی مناسب‌تر است.

نسبت مولی اسید فیتیک به آهن

رقم G1 کمترین نسبت فیتیک اسید به روی و ژنوتیپ G4 بیشترین مقدار را نشان داد. رقم G2 به همراه ژنوتیپ G3 حدواسط بودند. همه تیمارهای محلول پاشی در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری نسبت مولی فیتیک اسید به آهن کمتری داشتند. با این حال تفاوت بین تیمارهای آهن، روی و آهن + روی غیر معنی‌دار بود (جدول ۷). علت این کاهش به افزایش غلظت آهن و کاهش غلظت فیتیک اسید در تیمارهای آهن، آهن + روی و به‌خصوص روی مربوط است. ارقام و ژنوتیپ‌هایی با نسبت مولی بالا دارای غلظت فیتیک اسید کمتر و آهن بیشتر بودند. کاهش نسبت مولی فیتیک اسید به آهن با کاربرد روی گزارش شده است (Shivay et al., 2008).

نتیجه‌گیری

عملکرد بالای ژنوتیپ‌ها به علت تعداد سنبلچه بیشتر، تعداد دانه در سنبلچه بیشتر و یا هر دو حاصل شد. ژنوتیپ‌های جدید نسبت به دو رقم دیگر غلظت روی کم داشتند. همچنین، ژنوتیپ‌های جدید نسبت مولی فیتیک اسید به آهن و روی تقریباً مساوی یا بیشتر از ارقام محلی دارند. ترکیب توام آهن + روی به علت بهبود تعداد سنبلچه و تعداد دانه در سنبله عملکرد بیشتری از کاربرد تنهای آنها تولید کرد. کاربرد تیمارهای محلول پاشی نسبت مولی فیتیک اسید به آهن و روی را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش داده و در نتیجه قابلیت فراهمی زیستی روی و آهن را بهبود بخشید.

۱۰۰۰ میلی گرم فیتات به یک ماده غذایی، میزان نیاز بدن انسان به روی به دو برابر و با افزایش ۲۰۰۰ میلی گرم به همین ماده غذایی، نیاز روزانه بدن به روی تا سه برابر افزایش می‌یابد (Hambidge et al., 2008). بنابراین با مصرف روی و کاهش فیتیک اسید به مقدار ۱۴۱۱ میلی گرم نسبت به شاهد ملاحظه می‌شود که نیاز روزانه به روی به ۱/۵ برابر آن در شاهد کاهش می‌یابد.

نسبت مولی اسید فیتیک به روی

اثر ارقام و سطوح تیمار محلول پاشی بر نسبت مولی اسید فیتیک به روی معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G3 و G4 نسبت به رقم G2 به‌طور معنی‌داری نسبت مولی بیشتری داشتند. رقم G1 کمترین نسبت مولی را در بین ارقام نشان داد. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که ژنوتیپ‌های جدید در مقایسه با ارقام محلی نسبت مولی بالایی دارند (جدول ۷). تفاوت در مقدار نسبت مولی فیتیک اسید به روی در بین ارقام و ژنوتیپ‌های گندم گزارش شده است (Rajabi, 2015). در بین سطوح تیمار محلول پاشی، شاهد در مقایسه با بقیه تیمارها به‌طور معنی‌داری بیشترین نسبت مولی را داشت و محلول پاشی با آهن و آهن + روی مقدار نسبت مولی را کاهش داد. کاربرد نانو کلات روی در مقایسه با سایر سطوح محلول پاشی به‌طور معنی‌داری نسبت مولی را کاهش داد (جدول ۶). اسید فیتیک شکل اصلی ذخیره فسفر در دانه است (Sandberg, 2002) که به صورت ترکیبی از نمک‌های فیتات آهن، روی، کلسیم، منیزیم و پتاسیم مشاهده می‌شود (Doria et al., 2009). قابلیت جذب و استفاده از این عناصر را به‌واسطه ایجاد پیوند قوی به شدت کاهش داده و سبب اختلال در جذب و هضم آن‌ها در دستگاه گوارش انسان می‌شود (Prasad, 2003). نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن در بخش‌های خوراکی گیاهان، به‌عنوان شاخصی مناسب از قابلیت جذب آنها شناخته می‌شود. اگر مقدار این نسبت کمتر باشد نشان‌دهنده آن است که عناصری مثل آهن، روی قابلیت جذب زیستی بهتری خواهند داشت (Boscher et al., 2001). در تحقیق حاضر کاربرد روی باعث افزایش مقدار آن در دانه و کاهش

References

1. Abu-Dahi, Y. M., Shati, R. K., and AL-Taher, F. M. 2009. Effect of foliar feeding of iron, zinc and potassium on grain yield, and protein percentage of bread wheat. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences* 40 (4): 27-37.
2. Ali, E. A. 2012. Effect of iron nutrient care sprayed on foliage at different physiological growth stages on yield and quality of some durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties in sandy soil. *Asian Journal of Plant Sciences* 4 (4): 139-149.
3. Ali, S., Khan, R., Mairaj, G., Arif, M., Fida, M., and Bibi, S. 2008. Assessment of different crop nutrient management practices for yield improvement. *Australian Journals of Crop Science* 2 (3): 150-157.
4. Black, R. E., Allen, L. H., Bhutta, Z. A., Caulfield, L. E., Onis, M. D., Ezzati, M., Mathers, C., and Rivera, J. 2008. Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet*. 371: 243-260.
5. Boscher, D., Lu, Z., Janssens, G., Van Caillie- Bertrand, M., Rubberiest, H., De, H., and Rycke, H. 2001. In vitro availability of zinc from infant foods with increasing phytic acid contents. *British Journal of Nutrition* 86: 241-247.

6. Bouis, H. E., and Welch, R. M. 2010. Biofortification: a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. *Crop Science* 50: S20-S32.
7. Cakmak, I., and Braun, H. J. 2001. Genotypic variation for zinc efficiency. In: Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I. and McNab, A. (eds.), *Application of Physiology in Wheat Breeding*. Mexico, D.F.: CIMMYT.
8. Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agro- nomic or genetic biofortification. *Plant and Soil* 302: 1-17.
9. Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A. A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., Ozturk, L., and Horst, W. J. 2010. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 9092-9102.
10. Cakmak, I., Torun, A., Millet, E., Feldman, M., Fahima, T., Korol, A., Nevo, E., Braun, H. J., and Ozkan, H. 2004. *Triticum dicoccoides*: An important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Science and Plant Nutrition* 50: 1047-1054.
11. Chen, Y., Shi, J., Tin, G., Zheng, S., and Lin, Q. 2004. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelia communis*. *Plant Science* 166: 1371-1377.
12. Daghan, H., Uygur, V., Koleli, N., Arslan, M., and Eren, A. 2013. The effect of heavy metal treatments on uptake of nitrogen, phosphorus and potassium in transgenic and non-transgenic tobacco plants. *Tarım Bilimleri Dergisi- Journal of Agricultural Sciences* 19: 129-139.
13. Doria, L., Galleschi, L., Calucci, L., Pinzino, C., Pilu, R., Cassani, E., and Nielsen, E. 2009. Phytic acid prevents oxidative stress in seeds: evidence from a maize (*Zea mays* L.) low phytic acid mutant. *Journal of Experimental Botany* 60 (3): 967-978.
14. Dorostkar, V., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A. 2013. Effects of Preceding Crop Residues on Total and Bio-available Zinc Concentration and Phytic Acid Concentration in Wheat Grain. *Journal of Water and Soil Science* 17 (64) 81-93. (in Persian with English abstract).
15. El-Habbasha, S. F., Tawfik, M. M., and El-Kramany, M. F. 2013. Comparative efficacy of different bio-chemical foliar applications on growth, yield and yield attributes of some wheat cultivars. *World Journal of Agricultural Sciences* 9 (4): 345-353.
16. Fan, M. S., Zhao, F. J., Fairweather-Tait, S. J., Poulton, P. R., Dunham, S. J., and McGrath, S. P. 2008. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 22: 315-24.
17. 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. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 2079-2084.
18. Ficco, D. B. M., Riefolo, C., Nicastro, G., Simone, V. D., Gesu, A. M. D., Beleggia, R., and Platani, C. 2009. Phytate and mineral elements concentration in a collection of Italian durum wheat cultivars. *Field Crop Research* 111: 235-242.
19. Godsey, C. B., Schmidt, J. P., Schlegel, A. J., Taylor, R. K., Thompson, C. R., and Gehl, R. J. 2003. Correcting iron deficiency in corn with seed row-applied iron sulfate. *Agronomy Journal* 95 (1): 160-166.
20. Habib, M. 2009. Effect of foliar application of Zn and Fe on wheat yield and quality. *African Journal of Biotechnology* 8: 6795-6798.
21. Hambidge, K. M., Miller, L. V., Westcott, J. E., and Krebs, N. F. 2008. Dietary reference intakes for zinc may require adjustment for phytate intake based upon model prediction. *The Journal of Nutrition-American Society for Nutrition* 2363-2366.
22. Haug, W., and Lantsch, H. J. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereal products. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 34: 1423-1426.
23. Hossain, M. A., Jahiruddin, M., Islam, M. R., and Mian, M. H. 2008. The requirement of zinc for improvement of crop yield and mineral nutrition in the maize-mungbean-rice system. *Plant and Soil* 306: 13-22.
24. 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.
25. Karami, M., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., Hajabbasi, M. A., Khademi, H., and Abdi, A. 2013. Status and Modeling of Zn in Wheat Grain in Relation to Agroecosystem Parameters of Some Arid and Semi Arid Regions. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources* 17 (64): 119-136. (in Persian with English abstract).
26. Kaya, C., and Higgs, D. 2002. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. *Scientia Horticulturae* 93 (1): 53-64.
27. Kaya, M., Küçükyumuk, Z., and Erdal, I. 2009. Phytase activity, phytic acid, zinc, phosphorus and protein contents in different chickpea genotypes in relation to nitrogen and zinc fertilization. *African Journal of Biotechnology* 8: 4508-4513.
28. Khan, M. A., Fuller, M. P., and Baloch, F. S. 2008. Effect of soil applied zinc sulfate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil Pakistan. *Cereal Research Communications* 36 (4): 571-582.

29. Khoshgoftarmanesh, H., Shariatmadari, H., Karimian, N., Kalbasi, M., and Khajepour, M. R. 2005. Zinc Efficiency of Wheat Cultivars Grown on a Saline Calcareous Soil. *Journal of Plant Nutrition* 27 (11): 1953-1962.
30. Mahmoudi H., Ksouri, R., Gharsalli, M., and Lachaal, M. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Plant Physiology* 162 (11): 1237-1245.
31. 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.
32. Malakouti, M. J. 2010. Why our agricultural products facing zinc deficiency? *Proceedings of the 7th International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives. Trace Elements and Electrolytes* 27: 176-177.
33. Malakouti, M. J. 2011. Towards improving the quality of consumed breads in Iran: A Review. *Journal of Food Science and Technology* 8 (31) 12-21. (in Persian with English abstract).
34. Malakouti, M. J., Keshavarz, P., and Karimian, N. 2008. A comprehensive approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture. Tarbiat Modares University Press. 755 pp. (in Persian).
35. Malakouti, M. J., Malakouti, A., Bybordi, I., and Khamesi, E. 2010. Zinc (Zn) is the neglected element in the life cycle of plant, animal and human health (10th ed.). Technical bulletin No. 007. Soil Science Department-Tarbiat Modares University. Sana Publication Co. 14 pp. (in Persian).
36. Mekkei, M. E. R., and El-Haggan E. A. M. A. 2014. Effect of Cu, Fe, Mn, Zn foliar application on productivity and quality of some wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agri-Food and Applied Science* 2 (9): 283-291.
37. Morris, C.E., and Sands, D.C. 2006. The breeder's dilemma-yield or nutrition? *Nature Biotechnology* 24:1078-1080.
38. Ning, N., Liu, Z., Wang, Q., Lin, Z., Chen, S., Wang, S., and Ding, Y. 2009. Effect of nitrogen fertilizer application on grain phytic acid and protein concentrations in Japonica rice and its variations with genotypes. *Journal of Cereal Science* 50: 49-55.
39. Pahlavan-Rad, M., 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: 1322-1332.
40. Pandey, N., Pathak, G. C., and Sharma, C. P. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilisation in lentil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 20: 89-96.
41. Prasad, A. S. 2003. Zinc deficiency. *British Medical Journal* 326 (7386): 409-410.
42. Rajabi, R. 2015. Evaluation of Genetic diversity for fertilizer use efficiency in bread wheat genotypes under rainfed Conditions of Iran. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)* 108: 24-34. (in Persian).
43. Sandberg, A. S. 2002. Bioavailability of minerals in legumes. *British Journal of Nutrition* 88 (3): 281-285.
44. 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.
45. Shivay, Y. S., Kumar, D., and Prasad, R. 2008. Effect of zinc- enriched urea on productivity, zinc uptake and efficiency of an aromatic rice-wheat cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81: 229-243.
46. Stein, A. J. 2010. Global impacts of human mineral malnutrition. *Plant and Soil* 335: 133-154.
47. Welch, R. M., and Graham, R. 2004. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany* 55: 353-364.
48. White, P. J., and Broadley, M. R. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist* 182: 49-84.
49. Zhang Y., Shi, R. M. D., Rezaul, K., Zhang, F., and Zou, C. 2010. Iron and zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 12268-12274.
50. Zhang, Y. Q., Sun, Y. X., Ye, Y. L., Karim, M. R., Xue, Y. F., Yan, P., Meng, Q. F., Cui, Z. L., Cakmak, I., Zhang, F. S., and Zou, C. Q. 2012. Zinc biofortification of wheat through fertilizer applications in different locations of China. *Field Crop Research* 125: 1-7.
51. Ziaieian, A. H., and Malakouti, M. J. 2002. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. *Plant Nutrition* 92: 840-841.
52. Zou, C. Q., Zhang, Y. Q., Rashid, A., Ram, H., Savasli, E., Arisoy, R. Z., Ortiz-Monasterio, I., Simunji, S., Wang, Z. H., Sohu, V., Hassan, M., Kaya, Y., Onder, O., Lungu, O., Yaqub Mujahid, M., Joshi, A. K., Zelenskiy, Y., Zhang, F. S., and Cakmak, I. 2012. Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. *Plant and Soil* 361:119-130.



Effect of Fe and Zn Spraying on Yield and Nutrients Bioavailability of Bread Wheat Cultivars

M. Shiri^{1*}, M. Kamrani², A. Mehraban³

Received: 14-08-2018

Accepted: 03-12-2018

Introduction: Wheat is one of the most important foods for the people in the world. For many Central Asia and Middle Eastern nations, wheat provides $\approx 50\%$ of the daily energy consumption and the proportion can exceed 70% in rural areas. The production of high-yielding modern cultivars may provide the amount of energy needed by humans, but these cultivars, due to the low concentration of micronutrients such as iron (Fe) and zinc (Zn), are usually deficient and cause health problems. This shortage is intensified in dryland areas due to dryness, alkalinity, and so on. Two-thirds of the total area under wheat cultivation in Iran belongs to rainfed wheat. Declines in the concentration of micronutrients such as Fe and Zn in cereal grain which are often important sources of micronutrients for humans cause several diseases. Agronomic fortification (e.g., fertilizer application) is imperative and necessary for improving micronutrient concentrations in grains in a short period. Phytic acid has a high potential for binding Zn and Fe, making them less bioavailable for humans. If the amount of phytic acid in the wheat grain is high, the absorption of small elements in the intestine decreases. The use of micronutrient fertilizers, such as zinc reduces the amount of phytic acid and enhance grain zinc concentration. Therefore, the purpose of this research was to investigate the role of zinc and iron fertilizers on the performance and quality of modern and local cultivars of bread wheat.

Materials and Methods: To investigate the role of iron and zinc Nano-chelate fertilizers on the improvement of grain yield and elemental composition of bread wheat cultivars, a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications arranged in Moghan Agricultural and Natural Resources Research Center, 2015-2016. The first factor was control and spraying with iron, zinc, and iron + zinc. The cultivars included Aftab (G1), Karim (G2) and two new genotypes (G3 and G4). Foliar application of Khazra iron and zinc Nano-chelate fertilizers was carried out at tillering, early of heading and milky stages with a ratio of 2 and 1.5 per thousand, respectively. Iron, zinc, and iron + zinc Nano fertilizers at the rate of 2 kg ha^{-1} , 1.5 kg ha^{-1} and $2 + 1.5 \text{ kg ha}^{-1}$ were sprayed at every stage. Ammonium phosphate and urea fertilizers at a rate of 50 kg ha^{-1} from each one of them were applied before planting. Measurement of Fe and Zn elements was carried out at wavelengths of 233.28 and 2333 nm, respectively with the use of the atomic absorption device Shimadzu, AA-6300. Measured traits included a number of spikelets per spike, number of grains per spike, number of seeds per spike, and 1000 grain weight per the main spike, grain yield m^2 , zinc concentration, iron concentration, phytic acid, and phytic acid molar ratio to zinc and iron.

Results and Discussion: The results showed that cultivar G1, G2, and G3 produced significantly higher seed yield than G1. This was mainly due to an increase in spikelet number, the number of seeds per spikelet, and/or both. The G1 and G2 cultivars had a higher concentration of zinc in comparison with the new genotypes. Cultivar G1 had the highest Phytic acid and phytic acid to zinc and iron molar ratio, and genotype G4 had the lowest values. Maximum grain yield, Zn and Fe concentrations were obtained at the foliar application of Fe + Zn, Zn, and Fe, respectively. Zinc application had the lowest amounts of phytic acid and phytic acid to Zn molar ratio in comparison with the other spraying levels.

Conclusions: As a result, the foliar application of iron and especially zinc in dryland farms, by improving the bioavailability of iron and zinc and increasing wheat yield, can play a significant role in providing daily energy intake and reducing health risks.

Keywords: Iron concentration, Molar ratio, Phytic acid, Spraying, Zinc concentration

1- Assistant Professor, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Associate Professor, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

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

(* - Corresponding Author Email: Shiri.m@uma.ac.ir)



ارزیابی صفات کمی و کیفی نعناع‌فللی (*Mentha piperita* L.) در چین‌های اول و دوم تحت

تأثیر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی، نانو و مایکوریزا

علی استادی^۱، عبدالله جوانمرد^{۲*}، محمدرضا مرشدلو^۳، سارا ملاعلی عباسیان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کودهای مختلف بر ویژگی‌های کمی و کیفی نعناع‌فللی (*Mentha piperita* L.)، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در زمان بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار و در دو چین در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال زراعی ۱۳۹۶ اجرا شد. عامل اصلی تیمارهای مختلف کودی شامل ۱۰۰ درصد کود شیمیایی NPK، قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*)، قارچ مایکوریزا+۵۰ درصد کود شیمیایی، نانو کود (ماکرو+ میکرو)، ۵۰ درصد نانو کود+۵۰ درصد کود شیمیایی و نانو کود+ مایکوریزا و عدم مصرف کود (شاهد) و عامل فرعی زمان برداشت (چین اول و دوم) بودند. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌ی جانبی در بوته، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن کل ماده خشک، درصد اسانس، عملکرد اسانس و صفات کیفی اسانس بودند. نتایج نشان دادند که صفات ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن کل ماده خشک و درصد اسانس، عملکرد اسانس و صفات کیفی اسانس در چین دوم به‌دست آمد. از سوی دیگر، بیشترین (۶/۱ گرم در مترمربع) و کمترین (۲/۹ گرم در متر مربع) عملکرد اسانس نیز به‌ترتیب در تیمارهای ۵۰ درصد کود شیمیایی+ مایکوریزا و شاهد به‌دست آمد. تجزیه شیمیایی اسانس نشان داد که در تمامی تیمارها منتول، منتون، ۱،۸ سینئول، نئو ایزومنتول، نئو منتول، منتوفوران و پی-منس-یک-این-۹-آل جزء ترکیب‌های غالب اسانس بودند. بیشترین میزان منتول در تیمار نانو کود و در چین دوم به‌دست آمد. علاوه‌براین، در هر دو چین مونوترپن‌های هیدروکربنه جزء اصلی اسانس بودند. به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی+ ۵۰ درصد نانو کود و ۵۰ درصد کود شیمیایی+ قارچ مایکوریزا می‌تواند در بهبود کمیت و کیفیت اسانس نعناع‌فللی و کاهش کودهای شیمیایی موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: چین، کاربرد تلفیقی کود، کشاورزی پایدار، منتول، منتون

مقدمه

به حدود ۷۰۰۰ تن می‌رسد. نعناع‌فللی یک گیاه هیبرید بین گونه‌ای است که والدین آن را *Mentha aquatic* و *Mentha spicata* ذکر کرده‌اند. طعم تند برگ‌های آن سبب معروفیت این گیاه به نام نعناع فلفلی شده است (Peter, 2006).

