



جلد ۱۶ شماره ۳

سال ۱۳۹۷

نشریه علمی - پژوهشی پژوهشهای زراعی ایران

(شماره پیاپی: ۵۱)

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

- ۵۲۵..... بررسی کارایی مصرف نور و شاخص‌های رشدی ژنوتیپ‌های لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط کم آبیاری
هدایت الله کریم‌زاده سورسجانی - احمد نظامی - محمد کافی - محمودرضا تدین
- ۵۴۱..... مطالعه خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و میزان بفا‌ی گیاهی
حمیدرضا کمیلی - محمود قدسی - پرویز رضوانی مقدم - مهدی نصیری محلاتی - محمدرضا جلال کمالی
- ۵۵۷..... مقایسه عملکرد سه رقم تاج‌خروس علوفه‌ای (*Amaranthus hypochondriacus* L.) در مراحل مختلف برداشت
عبدالمیرزا رحمانا - میرزا صفایی - مرتضی رضایی
- ۵۶۹..... اثر شرایط مختلف رطوبتی خاک و کاربرد نانو اکسیدروی بر تغییرات فیتوهورمونی و کیفیت تغذیه‌ای گندم نان (*Triticum aestivum*)
امین عباسی فریرز شکاری رامین لطفی
- ۵۸۳..... مطالعه واکنش برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) به سطوح مختلف آب و نیتروژن
روژین قبادی - مختار قبادی - سعید جلالی خرم‌آباد - بهمن فرهادی - ترزا مدنی
- ۵۹۹..... اثر نظام‌های خاک‌ورزی و گیاه پوششی کلزا بر خصوصیات کیفی خاک، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان
شیلان فله‌گیری - جواد حسروئی - محسن نائل
- ۶۱۵..... بررسی تغییرات مورفولوژیک و عملکردی تیپ‌های مختلف پنبه در سیستم کاشت ردیف‌های بسیار باریک
حمیدرضا مهرآبادی
- ۶۲۹..... اثر محلول پاشی متانول بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط دیم
کامران احمدی - مجید رستمی - سعیدرضا حسین‌زاده
- ۶۴۱..... پاسخ مورفولوژیک، عملکرد دانه و اسانس سه بوم‌گونه‌ی رازیانه به زمان‌های مختلف کاشت
سمانه کیانی - مهدی عطاه‌اله سیادت - محمدرضا مرادی تلاوت - عادل یشتاد
- ۶۵۱..... تأثیر کودهای نانو کلات آهن و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت شرایط تنش کمبود آب
پژدهان ابودی - سید علی محمد مدرس نالوی
- ۶۶۵..... مطالعه اثرات زیست‌محیطی محصولات عمده زراعی استان خراسان رضوی با استفاده از ارزیابی چرخه حیات
علیرضا کوچکی - جواد وقایحی - سروش خرم دل
- ۶۸۳..... اثر کاربرد خارجی ملایسین‌تائین بر صفات فیزیولوژیک، فنولوژیک و عملکرد گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) در شرایط بدون تنش
مریم ناتاری - رضا طاهری علی‌کنار

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی - پژوهشی 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 ۱۳۹۷

شماره ۳

جلد ۱۶

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 بنیان 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 شهریاری 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

- 525 بررسی کارایی مصرف نور و شاخص‌های رشدی ژنوتیپ‌های لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط کم‌آبایی
هدایت الله کریم‌زاده سورشجانی - احمد نظامی - محمد کافی - محمودرضا تدین
- 541 مطالعه خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و میزان
بقایای گیاهی
حمیدرضا کمیلی - مسعود قدسی - پرویز رضوانی مقدم - مهدی نصیری محلاتی - محمدرضا جلال کمالی
- 557 مقایسه عملکرد سه رقم تاج‌خروس علوفه‌ای (*Amaranthus hypochondriacus* L.) در مراحل مختلف برداشت
عبدالامیر راهنما - امیر رضا صفایی - مرتضی رضایی
- 569 اثر شرایط مختلف رطوبتی خاک و کاربرد نانو اکسیدروی بر تغییرات فیتوهورمونی و کیفیت تغذیه‌ای گندم نان (*Triticum
aestivum*)
امین عباسی - فربرز شکاری - رامین لطفی
- 583 مطالعه واکنش برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) به سطوح مختلف آب و نیتروژن
روژین قبادی - مختار قبادی - سعید جلالی هنرمند - بهمن فرهادی - فرزاد مندنی
- 599 اثر نظام‌های خاک‌ورزی و گیاه پوششی کلزا بر خصوصیات کیفی خاک، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان
شیلان فعله‌گری - جواد حمزه‌ئی - محسن نائل
- 615 بررسی تغییرات مرفولوژیک و عملکردی تیپ‌های مختلف پنبه در سیستم کاشت ردیف‌های بسیار باریک
حمید رضا مهرآبادی
- 629 اثر محلول پاشی متانول بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط دیم
کامران احمدی - مجید رستمی - سعید رضا حسین زاده
- 641 پاسخ مورفولوژیک، عملکرد دانه و اسانس سه بوم‌گونه‌ی رازیانه به زمان‌های مختلف کاشت
سمانه کیانی - سید عطاءاله سیادت - محمدرضا مرادی تلاوت - عادل پشتدار
- 651 تأثیر کودهای نانو کلات آهن و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت شرایط تنش کمبود آب
یزدان ایزدی - سید علی محمد مدرس ثانوی
- 665 مطالعه اثرات زیست‌محیطی محصولات عمده زراعی استان خراسان رضوی با استفاده از ارزیابی چرخه حیات
علیرضا کوچکی - جواد وفابخش - سرور خرم دل
- 683 اثر کاربرد خارجی گلاسیسین‌بتائین بر صفات فیزیولوژیکی، فنولوژیکی و عملکرد گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) در شرایط
بدون تنش
مریم تاتاری - رضا عباسی علی کمر



بررسی کارایی مصرف نور و شاخص‌های رشدی ژنوتیپ‌های لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط کم‌آبیاری

هدایت الله کریم‌زاده سورشجانی^۱ - احمد نظامی^{۲*} - محمد کافی^۳ - محمودرضا تدین^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۳۰

چکیده

حدود ۹۰ درصد از مساحت ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد که در این مناطق بروز تنش خشکی در دوره رشد گیاهان و از جمله لوبیا امری اجتناب‌ناپذیر است. به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بر ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. عامل اصلی رژیم آبیاری (سه سطح: تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عامل فرعی پنج ژنوتیپ لوبیا چیتی (صدری، C.O.S.16، KS21193، لاین تیلور و KS21486) بودند. نتایج نشان داد واکنش ژنوتیپ‌ها از نظر روند تغییرات وزن خشک، وزن شاخساره، وزن برگ، وزن دانه و همچنین شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (LAD)، سرعت رشد گیاه (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR) و کارایی مصرف نور (RUE)، تحت تأثیر آبیاری متفاوت بود. بیشترین کارایی مصرف نور از ژنوتیپ KS21486 در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد (۳/۲۱ گرم بر مگاژول). کاهش آب مصرفی، کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های مورد بررسی را تغییر داد؛ ولی تغییرات در ژنوتیپ‌ها متغیر بود؛ به نحوی که با کاهش میزان آب مصرفی به ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های تیلور، صدری و C.O.S.16 نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت و کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های KS21193 و KS21486 نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی افزایش یافت. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی کارایی مصرف نور همه ژنوتیپ‌ها، نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت؛ ولی شدت کاهش یکسان نبود، به نحوی که بیشترین و کمترین درصد کاهش کارایی مصرف نور به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های C.O.S.16 و صدری مشاهده شد. در شرایط تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی، افزایش شاخص رشد محصول در ژنوتیپ C.O.S.16 زودتر و با شتاب بیشتری از سایر ژنوتیپ‌ها بود و از نظر حداکثر این شاخص نیز از سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود. بیشینه سرعت آسمیلاسیون خالص و سرعت رشد نسبی، در شرایط تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی در ژنوتیپ C.O.S.16 مشاهده شد و در شرایط تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی بیشینه میزان سرعت آسمیلاسیون خالص و سرعت رشد نسبی را ژنوتیپ KS21486 داشت. دوام بیوماس، دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد نشان دادند؛ بنابراین شاخص‌های مناسبی جهت تخمین عملکرد دانه در شرایط رطوبتی مختلف هستند.

واژه‌های کلیدی: سرعت آسمیلاسیون خالص، سرعت رشد گیاه، شاخص سطح برگ

مقدمه

(FAO, 2015). همچنین ۱۴/۹ درصد اراضی تحت کشت حبوبات و ۳۷/۶ درصد تولید سالانه حبوبات کشور متعلق به لوبیا می‌باشد (Agricultural statistics, 2013). در این بین لوبیا چیتی یکی از مهم‌ترین انواع لوبیا است که در ایران جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است (Lak et al., 2009). از طرفی حدود ۹۰ درصد از مساحت ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (FAO, 2010) که در این مناطق بروز تنش خشکی در دوره رشد گیاهان و از جمله لوبیا امری اجتناب‌ناپذیر است. در شرایط کنونی محدودیت منابع آب، صرفه‌جویی در این منابع به‌ویژه در بخش کشاورزی، به شدت

میزان تولید لوبیا خشک (*Phaseolus vulgaris* L.) در ایران ۲۵۳ هزار تن با متوسط عملکرد ۲۳۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد

- ۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۳- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد

(Email: nezami@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v16i3.53523

آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی به‌ترتیب، بیشترین و کمترین میزان تولید ماده خشک را دارا بودند. همچنین مشخص شد با قطع آبیاری، سرعت رشد گیاه به شدت کاهش یافت (Mossavifar et al., 2010). با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور و اهمیت لوبیا در تأمین غذای انسان، پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بر شاخص‌های رشدی ژنوتیپ‌های لوبیا اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بر ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. عامل اصلی رژیم آبیاری در سه سطح (تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عامل فرعی پنج ژنوتیپ لوبیا چیتی (صدری، C.O.S.16، KS21193، لاین تیلور و KS21486) در نظر گرفته شدند. بعد از شخم و دیسک زدن زمین، پشته‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. بذور پس از ضدعفونی با قارچ‌کش بنومیل (دو در هزار) با تراکم ۳۰ بوته در متر مربع کشت شدند. اندازه هر کرت ۷/۵ متر مربع (۳×۲/۵ متر) بود. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس توصیه کودی مقدار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره در سه نوبت (۴۰ کیلوگرم قبل از کاشت، ۳۰ کیلوگرم در زمان باز شدن برگ‌های اولیه (V2) و ۳۰ کیلوگرم در زمان باز شدن سومین برگ سه برگچه‌ای (V4) در اختیار گیاه قرار گرفت.

با نمونه‌برداری از خاک مزرعه (در ۱۰ نقطه تصادفی در مزرعه) و محاسبه رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی (θ_{mFC}) و نقطه پژمردگی دائم (θ_{mWP}) و اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک (ρ_b) و در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه (Z)، میزان آب قابل دسترس (AW) برای گیاه محاسبه شد (Mun˜oz-Perea et al., 2007). در واقع با اندازه‌گیری‌های فوق میزان آب قابل دسترس برای گیاه محاسبه شده و با استفاده از روش پنمن-مانتیت برداشت روزانه از این رطوبت قابل استفاده محاسبه شد. پس از کشت، آبیاری برای کلیه تیمارها به‌صورت یکسان و بر مبنای نیاز آبی محاسبه شده به‌وسیله روش پنمن-مانتیت اصلاح شده توسط فائو، صورت گرفت. تیمارهای آبیاری همزمان با شروع مرحله V4 (باز شدن سومین برگ سه برگچه‌ای) اعمال شد و تا پایان فصل رشد ادامه داشت، بدین نحو که میزان آب مورد نیاز گیاه محاسبه (بر اساس ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی آب قابل دسترس برای گیاه) شد و ۱۰۰٪ و ۸۰٪ و ۶۰٪ میزان محاسبه شده اختیار تیمار تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی، ۸۰٪ و ۶۰٪ نیاز آبی گیاه، قرار گرفت.

ضروری می‌نماید. یکی از روش‌های صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی، کم‌آبیاری می‌باشد. کم‌آبیاری که به معنای تأمین آب در مقادیر زیر حد بهینه مورد نیاز گیاه، می‌باشد؛ باعث بروز واکنش‌های متعددی نیز در گیاهان می‌گردد (Wakrim et al., 2005). عمدتاً در شرایط کم‌آبیاری رشد گیاه مختل می‌گردد؛ همچنین در این شرایط هدایت روزنه‌ای و رشد برگ کاهش می‌یابد (Thompson et al., 1997)؛ ولی اگر بتوان حد بهینه‌ای از کم‌آبیاری و همچنین ژنوتیپ‌های متحمل به کم‌آبیاری را پیدا کرد، می‌توان به حفظ منابع آب کمک کرد.

جهت تفسیر اثرات عوامل تولید بر عملکرد نهایی لازم است که روند تجمع ماده خشک در گیاه بررسی شود. تجزیه و تحلیل کمی رشد، روشی مناسب برای توجیه و تفسیر واکنش‌های گیاه نسبت به شرایط محیطی مختلف (که گیاه در طول دوره حیات خود با آنها مواجه می‌گردد) می‌باشد. به کمک این روش، شناخت بهتری از چگونگی انتقال مواد ساخته شده فتوسنتزی به اندام‌های مختلف و انباشت آنها از طریق اندازه‌گیری ماده خشک تولید شده در طول فصل رشد گیاه به‌دست می‌آید (Ghasemi-Golozani et al., 1997; Ghassemi-golozani et al., 2009; Koller et al., 1980).

تجمع ماده خشک در لوبیا با افزایش شدت تنش رطوبتی، کاهش می‌یابد و تحت چنین شرایطی، بین ماده خشک تولیدی در گیاه و تبخیر و تعرق رابطه خطی وجود دارد (Rabinson, 1983). در بررسی هفت ژنوتیپ لوبیا در شرایط تنش کمبود آب مشخص شد، شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه و وزن خشک شاخساره در اثر کمبود آب کاهش یافت (Ghanbari et al., 2014). در مطالعه‌ای روی سویا در شرایط آبیاری مختلف مشخص شد، کاهش آب مصرفی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه و روند افزایش ماده خشک را کاهش داد (Yazdani et al., 2007). بررسی ژنوتیپ‌های برنج مشخص کرد، بین سرعت رشد گیاه در حدفاصل بین پنجه‌زنی تا شروع آغازش خوشه، دو هفته قبل از ظهور خوشه تا ظهور کامل خوشه و همچنین دو هفته پس از ظهور خوشه تا رسیدگی، با عملکرد دانه، همبستگی مثبت وجود داشت (Takai et al., 2006). در بررسی انجام شده روی کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط تنش رطوبتی مشخص شد، بیشترین میزان شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و تجمع زیست‌توده در شرایط بدون تنش خشکی به‌دست آمد. در این پژوهش بیشترین کاهش شاخص‌های مذکور نسبت به شرایط بدون تنش، در تیمار قطع آبیاری حین گل‌دهی و همچنین قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی مشاهده شد (Tefamariam et al., 2010). مطالعه ژنوتیپ‌های گل‌رنگ در شرایط تیمارهای مختلف قطع آبیاری نشان داد با افزایش مدت زمان قطع آبیاری، کاهش معنی‌داری در وزن خشک اندام هوایی رخ داد. در این پژوهش تیمار آبیاری کامل و

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table1- Physical and chemical properties of soil

هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	pH	کربن آلی Organic carbon %	نیترژن N	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn	منگنز Mn	آهن Fe	Cu مس
0.512	7.71	1.12	0.152	33.2	306	0.55	8.11	3.29	0.88
رطوبت خاک Soil moisture (%)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	g.cm ⁻³		شن Sand	سیلت Silt	ماسه Clay			
ظرفیت زراعی FC	پژمردگی دائم PWP			30.0	35.5	34.5			

برای تعیین کارایی مصرف نور از مقادیر تشعشع ورودی محاسبه شده از داده‌های هواشناسی استفاده گردید.