قوانین مربوط به تنوع زیستی که در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ برای محافظت از تنوع زیستی به‌ویژه تنوع گیاهان دارویی وضع شد، به‌منظور برآورده کردن تقاضای جهانی داروهای گیاهی با منشأ طبیعی، تولیدکنندگان را به کشت گیاهان دارویی الزام کرد (Smitha et al., 2019). امروزه جهت افزایش عملکرد در سیستم‌های کشاورزی مرسوم از کودهای شیمیایی به‌صورت فشرده استفاده می‌شود (Tarraf et al., 2017). به طوری که میزان مصرف کودهای NPK در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ به‌ترتیب ۱۷۰/۷ و ۱۷۵/۷ میلیون تن بوده که در سال ۲۰۵۰، مصرف کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسیمی به‌ترتیب ۱۷۲، ۱۷۵ و ۱۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (Khan et al., 2018). از طرفی تخمین زده شده که حدود ۷۰-۴۰ درصد

امروزه، بر کشت گیاهان دارویی به جهت افزایش تنوع اکوسیستم‌های زراعی که نقش مهمی در کشاورزی پایدار ایفا می‌کنند، تمرکز بیشتری شده است. این گیاهان در سراسر جهان از زمان‌های قدیم به علت اثرات مفید بر سلامت انسان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Urcoviche et al., 2015). نعناع‌فللی (*Mentha piperita* L.) یک گیاه چندساله دارویی متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است که مقدار مصرف سالانه‌ی اسانس آن در جهان

۱- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۳- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۴- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

(*) نویسنده مسئول: Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

DOI: 10.22067/gsc.v17i2.75005

نیتروژن، ۸۰-۹۰ درصد فسفر و ۵۰-۹۰ درصد پتاسیم مصرفی در محیط تلف شده و در دسترس گیاه قرار نمی‌گیرند (Solanki et al., 2015). بنابراین با توجه به کارایی پایین کودهای شیمیایی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بیش از حد آن‌ها و به‌منظور اطمینان از پایداری آگرواکوسیستم‌ها ضروری است استفاده از کودهای طبیعی با بنیان آلی و با کارایی بالا توسعه پیدا کنند (Razavi et al., 2017). نانو کودها موادی با اندازه ۱۰۰-۱ نانومتر تعریف می‌شوند که به‌راحتی جذب گیاه می‌شوند. از مزایای آن‌ها می‌توان به افزایش راندمان و کیفیت منابع غذایی، جذب کامل کود توسط گیاه، کاهش آلودگی خاک و محصولات غذایی به واسطه کاهش آبخوبی، کاهش فشرده‌گی خاک، کاهش مسمومیت گیاهی و تنش ناشی از غلظت‌های بالای موضعی نمک در خاک و افزایش عملکرد به‌واسطه وضعیت تغذیه‌ای مطلوب گیاه اشاره نمود (Liu and Lal, 2015). در پژوهشی اثر محلول‌پاشی نانو کودهای آهن در ریحان مقدس (*Ocimum sanctum*) بر صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر و خشک (برگ، ساقه و اندام هوایی) و همچنین بر میزان اسانس معنی‌دار شد به طوری که بیشترین و کمترین مقدار صفات مذکور به‌ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی ۱ گرم در لیتر نانوکلات آهن و شاهد مشاهده شد (Moghadam et al., 2015). در آزمایشی دیگر مشاهده شد که ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک پیکره رویشی، درصد اسانس و ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس بالنگو (*Lallemantia iberica*)، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نانو کود و کود زیستی قرار گرفتند. بیشترین ارتفاع گیاه بالنگو (۳۵ سانتی‌متر) با کاربرد کود شیمیایی، بیشترین وزن تر و خشک پیکره رویشی در تیمار هم‌زمان نانو کود و نیتروکسین (به‌ترتیب ۳۶/۰۵ و ۵/۰۹ گرم) و بیشترین درصد اسانس با کاربرد هم‌زمان نانو کود و بیوفسفات به میزان ۰/۵۷ درصد حاصل شد (Mafakheri et al., 2015). همچنین، خاتر (Khater, 2015) اثر محلول‌پاشی نانو ذرات مگنتیت بر رشد و ترکیب اسانس نعناع فلفلی را مطالعه کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد نانو ذرات مگنتیت رشد و اسانس گیاه نعناع فلفلی را به‌طور قابل توجهی افزایش داد. به‌طوری که در غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر بیشترین درصد اسانس و عملکرد گیاه به‌دست آمد، علاوه بر این بیشترین میزان منتون و منتول نیز با محلول‌پاشی ۱۵ میلی‌لیتر نانو ذرات مگنتیت حاصل شد.

قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار^۱، یکی از عوامل بیولوژیک خاک‌های زراعی می‌باشند که به دلیل افزایش سطح مؤثر ریشه و به دنبال آن سطح جذب و توانایی افزایش جذب فسفر از منابع غیرمتحرک به‌واسطه فعالیت آنزیم فسفاتاز و ترکیبات آلی حل‌کننده

فسفات نامحلول، موجب استفاده تجاری از این قارچ‌ها به‌عنوان کودهای زیستی شده است (Willmann et al., 2013). مطالعات متعددی در رابطه با هم‌زیستی قارچ میکوریزا با گیاهان دارویی و معطری مانند ریحان (*Ocimum basilicum*)، مرزنجوش (*Origanum onites*)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)، شویذ (*Anethum graveolens*)، رازیانه (*Foeniculum vulgare*)، گشنیز (*Coriandrum sativum*)، اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*)، شمعدانی معطر (*Pelargonium peltatum*) و مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) وجود دارد (Karagiannidis et al., 2011). در آزمایش کاراجیانیدیز و همکاران (Karagiannidis et al., 2011) مشخص شد که گونه‌ای نعناع (*Mentha requienii*) و مرزنجوش (*Origanum onites* L.) که با قارچ میکوریزا تلقیح شده بودند محتوای بالاتری از اسانس و عناصر غذایی را دارا بودند و رشد بهتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند علاوه بر این ترکیب اسانس در گیاهان تلقیح شده با اسانس گیاهان تلقیح نشده متفاوت بود. همچنین یورکویچ و همکاران (Urcoviche et al., 2015)، با کاربرد دو گونه قارچ میکوریزا روی گیاه نعناع برگ موجی (*Mentha crispa*) گزارش کردند گیاهانی که با قارچ *Glomus etunicatum* تلقیح شده بودند بیشترین محتوای اسانس (۰/۹۸ درصد) در شرایط مقدار اندک فسفر خاک را داشتند. با این حال وقتی که فسفر به خاک اضافه شد محتوای اسانس به ۰/۰۹ درصد کاهش یافت. در پژوهشی اثر دو گونه قارچ میکوریزا (*Glomus macrocarpum* و *Glomus fasciculatum*) بر روی غلظت آرتیمیزینین در گیاه درمنه یکساله (*Artemisia annua* L.) مورد آزمایش قرار گرفت، نتایج نشان داد که این دو قارچ به‌طور معنی‌داری غلظت آرتیمیزینین را افزایش دادند (Kapor et al., 2007). همچنین هم‌زیستی با قارچ میکوریزا به‌طور معنی‌داری نه تنها باعث افزایش محتوای اسانس شد بلکه باعث افزایش ماده فعال مهم آنتول در رازیانه (*Foeniculum vulgare*) نیز شد (Kapor et al., 2004). ژیلجاکو و همکاران (Zheljazkov et al., 2009) با بررسی اثر کود شیمیایی نیتروژن بر نعناع فلفلی گزارش کردند که با مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، عملکرد و ترکیب اسانس نسبت به شاهد تحت تأثیر قرار نگرفت. در حالی که کورت و همکاران (Court et al., 1993) نتیجه گرفتند که عملکرد ماده خشک و درصد اسانس نعناع فلفلی با افزایش میزان مصرف نیتروژن افزایش یافت. همچنین ترکیب‌های نئومنتول، منتیل استات، لینالول، پولگون، آلفا-ترپنین و بتا کاریوفیلین با افزایش میزان کود نیتروژن کاهش ولی ترکیب‌هایی همانند ایزومنتون و منتون با افزایش مصرف کود افزایش یافتند. در حالی که مقدار منتول به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر افزایش مصرف کود نیتروژن قرار نگرفت. در پژوهشی اثر محلول‌پاشی عناصر NPK به همراه اسید سالیسیلیک بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه آویشن (*Thymus*

(Chelate Mn 18%) با غلظت ۵۰۰ گرم در هزار لیتر مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که نانو کودها در دو مرحله رشدی (یک ماه بعد از کشت و یک ماه بعد از برداشت چین اول) محلول‌پاشی شدند.

هر کرت شامل پنج خط کاشت به طول سه متر بود و نشاءها با فواصل بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) مورد استفاده در این تحقیق از کلینیک گیاه‌پزشکی اسدآباد همدان تهیه شد. قبل از کاشت از خاکی که حاوی هیف‌های قارچ میکوریزا، بقایای ریشه و اسپور (حدود ۱۰۰۰ اسپور در هر ۱۰ گرم خاک) بود، در داخل خطوط کاشت و زیر نشاءها به مقدار ۸۰ گرم در هر ردیف کاشت استفاده شد. ریزوم‌ها در اواسط اردیبهشت ماه با تراکم ۱۰ بوته در متر مربع در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک با دست کشت شدند (Peter, 2006). اولین نوبت آبیاری اول بلافاصله بعد از کاشت به‌صورت قطره‌ای و در مراحل بعدی هر ۷-۱۰ روز صورت گرفت (Marcum and Hanson, 2011; Telici et al., 2006). همچنین مبارزه با علف‌های هرز در اوایل دوره رشد به‌صورت دستی صورت پذیرفت. شاخص کلروفیل در آغاز گلدهی توسط دستگاه کلروفیل‌متر^۲ مدل Spad 502 Plus ساخت کشور ژاپن، از آخرین برگ کاملاً توسعه‌یافته در پنج بوته اندازه‌گیری شد. در نهایت بعد از حذف اثرات حاشیه، برداشت در هر دو چین از خطوط وسط در مساحتی معادل ۲ مترمربع در ۵۰ درصد گلدهی صورت گرفت. برداشت چین اول در نیمه اول مرداد و چین دوم در نیمه دوم مهرماه انجام پذیرفت. بعد از برداشت، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ‌ها، وزن خشک ساقه‌ها، وزن کل ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس اندازه‌گیری شد. جهت تعیین وزن خشک، نمونه‌های برداشت شده از هر کرت را در سایه تا ثابت شدن وزن نگهداری شدند. جهت استخراج اسانس از دستگاه کلونجر استفاده شد، اسانس‌گیری به مدت سه ساعت انجام شد، سپس اسانس‌های استخراج شده با سولفات سدیم خشک آبیگری و داخل ویال شیشه‌ای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری گردید (Morshedloo et al., 2017)، بعد از اسانس‌گیری، عملکرد و درصد اسانس براساس وزن خشک نمونه محاسبه گردید (Poshtdar et al., 2016):

$$(۱) \quad ۱۰۰ \times (\text{وزن خشک نمونه} / ۴۰ \text{ گرم}) / \text{وزن اسانس} = \text{درصد اسانس}$$

$$(۲) \quad \text{درصد اسانس} \times \text{ماده کل خشک} (\text{گرم در متر مربع}) = \text{عملکرد اسانس}$$

اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه

بعد از جمع‌آوری نمونه‌های ریشه در تیمارهای حاوی قارچ میکوریزا، ریشه‌ها را داخل هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد به مدت

vulgaris L.) مورد آزمایش قرار گرفت، نتایج نشان داد که محتوای اسانس و غلظت تیمول، گاما ترپین و پی-سیمن با محلول‌پاشی عناصر NPK به همراه اسید سالیسیلیک نسبت به شاهد افزایش یافت (Pavela et al., 2018).

اخیراً تولید گیاهان دارویی براساس قوانین روش‌های کشاورزی سودمند^۱ صورت می‌گیرد. بر اساس این قوانین در کشت و کار گیاهان دارویی لازم است مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها به حداقل برسد. بنابراین، با توجه به استفاده روزافزون از گیاهان دارویی و نقش این گیاهان در اقتصاد کشور، این پژوهش با هدف بررسی اثر نانو کودها، قارچ میکوریزا و کودهای شیمیایی به‌صورت جداگانه و ترکیبی بر درصد و عملکرد اسانس و ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس نعنای فلفلی در شرایط آب و هوایی مراغه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۴۸۵ متر از سطح دریا به‌صورت اسپلینت پلات در زمان بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار و در دو چین اجرا شد. عامل کرت اصلی انواع مختلف کود شامل عدم مصرف کود (شاهد)، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (۲۰۰ و ۱۳۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب اوره و سوپرفسفات تریپل)، کاربرد قارچ میکوریزا، قارچ میکوریزا+۵۰ درصد کود شیمیایی، نانو کود ماکرو (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)+ میکرو (آهن، روی و منگنز)، ۵۰ درصد نانو کود (ماکرو+میکرو)+۵۰ درصد کود شیمیایی، نانو کود+ قارچ میکوریزا و عامل فرعی زمان برداشت (چین اول و دوم) بودند. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۱).

کود سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت و کود اوره در سه نوبت (هم‌زمان با کاشت، قبل از مرحله گلدهی در چین اول و بعد از برداشت چین اول) استفاده شدند (Telici et al., 2011). نانو کودهای مورد استفاده با استفاده از روش مکانیکی توسط شرکت تولیدکننده این کودها (شرکت فن‌آور سپهر پارمیس) ساخته شده و مواد نانویی نیز اضافه نشده است. این روش، از جمله روش‌های تولید نانو مواد با رویکرد بالا به پایین است (Mishra et al., 2018). نانو کودهای نیتروژن (Chelate N 25%) و روی (Chelate Zn 20%) با غلظت دو در هزار مصرف شدند. همچنین نانو کودهای فسفر (Chelate P 18%)، پتاسیم (Chelate K 35%) و آهن (Chelate Fe 13%) با غلظت یک کیلوگرم در هزار لیتر آب و نانو کود منگنز

جریان یک میلی لیتر بر دقیقه و نسبت تقسیم ۱:۲۴ استفاده شده بود. نمونه‌های اسانس به نسبت ۱:۱۰۰ در هگزان رقیق سازی و به میزان ۱ میکرولیتر تزریق شدند. کمی کردن ترکیبات اسانس با استفاده از نرمال سازی سطح پیک و بدون استفاده از ضرایب اصلاح انجام شد (Morshedloo *et al.*, 2018). در نهایت بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس به صورت اسپلیت پلات در زمان با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C و رسم نمودارها با نرم افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

درصد کلونیزاسیون ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که درصد کلونیزاسیون تحت تأثیر معنی دار انواع مختلف کود در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین درصد کلونیزاسیون (۷۷/۱ درصد) با کاربرد قارچ میکوریزا بدون تفاوت معنی دار با تیمار نانو کود+ مایکوریزا حاصل شد. کمترین میزان درصد کلونیزاسیون (۵۷/۶) در تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی+ قارچ میکوریزا مشاهده شد (شکل ۱). میزان کلونیزاسیون و فراوانی آربوسکول در خاک‌هایی که از کودهای زیستی و آلی به جای کودهای شیمیایی استفاده شده، بیشتر است (Kahiluoto *et al.*, 2009; Galvan *et al.*, 2009). اسمایث و رید (Smith and Read, 2008) گزارش کردند که مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی بر جمعیت میکروبی کودهای زیستی تأثیر منفی گذاشته و استفاده درازمدت و بی‌رویه از این کودها منجر به کاهش فعالیت زیستی این موجودات می‌شود. از طرفی کاربرد بی‌رویه و دراز مدت کودهای شیمیایی منجر به کاهش ماده آلی خاک شده که این نیز به نوبه خود بر روی میکروارگانیسم‌های مفید تأثیر منفی خواهد گذاشت (Smith and Read, 2008). در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، عبداللهی و شریف (Abdullahi and Sheriff, 2013) مشاهده کردند که کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم منجر به کاهش درصد کلونیزاسیون می‌شود. علاوه بر این نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج آزمایشات گریندر و همکاران (Gryndler *et al.*, 2005) و ولنتین و همکاران (Valentine *et al.*, 2001) مطابقت داشت. طبق نتایج اسمایث و رد (Smith and Read, 2008) در دسترس بودن فسفر در خاک عامل مهمی برای رابطه همزیستی با قارچ میکوریزا می‌باشد. کاربرد مقادیر کم فسفر در خاک می‌تواند کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریزا را افزایش بدهد.

۱۰-۵ دقیقه حرارت و سپس آن‌ها را با آب مقطر شستشو و بعد در محلول اسید هیدروکلریدریک دو مولار به مدت ۲۰-۱۵ دقیقه قرار داده شدند. جهت رنگ آمیزی، ریشه‌ها را داخل تریپان بلو^۱ ۰/۰۵ درصد به مدت ۱۰ دقیقه حرارت و سپس با آب مقطر شستشو و سپس در محلولی که حاوی اسید لاکتیک، گلیسرول و آب بود تا زمان سنجش نگهداری شدند (McGonigle *et al.*, 1990; Koske and Gemma, 1989; Phillips and Hayman, 1970). نمونه‌های رنگ آمیزی شده توسط میکروسکوپ نوری الیمپوس مدل BH-2 مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند و از اندام‌ها و ریشه‌های قارچی که رنگ آبی به خود گرفته بودند عکس برداری شد. در نهایت درصد کلونیزاسیون با روش خطوط متقاطع محاسبه شد (Giovannetti and Mosse, 1980).

$$(۳) \quad ۱۰۰ \times \text{مجموع ریشه‌های غیر آلوده} / \text{مجموع ریشه‌های آلوده} = \text{درصد کلونیزاسیون ریشه}$$

شناسایی ترکیبات اسانس

برای شناسایی ترکیبات اسانس از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل شده به طیف سنجی جرمی (GC-MS) مدل Agilent 5977A ساخت کشور آمریکا، با ستون HP-5 MS (۵ درصد فیل متیل پلی سیلوکسان، به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت ماده جاذب ۰/۲۵ میکرومتر) استفاده شد. در برنامه ریزی دمایی آن، ابتدا دما در عرض ۵ دقیقه به ۶۰ درجه سانتی گراد رسیده سپس به تدریج دما با سرعت ۳ درجه سانتی گراد بر دقیقه افزایش یافت تا به دمای ۲۴۰ درجه سانتی گراد رسید. بعد از آن به مدت ۲۰ دقیقه در این دما نگهداری شد. هلیوم به عنوان گاز حامل با سرعت جریان یک میلی لیتر بر دقیقه استفاده شد. ولتاژ یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت، روش یونیزاسیون EI و دمای یونیزاسیون ۲۲۰ درجه سانتی گراد بود. محفظه تزریق در حالت تقسیم (نسبت تقسیم ۱:۳۰) تنظیم شده بود و محدوده جذب جرمی از ۴۰ تا ۴۰۰ m/z بود. به منظور محاسبه شاخص بازداری پیک‌ها، مخلوطی از هیدروکربن‌های آلیفاتیک (C8-C40) تحت شرایط تحلیلی بالا به داخل سیستم GC تزریق شد. نرم افزار مورد استفاده Chemstation بود. محاسبه و شناسایی ترکیبات اسانس به کمک شاخص‌های بازداری خطی آن‌ها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود در کتاب مرجع (Adams, 2007) و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیبات استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه‌ی کامپیوتری صورت گرفت. برای جداسازی ترکیبات از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Agilent 7990B ساخت کشور آمریکا با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) و ستون VF-5MS استفاده شد. دمای تزریق و آشکارساز به ترتیب روی ۲۳۰ و ۲۴۰ سانتی گراد تنظیم شده بودند. گاز هلیوم با سرعت

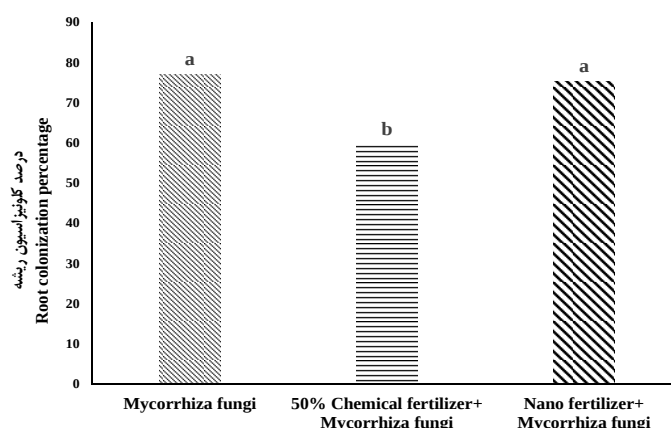
جدول ۱- نتایج تجزیه خاک قبل از شروع آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)
Table 1- Soil analysis results before beginning the experiment (depth 0-30 cm)

بافت Texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	pH	مقدار پتاسیم تبادلی Amount of exchangeable potassium (mg.kg ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation exchange capacity (Cmolc.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)
لومی رسی شنی (Sandy clay loam)	56	16.5	27.5	0.08	1.18	8.16	570.85	27	9.42	0.089

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به درصد کلونیزاسیون ریشه نعناع فلفلی
Table 2- Analysis of variance (mean of squares) related to root colonization percentage of *Mentha piperita*

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	درصد کلونیزاسیون ریشه Root colonization percentage
Replication	تکرار	2	10.152 ^{ns}
Fertilizer treatments (T)	تیمارهای کودی	2	290.219 ^{**}
Error	خطا	4	2.470
Coefficient of variation (%)	ضریب تغییرات		2.2

^{ns}، * و ^{**} به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار
*، ** and ns: Significant at 5 and 1% levels of probability and non-significant



شکل ۱- میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمارهای قارچ میکوریزا، قارچ میکوریزا+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و قارچ میکوریزا+ نانو کود. ستون‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن ندارند.

Figure 1- Means of root colonization percentage in mycorrhiza fungi, 50 % chemical fertilize + mycorrhiza fungi and nano fertilizer + mycorrhiza fungi treatments

The columns having one common letter are not significant differences at 5% probability level using Duncan Test.

ارتفاع بوته

(جدول ۴). دلیل افزایش ارتفاع بوته در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا احتمالاً به جذب بهتر عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، روی، فسفر، آمونیوم، مس و پتاسیم نسبت داده می‌شود که در نهایت منجر به بهبود صفات رشدی و عملکردی از قبیل ارتفاع بوته و تعداد شاخ و برگ می‌گردد (Baum et al., 2015). در آزمایش ویسانی و همکاران (Weisany et al., 2017) مشخص شد که صفات رشدی و عملکردی در گیاهان شنبلیله (*Trigonella foenum graecum* L.)، گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) با کاربرد قارچ میکوریزا بهبود پیدا کردند. در تحقیقی دیگر کاربرد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی، چین و ترکیب تیماری نوع کود × چین قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین ارتفاع بوته نعناع فلفلی (۵۰/۸ سانتی‌متر) در چین اول با کاربرد قارچ میکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۵۰ درصد کود شیمیایی + میکوریزا، ۵۰ درصد نانو کود+ ۵۰ درصد کود شیمیایی، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، نانو کود+ میکوریزا و نانو کود کامل نداشت. همچنین کمترین میزان ارتفاع بوته (۲۸/۶ سانتی‌متر) در شاهد (عدم مصرف) و در چین دوم حاصل شد

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر حاصلخیزکنندهای خاک و چین بر صفات مورفولوژیکی نعناع فلفلی
Table 3- Results of analysis of variance for soil and harvest fertilizers effect on *Mentha piperita* morphological traits

میانگین مربعات MS												
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه‌ی جانبی در هر بوته Number of lateral branches per plant	شاخص کلروفیل SPAD	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک کل Total dry weight	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield		
Replication	تکرار	2	0.543 ^{ns}	0.368 ^{ns}	13.230 ^{ns}	1118.853 *	133.591 ^{ns}	2015.553 ^{ns}	0.039 ^{ns}	1.019 ^{ns}		
Fertilizer treatments (T)	تیمارهای کودی	6	118.845 ^{**}	32.523 *	833.813 ^{**}	7955.44 ^{**}	2123.828 ^{**}	18224.92 ^{**}	0.300 ^{**}	11.963 ^{**}		
Error a	خطای a	12	6.66	8.061	9.857	282.529	195.821	812.396	0.015	0.519		
Harvest (H)	چین	1	1242.605 ^{**}	1527.158 ^{**}	2335.1 ^{**}	53063.35 ^{**}	12695.048 ^{**}	117666.57 ^{**}	11.409 ^{**}	0.363 ^{ns}		
T×H	تیمار کودی×چین	6	23.425 ^{**}	7.801 ^{ns}	94.30 ^{**}	2334.06 ^{**}	495.987 ^{**}	4931.14 ^{**}	0.123 ^{**}	0.755 ^{ns}		
Error b	خطای b	14	4.549	5.672	14.432	454.315	108.662	912.135	0.023	0.389		
Coefficient of variation (%)	ضریب تغییرات (%)		5.08	13.98	6.50	14.14	13.63	13.29	7.17	13.64		

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار
*، ** and ns: Significant at 5 and 1% levels of probability and Non-significant

قارچ مایکوریزا باعث افزایش ارتفاع بوته و وزن کل ماده خشک گیاه انیسون (*Pimpinella anisum* L.) گردید (Masoumi Zavarian et al., 2015).

تعداد شاخه جانبی

تعداد شاخه جانبی در هر بوته تحت تأثیر معنی‌دار انواع مختلف کود و چین قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۹/۴ عدد) به تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا بدون تفاوت معنی‌دار با تیمارهای ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانوکود، نانو کود + قارچ مایکوریزا تعلق داشت. همچنین کمترین تعداد شاخه جانبی (۱۲/۹ عدد) در شاهد حاصل شد (جدول ۵). علاوه بر این، نتایج نشان داد، چین دوم تعداد شاخه جانبی بیشتری نسبت به چین اول تولید نمود (جدول ۶). دلیل این افزایش را می‌توان به آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از نانوکودها و همزیستی بهتر گیاه با قارچ مایکوریزا در چین دوم نسبت داد. قارچ مایکوریزا از طریق افزایش تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه مانند جیبرلین (تأثیر در رشد طولی سلول‌ها به‌ویژه میانگره‌های ساقه)، اکسین و سیتوکینین (تأثیر در تقسیم سلولی) سبب افزایش صفات رویشی از قبیل تعداد شاخه جانبی می‌گردد (Gutierrez Manero et al., 2001) و از طرفی با توجه به اینکه نیتروژن نقش اساسی در ساختمان کلروفیل دارد و همچنین مهمترین عنصر در سنتز پروتئین‌ها می‌باشد و افزایش آن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش پروتئین‌ها، گیاه به توسعه سطح برگ، تعداد شاخه فرعی و قطر ساقه می‌پردازد که در نتیجه آن افزایش مواد فتوسنتزی را به دنبال دارد (Rahmani et al., 2008). در پژوهشی کاربرد قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*) بر روی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) باعث افزایش وزن خشک کل گیاه، تعداد شاخه جانبی، وزن خشک ریشه و ارتفاع گیاه شد (Aslani et al., 2011).

شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد شاخص کلروفیل تحت تأثیر معنی‌دار ترکیب تیماری نوع کود و چین قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین شاخص کلروفیل (۸۰/۹) به تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود در چین دوم تعلق داشت. کمترین میزان شاخص کلروفیل (۳۴/۵) در چین اول و در حالت بدون مصرف کود مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک کل و درصد اسانس نعنای فلفلی در ترکیب تیمار کودی و چین

Table 4- Means comparison of plant height, SPAD, leaf dry weigh, stem dry weigh, total dry weight and essential oil percentage of *Mentha piperita* in treatment combinations of fertilizer patterns×cutting

صفات							
Traits							
ترکیب تیمار کودی و چین		ارتفاع گیاه	شاخص	وزن خشک	وزن خشک ساقه	وزن خشک کل	درصد اسانس
Treatment combinations of fertilizer patterns×cutting		Plant height (cm)	کلروفیل SPAD	برگ Leaf dry weight (g.m ⁻²)	Stem dry weight (g.m ⁻²)	Total dry weight (g.m ⁻²)	Essential oil content (%)
T1	H1	37.68 ^{cd}	34.53 f	89.79 ^e	43.41 ^{ef}	133.2 ^e	2.153 ^c
T1	H2	28.58 ^f	53.30 d	133.5 ^{cd}	71.67 ^{bc}	205.2 ^{cd}	1.473 ^{ef}
T2	H1	48.25 ^a	70.07 b	135.9 ^{cd}	72.44 ^{bc}	208.3 ^{bcd}	2.920 ^{ab}
T2	H2	42.50 ^b	82.90 a	254.6 ^a	127.9 ^a	382.6 ^a	1.527 ^{def}
T3	H1	50.75 ^a	40.50 ef	113.6 ^{cde}	61.36 ^{cde}	175 ^{cde}	2.763 ^b
T3	H2	33.33 ^e	59.40 cd	126.7 ^{cde}	67.97 ^{cd}	194.6 ^{cd}	1.647 ^{def}
T4	H1	50.08 ^a	63.63 bc	140.3 ^{bcd}	74.94 ^{bc}	215.3 ^{bc}	2.750 ^d
T4	H2	40.92 ^{bc}	65.40 bc	236.5 ^a	120.2 ^a	356.7 ^a	1.750 ^d
T5	H1	47.33 ^a	41.50 e	92.72 ^e	42.28 ^f	135 ^e	2.383 ^c
T5	H2	34.42 ^{de}	63.86 bc	173.7 ^b	86.61 ^b	260.3 ^b	1.443 ^f
T6	H1	49.88 ^a	61.50 c	130.1 ^{cd}	67.17 ^{cd}	197.2 ^{cd}	3.127 ^a
T6	H2	41.67 ^b	77.03 a	253.8 ^a	114.7 ^a	350.5 ^a	1.713 ^{de}
T7	H1	47.75 ^a	43.40 e	103.8 ^{de}	52.25 ^{def}	156.1 ^{de}	2.297 ^c
T7	H2	34.17 ^{de}	61.17 c	143 ^{be}	68.17 ^{cd}	211.2 ^{bc}	1.543 ^{def}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan Test.

T1 (شاهد)، T2 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی)، T3 (کاربرد مایکوریزا)، T4 (۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا)، T5 (نانو کود)، T6 (۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود)، T7 (نانو کود + مایکوریزا)، H1 (چین اول)، H2 (چین دوم)

T1 (Control), T2 (100% Chemical fertilizer), T3 (Mycorrhiza fungai), T4 (50% Chemical fertilizer+ Mycorrhiza), T5 (Nanofertilizer), T6 (50% Chemical fertilizer+ 50% nanofertilizer), T7 (Nanofertilizer+ Mycorrhiza). H1 (Firat harvest), H2 (Second harvest)

جدول ۵- مقایسه میانگین تعداد شاخه‌ی جانبی در هر بوته و عملکرد اسانس نعنای فلفلی تحت تأثیر کاربرد انواع مختلف کود

Table 5- Means comparison of number of lateral branche per plant and essential oil yeild of *Mentha piperita* affected by different fertilizer application

تیمارهای آزمایشی Treatments	تعداد شاخه‌ی جانبی در هر بوته Number of lateral branche per plant	عملکرد اسانس Essential oil yield (g.m ⁻²)
شاهد Control	12.85 ^c	2.94 ^c
۱۰۰ درصد کود شیمیایی 100% Chemicl fertilizer	19.33 ^a	5.99 ^a
قارچ مایکوریزا Mycorrhiza fungai	16.68 ^{ab}	4.02 ^b
۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا 50% Chemical fertilizer+ Mycorrhiza fungai	19.42 ^a	6.07 ^a
نانو کود Nano fertilizer	15.41 ^{bc}	3.48 ^{bc}
۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود 50% Chemical fertilizer+ 50% Nano fertilizer	18.11 ^{ab}	6.07 ^a
نانو کود + قارچ مایکوریزا Nano fertilizer+ Mycorrhiza fungai	17.40 ^{ab}	3.43 ^{bc}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan Test.

جدول ۶- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌ی جانبی در هر بوته، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک کل و درصد اسانس نعناع فلفلی در بین چین‌ها

Table 6- Means comparison of plant height, number of lateral branches per plant, SPAD, leaf dry weigh, stem dry weigh, total dry weight and essential oil percentage of *Mentha piperita* in between of cuttings

چین Harvest	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه‌ی جانبی در هر بوته Number of lateral branches per plant	شاخص کلروفیل SPAD	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g.m ⁻²)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g.m ⁻²)	وزن خشک کل Total dry weight (g.m ⁻²)	درصد اسانس Essential oil content
چین اول First cutting	47.39 ^a	11 ^b	50.99 ^b	115.18 ^b	59.12 ^b	174.30 ^b	2.62 ^a
چین دوم Second cutting	36.51 ^b	23.06 ^a	65.90 ^a	186.27 ^a	93.89 ^a	280.16 ^a	1.59 ^b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan Test.

اول در شاهد و تیمار نانوکود مشاهده شد (جدول ۴). بیشتر بودن وزن خشک در تیمار شیمیایی را می‌توان به نقش نیتروژن در افزایش ماده خشک و افزایش طول دوره رشدی نسبت داد، زیرا نیتروژن با افزایش تقسیم و افزایش تورژسانس سلول‌های مریستمی باعث افزایش رشد رویشی و شاخه‌دهی در گیاهان می‌شود (Hagh Parast Tanha, 1992). علاوه بر این، زمانی که مقدار کافی نیتروژن در دسترس گیاه باشد، میزان فتوسنتز افزایش و باعث می‌شود تا گیاه رشد سریعی داشته و بیوماس قابل‌توجهی تولید کند، علاوه بر این کاربرد کود شیمیایی نیتروژنه جذب و تجمع عناصر دیگر مانند فسفر و پتاسیم را هم افزایش می‌دهد (Baranauskiene et al., 2003). همچنین همزیستی با قارچ مایکوریزا علاوه بر فسفر، می‌تواند بخش اندکی نیتروژن مورد نیاز گیاه را نیز تأمین می‌کند. نیتروژن محدود شده در مواد آلی معمولاً در ترکیب پپتیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد وجود دارد که قارچ مایکوریزا با ترشح پپتیداز و پروتئاز به داخل خاک باندهای نیتروژن ارگانیکی را شکسته، سپس مونومرهای نیتروژن‌دار را جذب می‌کند (Varma et al., 2018). در پژوهشی با کاربرد کود شیمیایی، ماده خشک تولیدی در بابونه (*Matricaria chamomilla* L. به دلیل افزایش حجم کانوپی گیاه، افزایش سطح برگ و جذب نور بیشتر افزایش یافت (Francis et al., 2000). مصرف کود شیمیایی باعث افزایش ارتفاع گیاه، تعداد برگ و گره در بوته، شاخص سطح برگ، عملکرد تر و خشک در نعناع فلفلی شد (Izadi et al., 2010). همچنین یوسف‌زاده و همکاران (Yousefzadeh et al., 2016)، با بررسی تأثیر کاربرد کود زیستی، نیتروژن و آزوکمپوست روی گیاه بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) گزارش کردند که کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد ماده خشک گردید. با مقایسه دو چین (جدول ۶) مشاهده می‌شود که چین

علاوه بر این با مقایسه دو چین (جدول ۶) مشاهده شد که شاخص کلروفیل در چین دوم ۲۹/۲۴ درصد بیشتر از چین اول بود. با توجه به اینکه هر مولکول کلروفیل دارای ۴ اتم نیتروژن می‌باشد و با توجه به همبستگی مثبت محتوای کلروفیل با میزان نیتروژن در دسترس گیاه می‌توان بیان کرد که با مصرف کود نیتروژن میزان کلروفیل گیاه افزایش می‌یابد و از طرفی بالاتر بودن میزان کلروفیل با کاربرد تلفیقی نانوکود را می‌توان به آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و جذب موثرتر این عناصر در طول دوره‌های مختلف رشدی گیاه نسبت داد (Liu and Lal, 2015). الفکی و همکاران (Elfeky et al., 2013) نتیجه گرفتند که کاربرد نانوکود آهن منجر به افزایش شاخص کلروفیل، ارتفاع گیاه و وزن تر و خشک گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گردید. همچنین کاربرد تلفیقی نانو کودهای آهن و روی منجر به افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف) در گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) گردید (Babaei et al., 2017).

وزن خشک برگ، ساقه و کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد وزن خشک برگ، ساقه و کل تحت تأثیر معنی‌دار اثر تیمارهای کودی، چین و ترکیب تیماری کود و چین قرار گرفتند (جدول ۳). بیشترین میزان وزن خشک برگ (۲۵۴/۶ گرم در متر مربع)، وزن خشک ساقه (۱۲۷/۹ گرم در متر مربع) و وزن کل ماده خشک (۳۸۲/۶ گرم در متر مربع) در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی بدون تفاوت معنی‌دار با تیمارهای ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود در چین دوم مشاهده شدند و کمترین میزان وزن خشک برگ (۸۹/۸ گرم در متر مربع) و وزن خشک ساقه (۴۲/۳ گرم در متر مربع) به ترتیب در شاهد و تیمار نانو کود در چین اول حاصل شد (جدول‌های ۳ و ۴). همچنین کمترین وزن کل ماده خشک نعناع فلفلی در چین

دوم نسبت به چین اول به ترتیب ۶۱/۷، ۵۸/۸ و ۶۰/۷ درصد وزن خشک برگ، ساقه و کل بیشتری را تولید نمود. افزایش وزن خشک برگ، ساقه و کل در چین دوم را می‌توان به افزایش تعداد شاخه‌های جانبی و متعاقب آن افزایش میزان برگ و ساقه تولیدی نسبت داد. علاوه بر این، به نظر می‌رسد که در چین دوم، ریشه گیاه به خوبی در خاک توسعه یافته و اثرات مفید کودهای مصرف شده قبل از کشت نیز بیشتر از چین اول ظاهر شده و در نهایت توان تولید ماده خشک در گیاه افزایش یافته است (Shajari Aghhavan et al., 2016). همچنین در مراحل ابتدایی رشد گیاه، رابطه همزیستی به تکامل نرسیده و قارچ مایکوریزا توانایی بهبود شرایط رشد گیاه را نداشته است، در حالی که مواد غذایی مورد نیاز خود را که حاصل فرآیند فتوسنتز گیاه بوده از شریک همزیست خود دریافت کرده که این موضوع باعث کاهش رشد گیاه در چین اول شده است. در دومین چین رابطه همزیستی بین گیاه و قارچ مایکوریزا به خوبی شکل گرفته و قارچ با ایجاد شرایط مطلوب تری باعث افزایش رشد و ماده خشک نعناع فلفلی شد (Cabello et al., 2005). نعناع فلفلی یک گیاه چند ساله می‌باشد و در طول چرخه‌ی رشد ممکن است چند چین برداشت نمود، لذا افزایش تولید ماده خشک پس از اولین برداشت نشان‌دهنده‌ی مزایای اقتصادی و زراعی آن می‌باشد (Cabello et al., 2005). کابلو و همکاران (Cabello et al., 2005)، با بررسی اثر قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*) و یک قارچ حل‌کننده فسفات (*Penicillium thomii*) بر نعناع فلفلی، افزایش تولید ماده خشک را در چین دوم نسبت به چین اول گزارش نمودند.