(۴)

$$LAI = a + b \times 4 \left(\frac{\exp(t - c)}{d} \right) / \left(I + \frac{\exp(-t - c)}{d} \right)^2$$

a, b, c و d: ضرایب معادله، t زمان، I مقادیر تشعشع ورودی روزانه.

مقادیر تشعشع ورودی روزانه برای شهرکرد محاسبه شد. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی (تهیه شده از ایستگاه هواشناسی شهرکرد) بر اساس معادله آنگستروم تصحیح شد. مقادیر A و B برای شهرکرد به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۴۲ در نظر گرفته شد (Khalili and Rezaei Sadr, 1997).

$$\frac{I}{I_0} = A + B \left(\frac{n}{N} \right) \quad (۵)$$

I₀ میزان تابش ورودی روزانه، I میزان تابش روزانه بالای سایه‌انداز با توجه به ساعات آفتابی، n تعداد ساعات آفتابی در روز، N طول روز.

با داشتن شاخص سطح برگ روزانه (LAI_t) و تشعشع ورودی روزانه (I₀)، مقادیر تشعشع روزانه جذب شده روزانه (I_{abs}) توسط گیاه بر حسب مگاژول در متر مربع در روز برای هر رقم و در هر سطح تنش خشکی با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

$$I_{abs} = I_0 (1 - e^{(-k \times LAI_t)}) \quad (۶)$$

I_{abs}: مقدار تابش جذب شده، LAI_t: شاخص سطح برگ روزانه

K: ضریب خاموشی، e: پایه لگاریتم طبیعی

$$GDD = \sum [(T_{max} + T_{min})/2 - T_b] \quad (۷)$$

T_{max}: دمای حداکثر، T_{min}: دمای حداقل، T_b: دمای پایه

کارایی مصرف نور به عنوان شیب رگرسیون خطی بین ماده خشک تجمعی و میزان نور جذب شده تجمعی به دست آمد (Goldani et al., 2007, 2011; Vafabakhsh et al., 2009). جهت محاسبه درجه روزهای رشد از معادله ۷ استفاده شد. در این بررسی دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد و دماهای بالاتر از ۳۰ و کمتر

جهت اندازه‌گیری آنالیزهای رشد، پس از استقرار کامل گیاه (حدود ۳۰ روز پس از کاشت) با فواصل یک هفته، از هر کرت نمونه‌برداری شد. در هر مرحله چهار بوته به‌طور تصادفی انتخاب و به بخش‌های، ساقه، برگ و دانه (پس از ورود گیاه به مرحله زایشی) تفکیک شد. سپس سطح برگ نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و پس از قراردادن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، وزن هر بخش توزین شد و با استفاده از روابط زیر شاخص‌های سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR)، شاخص سطح برگ (LAI)، و دوام سطح برگ (LAD) محاسبه گردید.

$$LAI = LA/GA \quad (۱)$$

$$LAD = (T_f - T_p) \frac{LA_f + LA_p}{2} \quad (۲)$$

$$NAR = CGR/LAI \quad (۳)$$

DWf وزن خشک نهایی، DWp وزن خشک در مرحله قبل، LA_f سطح برگ نهایی، LA_p سطح برگ در مرحله قبل، T_f زمان مرحله نهایی، T_p زمان مرحله قبل، GA سطح زمین اشغال شده توسط گیاه، Ln پایه لگاریتم با مبنای طبیعی.

برای محاسبه سرعت رشد گیاه (CGR) از روش مشتق‌گیری از معادله روند تجمع ماده خشک و برای محاسبه سرعت رشد نسبی (RGR) نیز از مشتق معادله سرعت رشد استفاده شد (Gardner et al., 1985). همچنین به منظور اندازه‌گیری دوام سطح برگ از معادله ۲ استفاده شد و در نهایت از میانگین کل مراحل اندازه‌گیری شده جهت ترسیم نمودار استفاده شد.

جهت اندازه‌گیری کارایی استفاده از تشعشع، در فواصل معین، میزان نور بالا و پایین کانوپی توسط دستگاه Sunscan همزمان با نمونه‌برداری‌های سطح برگ و ماده خشک اندازه‌گیری شد. از طریق این اندازه‌گیری‌ها مقادیر ضریب خاموشی به دست آمد. سپس برای تعیین کارایی مصرف تابش از تمام مراحل اندازه‌گیری ضریب خاموشی میانگین‌گیری شد و از میانگین برای کل فصل رشد استفاده شد. مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک به مقادیر شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده تعیین شد (Vafabakhsh et al., 2009; Goldani et al., 2007, 2011). لازم به ذکر است

از ۱۰ درجه سانتی گراد به ترتیب ۳۰ و ۱۰ منظور گردید (Stagnari and Pisante, 2011). در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

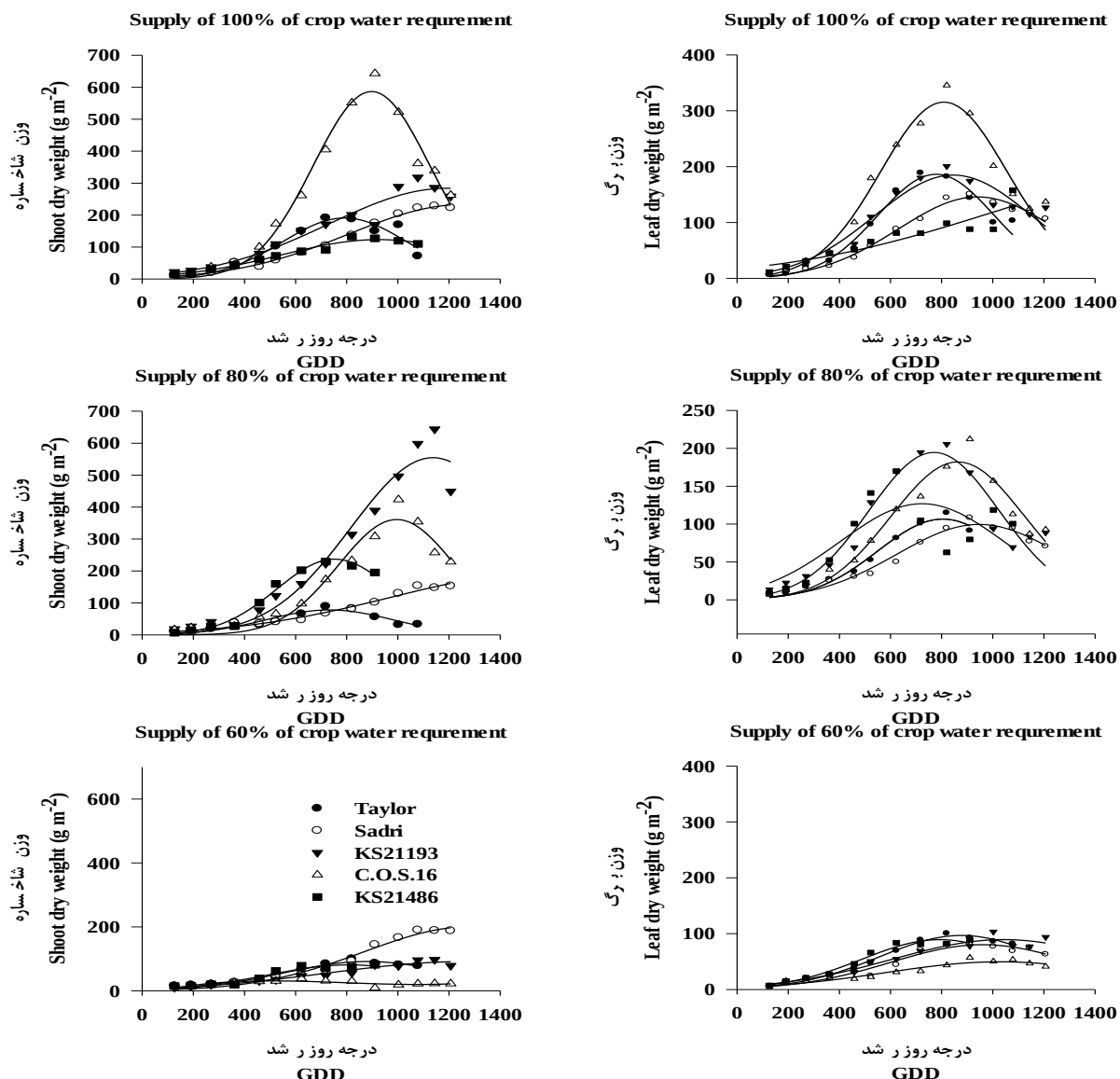
روند تجمع ماده خشک ژنوتیپ‌های لوبیا به صورت سیگموئیدی بود (شکل ۱) و کاهش میزان آب آبیاری باعث تنزل تجمع ماده خشک (هم از نظر میزان ماده خشک و هم از نظر آهنگ تجمع ماده خشک) شد. با وجود این روند مذکور بسته به ژنوتیپ متفاوت بود، به نحوی که در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ژنوتیپ C.O.S16 از نظر روند تجمع ماده خشک نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشت و برترین ژنوتیپ از این نظر در شرایط تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ژنوتیپ‌های KS21193 و KS21486 بودند (شکل ۱). روند افزایش وزن خشک شاخساره‌ی ژنوتیپ‌های لوبیا نیز تحت تأثیر رژیم رطوبتی قرار گرفت. در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، وزن شاخساره در ژنوتیپ C.O.S16 با شتاب بسیار بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها افزایش یافت، این در حالی است که در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، ژنوتیپ KS21193 آهنگ تجمع وزن شاخساره بیشتری داشت. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، تا اواسط دوره رشد همه ارقام از این نظر روندی نسبتاً مشابه داشتند، ولی بعد از آن وزن شاخساره در رقم صدی افزایشی بود، در حالی که سایر ژنوتیپ‌ها روند تقریباً ثابتی داشتند (شکل ۱). در اغلب گیاهان زراعی روند تجمع ماده خشک در طول فصل رشد به صورت سیگموئیدی است، بدین صورت که در ابتدای رشد، سرعت تجمع ماده خشک، کم و تدریجی است و با گذشت زمان و افزایش شاخ و برگ، میزان فتوسنتز افزایش پیدا کرده و شیب تجمع ماده خشک، شدت بیشتری پیدا می‌کند به طوری که در نقطه‌ای از منحنی به حداکثر خود می‌رسد و بعد از آن به دلیل افزایش سن و پیری برگ‌ها از مقدار ماده خشک کاسته شده و در نهایت متوقف می‌شود (Gardner et al., 1985). کاهش تجمع ماده خشک در شرایط تنش به دلیل کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش فتوسنتز و نیز افزایش دمای برگ می‌باشد (Iramki et al., 2000). اورکو و نیلسون (Ourcut and Nilsen, 2009) نیز دلیل کاهش وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش خشکی را کاهش سطح برگ دانستند که باعث کاهش دریافت نور و میزان فتوسنتز می‌شود.

در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بیشترین میزان و همچنین بیشترین آهنگ تجمع وزن خشک برگ در ژنوتیپ C.O.S16 مشاهده شد. بدین صورت که از حدود ۴۰۰ درجه روز رشد به بعد با شدت افزایش یافت و در ۹۰۰ درجه روز رشد به حداکثر رسید و پس از آن با شدت افت کرد و در اواخر فصل رشد (حدود ۱۲۰۰ درجه روز

رشد) با سایر ژنوتیپ‌ها مشابه شد. در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی ژنوتیپ‌های C.O.S16 و KS21193 بیشترین میزان و آهنگ تجمع وزن خشک برگ را داشتند، اما در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، همه ژنوتیپ‌ها به جز C.O.S16 (با پایین‌ترین میزان و آهنگ تجمع وزن خشک برگ) از نظر روند تغییرات وزن خشک برگ، تقریباً مشابه بودند (شکل ۱). در شرایط بهینه آبی، شرایط برای تقسیم سلولی و توسعه سلول‌های برگ مهیا است، بنابراین گیاه سطح و وزن برگ را افزایش داده تا حداکثر جذب نور و تولید ماده خشک را داشته باشد، با سپری شدن عمر گیاه و پیشروی فرایند پیری، برگ‌ها کم‌کم خشک شده و ماده خشک برگ در واحد سطح روند کاهشی نشان می‌دهد. در صورت بروز تنش خشکی توسعه سلولی کاهش یافته و سطح و وزن برگ نیز متعاقب آن کاهش می‌یابد.

در هر سه سطح آبیاری، در مراحل ابتدایی وزن خشک دانه در ژنوتیپ KS21486 با شتاب بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها افزایش داشت، ولی در نهایت بیشترین وزن دانه را در هر سه رژیم آبیاری ژنوتیپ تیلور و پس از آن ژنوتیپ KS21193 داشت (شکل ۲). قابل ذکر است ژنوتیپ C.O.S16 در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، وارد فاز زایشی نشد و دانه‌ای تولید نکرد، همچنین این ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در شرایط رطوبتی تأمین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، دیرتر شروع به تولید دانه و افزایش وزن خشک دانه کرد (شکل ۲). همانطور که در شکل ۱ و شکل ۲ مشخص است وزن خشک شاخساره و برگ تا حدود ۶۰۰ الی ۸۰۰ درجه روز رشد افزایش داشته است و پس از آن کاهش یافت، در صورتی که وزن دانه در این زمان شروع به افزایش داشته است. به نظر می‌رسد که با تشکیل دانه‌ها، مقصد مواد فتوسنتزی به سمت اجزای زایشی منتقل شده و تخصیص مواد به دانه‌ها افزایش داشته است. در واقع افزایش وزن دانه جبران‌کننده کاهش وزن خشک شاخساره و برگ شده به نحوی که در نهایت وزن ماده خشک روند افزایشی خود را حفظ می‌کند.