درصد اسانس

درصد اسانس تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی، چین و ترکیب تیماری نوع کود و چین در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین درصد اسانس (۳/۱ درصد) به تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانوکود بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی در چین اول حاصل شد و کمترین میزان اسانس (۱/۵ درصد) هم به شاهد در چین اول تعلق داشت (جدول ۴). علاوه بر این، با مقایسه دو چین (جدول ۶) مشاهده شد که درصد اسانس در چین اول ۶۴/۷ درصد بیشتر از چین دوم بود. به‌طور کلی غلظت اسانس نعناع فلفلی تحت تأثیر فاکتورهای محیطی مثل دوره نوری، دما، روشنایی و فاکتورهای زراعی مثل تیمارهای خاکی، مواد غذایی و یا عناصر کم‌مصرف قرار می‌گیرد که می‌تواند تغییراتی را در نوع و مقدار ترکیبات اسانس به وجود آورد (Zheljzakov et

al., 2009). علت بیشتر بودن درصد اسانس چین اول این است که نعناع فلفلی یک گیاه روزبلند بوده و در طی روزهای بلند و گرم حداکثر اسانس را تولید می‌کند. از آنجایی که در چین دوم روزها کوتاه‌تر بوده و هوا رو به سردی می‌رود، بنابراین درصد اسانس به شدت کاهش می‌یابد (Hassiotis et al., 2014). در تطابق با نتایج پژوهش حاضر هاسیوتیس و همکاران (Hassiotis et al., 2014) نتیجه گرفتند که میزان تولید اسانس و به تبع آن تولید ترکیبات ترپنی در گیاهان دارویی تحت تأثیر منفی دماهای پایین و بارندگی قرار می‌گیرد. همچنین این محققان دلیل کاهش اسانس تولید شده در این شرایط را به تخریب غدد ترشحی اسانس و کاهش اندازه آن‌ها نسبت دادند. از آنجایی که اسانس ترکیبی ترپنوئیدی است و بیوستز واحدهای سازنده آن (ایزوترپینوئیدها) به استیل کوآنزیم آ، ATP، NADPH و غلظت فسفر معدنی در گیاه بستگی دارد. بنابراین عناصری همچون نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیبات اخیر ضروری است (Ormeno and Fernandez, 2012). در پژوهشی مصرف کود شیمیایی میزان فتوسنتز و توسعه سطح برگ و میزان تولید بیوماس در واحد سطح را افزایش داد که در نهایت باعث افزایش درصد اسانس گیاه مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) شد (Azizi et al., 2009). زینعلی و همکاران (Zeinali et al., 2014) افزایش بیوماس و درصد اسانس نعناع فلفلی را با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن مشاهده کردند. نتایج تحقیق دیگر، نشان داد که عملکرد گل و درصد اسانس در گل همیشه بهار (*Calendula officinalis*) تحت تأثیر نانو کود کلات آهن افزایش یافت (Amuamuha et al., 2012). همچنین زهتاب سلماسی و همکاران (Zehtab-Salmasi et al., 2008)، با بررسی اثرات محلول‌پاشی عناصر میکرو (بر، آهن و روی) بر بیوماس و تولید اسانس در گیاه نعناع فلفلی گزارش کردند که با کاربرد عناصر ریزمغذی عملکرد و درصد اسانس، وزن خشک و تر و سطح برگ افزایش یافت.

عملکرد اسانس

تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که عملکرد اسانس فقط تحت تأثیر معنی‌دار انواع مختلف کود قرار گرفت. بیشترین عملکرد اسانس (۶/۱ گرم در مترمربع) به تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا بدون تفاوت معنی‌دار با تیمارهای ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مربوط بود و کمترین میزان عملکرد اسانس (۲/۹ گرم در متر مربع) هم به شاهد تعلق داشت (جدول ۵). احتمالاً قارچ مایکوریزا جذب مواد معدنی را از خاک تسهیل کرده که می‌تواند به افزایش فتوسنتز، اندازه و تعداد غده‌های ترشح‌کننده اسانس منجر شود. افزایش فتوسنتز گام اول برای تولید

ترپنوئیدها می‌باشد. علاوه بر این، تعدادی از ریزمغذی‌ها (منگنز، مس و روی) در حقیقت به‌عنوان کوفاکتور برای آنزیم‌های موردنیاز بیوسنتز ترپنوئیدها مطرح می‌باشند (Kapoor et al., 2017). کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2017) افزایش تولید ترپنوئیدها را به افزایش جذب فسفر و سایر عناصر غذایی در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا نسبت دادند. زیرا افزایش شبکه گسترده هیف قارچی باعث می‌شود تا گیاه مواد مغذی بیشتری را جذب کرده که منجر به افزایش تجمع ترپنوئیدها و در نهایت عملکرد اسانس خواهد شد. در پژوهشی اثر سه گونه قارچ مایکوریزا (*Glomus fasciculatum*, *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*) روی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) مورد آزمایش قرار گرفت، نتایج نشان داد که گیاهان تلقیح شده با قارچ ارتفاع بوته، وزن تر و خشک، محتوای و عملکرد اسانس بیشتری نسبت به شاهد داشت، همچنین غلظت لینالول و متیل کایکول در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا نسبت به شاهد بیشتر بود (Zolfaghari et al., 2013). بهادری و همکاران (Bahadori et al., 2013) با کاربرد قارچ مایکوریزا (*Glomus moseae*) و ریزو باکتری‌های محرک رشد گیاه (*Bacillus subtilis* و *Pseudomonas fluorescens*) روی گیاه آویشن دناپی (*Thymus daenensis* Celak) گزارش کردند که تلقیح با *G. moseae* و *B. subtilis* به‌ترتیب منجر به افزایش ۷۵، ۱۱۷ و ۹۳ درصدی نسبت وزن خشک ساقه/ریشه، وزن خشک کل و عملکرد اسانس نسبت به کاربرد مجزای *G. moseae* و *B. subtilis* و شاهد شد. همچنین غلظت تیمول در تمامی تیمارهای میکروبی تلقیح شده به‌جز شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافته بود. جینوا و همکاران (Geneva et al., 2010) با کاربرد قارچ مایکوریزا (*Glomus intraradices*) به همراه محلول‌پاشی عناصر ماکرو و میکرو بر گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) گزارش کردند که کاربرد قارچ مایکوریزا توانست غلظت بورنیل استات، ۸ و ۱۰-سینئول، آلفا و بتا توجن این گیاه را افزایش دهد.

ترکیبات اسانس

با تجزیه اسانس نعنای فلفلی، ۲۸ ترکیب شناسایی شد که ۹۶-۹۲ درصد از کل ترکیبات را شامل می‌شود. در چین اول منتول (۲۶/۷-۳۵/۵ درصد)، منتون (۲۴/۵-۳۴ درصد)، ۸ و ۱۰-سینئول (۵/۹-۶/۵ درصد)، نئوایزو-منتول (۲/۸-۴/۱)، نتومنول (۲/۷-۴ درصد)، ترکیبات غالب اسانس بودند (جدول ۷). همچنین در چین دوم منتول (۴۲/۴-۴۶/۳ درصد)، پی-منس-آل-این-۹-آل (۱۱/۴-۱۴/۶)، منتون (۴/۹-۱۴/۷ درصد)، نتومنول (۴/۶-۶/۲ درصد)، ۸ و ۱۰-سینئول (۴/۵-۵/۲ درصد)، متوفوران (۲/۶-۴/۲ درصد)، ترکیبات غالب اسانس بودند (جدول ۸).

مقایسه میزان ترکیبات ترپنی اسانس تیمارهای مختلف در جداول ۹ و ۱۰ ارائه شده است. در چین اول بیشترین میزان مونوترپن‌های هیدروکربنه و مونوترپن‌های اکسیژنه به‌ترتیب در تیمارهای شاهد (عدم مصرف) و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنه و اکسیژنه به‌ترتیب در تیمارهای نانو کود + قارچ مایکوریزا و قارچ مایکوریزا مشاهده شد. (جدول ۹). در چین دوم بیشترین میزان مونوترپن‌های هیدروکربنه و مونوترپن‌های اکسیژنه به‌ترتیب در تیمارهای کود + قارچ مایکوریزا و شاهد حاصل شدند. علاوه بر این، بیشترین میزان سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنه به تیمار نانو کود تعلق داشت. همچنین بیشترین میزان سزکوئی‌ترین‌های اکسیژنه به تیمارهای نانو کود و قارچ مایکوریزا تعلق داشت. (جدول ۱۰). در رابطه با تغییرات مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترین‌ها می‌توان اظهار داشت که کرک‌های غده‌ای ساختارهای ترشحی اپیدرمی هستند که ترپنوئیدها را در گیاهان سنتز و ذخیره می‌کنند. همبستگی مثبتی بین افزایش غلظت ترپنوئیدها و تراکم کرک‌های غده‌ای در تعدادی از گیاهان مانند نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.)، لویا لیما (*Lavandula angustifolia*) و اسطوخودوس (*phaseolus lunatus*) مشاهده شده است. افزایش غلظت ترپنوئیدها پس از تلقیح با مایکوریزا اغلب به افزایش تراکم غده‌ها نسبت داده شده است (Kapoor et al., 2007). همچنین قارچ مایکوریزا ممکن است تجمع مونو یا دی‌ترین‌ها را از طریق فعالیت آنزیمی افزایش بدهد که از ژرانیل دی فسفات (GPP) پیش ماده‌ی مشترک آن‌ها شروع می‌شود (Mandal et al., 2015). علاوه بر این، قارچ مایکوریزا باعث ایجاد تغییراتی در غلظت فیتوهومون‌های گیاهی از قبیل اسید جاسمونیک، اسید ژبیرلیک و سیتوکینین می‌شود که این فیتوهومون‌ها، تشکیل غده‌های ترشح‌کننده اسانس را بیشتر کرده در نتیجه منجر به تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Kapoor et al., 2017). قارچ مایکوریزا با تحریک ژن Transparent TTG1 (Testa Glabra 1) تولید غده‌های تولیدکننده اسانس را در گیاه درمنه یکساله (*Artemisia annua* L.) افزایش داد (Mandal et al., 2015). به‌طور کلی افزایش کمی ترپنوئیدها در گیاهان در نتیجه بیوسنتز بیشتر این ترکیبات و افزایش بیوماس می‌باشد که در اندام‌هایی مانند ساقه، برگ‌ها، گل‌ها و میوه‌ها سنتز و یا ذخیره می‌شوند (Kapoor et al., 2017).

جدول ۷- ترکیبات شناسایی شده اساس نعنای فلفلی در چین اول تحت تأثیر کاربرد انواع مختلف کود

Table 7- Ingredients detected in essential oil of *Mentha piperita* in the first cutting affected by different fertilizer application

ردیف Row	Essential oil ingredients	اجزای تشکیل‌دهنده اسانس	شاخص بازداری Retention indices	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
1	α -Pinene	آلفا-پینن	931	0.62	0.60	0.60	0.59	0.56	0.57	0.55
2	Subinene	سابینن	970	0.59	0.58	0.56	0.57	0.54	0.55	0.53
3	β -Pinene	بتا-پینن	975	1.01	0.97	0.98	0.97	0.94	0.93	0.93
4	Myrcene	میرسین	988	0.62	0.69	0.71	0.70	0.70	0.45	0.67
5	3-Octanol	۳-اُکتانول	1000	0.27	0.40	0.42	0.44	0.43	0.40	0.40
6	α -Terpinene	آلفا-ترپینن	1017	0.05	0.04	-	-	-	-	-
7	Limonene	لیمونن	1026	1.46	1.42	1.54	1.47	1.48	1.36	1.50
8	1,8-Cineole	۱و۸-سینئول	1029	6.51	6.03	6.02	5.90	6.31	5.89	6.34
9	γ -Terpinene	گاما-ترپینن	1058	0.20	0.15	0.26	0.08	0.27	0.24	0.26
10	cis-Sabinene hydrate	سیس-سابینن هیدرات	1066	2.02	2.26	1.83	2.24	1.85	2.26	1.90
11	Linalol	لینالول	1103	0.49	0.46	0.47	0.46	0.46	0.43	0.48
12	Menthone	منتون	1152	24.77	34.97	24.54	30.98	24.76	34.24	25.24
13	Menthofuran	منتوفوران	1161	1.96	2.21	2.14	2.13	2	1.98	1.80
14	neo-Menthol	نتو-منتول	1163	4.02	2.78	3.99	3.13	3.73	2.74	3.70
15	Menthol	منتول	1175	35.46	26.73	34.25	30.24	34.60	28	34.39
16	Terpinene-4-ol	ترپینن-۴-آل	1177	0.73	0.72	0.84	0.72	0.87	0.75	0.83
17	neo-iso-Menthol	نتو-ایزو-منتول	1184	2.84	3.46	3.98	3.82	4.08	3.55	3.76
18	Pulegone	پولیگون	1236	1.22	1.25	1.56	1.30	1.42	1.22	1.27
19	Piperitone	پیپریتون	1252	0.65	0.74	0.66	0.73	0.64	0.76	0.65
20	neo-Menthy acetate	نتو-منتی استات	1273	0.26	0.70	0.19	0.08	0.08	-	0.23
21	p-Menth-l-en-9-ol	پی-منت-یک- این-۹-آل	1294	2.30	1.99	2.43	1.98	2.15	1.90	2.20
22	iso-Menthyl acetate	ایزو-منتیل استات	1307	0.02	-	-	-	-	-	-
23	β -bourbonene	بتا-بوربونن	1382	0.77	0.88	1.01	0.96	1	0.91	0.97
24	(E)-Caryophyllene	کاریوفیلین	1416	1.60	1.29	1.70	1.36	1.58	1.31	1.79
25	(E)- β -Farnesene	بتا-فارنسنین	1457	0.25	0.14	0.26	0.16	0.25	0.22	0.28
26	Germacrene D	جرماکرین دی	1479	1.8	1.42	1.92	1.54	1.82	1.50	1.98
27	Elixene	الیکسن	1494	0.34	0.14	0.32	0.17	0.30	0.09	0.32
28	Viridiflorol	ویریدیفلورل	1589	0.65	0.43	0.65	0.50	0.62	0.47	0.64
Total Identified (%)				93.63	92.82	93.82	93.21	93.44	92.93	93.59

T1 (شاهد)، T2 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی)، T3 (کاربرد قارچ مایکوریزا)، T4 (۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا)، T5 (نانو کود)، T6 (۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود)، T7 (نانو کود + قارچ مایکوریزا)

T1 (Control), T2 (100% Chemical fertilizer), T3 (Mycorrhiza), T4 (50% Chemical fertilizer+Mycorrhiza), T5 (Nanofertilizer), T6 (50% Chemical fertilizer+50% nanofertilizer), T7 (Nanofertilizer+ Mycorrhiza)

افزایش بیوماس برگ منجر به افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه تأمین مواد مورد نیاز برای بیوسنتز ترپینوئیدها خواهد شد (Hofmeyer *et al.*, 2010). علاوه بر این، با توجه به اینکه نیتروژن از طریق افزایش نرخ انتقال الکترون و

فتوسنتز برگ از تولید ترپینوئیدها حمایت می‌کند در نتیجه کمبود آن اثر منفی روی بیوسنتز ترپینوئیدها دارد (Ormeno and Fernandez, 2012).

جدول ۸- ترکیبات شناسایی شده اسانس نعنای فلفلی در چین دوم تحت تأثیر کاربرد انواع مختلف کود
Table 8- Ingredients detected in essential oil of *Mentha piperita* in the second cutting affected by different fertilizer application

ردیف Row	Essential oil ingredients	اجزای تشکیل دهنده اسانس	شاخص بازداری Retention indices	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
1	α -Pinene	آلفا-پینن	931	0.48	0.40	0.46	0.44	0.43	0.42	0.45
2	Subinene	سابینن	970	0.44	0.39	0.42	0.41	0.41	0.41	0.42
3	β -Pinene	بتا-پینن	975	0.60	0.66	0.75	0.69	0.72	0.68	0.74
4	Myrcene	میرسین	988	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.22
5	3-Octanol	۳-اُکتانول	1000	0.15	0.17	0.13	0.14	0.15	0.17	0.16
6	α -Terpinene	آلفا-ترپینن	1017	0.12	0.10	0.11	0.10	0.12	0.11	0.12
7	Limonene	لیمونن	1026	1.46	1.44	1.35	1.57	1.35	1.53	1.46
8	1,8-Cineole	۱و۸-سینئول	1029	5.23	4.73	4.93	4.51	4.99	4.56	5.04
9	γ -Terpinene	گاما-ترپینن	1058	0.20	0.17	0.19	0.18	0.21	0.20	0.20
10	cis-Sabinene hydrate	سیس-سابینن هیدرات	1066	1.58	1.90	1.67	1.93	1.56	1.74	1.61
11	Linalol	لینالول	1103	0.22	0.29	0.25	0.31	0.28	0.26	0.23
12	Menthone	منتون	1152	5.03	9.46	4.99	14.66	4.87	14.17	6.09
13	Menthofuran	منتوفوران	1161	4.20	2.67	3.50	2.65	3.50	2.59	3.64
14	neo-Menthol	نئو-منتول	1163	5.86	4.96	6.20	4.83	5.78	4.61	5.57
15	Menthol	منتول	1175	45.88	45.72	45.49	42.42	46.31	42.96	45.97
16	Terpinene-4-ol	ترپینن-۴-اُل	1177	0.57	0.50	0.54	0.50	0.61	0.57	0.56
17	neo-iso-menthol	نئو-ایزو-منتول	1184	1.99	1.67	2	1.46	1.96	1.42	1.90
18	Pulegone	پولیگون	1236	0.04	0.07	-	0.10	0.02	0.09	0.02
19	Piperitone	پپیریتون	1252	0.40	0.50	0.42	0.54	0.42	0.54	0.42
20	neo-Menthy acetate	نئو-منتی استات	1273	0.97	0.72	1.02	0.70	0.97	0.67	0.91
21	p-Menth-l-en-9-ol	پی-منت-یک-این-۹-اُل	1294	13.99	12.34	14.16	11.41	14.61	11.80	13.89
22	iso-Menthyl acetate	ایزو-منتیل استات	1307	0.71	0.64	0.72	0.59	0.74	0.60	0.70
23	β -Bourbonene	بتا-بوربونن	1382	0.60	0.54	0.59	0.52	0.60	0.50	0.59
24	(E)-Caryophyllene	کاریوفیلین	1416	2.15	2.11	2.13	1.93	2.19	1.95	2.18
25	(E)- β -Farnesene	بتا-فارنسن	1457	0.49	0.46	0.48	0.43	0.49	0.44	0.49
26	Germacrene D	جرماکرین دی	1479	2.35	2.47	2.39	2.33	2.41	2.35	2.38
27	Elixene	الیکسن	1494	0.34	0.35	0.36	0.33	0.36	0.33	0.35
28	Viridiflorol	ویریدیفلورل	1589	0.71	0.68	0.74	0.64	0.74	0.63	0.71
Total Identified (%)				96.95	96.77	96.16	96.49	96.97	96.53	96.98

T1 (شاهد)، T2 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی)، T3 (کاربرد مایکوریزا)، T4 (۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا)، T5 (نانوکود)، T6 (۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانوکود)، T7 (نانوکود + مایکوریزا)

T1 (Control), T2 (100% Chemical fertilizer), T3 (Mycorrhiza), T4 (50% Chemical fertilizer+Mycorrhiza), T5 (Nanofertilizer), T6 (50% Chemical fertilizer+50% nanofertilizer), T7 (Nanofertilizer+ Mycorrhiza)

جدول ۹- درصد مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترین‌های اسانس نعنای فلفلی در چین اول تحت تأثیر انواع مختلف کود
 Table 9- Monoterpenes and Sesquiterpenes percentage of essential oil of *Mentha piperita* in the first cutting affected by different fertilizer application

گروه‌بندی ترکیبات اسانس Grouped essential oil compounds	تیمارها Treatements						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Monoterpene Hydrocarbons مونوترپن‌های هیدروکربنه	4.71	4.45	4.66	4.37	4.48	4.30	4.44
Oxygenated Monoterpenes مونوترپن‌های اکسیژنه	83.26	83.66	82.88	83.71	82.96	83.72	82.78
Sesquiterpene Hydrocarbonates سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنه	4.73	3.88	5.21	4.18	4.96	4.03	5.33
Oxygenated Sesquiterpenes سزکوئی‌ترین‌های اکسیژنه	0.64	0.43	0.65	0.50	0.62	0.47	0.64
Other Compositions ترکیبات دیگر	0.27	0.40	0.42	0.44	0.43	0.41	0.40
Total Identified Compounds (%) مجموع ترکیبات شناسایی شده	93.63	92.82	93.82	93.21	93.44	92.93	93.59

T1 (شاهد)، T2 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی)، T3 (کاربرد مایکوریزا)، T4 (۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا)، T5 (نانوکود)، T6 (۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانوکود)، T7 (نانوکود + مایکوریزا)

T1 (Control), T2 (100% Chemical fertilizer), T3 (Mycorrhiza), T4 (50% Chemical fertilizer+Mycorrhiza), T5 (Nanofertilizer), T6 (50% Chemical fertilizer+50% nanofertilizer), T7 (Nanofertilizer+ Mycorrhiza)

جدول ۱۰- درصد مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترین‌های اسانس نعنای فلفلی در چین دوم تحت تأثیر انواع مختلف کود
 Table 10- Monoterpenes and Sesquiterpenes percentage of essential oil of *Mentha piperita* in the second cutting affected by different fertilizer application

گروه‌بندی ترکیبات اسانس Grouped essential oil compounds	تیمارها Treatements						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Monoterpene Hydrocarbons مونوترپن‌های هیدروکربنه	3.51	3.36	3.48	3.58	3.43	3.56	3.59
Oxygenated Monoterpenes مونوترپن‌های اکسیژنه	86.66	86.63	85.87	86.58	86.61	86.59	86.53
Sesquiterpene Hydrocarbonates سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنه	5.92	5.93	5.94	5.54	6.04	5.58	5.98
Oxygenated Sesquiterpenes سزکوئی‌ترین‌های اکسیژنه	0.71	0.68	0.74	0.64	0.74	0.63	0.71
Other Compositions ترکیبات دیگر	0.15	0.17	0.13	0.14	0.15	0.17	0.16
Total Identified Compounds (%) مجموع ترکیبات شناسایی شده	96.95	96.77	96.16	96.49	96.97	96.53	96.98

T1 (شاهد)، T2 (۱۰۰ درصد کود شیمیایی)، T3 (کاربرد مایکوریزا)، T4 (۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا)، T5 (نانوکود)، T6 (۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانوکود)، T7 (نانوکود + مایکوریزا)

T1 (Control), T2 (100% Chemical fertilizer), T3 (Mycorrhiza), T4 (50% Chemical fertilizer+Mycorrhiza), T5 (Nanofertilizer), T6 (50% Chemical fertilizer+50% nanofertilizer), T7 (Nanofertilizer+ Mycorrhiza)

نتیجه گیری

نوع فلفلی یکی از گیاهان دارویی مهم می باشد که تقاضا برای آن در صنعت رو به افزایش است، بنابراین بایستی به طور تجاری کشت شود. با توجه به اینکه این گیاه به صورت تازه و نیمه فرآوری شده به عنوان دارو مورد استفاده قرار می گیرد، کشت آن از طریق منابع ارگانیک گزینه بسیار مناسبی خواهد بود. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که مدیریت تغذیه ای در هر دو چین اثرات قابل ملاحظه ای بر صفات کمی و کیفی نعنای فلفلی داشت. در رابطه با صفات مورفولوژیکی کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود نسبت به سایر تیمارها برتری قابل ملاحظه ای داشتند. بیشترین میزان عملکرد ماده خشک با کاربرد کودهای شیمیایی مرسوم در چین دوم به دست آمد که تفاوت معنی داری با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود و ۵۰ درصد کود

شیمیایی + قارچ میکوریزا نداشت. همچنین بیشترین درصد اسانس با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود در چین اول به دست آمد که نسبت به کاربرد کودهای شیمیایی مرسوم ۷/۱ درصد بیشتر بود. علاوه بر این، کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد نانو کود و ۱۹۸ درصد کود شیمیایی + قارچ میکوریزا منجر به افزایش ۱۹۸ درصدی عملکرد اسانس نسبت به شاهد گردید. از لحاظ ترکیبات کیفی اسانس، بیشترین (۴۶/۳۱ درصد) و کمترین میزان متتول (۲۶/۷۳ درصد) به ترتیب با کاربرد نانو کود در چین دوم و کاربرد کودهای شیمیایی مرسوم در چین اول به دست آمد. بنابراین می توان نتیجه گرفت، کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا و نانو کود به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی علاوه بر کاهش مصرف این کودها منجر به افزایش کمیت و کیفیت اسانس تولیدی نعنای فلفلی خواهد شد.

References

1. Abdullahi, R., and Sheriff, H. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and chemical fertilizer on growth and shoot nutrients content of onion under field condition in Northern Sudan Savanna of Nigeria. *Journal of Agriculture and Veterinary Science* 3 (5): 85-90.
2. Adams, R. P. 2017. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Allured publishing corporation. (4): 1-804 : Allured Publishing Corporation Carol Stream, IL.
3. Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., and Maggi, F. 2018. Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production* 171: 529-537.
4. Amuamuha, L., Pirzad, A., and Hadi, H. 2012. Effect of varying concentrations and time of Nanoiron foliar application on the yield and essential oil of Pot marigold. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 3 (10): 2085-2090.
5. Aslani, Z., Hassani, A., Rasooli, S. M., Sefidkon, F., and Barin, M. 2011. Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) on growth, chlorophyll contents and P concentration in Basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 27 (3): 471-486. (in Persian with English abstract).
6. Azizi, A., Yan, F., and Honermeier, B. 2009. Herbage yield, essential oil content and composition of three oregano (*Origanum vulgare* L.) populations as affected by soil moisture regimes and nitrogen supply. *Industrial Crops and Products* 29 (2-3): 554-561.
7. Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A., and Khalilzadeh, R. 2017. Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions* 12 (1): 381-389.
8. Bahadori, F., Ashorabadi, E. S., Mirza, M., Matiniazade, M., and Abdosi, V. 2013. Improved growth, essential oil yield and quality in *Thymus daenensis* Celak on mycorrhizal and plant growth promoting rhizobacteria inoculation. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 4: 3384-3391.
9. Baranauskienė, R., Venskutonis, P. R., Viškelis, P., and Dambrauskienė, E. 2003. Influence of nitrogen fertilizers on the yield and composition of thyme (*Thymus vulgaris*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (26): 7751-7758.
10. Baum, C., El-Tohamy, W., and Gruda, N. 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Scientia Horticulturae* 187: 131-141.
11. Cabello, M., Irrazabal, G., Bucsinszky, A. M., Saparrat, M., and Schalamuk, S. 2005. Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*, and a rock-phosphate-solubilizing fungus, *Penicillium thomii*, on *Mentha piperita* growth in a soilless medium. *Journal of Basic Microbiology: An International Journal on Biochemistry, Physiology, Genetics, Morphology, and Ecology of Microorganisms* 45 (3): 182-189.
12. Court, W. A., Roy, R. C., Pocs, R., More, A. F., and White, P. H. 1993. Optimum Nitrogen Fertilizer Rate for Peppermint (*Mentha piperita* L.) in Ontario, Canada. *Journal of Essential Oil Research* 5 (6): 663-666.

13. Elfeky, S. A., Mohammed, M. A., Khater, M. S., Osman, Y. A. and Elsherbini, E. 2013. Effect of magnetite Nano-Fertilizer on Growth and yield of *Ocimum basilicum* L. International Journal of Indigenous Medicinal Plants 46 (3): 1286-1293.
14. Francis, C. A., Bulter, F. C., and King, L. D. 2000. Crop growth and relative growth rates in (*Matricaria chamomilla* L.). Crop Science 88: 1207-1212.
15. Galván, G. A., Parádi, I., Burger, K., Baar, J., Kuyper, T. W., Scholten, O. E., and Kik, C. 2009. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in onion roots from organic and conventional farming systems in the Netherlands. Mycorrhiza 19 (5): 317-328.
16. Geneva, M. P., Stancheva, I. V., Boychinova, M. M., Mincheva, N. H., and Yonova, P. A. 2010. Effects of foliar fertilization and arbuscular mycorrhizal colonization on *Salvia officinalis* L. growth, antioxidant capacity, and essential oil composition. Journal of the Science of Food and Agriculture 90 (4): 696-702.
17. Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist 84 (3): 489-500.
18. Gryndler, M., Hřelová, H., Sudová, R., Gryndlerová, H., Řezáčová, V., and Merhautová, V. 2005. Hyphal growth and mycorrhiza formation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum* BEG 23 is stimulated by humic substances. Mycorrhiza 15 (7): 483-488.
19. Gutiérrez-Mañero, F. J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouchi, J., R Tadeo, F., and Talon, M. 2001. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. Physiologia Plantarum 111 (2): 206-211.
20. Hagh Parast Tanha, M. 1992. Nutrition and Metabolism Plants. Islamic Azad University Publishing, Rasht.
21. Hassiotis, C. N., Ntana, F., Lazari, D. M., Poullos, S., and Vlachonasios, K. E. 2014. Environmental and developmental factors affect essential oil production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. Industrial Crops and Products 62: 359-366.
22. Hofmeyer, P. V., Seymour, R. S., and Kenefic, L. S. 2010. Production ecology of *Thuja occidentalis*. Canadian Journal of Forest Research 40 (6): 1155-1164.
23. Izadi, Z., Ahmadvand, G., Asna-Ashari, M., and Piri, K. 2010. The effect of nitrogen and plant density on some growth characteristics, yield and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8 (5): 827-836. (in Persian with English abstract).
24. Kahiluoto, H., Ketoja, E., and Vestberg, M. 2009. Contribution of arbuscular mycorrhiza to soil quality in contrasting cropping systems. Agriculture, Ecosystems & Environment 134 (1-2): 36-45.
25. Kapoor, R., Anand, G., Gupta, P., and Mandal, S. 2017. Insight into the mechanisms of enhanced production of valuable terpenoids by arbuscular mycorrhiza. Phytochemistry Reviews 16 (4): 677-692.
26. Kapoor, R., Chaudhary, V., and Bhatnagar, A. 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. Mycorrhiza 17 (7): 581-587.
27. Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K. G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology 93 (3): 307-311.
28. Karagiannidis, N., Thomidis, T., Lazari, D., Panou-Filothou, E., and Karagiannidou, C. 2011. Effect of three Greek arbuscular mycorrhizal fungi in improving the growth, nutrient concentration, and production of essential oils of oregano and mint plants. Scientia Horticulturae 129 (2): 329-334.
29. Khan, M., Mobin, M., Abbas, Z., and Alamri, S. 2018. Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. Encyclopedia Anthropocene 5: 225-240.
30. Khater, M. S. 2015. Magnetite-Nanoparticles Effects on Growth and essential oil of Peppermint. Current Science International 4 (2): 140-144.
31. Koske, R., and Gemma, J. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. Mycological Research 92 (4): 486-488.
32. Liu, R., and Lal, R. 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. Science of the Total Environment 514: 131-139.
33. Mafakheri, S., Asghari, B., and Shaltooki, M. 2016. Effects of biological, chemical and nano-fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Lallemantia iberica* (MB) Fischer & Meyer. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 32 (4): 667-677.
34. Mandal, S., Upadhyay, S., Wajid, S., Ram, M., Jain, D. C., Singh, V. P., Abdin, M. K., and Kapoor, R. 2015. Arbuscular mycorrhiza increase artemisinin accumulation in *Artemisia annua* by higher expression of key biosynthesis genes via enhanced jasmonic acid levels. Mycorrhiza 25 (5): 345-357.
35. Marcum, D. B., and Hanson, B. R. 2006. Effect of irrigation and harvest timing on peppermint oil yield in California. Agricultural Water Management 82 (1): 118-128.
36. Masoumi Zavarian, A., Yousefi Rad, M., and Asghari, M. 2015. Effects of Mycorrhizal Fungi on Quantitative and Qualitative Characteristics of Anise Plant (*Pimpinella anisum*) under Salt Stress. Journal of Medicinal Plants 4 (56): 139-148.

37. McGonigle, T., Miller, M., Evans, D., Fairchild, G., and Swan, J. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 115 (3): 495-501.
38. Mishra, P., Singh, A., Mishra, R. R., Ong, S., and Prasad, S. M. 2018. Application of Nanotechnology to Enhance the Nutrient Quality of Food Crops and Agricultural Production Nanomaterials in Plants, Algae, and Microorganisms (pp. 453-472): Elsevier.
39. Moghadam, E., Mahmoodi, S. M., Farrokhian, F. A., Ramazani, Z., and Eskandari, F. 2015. The effect of foliar application of iron chelate type on morphological traits and essential oil content of holy basil (*Ocimum sanctum*). *Journal of Crops Improvement* 17 (3): 595 -606.
40. Morshedloo, M. R., Craker, L. E., Salami, A., Nazeri, V., Sang, H., and Maggi, F. 2017. Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono-and sesquiterpene synthesis in two oregano (*Origanum vulgare* L.) subspecies. *Plant Physiology and Biochemistry* 111: 119-128.
41. Morshedloo, M. R., Maggi, F., Neko, H. T., and Aghdam, M. S. 2018. Sumac (*Rhus coriaria* L.) fruit: Essential oil variability in Iranian populations. *Industrial Crops and Products* 111: 1-7.
42. Mura, S., Seddaiu, G., Bacchini, F., Roggero, P. P., and Greppi, G. F. 2013. Advances of nanotechnology in agro-environmental studies. *Italian Journal of Agronomy* 8 (3): 127-140.
43. Ormeño, E., and Fernandez, C. 2012. Effect of soil nutrient on production and diversity of volatile terpenoids from plants. *Current Bioactive Compounds* 8 (1): 71-79.
44. Pavela, R., Žabka, M., Vrchotová, N., and Triska, J. 2018. Effect of foliar nutrition on the essential oil yield of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Industrial Crops and Products* 112: 762-765.
45. Peter, K. 2006. Handbook of herbs and spices. Woodhead Publishing.
46. Phillips, J. M., and Hayman, D. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55 (1): 158-161.
47. Poshtdar, A., Mashhadie, A., Moradi, F., Siadat, S., and Bakhshandeh, A. 2016. Effect of source and rate of nitrogen fertilizer on yield and water and nitrogen use efficiency of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences* 18 (1): 14-31. (in Persian with English abstract).
48. Rahmani, N., Valadabadi, S. A., Daneshian, J., and Bigdeli, M. 2008. The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 24 (1): 103-108.
49. Razavi, S., Jahan, M., Mahallti, M., and Ghalibaf, K. 2017. Radiation absorption and use efficiency of common mallow (*Malva sylvestris* L.) affected by different sources of organic, biological and chemical fertilizers and intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 15 (1): 136-149.
50. Shajari Aghhavan, M., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., and Nasiri Mahallati, M. 2016. Effects of single and combined application of organic, biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of coriander (*Coriandrum sativum*). *Journal of Horticultural Science* 29 (4): 486-500. (in Persian with English abstract).
51. Smith, S., and Read, D. 2008. Mycorrhizal Symbiosis 3rd edn Academic Press: San Diego. CA, USA, 787.
52. Smitha, G., Basak, B., Thondaiman, V., and Saha, A. 2019. Nutrient management through organics, bio-fertilizers and crop residues improves growth, yield and quality of sacred basil (*Ocimum sanctum* Linn). *Industrial Crops and Products* 128: 599-606.
53. Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N., and Panwar, J. 2015. Nano-fertilizers and their smart delivery system Nanotechnologies in food and agriculture (pp. 81-101): Springer.
54. Tarraf, W., Ruta, C., Tagarelli, A., De Cillis, F., and De Mastro, G. 2017. Influence of arbuscular mycorrhizae on plant growth, essential oil production and phosphorus uptake of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and Products* 102: 144-153.
55. Telci, I., Kacar, O., Bayram, E., Arabacı, O., Demirtaş, İ., Yılmaz, G., Özcan, I., Sönmez, C., and Göksu, E. 2011. The effect of ecological conditions on yield and quality traits of selected peppermint (*Mentha piperita* L.) clones. *Industrial Crops and Products* 34 (1): 1193-1197.
56. Urcoviche, R. C., Gazim, Z. C., Dragunski, D. C., Barcellos, F. G., and Alberton, O. 2015. Plant growth and essential oil content of *Mentha crisper* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under different levels of phosphorus. *Industrial Crops and Products* 67: 103-107.
57. Valentine, A., Osborne, B., and Mitchell, D. 2001. Interactions between phosphorus supply and total nutrient availability on mycorrhizal colonization, growth and photosynthesis of cucumber. *Scientia Horticulturae* 88 (3): 177-189.
58. Varma, A., Prasad, R., and Tuteja, N. 2018. Mycorrhiza-Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration. Springer.
59. Weisany, W., Sohrabi, Y., Siosemardeh, A., and Ghassemi-Golezani, K. 2017. *Funneliformis mosseae* fungi changed essential oil composition in *Trigonella foenum graecum* L., *Coriandrum sativum* L. and *Nigella sativa* L. *Journal of Essential Oil Research* 29 (3): 276-287.

60. Willmann, M., Gerlach, N., Buer, B., Polatajko, A., Nagy, R., Koebke, E., Jansa, J., Flisch, R., and Bucher, M. 2013. Mycorrhizal phosphate uptake pathway in maize: vital for growth and cob development on nutrient poor agricultural and greenhouse soils. *Frontiers in Plant Science* 4: 1-6.
61. Yousefzadeh, S., Modarres, S. S. A. M., Sefidkon, F., and Ghiasy, O. M. 2016. Effect of biofertilizer, azocompost and nitrogen on oil yield and essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal of Horticultural Sciences* 46 (4): 604-611.
62. Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F., and Alyari, H. 2008. Effects of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Plant Science Research* 1 (1): 24-26.
63. Zeinali, H., Hosseini, H., and Shirzadi, M. 2014. Effects of nitrogen fertilizer and harvest time on agronomy, essential oil and menthol of *Mentha piperita* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 30 (3): 486-495.
64. Zheljaskov, V. D., Cerven, V., Cantrell, C. L., Ebelhar, W. M., and Horgan, T. 2009. Effect of nitrogen, location, and harvesting stage on peppermint productivity, oil content, and oil composition. *American Society for Horticultural Science* 44 (5): 1267-1270.
65. Zolfaghari, M., Nazeri, V., Sefidkon, F., and Rejali, F. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and essential oil content and composition of *Ocimum basilicum* L. *Iranian Journal of Plant Physiology* 3 (2): 643-650.



Evaluation of Quantitative and Qualitative Traits of the First and Second Cuttings of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under the Influence of the Integrated Application of Conventional, Nano Fertilizers and Mycorrhizal

A. Ostadi¹, A. Javanmard^{2*}, M. R. Morshedloo³, S. Mola Ali Abasiyan⁴

Received: 28-08-2018

Accepted: 03-08-2019

Introduction

In order to protect biodiversity, especially medicinal herb, and crude herbal drugs from the wild origin, Biological Diversity Act (2002) and Rule (2004) were enforced which compelled the herbal industries and medicinal plant growers for conventional cultivation of medicinal herbs. However, intensive cultivation of these medicinal herbs and herbal drugs to meet the global demand has led to aggravated use of chemical fertilizers and pesticides and consequently questioning their safety and integrity. Moreover, total fertilizer nutrient (N+P₂O₅+K₂O) consumption was estimated at 170.7 and 175.7 million tons in 2010 and 2011, respectively which estimated consumption of N, P, and K fertilizers is expected to increase from current consumption levels by 172%, 175%, and 150%, respectively by 2050. Excessive using of chemical fertilizers caused serious environmental issues globally such as reduction of plant diversity, instability of economic yield, an increase of pest and disease damages, intensification of soil erosion. These increasing concerns regarding the negative impacts of these systems on the environment and human health suggest that more effort is needed to develop sustainable agricultural systems with higher productivity and improved efficiency. Application of nano-fertilizers and biofertilizers such as arbuscular mycorrhizal fungi (AM) is regarded as one of the promising approaches to increasing crop productivity. Nano-materials (NMs) are defined as materials that with at least one dimension less than 100 which can improve one or more nutrients absorption for plants and enhance their growth and yields. The AM fungi are a fundamental group of soil micro-organisms, symbiotically associated with nearly 80% of plant species.

Peppermint (*Mentha piperita* L.), which is a hybrid between *Mentha spicata* and *Mentha Aquatica* belonging to a family, Lamiaceae, is one of the most important essential oil-bearing plants. The objective of this experiment was an evaluation of the quantity and quality traits of peppermint under the integrated application of chemical and nano-fertilizers and arbuscular mycorrhizal fungi.