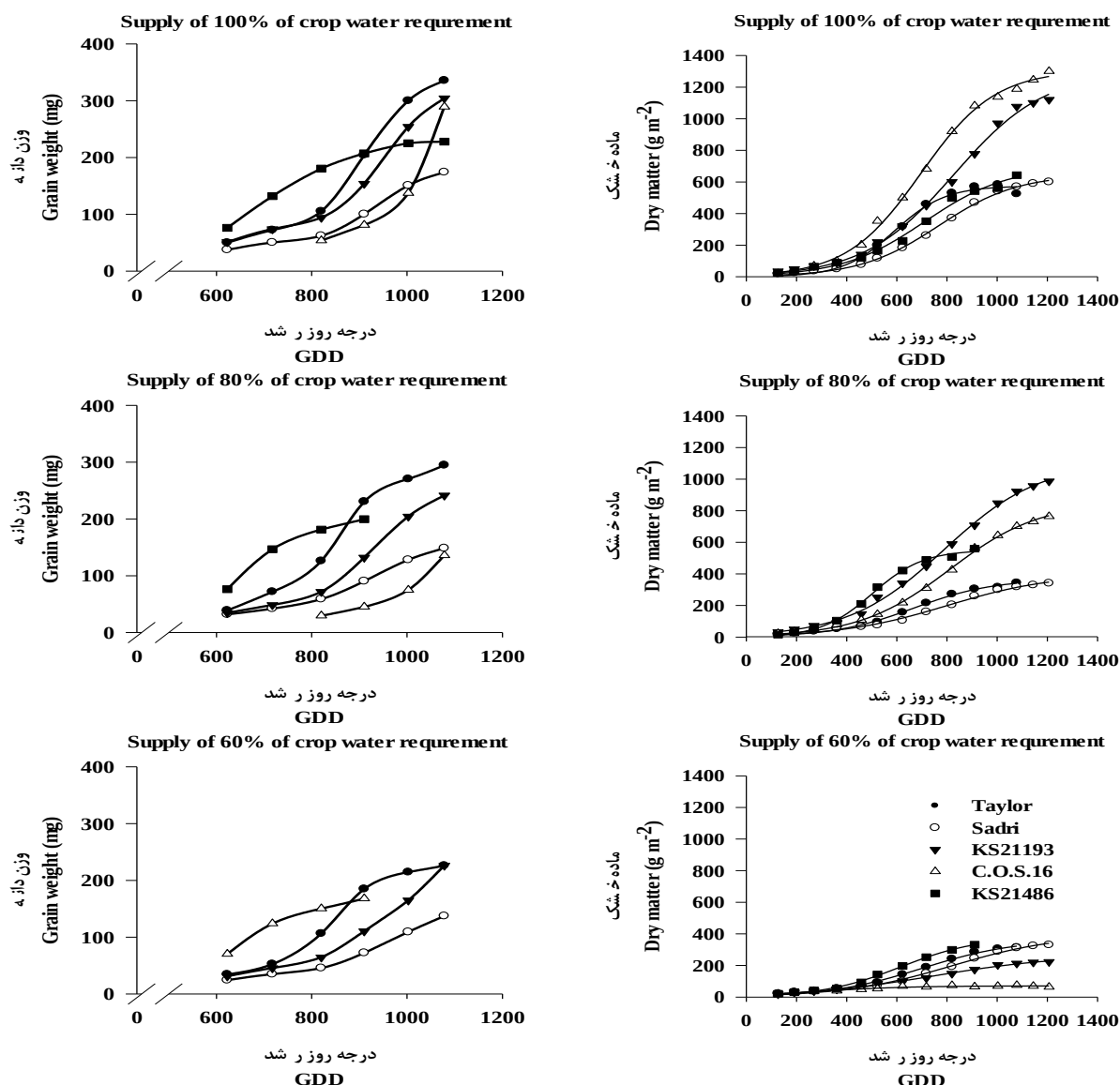
هرچند روند تغییرات شاخص سطح برگ ژنوتیپ‌های لوبیا تحت تأثیر آبیاری به صورت سیگموئیدی بود، ولی کم‌آبیاری سرعت رشد شاخص سطح برگ را در دو تیمار تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی نسبت به تأمین ۱۰۰ درصد آن کاهش داد و در اواخر فصل رشد گیاه، این تفاوت زیادتر شد. حداکثر شاخص سطح برگ در شرایط تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۳/۱، ۲ و ۱/۵ بود. تأثیر کاهش میزان آب آبیاری بر کاهش میزان و آهنگ افزایش شاخص سطح برگ بسته به ژنوتیپ متفاوت بود. در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین میزان و همچنین بیشینه آهنگ تجمع شاخص سطح برگ در ژنوتیپ صدی مشاهده شد. قابل ذکر است ژنوتیپ صدی دارای تیپ رشدی نامحدود است.



شکل ۱- روند تغییرات وزن خشک شاخساره و برگ در ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری
Figure 1- Effect of Irrigation regimes on shoot and leaf dry weigh of bean genotypes

برگ، کمتر تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار گرفته باشد. خشکی باعث کاهش سطح برگ می‌شود که این وضعیت به دلیل پژمردگی و جمع شدن پهنک در شرایط تنش شدید و در نهایت پیری زودرس برگ‌های گیاه می‌باشد (Earl *et al.*, 2003). در شرایط تنش شدید سرعت توسعه برگ افت کرده و رشد برگ ممکن است متوقف شود. همچنین، تنش خشکی شاخص سطح برگ را با کاهش آغازش برگ‌های جدید تحت تأثیر قرار می‌دهد (Prasad *et al.*, 2008). تدوام تنش خشکی پیری برگ را سرعت می‌بخشد (Souza *et al.*, 1997) و به برگ بافت برگ و ریزش آن به‌ویژه برگ‌های قدیمی و رسیده منجر می‌شود.

در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از نظر روند تغییرات شاخص سطح برگ، نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کمتر بود، اگرچه در این شرایط بیشترین میزان و همچنین بیشترین شتاب افزایش شاخص سطح برگ در ژنوتیپ C.O.S.16 رخ داد. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی بیشترین و کمترین میزان و آهنگ تجمع شاخص برگ به ترتیب در ژنوتیپ‌های صدری و C.O.S.16 مشاهده شد (شکل ۲). همچنین در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، کمترین کاهش شاخص سطح برگ در ژنوتیپ KS21486 و بیشترین کاهش در ژنوتیپ C.O.S.16 نسبت به تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، مشاهده شد. به نظر می‌رسد ژنوتیپ KS21486 به دلیل زودرس‌تر بودن نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، از نظر شاخص سطح



شکل ۲- روند تغییرات وزن خشک دانه و ماده خشک تولیدی ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری
Figure 2- Effect of Irrigation regimes on grain weight and dry matter of bean genotypes

بررسی را تغییر داد ولی تغییرات در ژنوتیپ‌ها متغیر بود، به نحوی که با کاهش میزان آب مصرفی به ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های تیلور، صدری و C.O.S.16 به ترتیب ۳۹/۷، ۱۵/۹ و ۲۵/۵ درصد نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت و این در حالی است که در این شرایط رطوبتی، کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های KS21486 و KS21193 به ترتیب ۱۱/۷ و ۵۰/۰ درصد نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی افزایش یافت. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی کارایی مصرف نور همه ژنوتیپ‌ها، نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت ولی شدت کاهش یکسان نبود، به نحوی که بیشترین و کمترین درصد کاهش

نتایج نشان داد در همه شرایط آبیاری و همه ژنوتیپ‌ها با افزایش نور جذب شده، ماده خشک تولیدی روند افزایشی نشان می‌دهد (شکل ۳). شیب خطوط نمودار ماده خشک تولیدی در برابر نور جذب شده تجمعی (شکل ۳ و جدول ۲) بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد که در ژنوتیپ‌های مورد بررسی متفاوت است. بیشترین کارایی مصرف نور از ژنوتیپ KS21486 در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی به دست آمد (۳/۲۱ گرم بر مگاژول). در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین و کمترین کارایی مصرف نور به ترتیب در ژنوتیپ‌های C.O.S.16 (۲/۷۸ گرم بر مگاژول) و صدری (۱/۱۳ گرم بر مگاژول) مشاهده شد. کاهش آب مصرفی، کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های مورد

کارایی مصرف نور به ترتیب در ژنوتیپ‌های C.O.S.16 (۹۲/۸٪) و صدی (۳/۵٪) مشاهده شد. همچنین در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، بیشترین کارایی مصرف نور در ژنوتیپ KS21486 (۱/۹۷ گرم بر مگاژول) مشاهده شد.

پژوهشگران گزارش کردند کارایی مصرف نور توسط گیاهان تحت شرایط تنش خشکی معمولاً کاهش می‌یابد، به عنوان مثال تنش خشکی باعث کاهش کارایی استفاده از نور توسط بادام زمینی (Ricardo *et al.*, 2008) و کلزا (Hamzei and Soltani, 2012) شده است. در واقع هم میزان نور جذب شده و هم ماده خشک تولیدی در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد. در شرایط تنش خشکی، کاهش آب در دسترس باعث کاهش رشد سلولی و به دنبال آن کاهش شاخص سطح برگ می‌گردد، هرچه نسبت ماده خشک تولیدی به نور جذب شده کمتر باشد، کارایی مصرف نور کمتر خواهد شد (Emam and Niknezhad, 2004). آرواس و همکاران (Araus

جدول ۲- معادلات رگرسیون خطوط کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط آبیاری مختلف

Table 2- Regression equations of RUE in pinto bean genotypes under different irrigation regimes

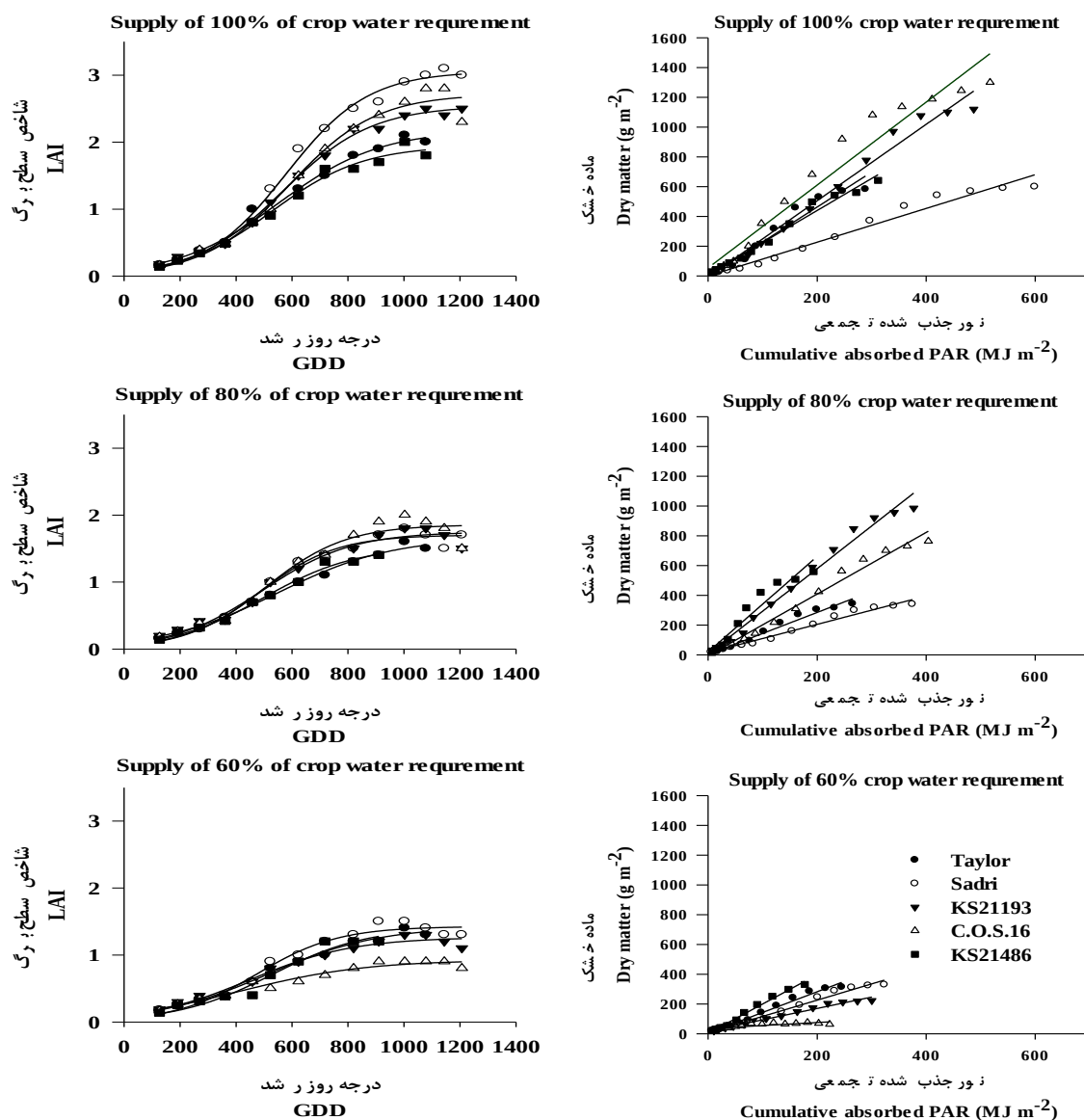
Supply of 60% of crop water requirement	Supply of 80% of crop water requirement	Supply of 100% of crop water requirement	
تأمین ۶۰٪ نیاز آبی	تأمین ۸۰٪ نیاز آبی	تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی	
$y = 1.3921x + 3.7825$	$y = 1.4117x + 2.5325$	$y = 2.3442x - 5.1813$	Taylor
$y = 1.0904x + 7.6036$	$y = 0.9511x + 14.658$	$y = 1.1335x + 0.6364$	Sadri
$y = 0.7631x + 17.366$	$y = 2.8643x + 6.7937$	$y = 2.5641x - 6.7608$	KS21193
$y = 0.2032x + 34.802$	$y = 2.0712x - 5.6147$	$y = 2.7831x + 54.674$	C.O.S.16
$y = 1.9728x + 2.6043$	$y = 3.2144x + 19.227$	$y = 2.1477x + 10.838$	KS21486

سرعت رشد گیاه (CGR) در ژنوتیپ‌های لوبیا تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت (شکل ۵). در شرایط تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی، افزایش شاخص رشد محصول در ژنوتیپ C.O.S.16 زودتر و با شتاب بیشتری از سایر ژنوتیپ‌ها بود و از نظر حداکثر این شاخص نیز از سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود. در شرایط تأمین ۸۰٪ نیاز آبی، ژنوتیپ KS21486 زودتر شروع به افزایش شاخص سرعت رشد گیاه کرد ولی در نهایت در این رژیم آبیاری حداکثر سرعت رشد گیاه در ژنوتیپ KS21193 ثبت شد که البته تفاوت ناچیزی با ژنوتیپ C.O.S.16 داشت. در شرایط تأمین ۶۰٪ نیاز آبی، کمترین میزان و همچنین شیب افزایش سرعت رشد گیاه در ژنوتیپ C.O.S.16 مشاهده شد. در این رژیم آبیاری حداکثر میزان و شتاب افزایش سرعت رشد گیاه در ژنوتیپ KS21486 مشاهده شد (شکل ۵). نتایج بررسی‌های قاسمی‌گل‌دانی و همکاران (Ghasemi-Golozani *et al.*, 1997) در ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum*)، توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.*, 1998) در ذرت (*Zea mays*) و کلارک و سیمپسون (Clarke and Simpson, 1978) در گیاه لوبیا نیز مؤید کاهش سرعت رشد گیاه در شرایط تنش خشکی می‌باشد. کاهش

با کاهش میزان آب آبیاری، حداکثر دوام سطح برگ کاهش یافت (شکل ۳)، با وجود این کاهش مذکور بسته به ژنوتیپ متفاوت بود، به طوری که بیشترین و کمترین درصد کاهش متوسط دوام سطح برگ در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی به ترتیب در ژنوتیپ‌های صدی (۳۷ درصد) و تیلور (۲۲ درصد) مشاهده شد و این در حالی است که در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی ژنوتیپ C.O.S.16 بیشترین درصد کاهش (۶۰ درصد) را به خود اختصاص داد، کمترین درصد کاهش نسبت به تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی نیز در این رژیم آبیاری در ژنوتیپ تیلور (۲۹ درصد) ثبت شد. در واقع کمبود آب باعث تسریع فرآیند پیری برگ‌ها می‌گردد، در این شرایط حداکثر عمر مفید برگ‌ها نسبت به شرایط آبی بهینه کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تحقیقات دیگر نیز نشان داد، تنش خشکی باعث تسریع سرعت زوال و پیری برگ‌ها می‌گردد (Husain *et al.*, 1990; Nunez-Barrios, 1991). ونشونهورن و همکاران (Vanshonhorn and Vist, 2001) نیز گزارش کردند که وقوع تنش خشکی قبل از مرحله گلدهی و تداوم آن تا مرحله رسیدگی گیاهان لوبیا، LAD نهایی را به میزان ۵۰ درصد در مقایسه با تیمار بدون تنش کاهش می‌دهد.