Materials and Methods

In order to investigate the effects of different fertilizers on the quantity and quality of peppermint at the first and second cuttings, a field experiment study was carried out as split-plot in time based on a randomized complete block design (RCBD) with seven treatments and three replications and two cutting times at the faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran, in 2017. The main factor was different fertilizer treatments included no fertilizer (control), chemical fertilizer (CF), arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) (*Glomus mussels*), 50% CF+ AMF, Nano-fertilizers (NF), 50% NF+ 50% CF, NF+ AMF and the sub-factor was cutting time (first and second cutting). In AM fungi treatments, 80 g of the soil containing mycorrhizal fungi hyphae and the remains of the root and spores (1000 g spore.10⁻¹ g soil) was added to soil in planting times. Also, Nitrogen Nano-fertilizer used with 2 ml/L concentration. Moreover, phosphorus, potassium, iron and zinc Nano-fertilizers applied with 1 g.L⁻¹ concentration. Furthermore, manganese Nano-fertilizer used in 0.5 g/L concentration. Additionally, the foliar application of Nano-fertilizers was carried out in two-stage (One month after the cultivation and one month after first cutting).

Results and Discussion

The results demonstrated that the highest total dry matter yield (382.6 g.m⁻²) was achieved under 100% CF followed by 50% CF+ AMF and 50% NF+ 50% CF treatments, respectively. On the other hand, the highest (6.1 g.m⁻²) and lowest (2.9 g.m⁻²) essential oil yield were obtained under 50% CF+ AMF and control, respectively. Chemical analysis of the essential oil demonstrated that in all treatments, menthol, menthone, 1, 8 cineole, neo-

1- Ph.D Student of Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran

2- Associate Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran

3- Assistant Prof., Dept. of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran

4- Assistant Prof., Dept. of Soil Science Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran

(*- Corresponding Author Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir)

iso menthol, neo-menthol, Menthofuran, and *p*-Menth-1-en-9-ol were the main dominant components. The highest amount of menthol was obtained in nano-fertilizer treatment and at the second cutting. Furthermore, monoterpene hydrocarbons were the major fraction of the essential oil in both harvests.

Conclusions

Based on the results, integrative application of 50% CF+ AMF and 50% CF+ 50% NF had a higher significant impact on the morphological traits compared with other treatments. The highest dry matter yield was achieved in the second cutting with the application of CF that was not significantly impacted with 50% CF+ AMF and 50% CF+ 50% NF treatments. Also, the highest essential oil content was obtained the integrative application of 50% CF+ 50% NF that was 7.1% higher than CF in the first cutting. In addition, the essential oil yield productivity increased 198% with application of 50% CF+ AMF and 50% CF+ 50% NF compared with control. Based on the essential oil compounds, the highest (46.31%) and the lowest (26.73%) content of menthol was recorded in the second cutting fertilized with NF and first cutting fertilized with CF. Generally, based on the obtained results, integrative application of AMF and NF with 50% CF increased the quality and quantity productivity of peppermint compared with 100% CF.

Keywords: Cutting, Integrated fertilizers application, Menthol, Menthone, Sustainable agriculture



ارزیابی تاثیر تقسیط کود نیتروژن و جهت‌های کاشت بر برخی صفات فیتوشیمیایی و عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)

فرزانه ریگی^۱، مهدی دهمرده^{۲*}، عیسی خمری^۳، رضا باقری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۲

چکیده

استفاده مؤثر از کود نیتروژن و بهینه نمودن مدیریت مصرف آن در تولید گیاهان به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد، در این راستا به منظور ارزیابی تاثیر تقسیط کود نیتروژن و جهت‌های کاشت بر عملکرد و صفات فیتوشیمیایی چای ترش، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل جهت‌های کاشت در دو سطح شمالی-جنوبی و شرقی-غربی به‌عنوان عامل اصلی و تقسیط کود نیتروژن از منبع اوره در ۴ سطح یک سوم قبل از کاشت، یک سوم مرحله چهار برگی، یک سوم مرحله ساقه رفتن؛ یک دوم قبل از کاشت، یک دوم مرحله چهار برگی؛ یک دوم مرحله چهار برگی، یک دوم مرحله ساقه رفتن؛ یک سوم مرحله ساقه رفتن، یک سوم مرحله گلدهی به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل جهت کشت و تقسیط کود نیتروژن برای تمامی صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش معنی‌دار (۱ درصد) بود. بیشترین عملکرد کاسبرگ (۷۸۴ کیلو گرم در هکتار) از جهت شمالی-جنوبی و استفاده از یک سوم کود نیتروژن در مرحله چهار برگی، یک سوم در مرحله ساقه رفتن و یک سوم در مرحله گلدهی و بیشترین مقدار آنتوسیانین کاسبرگ (۲/۹۸ میلی‌گرم در گرم کاسبرگ) با کاربرد یک سوم قبل از کاشت، یک سوم مرحله چهار برگی و یک سوم در مرحله ساقه رفتن از جهت کاشت شمالی-جنوبی حاصل شد. زمان‌بندی صحیح مصرف کود مهم‌تر از کل مقدار کود به‌کار رفته می‌باشد، تقسیط زمانی مصرف کود نیتروژن به‌صورت کاربرد یک سوم مرحله چهار برگی، یک سوم مرحله ساقه رفتن، یک سوم مرحله گلدهی، باعث افزایش ویژگی‌های کیفی و عملکردی چای ترش شد که در نتیجه می‌تواند کاهش هزینه‌های کودی و آلودگی محیط‌زیست را به‌دنبال داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد کاسبرگ، گیاه دارویی، متابولیت ثانویه

مقدمه

کشت گیاهان دارویی در حال حاضر برای استخراج و تولید مواد اولیه که در ساخت داروهای موجود به‌کار می‌روند رو به افزایش است (Mohammadnejad Ganji et al., 2017). چای‌ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) یکی از گیاهان مهم دارویی و صنعتی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است که علاوه بر استفاده‌های دارویی متعدد، نقش مهمی در تولید درآمد کشاورزان به‌خصوص در

مناطق خشک که با کمبود آب مواجه هستند دارد (Ganjali et al., 2017). این گیاه متعلق به خانواده ختمی است که از کاسبرگ آن به دلیل خواص دارویی و خوراکی استفاده می‌شود، اسیدآسکوربیک موجود در آن خاصیت آنتی‌اکسیدانی داشته و سبب کاهش فشار خون می‌گردد، همچنین الیاف و چوب آن در تولید کاغذ کاربرد دارد، دانه و کنجاله بذر چای ترش در تغذیه طیور و دام استفاده می‌شود (Mohammadpour Vashvaei et al., 2015). در کنار توانایی‌های ژنتیکی گیاهان، توجه به روش‌های به‌زراعی یکی از راه‌های مؤثر در افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاهان به‌شمار می‌رود (Rahimmalek, and Khorsandi, 2015). کیفیت و کمیت ماده مؤثر گیاهان دارویی تحت تاثیر مدیریت زراعی اعمال شده قرار می‌گیرد (Allahdadi and Mosharraf Broujeni, 2017). نور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل رقابت در اکوسیستم‌های زراعی شناخته شده است (Behdani, 2011). جهت مختلف کاشت می‌تواند بر عملکرد محصول از طریق افزایش سطح برگ و جذب نور تاثیر داشته باشد (Mirzadeh and Bazargan, 2017).

۱- کارشناس ارشد علوم باغبانی، گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران

۲- دانشیار گروه اگرواکولوژی، عضو هیئت علمی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران

۳- استادیار گروه زراعت، عضو هیئت علمی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران

۴- مربی پژوهشی گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران
(Email: Dahmard@gmail.com)
(*) نویسنده مسئول

داد بیشترین میزان روغن دانه از تقسیط دو مرحله‌ای کود نیتروژن به‌دست آمد (Shirani Rad et al., 2010). کاربرد نیتروژن به روش تقسیط می‌تواند در کاهش آبشویی و هدر رفت نیتروژن و به دنبال آن صرفه‌جویی در مصرف کودهای نیتروژن‌دار در کشور مؤثر باشد (Arshadi et al., 2010). از آنجا که استفاده از حداکثر ظرفیت محیط و تعیین مناسب‌ترین شرایط رشد در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی و حداکثر رسانیدن بهره‌وری، امری مهم و مد نظر مدیریت زراعی می‌باشد، این تحقیق با هدف بررسی جهات مختلف کشت برای تعیین مناسب‌ترین جهت کشت، استفاده بهینه از کود نیتروژن و تعیین بهترین زمان مصرف آن برای افزایش عملکرد کمی و کیفی چای ترش در شرایط آب و هوایی زابل انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل با موقعیت جغرافیایی محل اجرای آزمایش ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۴۸۳ متر از سطح دریا و اقلیم خشک و بسیار گرم (بیابانی) با تابستان بسیار خشک و زمستان ملایم، در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ به اجرا درآمد. بر اساس آمار ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی سیستم میانگین دمای سالانه ۲۱/۷، حداکثر دما ۴۹ حداقل آن ۷- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین سالانه رطوبت نسبی ۳۹/۲۰، میانگین بلند مدت بارندگی سالانه ۵۳ میلی‌متر و میانگین تأخیر سالانه ۵۰۰-۴۰۰ میلی‌متر است. قبل از کاشت از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه نمونه خاک تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تجزیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

(2015). در مطالعه‌ای که بر روی دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L. جهت بررسی تأثیر تراکم و جهات‌های مختلف کاشت بر دریافت و استفاده از تشعشع خورشیدی انجام گرفت، مشاهده شد که مقدار ماده خشک تجمعی در جهت شرقی- غربی بیشتر از جهات دیگر بود (Mirzadeh et al., 2015). عناصر غذایی موجود در خاک نقش مهمی در تعیین میزان رشد و عملکرد گیاه و همچنین بهبود کیفیت محصول تولیدی دارند، عنصر نیتروژن بخش اصلی بسیاری از ترکیب‌های شیمیایی مانند پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک بوده و قسمتی از سبزینه (کلروفیل) را نیز تشکیل می‌دهد و در فرآیندهای فتوسنتز و افزایش سطح برگ تأثیر مستقیم دارد (Hosseini et al., 2013). نیتروژن اولین عنصری است که کمبود آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کمبود مواد آلی خاک مطرح است (2011 Behdani). به دلیل حلالیت فراوان و آبشویی کودهای نیتروژنه، زمان مصرف آن‌ها برای محصولات زراعی بسیار مهم می‌باشد و یکی از دلایل پایین بودن راندمان مصرف کودهای نیتروژنه، صحیح نبودن زمان مصرف آن‌ها است (Abbasdokht and Beyki, 2015). یک روش مدیریتی به‌منظور افزایش راندمان نیتروژن مصرفی، تقسیط نیتروژن طی فصل رشد می‌باشد که نشان داده شده، کاربرد تقسیطی نیتروژن در گیاه دارویی خشخاش (*Papaver somniferum* L. در دو مرحله رشد رویشی و زایشی، عملکرد کمی و کیفی گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است (Losak and Richter, 2004). در آزمایشی که در دره زرد چین انجام گرفت، گزارش شد با کاربرد ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت تقسیط چند مرحله‌ای بیشترین عملکرد و ش پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) به‌دست آمد (Pengcheng et al., 2017). در آزمایشی که بر روی گیاه دارویی خردل (*Sinapis alba* L.) انجام گرفت نتایج نشان

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک)
Table 1- Physical and chemical properties of soil (depth of 0-30 cm)

بافت خاک Soil texture	ماده آلی Matter Organic (mg.g ⁻¹)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	نیتروژن N (mg.g ⁻¹)	فسفر P (mg.g ⁻¹)	پتاسیم K (ppm)	سدیم Na (ppm)	آهن Fe (mg.g ⁻¹)	کربن Carbon (mg.g ⁻¹)
لوم -رسی Clay Loam	0.052	7.2	2.7	0.0015	0.045	56.7	95.5	0.014	0.03

مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. زمین قبل از انجام آزمایش در پاییز شخم عمیق خورده و سپس کود فسفر از منبع سوپر فسفات به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار همراه با دیسک اعمال شد و با استفاده از دستگاه لولر تسطیح و توسط فاروئر جوی پشته ایجاد شد. کشت در ۱۸ اسفند ماه با دست انجام شد. بذر (بذر محلی سیستان) گیاه برای جوانه‌زنی بهتر به مدت ۲۴ ساعت با آب خیسانده شد، بدین

تیمارهای آزمایش شامل جهات‌های کشت در دو سطح (شمالی- جنوبی و شرقی- غربی) به‌عنوان عامل اصلی و تقسیط کود نیتروژن در چهار سطح (یک سوم قبل از کاشت، یک سوم زمان چهار برگی، یک سوم مرحله ساقه‌رفتن؛ یک دوم قبل از کاشت، یک دوم زمان چهار برگی؛ یک دوم زمان چهار برگی، یک دوم مرحله ساقه‌رفتن؛ یک سوم زمان چهار برگی، یک سوم مرحله ساقه‌رفتن، یک سوم مرحله گلدی) به‌عنوان عامل فرعی بودند. کود نیتروژن از منبع اوره و به

کلروفیل b توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید نمونه (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ تازه) به‌دست آمد (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V/100W, \\ \text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V/100W$$

V = حجم محلول سانتریفیوژ شده، A = جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر، W = وزن نمونه برحسب گرم

آنتوسیانین

نمونه‌برداری در پایان رسیدگی فیزیولوژیکی کاسبرگ‌ها انجام گرفت، ۱/۰ گرم بافت تازه کاسبرگ وزن و در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و کلریدریک اسید خالص به نسبت حجمی ۹۹ به ۱) به‌طور کامل ساییده شد و در لوله‌های آزمایش به مدت ۲۴ ساعت، در تاریکی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت، سپس به مدت ۱۰ دقیقه، با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ شد و جذب محلول بالایی در طول موج ۵۵۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر تعیین گردید. برای محاسبه غلظت از فرمول زیر استفاده شد (ضریب خاموشی (ϵ) ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول در نظر گرفته شد (Wagner, 1979)). A = جذب، b = عرض کووت و C = غلظت محلول مورد نظر

$$A = \epsilon b C$$

کربوهیدرات

نمونه‌برداری در پایان رسیدگی فیزیولوژیکی کاسبرگ‌ها انجام گرفت، ابتدا ۲/۰ گرم بافت تازه کاسبرگ وزن و به همراه ۱۰ سی‌سی اتانول ۹۵ درصد (یا ۵ سی‌سی اتانول ۹۶ درصد) در لوله‌های آزمایش در بسته قرار داده و به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن ۱ سی‌سی از نمونه‌ها را برداشته و به آن ۱ سی‌سی فنل ۵/۰ درصد و ۵ سی‌سی اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید. میزان نور جذبی در طول موج ۴۸۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری قرائت گردید. میزان کربوهیدرات استخراجی بر اساس میلی‌گرم گلوکز در گرم وزن تر نمونه از منحنی استاندارد محاسبه گردید (Kerepsi et al., 1996).

پروتئین بذر

نمونه‌برداری در پایان رسیدگی فیزیولوژیکی بذرها انجام گرفت. به‌منظور استخراج پروتئین، پس از آماده‌سازی نمونه‌ها از طریق مخلوط کردن ۲/۰ گرم نمونه در هاون چینی با ۹۰۰ میکرولیتر محلول بافر و به‌دست آوردن یک مایع شفاف سبز رنگ، نمونه‌ها در تیوب اپندروف ۲ میلی‌لیتر ریخته شد و با دور ۷۵۰ دقیقه به مدت یک دقیقه ورتکس گردید. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره‌ی موجود در تیوب‌های فریز

منظور سه الی چهار بذر در هر کپه در عمق سه سانتی‌متری به روش جوی پشته (داغ آب) در چهار ردیف ۲/۵ متری با فاصله ۲۵ سانتی‌متر بین دو بوته و ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف انجام شد. آبیاری بر اساس نیاز گیاه به‌صورت جوی و پشته در ابتدا مراحل جوانه‌زنی و سبز شدن هر پنج روز و بعد از شروع شاخه‌دهی جانبی هر هفت روز یک بار انجام شد. در مرحله چهار الی شش برگ برای رسیدن به تراکم مناسب (هشت بوته در متر مربع) تنک انجام و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی (وجین با استفاده از فوکا) در پنج مرحله (پنج الی شش برگ، ساقه‌دهی (سه مرتبه)، شاخه‌دهی جانبی) صورت گرفت.

اندازه‌گیری تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR)

جهت اندازه‌گیری نور ورودی به کانوبی در زمان بسته شدن کانوبی به‌وسیله دستگاه تشعشع‌سنج مدل Scan temp PRO 440 (Model employ) در ساعت ۱۲/۳۰ ظهر تا ۱۳/۳۰ انجام گرفت. بدین منظور در وسط دو ردیف میانی هر کرت یک بار دستگاه را در وسط کانوبی قرار داده شد و بار دوم دستگاه را پای بوته (پایین کانوبی) قرار گرفت و مقدار نور ورودی اندازه‌گیری و میانگین گرفته شد. با استفاده از معادله ۱ مقدار تشعشع فعال فتوسنتزی برای هر تیمار محاسبه شد (Bantilan et al., 1976).

$$\%PAR = 1 - \frac{PAR_b}{PAR_a} \quad (1)$$

PAR_b : تشعشع فعال فتوسنتزی در پایین کانوبی، PAR_a : تشعشع فعال فتوسنتزی در بالای کانوبی

اندازه‌گیری عملکرد کاسبرگ

جهت اندازه‌گیری عملکرد کاسبرگ در پایان فصل رشد هنگام رسیدگی کامل غوزه‌ها برداشت صورت گیاهان گرفت. کاسبرگ‌ها در اتاق در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در سایه (به مدت ۱۴ روز) به‌طور طبیعی خشک و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ توزین گردیدند.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی گیاه

غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل (a, b) و کارتنوئید

نمونه‌برداری از جوان‌ترین برگ بالغ توسعه‌یافته در شروع گلدهی صورت گرفت. مقدار ۱/۰ گرم بافت تازه برگ گیاه وزن و در هاون چینی با نیتروژن مایع ساییده شد و پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به آن، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و جذب محلول بالایی در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای

بیشتر از ردیف‌های شرقی- غربی است، فرض شده است که در ردیف‌های شمالی- جنوبی از نور و رطوبت به‌طور کامل‌تری استفاده می‌شود (Perekaljskii, 1951).

عملکرد کاسبرگ

اثر متقابل جهت کشت و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد کاسبرگ معنی‌دار (۱ درصد) شد (جدول ۲). به گونه‌ای که بیشترین عملکرد (۷۸۴ کیلوگرم در هکتار) در جهت کشت شمالی- جنوبی و از کاربرد تیمار یک سوم زمان چهار برگی، یک سوم مرحله ساقه‌رفتن، یک سوم مرحله گلدهی به‌دست آمد (جدول ۳). در مورد تأثیر عوامل اکولوژیکی و کاربرد کود نیتروژن به‌صورت تقسیط بر عملکرد اقتصادی می‌توان بیان کرد که به‌منظور دستیابی به حداکثر عملکرد لازم است گیاه زراعی با حداکثر کارایی ممکن از عوامل تولید یعنی آب، عناصر غذایی، نور و دی‌اکسیدکربن استفاده نماید (Behdani, 2011). در آزمایشی که بر روی گیاه سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L. Moench) انجام گرفت نتایج نشان داد که تقسیط کود نیتروژن در ژنوتیپ‌های سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) باعث ایجاد یک روند افزایشی در میزان ماده خشک تجمعی به ازای افزایش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی شده است (Beheshti and Seyyed kaboli, 2017). در گیاهان رشد نامحدود (ساقه گیاه به مرور طی چند مرحله به گل می‌رود) ریشه توانایی بیشتری برای جذب مواد غذایی در زمان گلدهی دارد (Khaje Pour, 2014). مصرف نیتروژن در ابتدای گلدهی منجر به تحریک گیاه در جهت افزایش تولید شاخه‌های فرعی شده و از طریق افزایش سطح فتوسنتزی و تولید آسمیلات‌ها سبب تبدیل تعداد بیشتری از گل به میوه می‌شوند (Zangani, 2001). برای عملکرد بالای کاسبرگ باید رشد رویشی یا زایشی در گیاه متعادل و کاسه‌های گل مراحل رشدی خود را به‌طور کامل طی کرده و بزرگ شوند، این تعادل زمانی برقرار می‌شود که بین عناصر لازم برای رشد رویشی (نیتروژن) با عنصر لازم برای رشد زایشی (فسفر) تعادل برقرار باشد (Mohammadpour Vashvaei et al., 2015). گیاهانی که رشد رویشی خوبی را پشت سر گذاشته باشند، گل‌های بیشتری تولید می‌کنند و منجر به افزایش عملکرد می‌شوند (Behdani, 2011). با توجه به اینکه در جهت شمالی- جنوبی نور فعال فتوسنتزی بیشتری جذب شده با افزایش میزان جذب نور میزان فتوسنتز نیز افزایش یافته و از طرفی با تقسیط بهینه کود نیتروژن در مراحل رشد سریع رویشی (چهاربرگی، ساقه رفتن) و زایشی (گلدهی) باعث بهبود تغذیه گیاه شده که سبب افزایش عملکرد کاسبرگ گیاه می‌شود.