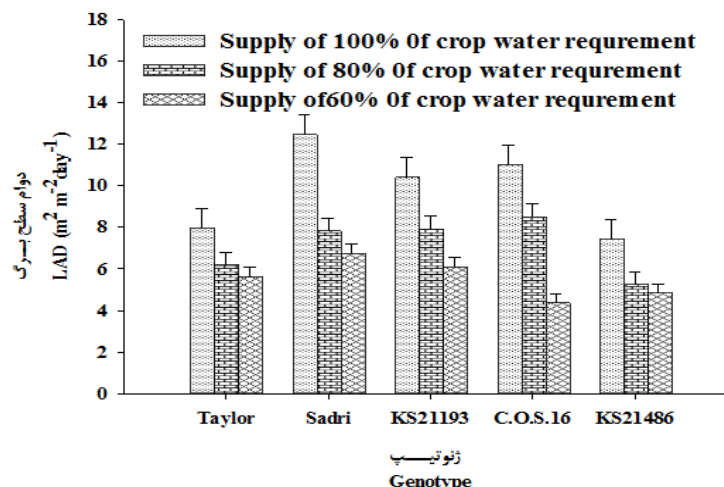
کاهش آسمیلاسیون کربن (Lizana *et al.*, 2006) و در نتیجه تأثیر بر تسهیم کربن (Hsiao and Xu, 2000) نیز باعث کاهش سرعت رشد گیاه می‌گردد. در گیاهانی مانند لوبیا این کاهش مستقیماً بر سرعت ریش‌ش گل که عامل اصلی می‌زان عملکرد است تأثیر دارد (Ghanbari *et al.*, 2014).

سرعت رشد گیاه را تا مرز صفر، می‌توان به علت کاهش فتوسنتز خالص و مصرف کربوهیدرات‌ها در مسیر تنفس نسبت داد (Karimi and Azizi, 1994). گزارش‌های گلدانی و رضوانی مقدم (Goldani and Rezani Moghadam, 2007) و قاسمی گل‌عزانی و مردفر (Ghassemi-golezani and Mardfar, 2008) نیز حاکی از آن است که در شرایط کمبود آب سرعت رشد گیاه به دلیل افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز کاهش می‌یابد. علاوه بر این در شرایط تنش کمبود آب، توقف توسعه سلول و



شکل ۳- روند تغییرات وزن شاخص سطح برگ و ماده خشک تولیدی در مقابل مقادیر نور دریافتی تجمعی ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری

Figure 3- Effect of Irrigation regimes leaf area index (LAI) and dry matter versus cumulative absorbed Par of bean genotypes



شکل ۴- متوسط دوام سطح برگ ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری طی فصل رشد (نوار عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشد)

Figure 4- Effect of Irrigation regimes on mean of leaf area duration of bean genotypes

زای واحد سطح برگ کاهش می‌یابد (Gordner *et al.*, 1985). سرعت آسمیلاسیون خالص و سرعت رشد نسبی ژنوتیپ‌های لوبیا تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت. بیشینه سرعت آسمیلاسیون خالص و سرعت رشد نسبی، در شرایط تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی در ژنوتیپ C.O.S.16 مشاهده شد و در شرایط تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی بیشینه میزان سرعت آسمیلاسیون خالص و سرعت رشد نسبی را ژنوتیپ KS21486 داشت (شکل ۵ و شکل ۶). نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان داده است که تنش خشکی باعث کاهش سرعت آسمیلاسیون خالص می‌گردد (Bayuelo-Jimenez *et al.*, 2003). عبدالرحمانی و همکاران (Abdolrahmani *et al.*, 2005) گزارش کردند که هرچند تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار سرعت رشد نسبی چهار ژنوتیپ گندم شد ولی این کاهش بسته به ژنوتیپ متفاوت بود. بررسی دو ژنوتیپ لوبیا در شرایط آبیاری متفاوت نشان داد، سرعت رشد نسبی در اثر کاهش میزان آب مصرفی کاهش یافت. علاوه بر این سرعت آسمیلاسیون خالص این دو ژنوتیپ در اثر کاهش میزان آب آبیاری به‌طور متفاوتی کاهش نشان داد (Boutraa and Sanders, 2001).

بررسی نتایج نشان داد، با افزایش شاخص سطح برگ دوام سطح برگ به‌صورت خطی افزایش یافت (شکل ۷). در حقیقت با افزایش سطح برگ، فرآیند پیری گیاه به تأخیر خواهد افتاد و این امر احتمالاً به‌دلیل افزایش فتوسنتز در واحد سطح زمین می‌باشد. با افزایش سطح برگ، سطح برگ بیشتری در واحد سطح زمین، مسئول تولید مواد فتوسنتزی خواهد بود و به طبع در این شرایط فشار تولید کمتری بر تک‌برگ‌ها وارد شده و در نتیجه سرعت فرآیند پیری کاهش خواهد یافت. با افزایش شاخص سطح برگ تا زمان رسیدن شاخص سطح

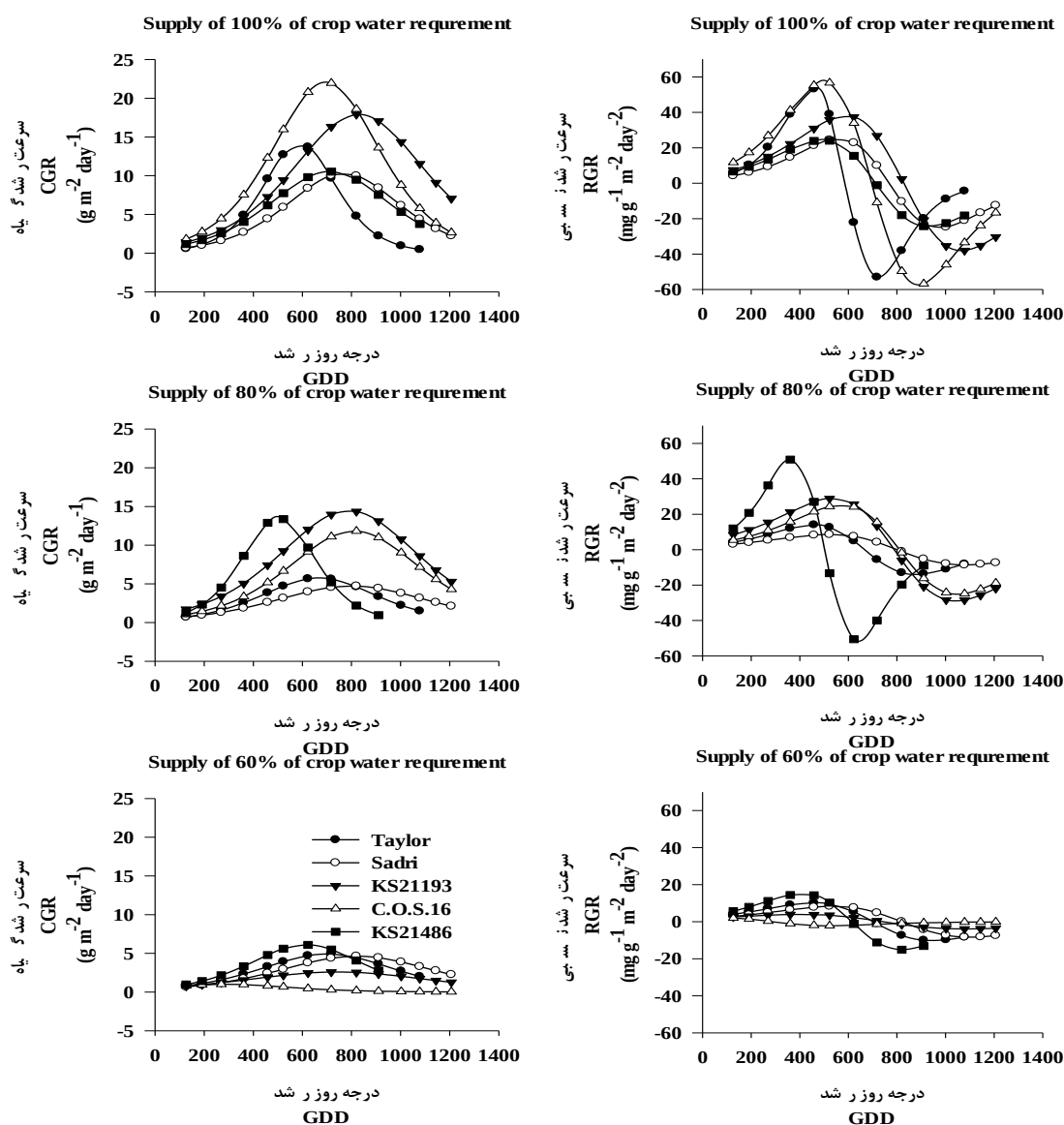
سرعت رشد نسبی در ابتدا اندکی روند افزایشی و پس از آن روند کاهش نشان داد و در اواخر فصل رشد تقریباً متوقف شد (شکل ۵)، از آنجا که بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیکی فعال نبوده و در فتوسنتز نقشی ندارند (Karimi and Seddique, 1991) این نتیجه حاصل شد. در ابتدای فصل رشد، میزان RGR به علت نفوذ نور بیشتر، سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها و فتوسنتز خالص، بالاتر می‌باشد (Amiri *et al.*, 2010). سرعت رشد نسبی در پایان دوره رشد به دلیل رسیدگی فیزیولوژیک دانه و افزایش تنفس دانه‌ها همچنین افزایش سن و ریزش برگ‌ها و کاهش فتوسنتز جاری جامعه گیاهی، منفی شد (Gordner *et al.*, 1985).

سرعت آسمیلاسیون خالص در شرایط تأمین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی در اوایل روند افزایشی داشت و پس از آن روند کاهش نشان داد و این در حالی است که در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی همه ژنوتیپ‌ها به‌جز تیپور از نظر سرعت آسمیلاسیون خالص روند کاهشی داشتند (شکل ۶). سرعت آسمیلاسیون خالص، تخمینی از میانگین شدت فتوسنتزی برگ‌ها در یک جامعه گیاهی است و زمانی به حداکثر خود می‌رسد که تمام برگ‌ها در معرض نور خورشید باشند و این شرایط زمانی اتفاق می‌افتد که گیاه در مراحل اولیه رشد خود بوده و برگ‌ها به اندازه‌ای هستند که هیچ‌کدام در سایه قرار ندارند (Gordner *et al.*, 1985). میزان فتوسنتز خالص با گذشت زمان ثابت نمی‌ماند و با افزایش سن گیاه یک افت نزولی در رشد و تکامل نشان می‌دهد و این افت نسبی در محیط نامناسب و تنش خشکی تسریع می‌شود، لذا هنگامی که برگ‌های جدید اضافه می‌شوند به علت سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر، وزن خشک به‌دست آمده

به طور کامل یا به طور نسبی در سایه قرار می گیرند و این امر باعث کاهش سرعت جذب خالص می شود.

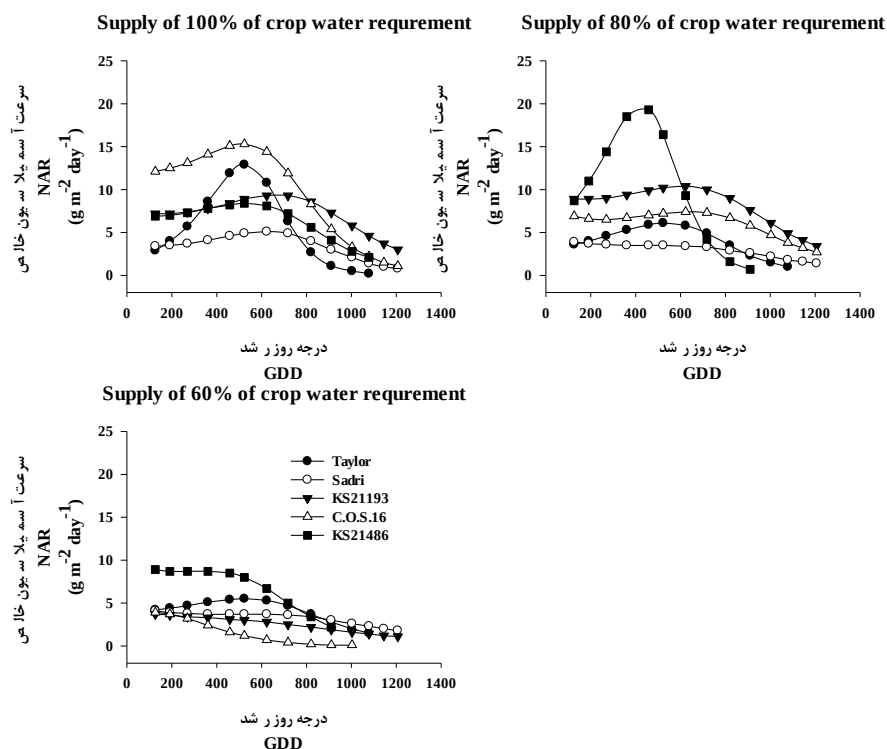
سرعت رشد نسبی نیز با افزایش شاخص سطح برگ در ابتدا روند افزایشی و پس از آن روند کاهشی نشان داد (شکل ۵)، همانطور که از مفهوم سرعت رشد نسبی بر می آید، این شاخص سرعت رشد را در هر مرحله نسبت به مرحله قبل می سنجد، در مطالعه مذکور چنانچه از شکل ۵ مشخص است، سرعت رشد نسبت به شاخص سطح برگ، در هر مرحله نسبت به مرحله قبل روند کاهشی نشان داد. در واقع میزان رشد در هر مرحله متناظر با افزایش شاخص سطح برگ افزایش نیافته است.

برگ به یک، سرعت رشد گیاه و سرعت آسمیلاسیون خالص افزایش یافت و از آن به بعد با افزایش شاخص سطح برگ، شاخص های مذکور کاهش داشتند (شکل ۵). احتمالاً با افزایش شاخص سطح برگ، سایه اندازی برگ ها بر همدیگر افزایش یافته و به همین دلیل سرعت رشد گیاه و سرعت آسمیلاسیون خالص روند کاهشی نشان دادند. گلدانی و همکاران (Goldani et al., 2011) گزارش کردند حداکثر سرعت جذب خالص زمانی مشاهده می گردد که بیشتر برگ ها در معرض نور مستقیم خورشید قرار داشته باشند. علاوه بر در معرض بودن برگ ها میزان شاخص سطح برگ نیز مهم است، به طوری که با افزایش شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، برگ های بیشتری

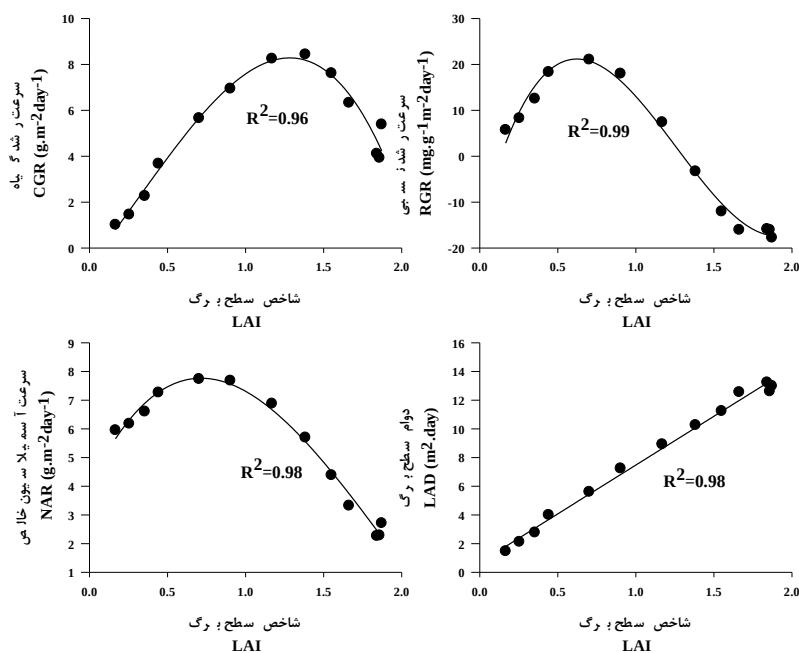


شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد گیاه و سرعت رشد نسبی ژنوتیپ های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم های آبیاری

Figure 5- Effect of Irrigation regimes on crop growth rate (CGR) and relative growth rate (RGR) of bean genotypes



شکل ۶- روند تغییرات سرعت آسمیلاسیون خالص ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری
Figure 6- Effect of Irrigation regimes on Net assimilation rate (NAR) of bean genotypes



شکل ۷- رابطه بین شاخص سطح برگ با دوام سطح برگ (LAD)، سرعت رشد گیاه (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR) و سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR) ژنوتیپ‌های لوبیا تحت تأثیر تیمارهای آبیاری

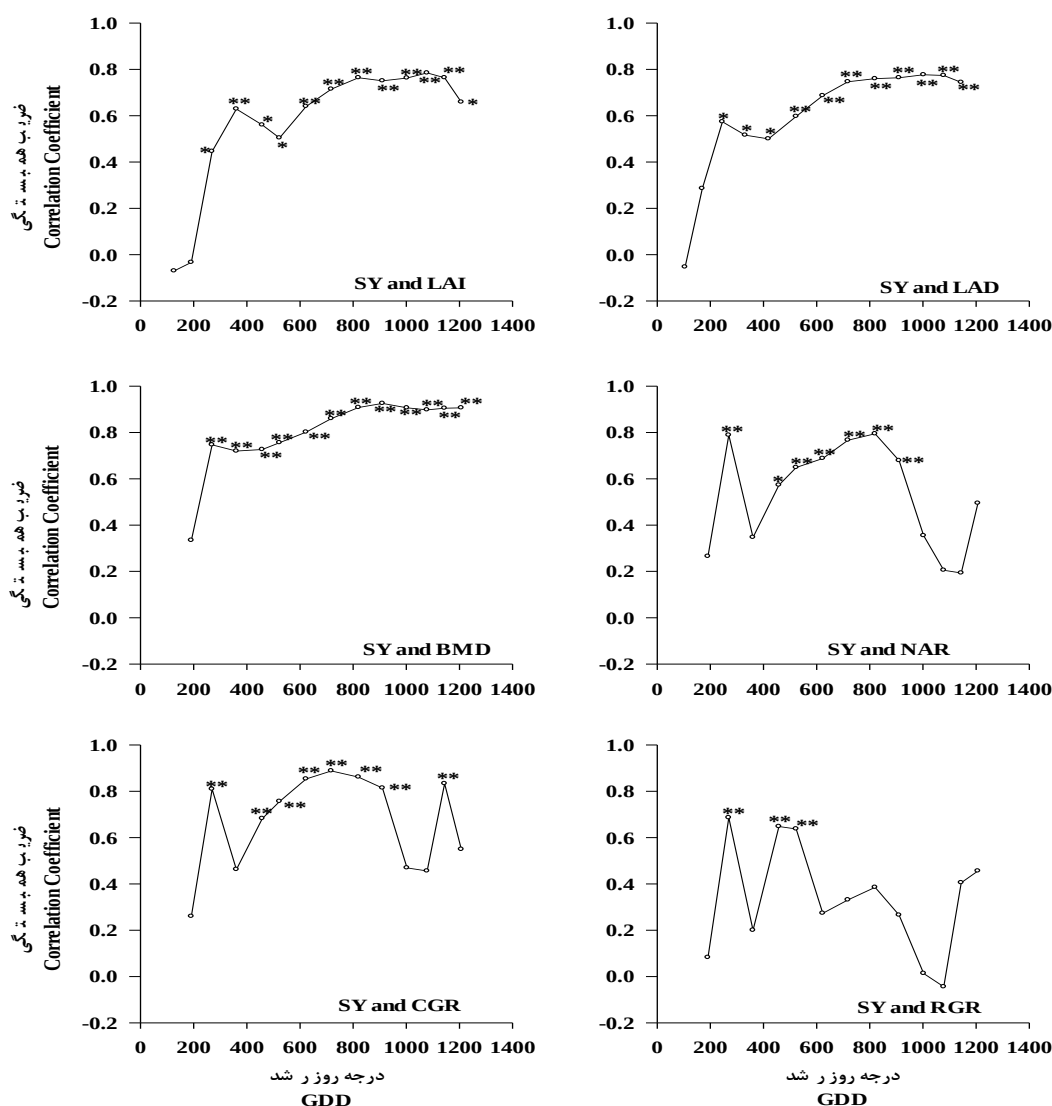
Figure 7- Relation between LAI with leaf area duration (LAD), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR) of bean genotypes

نتیجه گیری

پیشرفت مراحل رشدی و بزرگ شدن گیاه میزان همبستگی صفات با عملکرد افزایش داشت. بررسی ضرایب همبستگی مؤید آن است که با افزایش شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و دوام بیوماس، عملکرد دانه نیز افزایش می یابد و برای حصول بیشتر عملکرد دانه، باید سطح فتوسنتزکننده گیاه (برگ ها) و تداوم سبزمانی سطح برگ را افزایش داد تا مواد فتوسنتزی بیشتری تولید شده و به دانه ها انتقال یابد.

در بررسی ضرایب همبستگی بین شاخص های رشدی در مراحل مختلف رشد گیاه لوبیا با عملکرد مشاهده شد که در اکثر مراحل دوام بیوماس، دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ بیشترین همبستگی را با عملکرد داشتند (شکل ۸).

این نتایج همچنین نشان داد که در اوایل رشد گیاه لوبیا، همبستگی شاخص های رشدی با عملکرد دانه کم است، ولی با



شکل ۸- ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (LAD)، دوام زیست توده (BMD)، سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR)، سرعت رشد گیاه (CGR) و سرعت رشد نسبی (RGR) با عملکرد دانه (SY). *: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، **: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱

Figure 8- Pearson correlation coefficient between Leaf area index (LAI), Leaf area duration (LAD), Biomass duration (BMD), Net assimilation rate (NAR), Crop growth rate (CGR) and Relative growth rate (RGR) with seed yield (SY). *, ** significant at 0.05 and 0.01 level respectively

سپاسگزاری

از مرکز تحقیقات لوبیا خمین جهت تأمین بذر ژنوتیپ‌های مورد بررسی، از اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری جهت تأمین داده‌های هواشناسی، از گروه زراعت دانشکده کشاورزی

دانشگاه شهرکرد و همچنین معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد جهت تأمین امکانات لازم جهت انجام این آزمایش قدردانی می‌گردد.

References

1. Abdolrahmani, B., Ghasemi-Golozani, K., and Esfahani, M. 2005. The effect of supplemental irrigation on growth parameters, yield and yield components of wheat. *Agricultural Science* 15 (1): 51-68.
2. Agricultural Statistics. 2013. Tehran: Ministry of Agriculture Press. 167 Pages.
3. Amiri Deh Ahmadi, S. R., Parsa, M., Nezami, A., and Ganjeali, A. 2010. The effects of drought stress at different phenological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Pulses Research* 1 (2): 69-84. (in Persian with English abstract).
4. Bayuelo-Jimenez, J., Debouck, S., and Lynch, D. G. 2003. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. *Field Crops Research* 80 (3): 207-222.
5. Boutraa, T., and Sanders, F. E. 2001. Effects of Interactions of Moisture Regime and Nutrient Addition on Nodulation and Carbon Partitioning in Two Cultivars of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agronomy & Crop Science* 186: 229-237.
6. Clarke, J. M., and Simpson, G. M. 1978. Changing irradiance in *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Experimental Botany* 45: 931-936.
7. Earl, H. J., and Davis, R. F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal* 95: 688-696.
8. Emam, Y., and Niknezhad, M. 2004. An introduction to crop physiology. Shiraz: Shiraz University Press.
9. FAO. 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nation Quaterlybulletion of Statistucs. Rome, Italy: FAO.
10. FAO. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nation Quaterlybulletion of Statistucs. Rome, Italy: FAO.
11. Ghanbari, A., Mousavi, S. H., Keshavarz, S., and Abbasian, A. 2014. Assessment of Variation in Physiological Growth Indices in Common Bean Genotypes under Water Deficit Condition. *Seed and Plant production Journal* 30 (2): 199-222. (in Persian with English abstract).
12. Ghasemi-Golozani, K., Mohamadi, S., Rahimzadeh Khoyi, F., and Moghadam, M. 1997. The quantitative relationship between density and yield of three chickpea cultivars in different planting dates. *Agricultural Science* 7: 59-73.
13. Ghassemi-Golezani, K., and Mardfar, R. A. 2008. Effects of Limited Irrigation on Growth and Grain Yield of Common Bean. *Journal of Plant Science* 3 (3): 230-235.
14. Ghassemi-Golozani, K., Ghanehpour, S., and DabbaghMohammadi-Nasab, A. 2009. Effect of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 7: 442-447.
15. Goldani, M., and Rezani Moghadam, P. 2007. The effect of different irrigation regimes and planting dates on phenology and growth indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Mashhad. *Journal of Agricultural Science and Natural Resource* 14: 229-242.
16. Goldani, M., Rezani Moghadam, P., Nassiri Mahalati, M., and Kafi, M. 2011. Radiation use efficiency and phenological and physiological characteristics in hybrids of maize (*Zea mays* L.) on response to different densities. *Journal of Plant Production* 18: 1-28.
17. Gordner, F. P., Pearce, R. B., and Mitchell, R. L. 1985. Physiology of Crop plants. Iowa: Iowa State University Press.
18. Hamzei, J., and Soltani, J. 2012. Deficit irrigation of rapeseed for water-saving: Effects on biomass accumulation, light interception and radiation use efficiency under different N rates. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 155: 153-160.
19. Hsiao, T. C., and Xu, L. K. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany* 51: 1595-1616.
20. Husain, M. M., Reid, J. B., Othman, H., and Galiagher, J. N. 1990. Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate. I. Root and shoot adaptations to drought stress. *Field Crops Research* 23: 1-17.
21. Iramki, S. D., Haman, D. Z., and Bastug, R. 2000. Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal* 92: 1221-1234.

22. Karimi, M., and Azizi, M. 1994. Growth analysis of crop plants. Mashhad: Mashhad university jihad.
23. Khalili, A., and Rezaei Sadr, H. 1997. Estimation of global solar radiation over Iran based on the climatical data. Geographical Research 46: 15-35. (in Persian with English abstract).
24. Koller, H. R., Nyquist, W. E., and Chrouch, I. S. 1980. Growth analysis of the soybean community. Crop Science 20: 407-413.
25. Lak, M. R., Ghanbari, A. A., Dori, H. R., and Ghadiri, A. 2009. Effect of planting Date on seed yield and fusarium root rot disease severity in pinto bean in khomein. Seed and Plant Production Journal 25 (2): 275-286.
26. Lizana, C., Wentworth, M., Martinez, J. P., Villegas, D., Meneses, R., Murchie, E. H., Pastenes, C., Lercari, B., Vernieri, P., Horton, P., and Pinto, M. 2006. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I. Effect of drought on yield and photosynthesis. Journal of Experimental Botany 57: 685-697.
27. Mossavifar, E., Behdani M. A., Jamialahmadi, M., Hosseini bejed, M. S. 2010. Effect of deficit irrigation on safflower in Birjand condition. Agroecology 2 (4): 627-639.
28. Munõz-Perea, C. G., Allen, R. G., Westermann, D. T., and Wright, J. L. 2007. Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. Euphytica 155: 393-402.
29. Nunez-Barrios, A. 1991. Effects of soil water deficits on the growth and development of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different stages of growth. Dissertation Abstracts International B, Science and Engineering. Field Crops Abstracts 51: 45-56.
30. Ourcut, D., and Nilsen, E. T. 2009. Salinity and drought stress. In Physiology of Plants under Stress, 177-235.
31. Ricardo, J. H., Dardanelli, J. L., Otegui, M. E., and Collino, D. J. 2008. Seed yield determination of peanut crops under water deficit: Soil strength effects on pod set, the source-sink ratio and radiation use efficiency. Field Crops Research 109: 24-33.
32. Robinson, R. G. 1983. Yield and composition of field bean and adzuki bean in response to irrigation, compost, and nitrogen. Agronomy Journal 75: 31-35.
33. Takai, T., Matsuura, S., Nisho, T., Ohsumi, A., Shiraiwa, T., and Horie, T. 2006. Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period. Field crops research 96: 328-335.
34. Tavakoli, H., Karimi, M., and Moosavi, F. 1998. Effects of different irrigation regimes on vegetative and reproductive growth of corn. Iranian Journal of Agricultural Science 15 (1): 51-67.
35. Tesfamariam, E. H., Annandale, J. H., and Steyn, J. M. 2010. Water stress effects on winter canola growth and yield. South African Agronomy Journal 102 (2): 658-666.
36. Thompson, D. S., Wilkinson, S., Bacon, M. A., and Davies, W. J., 1997. Multiple signals and mechanisms that regulate leaf growth and stomatal behaviour during water deficit. Physiologia Plantarum 100: 303-313.
37. Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Azizi, M. 2009. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of Canola cultivars (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops research 7 (1): 285-292.
38. Vanshonhorn, A., and Vist, A. 2001. Bean cultivation and breeding. Mashhad: Mashhad university jihad.
39. Wakrim, R., Wahbi, S., Tahi, H., Aganchich, B., and Serraj, R. 2005. omparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agriculture, Ecosystems and Environment 106: 275-287.
40. Yazdani, F., Alahdadi, I., and Akbari, G. A. 2007. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition. Pakistan journal of biological science 10 (23): 4190-4196.