شده، همراه با ۱/۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد (بیوره) در تیوب جدید ریخته و به مدت ۱ دقیقه، ورتکس شد و جذب آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Bradford, 1976). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

تشعشعات فعال فتوسنتزی (PAR)

اثر متقابل جهت کشت و تقسیط کود نیتروژن بر تشعشع فعال فتوسنتزی معنی‌دار (۱ درصد) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین نور ورودی به کانوپی (۷۷/۳ درصد) در جهت کشت شمالی- جنوبی و از کاربرد تیمار یک سوم قبل از کاشت، یک سوم مرحله چهار برگی، یک سوم مرحله ساقه‌رفتن حاصل شد (جدول ۳). هدف اصلی در مدیریت زراعی به حداکثر رساندن دریافت نور توسط سایه‌انداز گیاه زراعی است (Nassiri Mahallati, et al., 2015). نور یکی از منابع طبیعی مهم می‌باشد که با افزایش کارایی آن می‌توان سطح تولید را افزایش داد و به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل رقابت در اکوسیستم‌های زراعی شناخته شده است (Awal et al., 2006). در مراحل اولیه رشد، جذب و دریافت نور تا حد زیادی به سرعت گسترش برگ‌ها بستگی دارد (et al., 2010). انجام فرآیند فتوسنتز و در نتیجه تولید ماده خشک گیاه وابسته به سطح برگ بوده و برای افزایش ماده خشک گیاه باید شاخص سطح برگ را افزایش داد (Behdani, 2011). یکی از راه‌های افزایش شاخص سطح برگ، افزایش تراکم بوته و کشت گیاه در جهت‌های مختلف می‌باشد، جهات مختلف کاشت می‌تواند بر عملکرد محصول از طریق افزایش سطح برگ و جذب نور تأثیر داشته باشد (Mirzadeh et al., 2015). نور خورشید و مقدار انعکاس آن تحت تأثیر جهت ردیف‌ها قرار می‌گیرند و احتمالاً در ردیف‌های شمالی- جنوبی نورگیری بهتر از ردیف‌های شرقی- غربی است (Sing et al., 1973). با توجه به نتایج اثر متقابل جهت کشت و تقسیط کود نیتروژن مقدار نور ورودی به کانوپی در جهت شمالی- جنوبی بیشتر است از این رو نور بیشتری توسط برگ‌ها گیاه دریافت شده که با افزایش کربن‌گیری و افزایش شاخص سطح سبب افزایش فتوسنتز گردیده است و در نهایت منجر به افزایش عملکرد کاسبرگ‌ها چای ترش در جهت شمالی- جنوبی گردیده است. در یک تحقیق با مطالعه تأثیر جهت کاشت بر عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) بهاره در شوروی سابق بیان شد، عملکرد گندم بهاره در ردیف‌های کاشت شمالی- جنوبی (۳۰۰-۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نور ورودی به کانوبی و عملکرد کاسبرگ چای ترش
Table 2- Analysis of variance (Mean of squares) light to the canopy and dry sepal yield of Roselle

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نور Light	عملکرد کاسبرگ خشک Dry sepal yield
تکرار Replication	2	23.77 ^{ns}	15128 ^{ns}
جهت کاشت Planting direction	1	1.81 ^{ns}	173400 ^{**}
خطای اصلی Error(a)	2	36.1	1256
نیتروژن Nitrogen	3	1654.90 ^{**}	71960 ^{**}
کود × جهت کاشت Nitrogen × Direction	3	702.98 ^{**}	86232 ^{**}
خطای فرعی Error(b)	12	24.3	4810.66
ضریب تغییرات C.V(%)	-	13.2	12.4

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند.
*، ** and ns significant at probability levels, respectively 1%, 5% and non-significant

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تقسیط نیتروژن × جهت کاشت نور ورودی به کانوبی و عملکرد کاسبرگ چای ترش
Table 3- Mean comparison of interaction effect planting direction × nitrogen fertilizer split light to the canopy and dry sepal yield of Roselle

جهت کاشت Planting direction	کود Fertilizer	نور Light % (lx)	عملکرد کاسبرگ خشک Dry sepal yield (kg.ha ⁻¹)
شرقی - غربی East-West	A	45.3 ^b	504 ^b
	B	24.6 ^e	488 ^b
	C	27.27 ^{de}	408 ^{bc}
	D	21.89 ^e	504 ^b
شمالی - جنوبی North-South	A	77.3 ^a	712 ^a
	B	34.99 ^{cd}	312 ^c
	C	43.56 ^{bc}	776 ^a
	D	25.01 ^e	784 ^a
LSD5%		8.78	123.4

تفاوت حروف در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشد.
The difference in the letters in column shows a significant difference based on the Duncan test at 5%
A: (۱/۳ قبل از کاشت، ۱/۳ چهار برگ، ۱/۳ ساقه رفتن)، B: (۱/۲ قبل از کاشت، ۱/۲ چهار برگ)، C: (۱/۲ چهار برگ، ۱/۲ ساقه رفتن)، D: (۱/۳ چهار برگ، ۱/۳ ساقه رفتن، ۱/۳ گل‌دهی)
A: (1/3 before planting, 1/3 four leaf, 1/3 stem elongation), B: (1/2 before planting, 1/2 four leaf), C: (1/2 four leaf, 1/2 stem elongation), D: (1/3 four leaf, 1/3 stem elongation, 1/3 Flowering)

رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل (b, a) و کارتنوئید

اثر متقابل جهت کشت و تقسیط کود نیتروژن بر میزان کلروفیل (a و b) معنی‌دار (۱ درصد) بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار بر میزان کلروفیل a (۰/۹۳ میلی‌گرم در گرم) و کلروفیل b (۱/۰۳ میلی‌گرم در گرم) و کارتنوئید (۰/۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در جهت کشت شمالی - جنوبی و از کاربرد تیمار کود نیتروژن یک سوم مرحله چهار برگ، یک سوم مرحله ساقه رفتن، یک سوم مرحله گل‌دهی به‌دست آمد (جدول ۵). در مورد تأثیر عوامل اکولوژیکی و کاربرد کود نیتروژن به‌صورت تقسیط بر میزان

رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ می‌توان بیان کرد، فتوسنتز و تعادل بیوشیمیایی گیاه و دریافت تحرکات محیطی و تا حدی ذخیره مواد غذایی در حیطه‌ی وظایف رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه است (Khaje Pour, 2014). کلروفیل‌ها گیرنده‌های اولیه جذب نور برای انجام فتوسنتز می‌باشند (Khavari Najad, 1996). بالارفتن میزان کلروفیل در نتیجه افزایش جذب نیتروژن در اثر شرکت فعال نیتروژن در ساختمان کلروفیل و اسیدهای آمینه به‌وقوع می‌پیوندد (Iannucci et al., 2002) افزایش دمای خاک باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها اطراف ریشه شده و گیاه را در جذب عناصر یاری و

بر میزان جذب عناصر میکرو (Mg، Mn و Fe) که در ساخت کلروفیل نقش مهمی ایفا می‌کند، می‌افزایند و در نهایت سبب افزایش سنتز کلروفیل می‌شوند (Sarcheshmeh Pour and Hadifra Pour, 2011). در آزمایشی که بر روی گیاه دارویی آویشن (*Thymus vulgaris* L.) انجام گرفت، نتایج نشان داد که شدت نور بالا در آویشن در مقایسه با نور طبیعی موجب پر رنگ و براق شدن برگ‌ها، افزایش کلروفیل، کاهش تنفس روزنه‌ای، کوتیکولی و افزایش پتانسیل فتوسنتزی شد (Jabbari et al., 2009). عمده ترکیبات رنگدانه‌های فتوسنتزی دارای ساختار نیتروژنی هستند، از این رو کاربرد به‌موقع نیتروژن می‌تواند تا حد زیادی منجر به افزایش مقدار آن‌ها در گیاه شود (Zgallai et al., 2006). به‌طور کلی هرچه شرایط تغذیه‌ای و محیطی، از جمله عناصر غذایی، نور و رطوبت برای رشد گیاه مناسب‌تر باشد، توان گیاه در تولید کلروفیل و تثبیت CO₂ بیشتر می‌شود (Demir, 2004). کاربرد به‌موقع نیتروژن سبب افزایش سطح فعال برگ، افزایش استفاده از تابش خورشیدی و در نتیجه افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش فتوسنتز و به موجب آن افزایش عملکرد می‌باشد (Iannucci et al., 2002). بنابراین تأمین نیتروژن به اندازه کافی در مراحل حساس رشد رویشی (چهاربرگی، ساقه رفتن) و زایشی (گلدهی) یکی از راهکارهای مهم در افزایش فتوسنتز و به موجب آن افزایش عملکرد می‌باشد.

آنتوسیانین

اثر متقابل جهت کاشت و تقسیط کود نیتروژن بر محتوای آنتوسیانین کاسبرگ معنی‌دار (۱ درصد) شد (جدول ۴). اثر متقابل جهت کشت و تقسیط کود نیتروژن نشان داد که بیشترین مقدار آنتوسیانین کاسبرگ (۲/۹۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر کاسبرگ) از کاربرد تیمار یک سوم قبل از کاشت، یک سوم مرحله چهار برگی، یک سوم مرحله ساقه رفتن حاصل شد (جدول ۵). شرایط محیطی از قبیل نور، درصد رطوبت و درجه حرارت از جمله مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تعیین متابولیت‌های ثانویه در گیاه می‌باشد (Rahimmalek and Khorsandi, 2015). رنگ‌دانه آنتوسیانین متعلق به گروه گسترده‌ای از متابولیت‌های ثانویه است، که در مجموع به‌عنوان فلاونوئیدها شناخته می‌شوند و به‌عنوان یک رنگیزه مهم در گیاه تحت تأثیر متغیرهای مختلفی نظیر مواد غذایی، دما، دسترسی به آب و به‌ویژه نور است یکی از وظایف آنتوسیانین‌ها نقش حفاظتی آنها در مقابل تنش نوری است (Nowruzi et al., 2017). پیش ماده اصلی تولید فلاونوئیدها از جمله آنتوسیانین مالونیل - کوآنزیم A و پی کوماریل - کوآنزیم A می‌باشند افزایش شدت نور باعث افزایش سنتز این پیش ماده در گیاه می‌شود (Kakavand and Mahna, 2017).

در مطالعه‌ای که بر روی گیاه دارویی اسطوخودوس صورت گرفت نتایج نشان داد که کاربرد کود اوره باعث افزایش عملکرد اسانس و افزایش مقدار دو ماده مؤثره اصلی گیاه اسطوخودوس (*Lavandula officinalis* L.) سینتول و لینالول شد (Hadipour et al., 2013). در مطالعه‌ای که بر روی گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) انجام شد نتایج نشان داد کاربرد کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد روغن شد (Javanmard and Shekari, 2016) با توجه به اینکه پارامترهای اکولوژیکی (نور، دما و عناصر غذایی) در جهت کشت شمالی - جنوبی دارای بیشترین مقدار بودند، سبب افزایش آنتوسیانین در جهت کشت شمالی - جنوبی شدند، افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه رشد و نمو، فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه و تولید متابولیت‌های ثانویه همچون آنتوسیانین را افزایش می‌دهد که در اثر وجود مقادیر مناسب نیتروژن محیط در زمان‌های نیاز گیاه به وقوع پیوسته است. از آنجا که مراحل نمو گیاه قبل از کاشت، چهار برگی و ساقه رفتن مصادف با زمان‌هایی است که گیاه چای ترش در زمین در طول روزهای بلند نور بیشتری جذب می‌کند، بنابراین اعمال کود نیتروژن در این مراحل با فراهمی عناصر غذایی بر گیاه و جذب نور بیشتر باعث افزایش سنتز آنتوسیانین در گیاه می‌شود. دما و نور بر کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه از قابلیت انحلال عناصر معدنی، مواد آلی محلول در بافت‌های گیاهی و فرآیندهای فیزیولوژیکی آن تأثیر می‌گذارد به‌طوری که قابلیت انحلال و سنتز متابولیت‌ها عموماً با افزایش دما و نور افزایش پیدا می‌کند (Emam and Seghat Alslami, 2005).

پروتئین بذر

اثر متقابل جهت کشت و تقسیط کود نیتروژن بر میزان پروتئین بذر معنی‌دار (۱ درصد) شد (جدول ۴). مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین بذر (۳/۸ گرم در ۱۰۰ گرم وزن بذر) در جهت کشت شمالی - جنوبی و از کاربرد تیمار یک سوم مرحله چهار برگی، یک سوم مرحله ساقه رفتن، یک سوم مرحله گلدهی به‌دست آمد (جدول ۵). از آنجا که نیتروژن یکی از اجزای اصلی اسیدهای آمینه محسوب می‌شود، افزایش مصرف و جذب آن منجر به افزایش سنتز پروتئین‌ها خواهد شد در مطالعه‌ای که بر روی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) صورت گرفت نتایج نشان داد، که افزایش مصرف نیتروژن درصد پروتئین دانه کلزا و گندم را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Hosseini et al., 2013; Mehrnia et al., 2016). نیتروژن از عناصر اصلی سازنده اسیدهای آمینه است؛ بنابراین کاربرد نیتروژن در مراحل اوج رشد رویشی (چهار برگی، ساقه رفتن) می‌تواند به افزایش مقدار پروتئین به‌ویژه در زمان رشد زایشی (اوایل گلدهی) به دلیل اختصاص بیش‌تر مواد فتوسنتزی قابل جذب به اندام‌های زایشی منجر گردد.

کربوهیدرات کاسبرگ

اثر متقابل جهت کاشت و تقسیط کود نیتروژن بر میزان کربوهیدرات معنی‌دار (۵ درصد) شد (جدول ۴). بیشترین مقدار کربوهیدرات (۶/۶۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر کاسبرگ) از کاربرد تیمار (یک دوم مرحله چهار برگه، یک دوم مرحله ساقه رفتن) به‌دست آمد (جدول ۵). نور اثر زیادی بر سرعت فتوسنتز دارد و به‌عنوان منبع انرژی برای تبدیل CO_2 و آب به کربوهیدرات نقش دارد، افزایش شدت جذب نور منجر به افزایش سنتز کربوهیدرات‌ها در گیاهان می‌شود (Gaastra, 1963). درآزمایشی بر گیاه کلزا (*brassica napus* L.)، نتایج نشان داد با کاربرد کود نیتروژن محتوای کربوهیدرات دانه افزایش یافت (Fazli et al., 2005). در مراحل اولیه و حساس رشد و نمو (جوانه‌زنی، چهار برگه) گیاه برای رشد به عناصر معدنی به‌خصوص نیتروژن نیاز بیشتری دارد (Ibrahim Zadeh, 2007). همچنین در مرحله ساقه‌دهی گیاه دارای حداکثر

قدرت جذب مواد غذایی برای انجام فتوسنتز، ذخیره مواد غذایی، انتقال و توزیع مواد غذایی ساخته شده به سایر قسمت‌های گیاه می‌باشد (Heidari Sharif Abadi, 2012). بهبود شرایط تغذیه‌ای و افزایش جذب آب و عناصر غذایی می‌تواند منجر به افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو، افزایش سرعت فتوسنتز و افزایش سنتز کربوهیدرات‌ها در گیاهان شود (Melkotti, 2006). از آنجایی که در جهت کشت شمالی- جنوبی بوته‌ها از عوامل محیطی مثل نور، عناصر غذایی، به‌صورت کامل و مناسب‌تری استفاده می‌کنند، بنابراین با اعمال کود نیتروژن در مراحل حساس و اوج رشد رویشی و جذب نور و دما بیشتر در این مراحل منجر به افزایش سنتز کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شود. در آزمایشی که بر روی گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) انجام گرفت نتایج نشان داد که تغذیه بیشتر با نیتروژن در آغاز مرحله ساقه رفتن میزان کربوهیدرات‌ها، نیتروژن و پروتئین دانه را بهبود بخشید (Baradaran Firouzabadi et al., 2010).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی گیاه چای ترش
Table 4- Analysis of variance (Mean of squares) physiological characteristics of Roselle

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کارتنوئید Carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	پروتئین بذر Seed protein	آنتوسیانین Anthocyanin	کربوهیدرات Carbohydrate
تکرار Replication	2	0.0007 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.18 ^{ns}
جهت کاشت Planting direction	1	0.00003 ^{ns}	0.05 [*]	0.60 ^{ns}	6.77 ^{**}	0.59 ^{ns}	6.95 ^{**}
خطای اصلی Error(a)	2	0.0001	0.001	0.03	0.007	0.03	0.02
نیتروژن Nitrogen	3	0.0007 ^{ns}	0.06 ^{**}	0.13 ^{**}	3.56 ^{**}	0.53 ^{**}	4.70 ^{**}
کود × جهت Nitrogen × Direction	3	0.01 ^{**}	0.07 ^{**}	0.17 ^{**}	1.81 ^{**}	0.24 ^{**}	1.71 [*]
خطای فرعی Error(b)	12	0.0003	0.003	0.007	0.05	0.02	0.45
ضریب تغییرات C.V(%)	-	6.6	9.7	15.4	15.5	6.3	12.2

ns و ** و *** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

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

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تقسیط کود نیتروژن × جهت کشت صفات فیزیولوژیکی گیاه چای ترش
Table 5- Mean comparisons interaction effect planting direction × nitrogen fertilizer split physiological characteristics of Roselle

جهت کاشت Planting direction	کود Fertilizer	کارتنوئید Carotenoid (mg.g ⁻¹)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)	پروتئین بذر Seed protein (g/100g Seed)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg.g ⁻¹)	کربوهیدرات Carbohydrate (mg.g ⁻¹)
شرقی - غربی East-West	A	0.28 bc	0.60 bc	0.4 b	1.88 b	2.35 cd	6.37 a
	B	0.29bc	0.47 d	0.35 b	1.77 b	2.66 b	5.35 ab
	C	0.30 b	0.68 b	0.41 b	0.73 de	1.88 e	4.26 bc
	D	0.19 e	0.49cd	0.38 b	0.51 de	1.93 e	3.64 c
شمالی - جنوبی North-South	A	0.24 d	0.60 bc	0.42 b	0.9 de	2.98 a	6.11 a
	B	0.26 cd	0.48 d	0.92 a	1.46 bc	2.45 bc	6.41 a
	C	0.21 e	0.62 b	0.42 b	3.8a	2.51 bc	6.63 a
	D	0.36 a	0.93 a	1.03 a	1.07 cd	2.13 de	4.77 bc
LSD5%		0.03	0.10	0.15	0.41	0.26	1.19

تفاوت حروف در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشد.