Evaluation of the RUE and Growth Indices of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes Deficit Irrigation Condition

H. Karimzadeh Soureshjani¹- A. Nezami^{2*}- M. Kafi²- M. R. Tadayon³

Received: 01-02-2016

Accepted: 19-04-2017

Introduction

Pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important bean types in Iran. Cultivation area of pinto bean is about 50% of the total bean cultivation area and more than half of the grain bean production belongs to this type of bean. Drought is the most important environmental stresses that affected agricultural production in arid and semiarid areas and reduced crop productions. About 90 percent of Iran located in arid and semi-arid areas where water stress in the plants is inevitable. In addition, 60% of bean cultivation area in the world are faced with drought. Quantitative analysis of crops growth under water limitation condition is a good way to identify genotypes differences in response to drought stress.

Materials and Methods

In order to study the impact of deficit irrigation on pinto bean genotypes, an experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design, at Shahrekord University, during 2013. Main plot was irrigation regime (supply of 100, 80 and 60 percent of crop water requirement) and sub plot was pinto bean genotype (Taylor, Sadri, C.O.S.16, KS21193 (Koosha193) and KS21486). Seeds were disinfected with benomyl fungicide before planting. Planting was conducted in 30 plant m⁻² density. Crop water requirement was calculated by FAO Penman-Monteith equation. Irrigation regimes were applied at V4 stage (4th three foliate leaf has unfolded) and continued until the end of the growing season.

Results and Discussion

Results showed that there is genotypic variation in stem, leaf and seed dry weight, leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR) and radiation use efficiency (RUE) in response to deficit irrigation. The dry matter accumulation of bean genotypes was sigmoidal shape and reduction in water use causes degradation of dry matter both in terms of the amount of dry matter and dry matter accumulation rate.

The highest RUE was recorded in KS21486 in supply of 80 percent of crop water requirement (3.21 g MJ⁻¹). RUE changes to the reduction of irrigated water vary from genotype to genotype. So that, RUE of Taylor, Sadri and C.O.S.16 reduced and RUE of KS21193 and KS21486 increased in supply of 80 percent of crop water requirement condition. Moreover, RUE of all genotypes reduced in supply of 60 percent of crop water requirement condition. In fact, the amount of light absorption and biomass production reduced due to deficit irrigation. Under drought conditions, reduction in water availability decreases cell growth and subsequent reductions in leaf area index. Thus ratio of dry matter produced by the absorbed light is low and radiation use efficiency will be less. Drought stress reduced total dry weight. KS21486 had more rapidly seed dry weight enhancement rather than the other genotypes in the early stages, however Taylor and KS21193 had highest seed dry weight in all three levels of irrigation. Deficit irrigation decreased leaf area index in supply of 60 and 80 percent of crop water requirement condition compared to supply of 100% of crop water requirement condition. Maximum leaf area index in supply of 100, 80 and 60 percent of crop water requirement conditions were 3.1, 2 and 1.5, respectively. Average reduction of LAD in supply of 80 and 60 percent of plant water requirement conditions were 27 and 42 percent respectively. C.O.S.16 showed the highest CGR and maximum NAR and RGR, in supply of 100 percent of plant water requirement. In supply of 80% and 60% of plant water requirement conditions, KS21486 had the maximum NAR and RGR.

1- Crop physiology student, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor of Crop physiology, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor of Crop physiology, Shahrekord University

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

Conclusions

Biomass duration (BMD), LAD, LAI showed the highest correlation with grain yield, thus they are appropriate indicators to estimate grain yield under different moisture conditions. With the increase in leaf area index, leaf area duration and biomass duration, seed yield increased. To obtain more seed yield, the area of photosynthetic levels (leaves) and stay green must be increased to produce more photosynthetic products and allocated to seeds.

Keywords: Crop Growth Rate, Leaf Area Index, Net Assimilation Rate



مطالعه خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و میزان بقایای گیاهی

حمیدرضا کمیلی^۱ - مسعود قدسی^{۲*} - پرویز رضوانی مقدم^۳ - مهدی نصیری محلاتی^۴ - محمدرضا جلال کمالی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۹

چکیده

این آزمایش با هدف مطالعه تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و میزان بقایای گیاهی گندم بر خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد جو در نظام تناوب زراعی گندم-جو در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گناباد و در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ به اجرا درآمد. البته این یک آزمایش ۵ ساله (۹۶-۱۳۹۱) است که در این بخش نتایج این نظام تناوب زراعی آورده شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای اصلی شامل روش‌های مختلف خاک‌ورزی در سه سطح شامل: ۱- خاک‌ورزی متداول (شخم + دیسک + تسطیح + کاشت با بذرکار)، ۲- کم‌خاک‌ورزی (دیسک + کاشت با بذرکار) و ۳- بی‌خاک‌ورزی، (کاشت مستقیم با بذرکار، No Till) در کرت‌های اصلی قرار گرفت و فاکتور فرعی، میزان بقایای گیاهی در سه سطح (۱- بدون بقایا، ۲- حفظ ۳۰٪ بقایا و ۳- حفظ ۶۰٪ بقایا محصول قبلی، گندم) که به عنوان عامل کرت فرعی مد نظر قرار گرفت. صفات مورد مطالعه علاوه بر عملکرد بیولوژیک و دانه شامل خصوصیات شیمیایی خاک بود. نتایج نشان داد بیشترین میزان پتاسیم خاک از تیمار بی‌خاک‌ورزی به دست آمد و تحت تأثیر این تیمار میزان pH و EC خاک کاهش یافت. کارایی مصرف عناصر غذایی (نیترژن، فسفر و پتاسیم) در تیمار بی‌خاک‌ورزی بیشتر از تیمارهای دیگر خاک‌ورزی بود و برهمکنش تیمار بی‌خاک‌ورزی با صفر درصد بقایا بیشترین مقدار کارایی زراعی نیترژن را نشان داد. اثر تیمارهای خاک‌ورزی و میزان بقایا بر عملکرد بیولوژیک، دانه و شاخص برداشت معنی‌دار نبود. بیشترین عملکرد بیولوژیک از تیمار بی‌خاک‌ورزی و تیمار ۳۰٪ بقایا به ترتیب با ۸۵۰۰ و ۸۳۹۸ کیلوگرم در هکتار و بیشترین عملکرد دانه (۵۲۲۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار صفر درصد بقایا حاصل شد. از طرف دیگر بیشترین عملکرد دانه (۳۸۹۷ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت (۴۹/۸ درصد) از برهمکنش تیمار بی‌خاک‌ورزی در سطح صفر درصد بقایا حاصل شد. نتیجه اینکه افزایش میزان بقایای گیاهی تأثیر مثبتی بر کاهش EC خاک و افزایش میزان فسفر و پتاسیم خاک داشت و حذف عملیات خاک‌ورزی تأثیر منفی و معنی‌داری بر کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه جو نداشت.

واژه‌های کلیدی: بدون شخم، کارایی، کشاورزی حفاظتی، شخم کاهش‌یافته، عملکرد

مقدمه

زراعی توأم باشد، موجب فرسایش شدید خاک و انحطاط آن به عنوان تنها منبع تولید مواد غذایی شده است (Montgomery, 2007). در نظام‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی، مخلوط نمودن بقایا با خاک سبب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، حفظ حاصلخیزی و رطوبت خاک، کاهش فرسایش و تبخیر بیش از اندازه می‌شود (All-Issa and Samarah, 2007). روش‌های خاک‌ورزی کاهش‌یافته به دلیل افزایش مواد آلی خاک، برهم‌زدن کمتر خاک و حفظ رطوبت بیشتر در خاک می‌تواند میزان فعالیت‌های زیستی و جمعیت‌های ریزجانداران خاک را افزایش دهد، هرچند پاسخ خاک به سیستم‌های خاک‌ورزی کاهش یافته منوط به یک دوران گذر است (Simmons and Coleman, 2008).

حجازی و همکاران (Hejazi et al., 2010) بیان داشتند که ترکیب بقایای گیاهی با خاک سبب بهبود خصوصیات فیزیکی،

تداوم استفاده از عملیات زراعی متداول و آن هم متکی بر شخم فشرده، به ویژه وقتی که با حذف کامل یا سوختن بقایای گیاهان

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، پردیس بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

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

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

۵- استادیار پژوهش، محقق ارشد و مسئول دفتر مرکز سیمیت در ایران

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

DOI: 10.22067/gsc.v16i3.555501

2010) نشان داد با افزایش مقادیر بقایا در تیمار کم خاک‌ورزی میزان درصد کربن آلی و نیتروژن خاک افزایش یافت. همچنین در حدود دو سوم کود فسفاته جهان برای غلات به‌کار می‌رود (FAO, 2002). تحت شرایط مطلوب رشد در بیشتر محصولات کشاورزی تنها ۲۰ تا ۳۰ درصد کود فسفر مصرفی در طول یک فصل رشد بازمایی می‌گردد (Dobermann, 2007). ژیانگ و همکاران (Xiang et al., 2008) کارایی مصرف فسفر را به‌طور متوسط بین ۱۰ تا ۲۵ درصد اعلام نمودند. در ایران متأسفانه اطلاعات مکتوب و موقتی از میزان کارایی مصرف کودهای فسفاته و پتاسه گزارش نشده است. نجفی نژاد و همکاران (Najafinezhad et al., 2007) در بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی گندم بر عملکرد ذرت و خصوصیات خاک گزارش نمودند که در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول به‌ترتیب بیشترین عملکرد دانه و ارتفاع بوته حاصل شد. همچنین مقدار پروتئین دانه، مواد آلی، پتاسیم و فسفر خاک پس از برداشت در تیمار حداقل خاک‌ورزی بیش از سایر تیمارها بود. در تیمار باقی‌گذارن بقایا، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، پروتئین دانه و مواد آلی بیشتری حاصل شد. این تحقیق با هدف مطالعه تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و میزان بقایای گیاهی بر خصوصیات خاک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه جو در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گناباد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی گناباد با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۶۰ متر از سطح دریا و با میانگین بارندگی ۱۶۰ میلی‌متر در سال در قالب سیستم تناوب زراعی گندم-جو و در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به اجرا درآمد. این آزمایش بخشی از یک طرح ۵ ساله (۹۶-۱۳۹۱) است. طرح آماری مورد استفاده به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار بود. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از:

- الف) شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی در سه سطح شامل: ۱- خاک‌ورزی متداول (شخم + دیسک + تسطیح + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار)، ۲- کم‌خاک‌ورزی (دیسک + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار) و ۳- بی‌خاک‌ورزی (کاشت مستقیم با بذرکار (No Till) که در کرت‌های اصلی قرار گرفتند.
- ب) میزان بقایای گیاهی در سه سطح شامل: ۱- بدون بقایا، ۲- حفظ ۳۰٪ بقایا و ۳- حفظ ۶۰٪ بقایا که در کرت‌های فرعی قرار گرفت.

در تیمار میزان بقایا بر اساس تیمارهای تعریف شده ۳۰٪ و یا

شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده که خود ظرفیت نگهداری آب خاک را از طریق کاهش تبخیر، افزایش می‌دهد. آزمایش صفری و همکاران (Safari et al., 2013) نشان داد، اثر بقایا در سطح ۵٪ و اثر روش‌های مختلف کاشت در سطح ۱٪ بر عملکرد دانه گندم تأثیر معنی‌داری داشت، در حالی که اثر خاک‌ورزی بر عملکرد تأثیر معنی‌دار نداشته و معمولاً اثر خاک‌ورزی بر رشد محصول از طریق تغییر در خصوصیات خاک حاصل می‌شود که این تغییر روند به‌آرامی صورت می‌پذیرد. لوپز و همکاران (Lopez et al., 2005) اظهار داشتند اثر بقایای گیاهی جو برای حفاظت از فرسایش بادی خاک در مناطق خشک بستگی به مدیریت و میزان تجزیه آن در خاک داشته و حفظ بقایا باید به نحوی باشد که بیشترین استفاده از لحاظ میزان و مدت زمان حفظ بقایا صورت پذیرد. در هر صورت افزایش مواد آلی خاک موجب افزایش میزان فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و کمک به تجزیه بقایای گیاهی می‌شود و وجود رطوبت کافی نیز در میزان تجزیه دخیل است.

در مطالعات مزرعه‌ای، کارایی مصرف عناصر غذایی بر اساس اختلاف عملکرد محصول و یا جذب عنصر غذایی بین کرت‌های کود داده شده و شاهد و یا با استفاده از ایزوتوپ و کود محتوی عنصر غذایی نشان‌دار به‌دست می‌آید. بر این اساس تعاریف گوناگونی برای تخمین کارایی و ارزیابی سرنوشت کودهای شیمیایی وجود دارد. هر یک از این شاخص‌ها قابلیت استفاده متفاوتی در تعیین کارایی مصرف عناصر غذایی دارند (Novoa and Loomis, 1981).

زو و ون (Zhu and Wen, 1992) طی بررسی خود در محصولات زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa*) و ذرت (*Zea mays*) در چین اعلام نمودند که کارایی مصرف نیتروژن از ۲۸ تا ۴۱ درصد متغیر است. ران و جانسون (Raun and Johnson, 1999) کارایی مصرف نیتروژن را در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه به‌ترتیب ۴۲ و ۲۹ درصد اعلام نمودند. بر اساس این مطالعه یک درصد افزایش در کارایی مصرف نیتروژن برای تولید جهانی غلات منجر به صرفه‌جویی ۲۳۴ میلیارد دلار در هزینه کودهای نیتروژنه خواهد شد. به گزارش ژائو و همکاران (Zhao et al., 2006) کارایی مصرف نیتروژن نظام تناوبی گندم-ذرت در شرایط مصرف بهینه نیتروژن ۹۵/۱ درصد بود در حالی که این کارایی در شرایط نظام زراعی رایج با مصرف بالای کود نیتروژن تنها ۲۴/۵ درصد می‌باشد.

هینان و همکاران (Heenan et al., 1995) در بررسی اثرات خاک‌ورزی، تناوب زراعی و مدیریت بقایای گیاهی بر میزان کربن آلی و نیتروژن خاک به این نتیجه رسیدند که میزان کاهش کربن آلی و نیتروژن خاک در روش کشت مستقیم (بدون خاک‌ورزی) و باقی‌گذارن بقایای گیاهی کمتر از روش خاک‌ورزی مرسوم و دفن کامل بقایا می‌باشد. نتایج آزمایش علیجانی و همکاران (Alijani et al.,

مساحت هر کرت اصلی ۴۵۰۰ متر مربع ($۱۰ \times ۵۰ \times ۹$ متر) بود. میزان بذر لازم بر اساس وزن هزار دانه جو با تراکم بذر ۴۵۰ دانه در مترمربع و به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار با فاصله ردیف ۲۰ سانتی متر بود. بذور جو قبل از کاشت با قارچ کش کاربوکسین-تیرام با دز مصرفی ۲ در هزار ضدعفونی شد.

میزان کود مصرفی بر اساس فرمول کودی ایستگاه و بر اساس نتایج تجزیه خاک و مطابق توصیه‌های بخش تحقیقات خاک و آب و به میزان ۱۰۰ کیلوگرم اوره (نیتروژن)، ۲۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیم (فسفر) و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (پتاسیم) همزمان با کاشت مصرف شد. کود سرک نیتروژنه به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در دو مرحله خاتمه پنجه‌زنی (دهه اول اسفند ۱۳۹۲) و مرحله ظهور برگ پرچم (دهه اول فروردین ۱۳۹۳) مصرف شد. عملیات کاشت آزمایش و اولین آبیاری در تاریخ ۱۳۹۲/۸/۲۹ به روش بارانی صورت پذیرفت و آبیاری بر حسب نیاز گیاه و عرف معمول ایستگاه تحقیقات با فواصل آبیاری حدود ۱۰ روز تا تاریخ ۱۳۹۳/۳/۲ انجام شد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

۶۰٪ بقایای گیاه زراعی قبلی (گندم) بر روی سطح خاک حفظ شد. بدین صورت که با محاسبه میزان عملکرد بیولوژیک گیاه زراعی قبلی، مقادیر متناسب بقایا با اعمال تیمارهای میزان بقایا بر روی سطح خاک به صورت ایستاده و پخش شده حفظ شدند. برای این منظور از طریق نمونه‌برداری (۵ کودارات یک متر مربعی) از هر یک از کرت‌های اصلی مقدار بقایا تعیین و سپس برای تیمارهای مورد مطالعه بقایای اضافی از کرت‌های فرعی حذف شد. در روش کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) در زمینی که سال قبل گندم کشت شده بود و قبل از کشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی صورت نگرفته بود، با یک بار حرکت مستقیم بذرکار کشت مستقیم خطی کار (مدل برزگر همدانی) عمل کشت انجام گردید. در روش کم خاک‌ورزی از یک دستگاه دیسک استفاده شد و پس از تسطیح زمین برای کشت جو از بذرکار خطی کار استفاده شد. در روش مرسوم، شخم توسط گاواهن برگردان دار انجام شد و سپس زمین دیسک زده شد و تسطیح گردید و سپس توسط بذرکار خطی کار کشت انجام شد. همچنین از رقم رایج و تجارتي جو نصرت که رقمی با پتانسیل عملکرد بالا، مقاوم به خوابیدگی و ریزش دانه، با عادت رشد بهاره و مخصوص کاشت در مناطق معتدل استفاده شد.

مساحت هرکرت فرعی معادل ۵۰۰ متر مربع (۱۰×۵۰ متر) و

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

زمان Time	pH	EC ds m ⁻¹	T.N.V	N	O.C %	Sand	Silt	Clay	P ppm	K
قبل از کاشت جو Before planting of barley	7.8	4.3	12.1	0.055	0.3	56.8	23.4	19.8	5.5	121.7
بعد از برداشت جو After harvesting of barley	7.9	3.5	11.6	0.040	0.28	58	24	20	7.17	120.8

کارآیی مصرف نهاده‌ها از خارج قسمت عملکرد اقتصادی محصول زراعی Yeco بر حسب کیلوگرم ماده خشک در واحد سطح بر فراهمی نهاده مصرفی مثلاً نیتروژن فراهم شده (N supply = نیتروژن فراهم شده) در خاک که می‌تواند حاصل جمع نیتروژن حاصل از معدنی شدن نیتروژن آلی، نیتروژن کودی و نیتروژن موجود در خاک باشد بر اساس روش مول و همکاران (Moll et al., 1982) به‌دست آمد:

$$NUE = Yeco / N \text{ supply}$$

کارآیی سایر عناصر نیز به همین روال نیز محاسبه و به‌دست آمد. وزن خشک اندام‌های هوایی در مراحل نمو سنبلیچه انتهایی (DM1)، گرده‌افشانی (DM2) و مرحله خمیری دانه‌ها (DM3) بدین ترتیب اندازه‌گیری شد که با استفاده از کادر یک متر مربعی به تعداد سه نمونه از هر کرت گرفته شد و پس از انتقال به آزمایشگاه داخل آوون با دمای ۷۶ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت و

نمونه‌برداری خاک پس از برداشت محصول جو و در تیرماه سال ۱۳۹۲ انجام شد بدین ترتیب که از نقاط مختلف هرکرت نمونه‌های خاک به تعداد سه نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر با کمک اوگر انجام شد و نمونه‌ها با یکدیگر مخلوط شد و نمونه مرکب به تعداد ۲۷ نمونه تهیه گردید. سپس در آزمایشگاه تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی خراسان رضوی خصوصیات شیمیایی خاک تعیین گردید. صفات کربن آلی خاک، میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین pH و هدایت الکتریکی (EC) اندازه‌گیری شد برای اندازه‌گیری میزان عناصر نیتروژن از روش کجلدال با استفاده از دستگاه کجلتک، فسفر از روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم از روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر، برای اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج استفاده شد.

مقدار T.N.V و N از تیمار کم‌خاک‌ورزی، بیشترین مقدار N از تیمارهای خاک‌ورزی متداول و کم‌خاک‌ورزی و همچنین بیشترین میزان O.C و C/N از تیمار خاک‌ورزی متداول به‌دست آمد (جدول ۳). مادیجان و همکاران (Madejon et al., 2009) گزارش دادند که خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث افزایش مواد آلی خاک، میکروبیال، بیوماس کربن و فعالیت‌های آنزیمی در لایه‌های سطحی خاک می‌شود. در روش‌های بی‌خاک‌ورزی به دلیل بازگشت بقایای گیاهی به افق‌های سطحی خاک، افزایش میزان مواد آلی مشاهده می‌شود در حالی که در روش‌های خاک‌ورزی مرسوم به هم خوردن خاک باعث تجزیه بیشتر و زودتر بقایای گیاهی شده که در نتیجه کاهش میزان مواد آلی را به همراه دارد (Bauer and Black, 1981) که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد. یکی از دلایل این مغایرت این است که این نتایج مربوط به سال‌های اول دوره گذار از کشاورزی متداول به حفاظتی می‌باشد و ممکن است در طی زمان و در انتهای دوره گذار تغییری در این نتایج حاصل شود.

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر مدیریت بقایا فقط بر EC در سطح احتمال ۱٪ بود (جدول ۳). کمترین مقدار EC و بیشترین مقدار T.N.V و پتاسیم از تیمار ۶۰٪ بقایا حاصل شد (جدول ۲). یعنی با افزایش میزان بقایای گیاهی گندم هدایت الکتریکی خاک کاهش و کل مواد خنثی‌شونده خاک افزایش یافت که مبین تأثیر مثبت بقایا بر بهبود خواص خاک می‌باشد. حجازی و همکاران (Hejazi et al., 2010) بیان داشتند که اختلاط بقایای گیاهی با خاک سبب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، حفظ قابلیت تولید خاک از طریق تجدید ذخایر عناصر خاک و حفظ آب خاک از طریق کاهش تبخیر بیش از اندازه می‌شود که با نتایج این تحقیق موافقت دارد. از طرف دیگر نتایج نشان داد بین تیمارهای مدیریت بقایای گیاهی تفاوت آماری معنی‌داری از نظر میزان pH، نیتروژن، کربن آلی، نسبت C/N، فسفر و پتاسیم وجود نداشت (جدول ۳). با این وجود نتایج مقایسه میانگین نشان داد، کمترین میزان pH از تیمار ۳۰٪ بقایا و همچنین بیشترین میزان فسفر از تیمار ۶۰٪ بقایا به‌دست آمد (جدول ۳). سهرابی و همکاران (Sohrabi et al., 2014) عنوان کردند که برگرداندن بقایا حتی در مدت کوتاه دوره رشد گیاه توانسته است اثرات مثبتی بر خاک گذاشته و تا حدی باعث افزایش میزان عناصر شود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

کارایی مصرف و بهره‌وری عناصر غذایی

نتایج حاصل از داده‌های تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی و مدیریت بقایا بر کارایی مصرف عناصر غذایی جو نشان داد فقط اثر خاک‌ورزی بر بهره‌وری زراعی پتاسیم و اثر مدیریت بقایا بر میزان فسفر خاک در

سپس نسبت به اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها اقدام شد. در طی دوره رشد و نمو گیاه از صفات فنولوژیک (تاریخ‌های سبز شدن، پنبه‌زنی، گرده‌افشانی، ظهور سنبله و رسیدگی فیزیولوژیک) و مورفولوژیک (ارتفاع بوته، طول سنبله با استفاده از خط‌کش، میزان خوابیدگی بوته‌ها) و اجزای عملکرد دانه شامل (تعداد سنبله در متر مربع با استفاده از کوادرات یک متر مربعی، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله با استفاده از ۲۰ سنبله تصادفی ابتدا با شمارش تعداد دانه‌ها و سپس وزن آنها به کمک ترازوی حساس و ثبت میانگین آنها) یادداشت‌برداری به‌عمل آمد. پس از برداشت نمونه‌ها از سطح ۱۲ مترمربع (تعداد ۱۵ ردیف به طول ۴ متر)، ابتدا عملکرد بیولوژیک و سپس عملکرد دانه هر کرت توزین و ثبت شد و با اخذ یک نمونه تصادفی وزن هزار دانه نیز تعیین شد. برای مدیریت داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel و برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار MSTAT-C استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات شیمیایی خاک

اطلاعات جدول ۲ نشان داد اثر تیمار خاک‌ورزی بر هدایت الکتریکی (EC) و میزان پتاسیم خاک (K) در سطح احتمال ۱٪ و اسیدیته خاک (pH) در سطح ۵٪ معنی‌دار بود، ولی بر مقدار فسفر خاک معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد کمترین میزان pH و EC به‌ترتیب از تیمارهای خاک‌ورزی متداول و بی‌خاک‌ورزی حاصل گردید (جدول ۳). میزان پتاسیم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی قرار گرفت به نحوی که بیشترین مقدار پتاسیم خاک (۱۰۵/۳ Ppm) از تیمار بی‌خاک‌ورزی به‌دست آمد (جدول ۳).

همچنین نتایج نشان داد بیشترین میزان فسفر خاک از تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی به‌ترتیب با (۸/۰۸۹ Ppm) و (۷/۶۸۹ Ppm) به‌دست آمد (جدول ۳). در نظام‌های خاک‌ورزی متداول و کم‌خاک‌ورزی، عناصر غذایی تجمع‌یافته در سطح خاک در اثر خاک‌ورزی و مخلوط شدن با خاک به میزان بیشتری در دسترس ریشه‌ها قرار می‌گیرد، در حالی که در نظام بی‌خاک‌ورزی، به‌طور مثال فسفر که عنصری کم‌تحرک است، در سطح خاک تجمع یافته و کمتر به محیط ریشه راه می‌یابد و در نهایت سبب کمبود این عنصر در گیاه و کاهش رشد آن می‌شود (Daneshvaran et al., 2009).

به‌علاوه نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر صفات مواد کل خنثی‌شونده (T.N.V)، نیتروژن (N)، کربن آلی (O.C)، نسبت کربن به نیتروژن (C/N) و فسفر (P) معنی‌دار نبود (جدول ۲). به هر حال مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین

سطح ۵٪ معنی دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین و کمترین میزان کارایی مصرف برای تمام عناصر غذایی به ترتیب در تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی به دست آمد.

همچنین بیشترین کارایی مصرف و کارایی زراعی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم از تیمار بی‌خاک‌ورزی به دست آمد (جدول ۵).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات شیمیایی خاک تحت تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و میزان بقایا (میانگین مربعات)
Table 2- Results of analysis of variance of soil chemical properties under different tillage and residue treatments (mean of square)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	Ppm درصد %							پتاسیم (K)
		اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	کل مواد خنثی شونده (TNV) ¹	نیتروژن (N)	کربن آلی (OC)	کربن/ نیتروژن (C/N)	فسفر (P)	
Replication تکرار	2	0.000	0.521 *	0.140 ^{ns}	0.001 *	0.007 ^{ns}	6.808 *	5.268 ^{ns}	1025.778 ^{ns}
Tillage خاک‌ورزی	2	0.068 *	1.174 **	0.064 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	1.042 ^{ns}	14.299 ^{ns}	2835.444 *
error a خطا	4	0.004	0.036	0.273	0.0001	0.005	1.358	22.450	351.556
Residue بقایا	2	0.001 ^{ns}	0.848 *	0.138 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.272 ^{ns}	5.001 ^{ns}	312.444 ^{ns}
خاک‌ورزی × بقایا Tillage × Residue	4	0.016 ^{ns}	0.151 ^{ns}	0.060 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.442 ^{ns}	3.197 ^{ns}	165.889 ^{ns}
error b خطا	12	0.017	0.200	0.051	0.0001	0.004	2.206	4.661	660.907
ضریب تغییرات % Coefficient Variation (CV)		1.68	12.79	1.95	13.20	13.08	21.12	23.11	21.31

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪
ns, * and **, respectively, non-significant and significant are levels 5% and 1%

جدول ۳- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و میزان بقایا بر خصوصیات شیمیایی خاک
Table 3- Effect of different tillage and residue treatments on chemical soil properties

Tillage تیمار خاک‌ورزی	pH	EC (dS.m ⁻¹)	T.N.V (%)	N (%)	O.C (%)	C/N (%)	P (Ppm)	K (ppm)
خاک‌ورزی متداول Conventional Tillage (CT)	7.800 ^b	3.911 ^a	11.59 ^a	0.042 ^a	0.296 ^a	6.526 ^a	5.733 ^a	105.3 ^b
کم‌خاک‌ورزی Reduced Tillage (RT)	7.811 ^b	3.348 ^b	11.72 ^a	0.042 ^a	0.270 ^a	6.316 ^a	7.689 ^a	116.6 ^{ab}
بی‌خاک‌ورزی No Tillage (NT)	7.956 ^a	3.238 ^b	11.57 ^a	0.038 ^b	0.273 ^a	6.370 ^a	8.089 ^a	140.1 ^a
Residue تیمار بقایا								
بدون بقایا (صفر) Without Residue (0%)	7.856 ^a	3.792 ^a	11.53 ^a	0.042 ^a	0.284 ^a	7.140 ^a	7.556 ^a	114.9 ^a
حفظ ۳۰ درصد بقایا Residue Retention of 30%	7.844 ^a	3.524 ^{ab}	11.58 ^a	0.041 ^a	0.281 ^a	7.128 ^a	7.644 ^a	120.4 ^a
حفظ ۶۰ درصد بقایا Residue Retention of 60%	7.867 ^a	3.180 ^b	11.77 ^a	0.040 ^a	0.273 ^a	6.833 ^a	6.311 ^a	126.7 ^a