The difference in the letters in column shows a significant difference based on the Duncan test at 5%

A: (۱/۳ قبل از کاشت، ۱/۳ چهار برگه، ۱/۳ ساقه رفتن)، B: (۱/۲ قبل از کاشت، ۱/۲ چهار برگه)، C: (۱/۲ چهار برگه، ۱/۲ ساقه رفتن)، D: (۱/۳ چهار برگه، ۱/۳ ساقه رفتن، ۱/۳ گل‌دهی)
A: (1/3 before planting, 1/3 four leaf, 1/3 stem elongation), B: (1/2 before planting, 1/2 four leaf), (C: 1/2 four leaf, 1/2 stem elongation), D: (1/3 four leaf, 1/3 stem elongation, 1/3 Flowering)

نتیجه گیری

در مجموع نتایج این تحقیق گویای آن است که جهت کشت شمالی- جنوبی با بهره گیری بهتر از عوامل اکولوژیکی از قبیل نور، دما، عناصر غذایی و به دنبال آن با کاربرد کود نیتروژن به صورت تقسیم در مراحل چهار برگی، ساقه رفتن، گلدهی موجب بهبود رشد، افزایش عملکرد و کیفیت کاسبرگ در گیاه چای ترش گردید، با توجه به ضرورت تولید گیاهان دارویی در نظام های زراعی و لزوم توجه به کشت این گیاهان در نظام های کم نهاده و کاهش هزینه های مصرف کودهای شیمیایی به نظر می رسد که تقسیم کود نیتروژن راه حل مناسبی برای تولید این گیاهان باشد، بنابراین از آنجایی که نیتروژن یکی از عناصر بسیار مؤثر در افزایش عملکرد کیفی و زراعی گیاهان دارویی می باشد، مدیریت بهینه نیتروژن به صورت کاربرد

تقسیمی در زمان هایی که انطباق بیشتری با مراحل حساس نیاز گیاه داشته باشد و باعث افزایش کیفیت و عملکرد گیاه دارویی و پایداری تولید آن و با هدف افزایش کارایی کاربرد کودهای شیمیایی در راستای دستیابی به کشاورزی پایدار و حفظ محیط زیست توصیه می شود.

سپاسگزاری

برحسب ادب و احترام از کلیه کارکنان پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل که ما را در اجرای این پژوهش یاری کردند بسیار متشکریم.

References

1. Abbasdokht, H., and Beyki, M. A. 2015. The effects of hydropriming, planting depth and nitrogen split application on grain yield and it's components of 370 double cross hybrid corn in arid zone. Journal of Plant Prod Research 22 (1): 881-886. (in Persian with English abstract).
2. Allahdadi, M., and Mosharraf Broujeni, L. 2017. The effect of different urea rates on some morphological and phytochemical traits of artichoke. Agro ecology Journal 13 (4): 49-60. (in Persian with English abstract).
3. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
4. Arshadi, M. J., Khazaei, H. R., Nassiri Mahallati, M., and Aghlee, S. O. 2010. The effects of some important agronomic traits in potato yield (*Solanum tuberosum* L.) and the ability to determine the time required potato crop to nitrogen fertilizer using chlorophyll meter, Journal of Agro ecology (2) 1: 119-128. (in Persian with English abstract).
5. Awal, M. A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize peanut intercrop canopy. Agricultural for Meteorology 139 (1): 74-83.
6. Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.
7. Behdani, M. A. 2011. Principles of Cultivation. of AYJ, Press, Iran. Iran. (in Persian).
8. Beheshti, A. R., and Seyyed Kaboli, E. 2017. The Influence of distribution nitrogen fertilizer management on absorbed and radiation use efficiency in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes. Journal of Agro ecology 9 (3): 848-861. (in Persian with English abstract).
9. Bantilan, R. T., Palada, M., and Harwood, R. R. 1976. Integrated weed management, I. Key factors affecting weed/crop balance. Philippine Weed Science, Bulletin 1: 1-14.
10. Baradaran Firouzabadi, M., Hamzei, J., and Esfandiari, E. 2010. Effect of N and drought stress on seed carbohydrate and nitrogen reserves and seedling vigor in barley (*Hordeum vulgare* L.). Electronic Journal of Crop Production 3 (2): 1-14.
11. Carretero, R., Serrago, R. A., Bancal, M. O., Perello, A. E., and Miralles D. J. 2010. Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. Field Crop Research 116: 184-195.
12. Cicek, N., and Cakirlar, H. 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. Bulgarian Journal of Plant Physiology 28: 66-74.
13. Demir, S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. Turk Journal of Biology 28: 85-90.
14. Emam, Y., and Seghat Alslami, M. J. 2005. Yield of Agricultural Plants (Physiology and Processes). University of Shiraz Press, Iran. (in Persian).
15. Fazli, I. S., Abidin, M. Z., Jamal, A., and Ahmad, S. 2005. Interactive effect of sulphur and nitrogen on lipid accumulation, acetyl-CoA concentration and acetyl-CoA carboxylase activity in developing seeds of oilseed crops (*Brassica napus* L.). Plant Science 168: 29-36. (in Persian).
16. Gastra, P. 1963. Climatic control of photosynthesis and respiration. In: L.T. Evans (Editor), Environmental Control of Plant Growth. Academic Press, New York.
17. Ganjali, H. M., Kamali Deljoo, A., Azizian Shermeh, O., and Lakizahi, M. 2017. Growth and yield characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) affected by different rates of nitrogen, phosphorus and potassium in Saravan, Iran. Agro ecology Journal 13 (1): 29-37. (in Persian with English abstract).

18. Hadipour, A., Hoseini Mazinani, M., and Mehrafarin, A. 2013. Changes in Essential oil Content/Composition and Shoot Aerial Yield of Lavender (*Lavandula officinalis* L.) Affected by Different Treatments of Nitrogen. Quarterly Journal of Medicinal Plants 2 (46): 156-169. (in Persian with English abstract).
19. Hosseini, R., Gashi, S., Soltani, A., Clateh, M., and Zahed, M. 2013. The effect of nitrogen fertilizer. Wheat nitrogen use efficiency indices (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11 (2): 300-306. (in Persian with English abstract).
20. Heidari sharif abadi, H. 2012. Physiology of Crop yield (Interaction of genotype* Environment* Management). Astan Quds Razavi Publishing Iran. (in Persian).
21. Iannucci, A., Russo, M., Arena, L., Fonzo, N. D., and Martiniello, P. 2002. Water deficit effects on osmotic adjustment and solute accumulation in leaves of annual clovers. European Journal of Agronomy 16: 111-122.
22. Ibrahimzadeh, H. 2007. Plant Physiology (Third Edition). Tehran Home biology publication, Iran. (in Persian).
23. 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 Eco Physiology 3 (1): 78-94. (in Persian).
24. Jacobs, M. B. 1951. The Chemical Analysis of Food and Food Products Standardized Dye Method. Vol. 27. 2nd Ed, D Van Nostrand Co, New York.
25. Javanmard, A., and Shekari, F. 2016. Improvement of Seed Yield, its Components and Oil Content of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) by Applications of Chemical and Organic Fertilizers. Journal of Crop Ecophysiology 10 (1): 35-56. (in Persian with English abstract).
26. Kakavand, F., and Mahna N. 2015. Anthocyanin Production through Callus Culture of Apple: Effect of Nitrogen Source and Concentration of Magnesium. Journal of Agricultural Biotechnology 7 (2): 122-134. (in Persian with English abstract).
27. Kerepsi, I., Toth, M., and Boross, L. 1996. Water-soluble carbohydrates in dried plant. Journal Agriculture Food Chemical 10: 3235-3239.
28. Kavari Najad, R. A. 1996. Plant Physiology (Cell, Respiration, Photosynthesis). Tarbiat Moallem University Press, Iran. (in Persian).
29. Khaje Pour, M. R. 2014. Principles of Agriculture (Third Edition). Academic Jihad (Isfahan University of Sanati) Press, Iran. (in Persian).
30. Losak, T., and Richter, R., 2004. Split nitrogen doses and their efficiency in poppy (*Papaver somniferum* L.) nutrition. Plant Soil and Environment 50 (11): 484-488.
31. Mehrnia, M., Ilkay, M. N., and Kashani, A. 2016. Effect of Sowing Date and Nitrogen Distribution on Some Quantitative and Qualitative Traits of Rapeseed (*Brassica napus*), Fourth International Conference on Applied Research in Agricultural Science. Tehran Iran, 8-12 September: 1-15.
32. Melkotti, M. J. 2006. Sustainable agriculture. Sina Publications, Iran. (in Persian).
33. Mirzadeh, H., Nakhzari moghaddam, H., Biabani, A., Razmi karizaki, A., and Fallah, H. A. 2015. Effect Study of ecological indicators of ecosystem wheat crop. Journal of Biological Conservation of Herbs 3 (7): 354-360. (in Persian).
34. Mirzashahi, K., and Bazargan, K. 2015. Ministry of Agriculture Jihad, Agricultural Research and Training Organization, Technical Journal No 535. (in Persian).
35. Mohammadnejad Ganji, S. M., Moradi, H., Ghanbari, A., and Akbarzadeh, M. 2017. Quantity and quality of secondary metabolites in lavender plant under the influence of ecological factors. Nova Biologica Reperta 4 (2): 166-172. (in Persian with English abstract).
36. Mohammadpour Vashvaei, R., Ghanbari, A., and Fakheri, B. A 2015. Effect of combined feeding system on N, P and K concentration, biochemical characteristics and calyxes yield of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Iranian Journal of Filed Crop Science 46 (3): 497-517. (in Persian with English abstract).
37. Nowruzi, V., Yousef Zadeh, S., Acilan, K. A., and Mansoorifar, S. 2017. Evaluation of essential oil changes, chlorophyll, carotenoids, anthocyanins and flavonoids Medicinal (*Mentha long*) herb in different habitats of Marand. Quarterly Journal of Eco phyto Chemistry of Medicinal Plants 5 (17): 52-64.
38. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani, P., and Beheshti, A. 2015. Agro ecology. Ferdowsi University of Mashhad Publishes. (in Persian).
39. Olivera, M., Iribane C., and Liuck, C. 2002. Effect of phosphorus on nodulacion and N2 Pixation by bean (*Phaseolus vulgaris*) proceedings of the 15th International Meeting on Microbia Phosphate Solubilization. 16-19 July, Salamanca, Spain.
40. Pengcheng, L., Helin, D., Aizhong, L., Jingran, L., Miao, L., Yabing, L., Shaodong, L., Xinhua, Z., and Shuchun, M. 2017. Effects of nitrogen rate and split application ratio on nitrogen use and soil nitrogen balance in cotton field, Elsevier, China 27 (4): 769-777.
41. Perekaljskii, F. M. 1951. Directin of a sown area (in Russian). Sel. Semenovod 18: 70-73.
42. Rahimmalek, M., and Khorsandi, D. 2015. Determination of Compounds and Medicinal plants Biotechnology. Academic Jihad Isfahan University of Sanati Press, Iran. (in Persian).

43. Rejaei1, M., Dahmardeh, M., Khammari, I., and Keshtegar, B. 2018. The Effect of Planting Pattern and Vermicompost on the Changes in Soil Nutrients and Use of Environmental Resources in Intercropping of Corn (*Zea mays* L.), Peanut (*Arachis hypogaea* L.) and Borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Agro ecology 10 (2): 547-564. (in Persian with English abstract).
44. Sarcheshmeh Pour, M., and Hadi Frapour, M. 2011. The role of microorganisms in reducing the effects of drought stress and increasing water use efficiency by the plant. Eleventh general irrigation Seminar and evaporation reduction. 12 May 2011, p. 20-26. (in Persian).
45. Shirani Rad, A. H., Bigdley, M., and Ramezani, M. 2010. Effect of Quantities and Nitrogen Split on Quantitative and Qualitative Traits of Mustard Medicinal Plant in Summer Planting. Quarterly Scientific Research of Crop Eco physiology 2 (4): 271-283. (in Persian).
46. Sing, R. P., Dauley, H. S., H. P., and Prasead, M. V. R. 1973. Drylads of Western Rajasthan need a new technology. Indian Farming 22 (10): 13-15.
47. 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 (1): 29-38.
48. Wagner, G. J. 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanin in protoplasts. Plant Physiology 64: 88-93.
49. Zgallai, H., Steppe, K., and Lemeur, R. 2006. Effects of different levels of water stress on leaf water potential, stomata resistance, protein and chlorophyll content and certain anti oxidative enzymes in Tomato plants. Journal of Integrative Plant Biology 48 (6): 679-685.



Evaluation of the Effect of Nitrogen Fertilizer Splitting and Planting Directions on Biochemical Characteristics and Yield of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)

F. Rigi¹, M. Dahmard^{2*}, I. Khammari³, R. Bagheri⁴

Received: 22-01-2019

Accepted: 03-08-2019

Introduction

Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) is one of the important medicinal and industrial herbs in tropical and semi-tropical regions, which, in addition to multiple drugs use. The quality and quantity of the active ingredient of medicinal plants are affected by the applied crop. Light is recognized as one of the most important factors in competition in ecosystems. Nitrogen is the first element that has a shortage in arid and semi-arid areas due to lack of soil organic matter. Since the use of maximum environmental capacity and the most suitable growing conditions in order to increase the quantitative and qualitative yield and maximize productivity, it is important for agricultural management. The aim of this research was to investigate different cultivars to determine the most suitable culture for planting, optimum use of chemical fertilizers and determine their best time for increasing the quantitative and qualitative yield under Zabol climatic conditions.

Materials and Methods

A split-plot experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications at the Research Institute of Zabol University during the growing season of 2016-2017. Treatments experiment included two levels of planting directions (North-South, East-West) as the main plot and the split of nitrogen fertilizer from the source of urea in four levels (1/3 per planting, 1/3 four-leaf stage, 1/3 stem elongation; 1/2 post planting, 1/2 four-leaf stage; 1/2 four-leaf stage, 1/2 stem elongation; 1/3 four-leaf stage, 1/3 stem elongation, 1/3 flowering stage) as a sub-plot. Ecological parameters such as light, at the end of the flowering stage, Biochemical characteristics and yield were measured at the end of the growing season. Analysis of variance done by software SAS ver. 9.1 and comparison of means treatment by Duncan test at 0.05 level.

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that the interaction of planting directions and nitrogen fertilizer split exception for the traits vitamin c, for all traits measured is very significant. Based on the results of the comparison of means treatments showed that all traits had the highest amount in the planting directions (north-south). The highest dry sepal yield (784 kg.ha^{-1}) and anthocyanin (2.98 mg.g^{-1}) were obtained from north-south planting. The correct timing of fertilizer use is more important than the total amount of fertilizer used. Split timing of nitrogen application for the use of 1/3 four-leaf stage, 1/3 stem elongation stage, 1/3 flowering stage, increased the qualitative and functional characteristics of roselle. The effect of Interaction planting direction and splitting of fertilizer was significant on carotenoid, the highest of carotenoid was obtained at north-south with an application nitrogen fertilizer at 1/3 four-leaf stage, 1/3 stem elongation, 1/3 Flowering stage (0.36 mg.g^{-1}).

Conclusions

In general, the results of this research showed that for planting directions North-South, using better ecological factors such as light, temperature, nutrients, and followed by application of nitrogen fertilizer, split in four-leaf stage, stem elongation, flowering Improvement of growth, an increase of yield and quality of sepal in the Roselle plant. Since nitrogen is one of the most effective elements in increasing the quality yield of medicinal plants, optimum management of nitrogen as a split application at times that are more adapted to the critical stages of the plant's needs. It is recommended to achieve sustainable agriculture and environmental protection.

Keywords: Medicinal plant, Secondary metabolite, Sepal yield

1- MSc Horticultural Science, Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran

2- Associate Professor, Department of Agro ecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agro ecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran

4- Instructor Research, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran

(*- Corresponding Author Email: Dahmard@gmail.com)

Contents

Effect of Fertilizer Management on Some Chemical Properties of Soil and Absorption of Nitrogen and Phosphorus Elements by Purslane (<i>Portulaca oleracea</i> L.)	204
H. Javadi- P. Rezvani Moghaddam- M. H. Rashed Mohasel- M. J. Seghatoleslami	
Meta-Analysis of the Effect of Super-Absorbent Application on Crops Yield in Iran	219
M. Jahan- M. Nassiri Mahallati	
Determination of Chlorophyll Content and Nitrogen Status Using SPAD in Dryland Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) Genotypes	239
V. Feiziasl- A. Fotovat- A. Astaraei- A. Lakzian- J. Jafarzadeh	
Evaluation of Genetic Stability of some Agronomic Traits in Potato Hybrids and Cultivars under Different Climate Conditions	252
Sh. Mohammadnia- A. Asghari- D. Hassanpanah- R. Karimizadeh- A. A. Shokouhian	
Effect of Planting Time and Seedbed on Growth and Phenology of <i>Scrophularia striata</i>	263
N. Majnoun Hosseini- M. H. Naeimi- M. Oveisi	
The Effect of Different Levels of Irrigation and Plastic Mulch on Yield and Yield Components of Medicinal Pumpkin (<i>Cucurbita pepo</i> convar. <i>pepo</i> var. <i>styriaca</i>) in Mashhad	273
S. Bardehji- M. Bannayan- Gh. Asadi	
Study the Correlation and Path Analysis of Yield and its Related Traits of Maize under Different Water and Nitrogen Conditions	288
R. Ghobadi- M. Ghobadi- S. Jalali Honarmand- B. Farhadi- F. Mondani	
Effect of Nitrogen Fertilizer on the Radiation Interception and Utilization Efficiency of two Spring Rapeseed Cultivars	303
S. A. Siadat- A. Derakhshan	
Effects of Biochar, Seed Priming and Foliar Application of Water and Salicylic Acid on Yield of Rainfed Safflower	315
A. Sajedi- N. A. Sajedi	
Effect of Fe and Zn Spraying on Yield and Nutrients Bioavailability of Bread Wheat Cultivars	326
M. Shiri- M. Kamrani- A. Mehraban	
Evaluation of Quantitative and Qualitative Traits of the First and Second Cuttings of Peppermint (<i>Mentha piperita</i> L.) under the Influence of the Integrated Application of Conventional, Nano Fertilizers and Mycorrhizal	344
A. Ostadi- A. Javanmard- M. R. Morshedloo- S. Mola Ali Abasiyan	
Evaluation of the Effect of Nitrogen Fertilizer Splitting and Planting Directions on Biochemical Characteristics and Yield of Roselle (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.)	357
F. Rigi- M. Dahmardeh- I. Khammari- R. Bagheri	

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 17

No. 2

2019

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

Vol.17 No.2

2019

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

- Effect of Fertilizer Management on Some Chemical Properties of Soil and Absorption of Nitrogen and Phosphorus Elements by Purslane (*Portulaca oleracea* L.)**.....204
H. Javadi- P. Rezvani Moghaddam- M. H. Rashed Mohasel- M. J. Seghatoleslami
- Meta-Analysis of the Effect of Super-Absorbent Application on Crops Yield in Iran**219
M. Jahan- M. Nassiri Mahallati
- Determination of Chlorophyll Content and Nitrogen Status Using SPAD in Dryland Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes**239
V. Feiziasl- A. Fotovat- A. Astaraei- A. Lakzian- J. Jafarzadeh
- Evaluation of Genetic Stability of some Agronomic Traits in Potato Hybrids and Cultivars under Different Climate Conditions**252
Sh. Mohammadnia- A. Asghari- D. Hassanpanah- R. Karimizadeh- A. A. Shokouhian
- Effect of Planting Time and Seedbed on Growth and Phenology of *Scrophularia striata***.....263
N. Majnoun Hosseini- M. H. Naeimi- M. Oveisi
- The Effect of Different Levels of Irrigation and Plastic Mulch on Yield and Yield Components of Medicinal Pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. *pepo* var. *styriaca*) in Mashhad**273
S. Bardehji- M. Bannayan- Gh. Asadi
- Study the Correlation and Path Analysis of Yield and its Related Traits of Maize under Different Water and Nitrogen Conditions**288
R. Ghobadi- M. Ghobadi- S. Jalali Honarmand- B. Farhadi- F. Mondani
- Effect of Nitrogen Fertilizer on the Radiation Interception and Utilization Efficiency of two Spring Rapeseed Cultivars**303
S. A. Siadat- A. Derakhshan
- Effects of Biochar, Seed Priming and Foliar Application of Water and Salicylic Acid on Yield of Rainfed Safflower**315
A. Sajedi- N. A. Sajedi
- Effect of Fe and Zn Spraying on Yield and Nutrients Bioavailability of Bread Wheat Cultivars**.....326
M. Shiri- M. Kamrani- A. Mehraban
- Evaluation of Quantitative and Qualitative Traits of the First and Second Cuttings of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under the Influence of the Integrated Application of Conventional, Nano Fertilizers and Mycorrhizal**344
A. Ostadi- A. Javanmard- M. R. Morshedloo- S. Mola Ali Abasiyan
- Evaluation of the Effect of Nitrogen Fertilizer Splitting and Planting Directions on Biochemical Characteristics and Yield of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)**357
F. Rigi- M. Dahmardeh- I. Khammari- R. Bagheri