میانگین‌های هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means followed by the same letters are not significantly different by DMRT at 5% probability level.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و کارایی مصرف و بهره‌وری عناصر غذایی جو تحت تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و میزان بقایا میانگین مربعات

Table 4- Results of analysis of variance of yield, nutrient use efficiency and nutrient productivity of barley under different tillage and residue treatments (mean of square)

Irrigation and Fertilizer Treatments (Mean of Squares)						کارایی مصرف نیتروژن	بهره‌وری زراعی نیتروژن	کارایی مصرف فسفر	بهره‌وری زراعی فسفر	کارایی مصرف پتاسیم	بهره‌وری زراعی پتاسیم
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	% عملکرد دانه		Ppm		NUE	NP	PUE	PP	KUE	KP
		Grain yield	نیتروژن (N)	فسفر (P)	پتاسیم (K)						
Replication تکرار	2	90600.259 ^{ns}	56.350*	81.560 ^{ns}	385.320 ^{ns}	5.571 ^{ns}	5.074 ^{ns}	10.825 ^{ns}	7.210 ^{ns}	8.958 ^{ns}	0.476 ^{ns}
Tillage خاک‌ورزی	2	455620.037 ^{ns}	10.078 ^{ns}	221.895 ^{ns}	8316.489 ^{ns}	28.557 ^{ns}	18.548 ^{ns}	53.883 ^{ns}	60.203 ^{ns}	45.458 ^{ns}	5.665*
error a خطا	4	312189.537	7.847	443.671	4858.750	19.099	13.216	36.774	16.813	31.403	1.226
Residue بقایا	2	130150.259 ^{ns}	0.158 ^{ns}	730.772 [*]	4077.970 ^{ns}	7.975 ^{ns}	5.581 ^{ns}	15.245 ^{ns}	42.453 ^{ns}	13.003 ^{ns}	0.991 ^{ns}
خاک‌ورزی × بقایا Tillage × Residue	4	104800.704 ^{ns}	14.624 ^{ns}	278.328 ^{ns}	2376.140 ^{ns}	6.380 ^{ns}	4.607 ^{ns}	12.586 ^{ns}	7.733 ^{ns}	10.404 ^{ns}	0.381 ^{ns}
error b خطا	12	206531.000	7.706	246.872	4280.206	12.551	8.557	24.513	18.211	20.674	1.096
ضریب تغییرات % Coefficient Variation (CV)	26	13.02	14.41	51.51	13.79	12.99	12.35	13.05	14.78	13.03	15.41

به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و **، * و ns

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

جدول ۵- اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر کارایی مصرف و بهره‌وری زراعی عناصر غذایی جو

Table 5- Effect of tillage treatments on nutrient use efficiency and nutrient productivity of barley

تیمار خاک‌ورزی Tillage	کارایی مصرف Nutrient use efficiency			بهره‌وری زراعی Nutrient productivity		
	N	P	K	N	P	K
خاک‌ورزی متداول Conventional Tillage (CT)	24.4 ^a	28.7 ^a	7.096 ^a	28.0 ^a	38.9 ^a	35.8 ^{ab}
کم‌خاک‌ورزی Reduced Tillage (RT)	22.0 ^a	26.4 ^a	5.863 ^a	25.2 ^a	32.2 ^a	32.3 ^b
بی‌خاک‌ورزی No Tillage (NT)	24.6 ^a	31.5 ^a	7.391 ^a	28.6 ^a	39.7 ^a	36.6 ^b

میانگین‌های هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different by DMRT at 5% probability level.

این وجود اختلافات عددی بین تیمارهای مورد بررسی مشاهده شد. تیمار خاک‌ورزی متداول با صفر درصد بقایا با مقدار ۲۶/۱ بیشترین مقدار بهره‌وری زراعی نیترژن و برهمکنش تیمار کم‌خاک‌ورزی با حفظ صفر درصد بقایا کمترین مقدار آن را نشان داد. همچنین بیشترین مقدار بهره‌وری زراعی پتاسیم و فسفر به ترتیب در تیمار برهمکنش بی‌خاک‌ورزی با صفر درصد بقایا و کمترین مقدار آن در برهمکنش تیمار کم‌خاک‌ورزی با ۶۰٪ بقایا بود (جدول ۷). همچنین نتایج نشان داد بیشترین میزان کارایی مصرف عناصر غذایی نیترژن، فسفر و پتاسیم از برهمکنش تیمار بی‌خاک‌ورزی با صفر درصد بقایا

بیشترین بهره‌وری زراعی نیترژن و پتاسیم از تیمار صفر درصد بقایا و بیشترین بهره‌وری زراعی فسفر در تیمار ۳۰٪ بقایا مشاهده گردید. در تیمار مدیریت بقایا بیشترین مقدار کارایی مصرف نیترژن، فسفر و پتاسیم در تیمار صفر درصد و کمترین مقدار آنها برای نیترژن و پتاسیم در تیمار ۶۰٪ بقایا مشاهده شد (جدول ۶). لازم به ذکر است استفاده یکسان از کودهای اوره، سولفات پتاسیم و فسفات آمونیوم باعث برابری کارایی مصرف نیترژن، فسفر و پتاسیم در تیمار خاک‌ورزی، حفظ بقایا و برهمکنش آن شد (جدول ۶). اگرچه مقایسات میانگین تفاوت غیر معنی‌داری را نشان دادند با

(Raun and Johnson, 1999) و ژائو و همکاران (Zhao et al., 2006) مطابقت دارد.

به دست آمد (جدول ۷). بدین ترتیب تغییر روش خاک‌ورزی از متداول به بی‌خاک‌ورزی موجب افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی جو شد که با نتایج زوو و ون (Zhu and Wen, 1992)، ران و جانسون

جدول ۶- اثر تیمارهای مدیریت بقایا بر کارایی مصرف و بهره‌وری زراعی عناصر غذایی جو

Table 6- Effect of residue treatments on nutrient use efficiency and nutrient productivity of barley

مدیریت بقایا Residue	Nutrient use efficiency مصرف کارایی			Nutrient productivity بهره‌وری زراعی		
	N	P	K	N	P	K
بدون بقایا (صفر) Without Residue (%0)	28.3 ^a	39.4 ^a	36.3 ^a	24.6 ^a	29.9 ^a	7.005 ^a
حفظ ۳۰ درصد بقایا Residue Retention of (30%)	26.9 ^a	37.5 ^a	34.5 ^a	23.5 ^a	30.4 ^a	6.946 ^a
حفظ ۶۰ درصد بقایا Residue Retention of (60%)	26.5 ^a	36.9 ^a	33.9 ^a	23.0 ^a	26.4 ^a	6.411 ^a

میانگین‌های هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means followed by the same letters are not significantly different by DMRT at 5% probability level.

جدول ۷- برهمکنش تیمارهای خاک‌ورزی و میزان بقایا بر کارایی مصرف و بهره‌وری زراعی عناصر غذایی جو

Table 7- Interaction effect between tillage and residue treatments on nutrient use efficiency and nutrient productivity of barley

اثر متقابل خاک‌ورزی در بقایا Tillage × Residue	Nutrient use efficiency مصرف کارایی			Nutrient productivity بهره‌وری زراعی		
	N	P	K	N	P	K
CTR ₁ (خاک‌ورزی متداول + بدون بقایا)	29.8a	41.4a	38.10 a	26.1a	29.0ab	7.179ab
CTR ₂ (خاک‌ورزی متداول + حفظ ۳۰٪ بقایا)	28.2a	39.3a	36.13a	24.8a	31.1ab	7.433ab
CTR ₃ (خاک‌ورزی متداول + حفظ ۶۰٪ بقایا)	25.1a	36.1a	33.20a	22.4a	26.1ab	6.676ab
RTR ₁ (کم‌خاک‌ورزی + بدون بقایا)	24.7a	34.4a	31.70a	21.8a	27.3ab	5.882ab
RTR ₂ (کم‌خاک‌ورزی + حفظ ۳۰٪ بقایا)	25.6a	35.6a	32.73a	22.1a	29.0ab	6.343ab
RTR ₃ (کم‌خاک‌ورزی + حفظ ۶۰٪ بقایا)	25.4a	35.4a	32.60a	22.1a	22.8b	5.454b
NTR ₁ (بی‌خاک‌ورزی + بدون بقایا)	30.5a	42.4a	38.97a	25.7a	33.3a	7.954a
NTR ₂ (بی‌خاک‌ورزی + حفظ ۳۰٪ بقایا)	27.1	37.7a	34.63a	23.4a	31.0ab	7.115ab
NTR ₃ (بی‌خاک‌ورزی + حفظ ۶۰٪ بقایا)	28.2a	39.2a	36.07a	24.6a	30.3ab	7.103ab
(LSD 5%) کمترین اختلاف معنی‌دار	5.8	8.8	8.09	5.2	7.6	1.862

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different by DMRT at 5% probability level.

CTR₁: Conventional Tillage + Without Residue, CTR₂: Conventional Tillage + Residue Retention of 30%, CTR₃: Conventional Tillage + Residue Retention of 60%, RTR₁: Reduced tillage + Without Residue, RTR₂: Reduced tillage + Retention of 30%, RTR₃: Reduced tillage + Retention of 60%, NTR₁: No tillage + Without Residue, NTR₂: No tillage + Residue Retention of 30%, NTR₃: No tillage + Residue Retention of 60%

کمترین آن از تیمار بی‌خاک‌ورزی به دست آمد (شکل ۱).

همچنین از نظر تأثیر مدیریت بقایای گیاهی بر تولید و تجمع ماده خشک جو مشخص گردید که در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک جو بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی در سطوح ۳۰ و صفر درصد بقایا به ترتیب با ۵۳۱ و ۵۰۸ گرم در مترمربع و کمترین آن از تیمار ۶۰ درصد بقایا با ۴۶۶ گرم بر مترمربع به دست آمد (شکل ۲).

وزن خشک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات وزن خشک نشان داد که اثر تیمارهای خاک‌ورزی و بقایا بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود (جدول ۸). بدین معنی که از فاصله زمانی بین مراحل نموی سنبله‌چ انتهای تا مرحله خمیری شدن دانه‌ها اختلافات آماری معنی‌داری بین تیمارهای خاک‌ورزی موجود نبود. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک بیشترین وزن خشک از تیمار خاک‌ورزی رایج و کم‌خاک‌ورزی و

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس صفات وزن خشک جو در مراحل مختلف نمو (میانگین مربعات)

Table 8- Analysis of variance of dry weight of barley in different development stages (mean of squares)

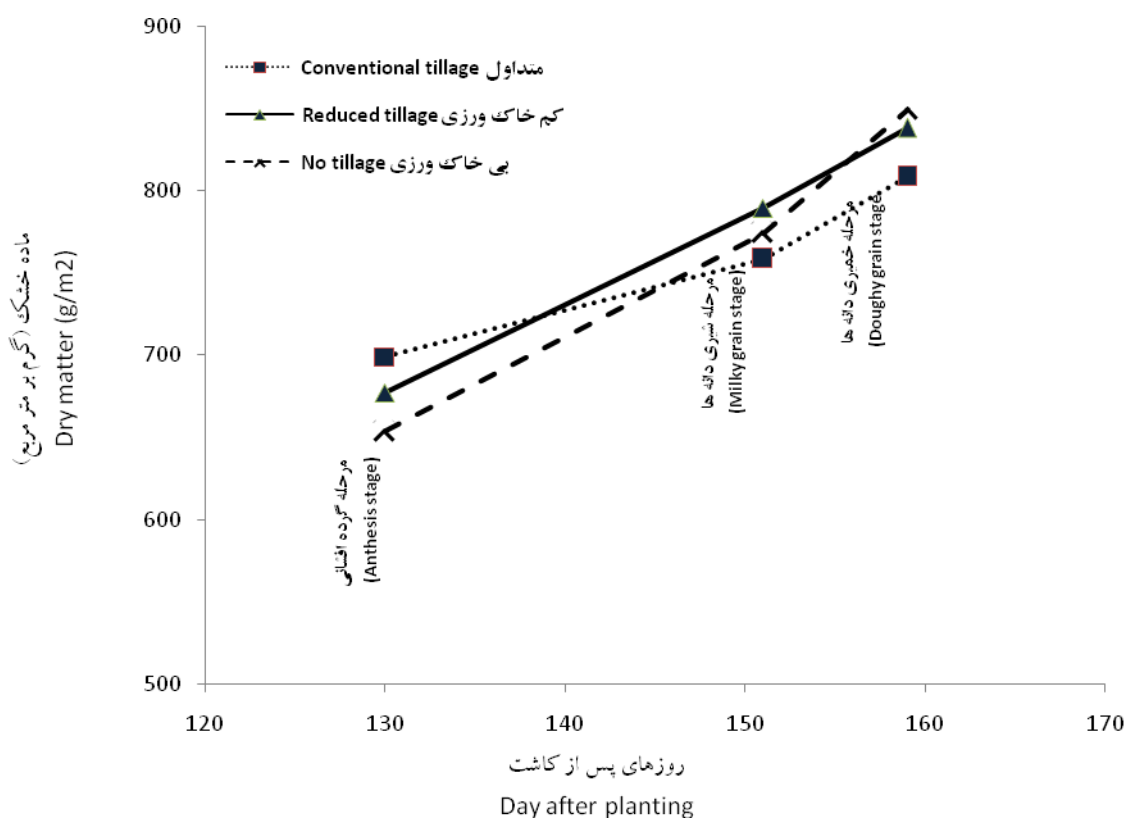
S.O.V	d.f	سنبلچه انتهایی Terminal spikelet	گرده افشانی Anthesis	مرحله خمیری دانه ها Dough stage grain
Replication تکرار	2	873.144 ^{ns}	11967.240 ^{ns}	1564.855 ^{ns}
Tillage خاک ورزی	2	154.761 ^{ns}	6617.284 ^{ns}	1008.552 ^{ns}
error a خطا	4	1730.584	10186.762	34050.926
Residue بقایا	2	2669.446 ^{ns}	7379.063 ^{ns}	9813.137 ^{ns}
خاک ورزی × بقایا Tillage × Residue	4	1178.059 ^{ns}	4699.438 ^{ns}	34722.812 ^{ns}
error b خطا	12	2152.966	7789.331	15174.038
ضریب تغییرات % Coefficient Variation (CV)		24.94	21.81	19.53

ns * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

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

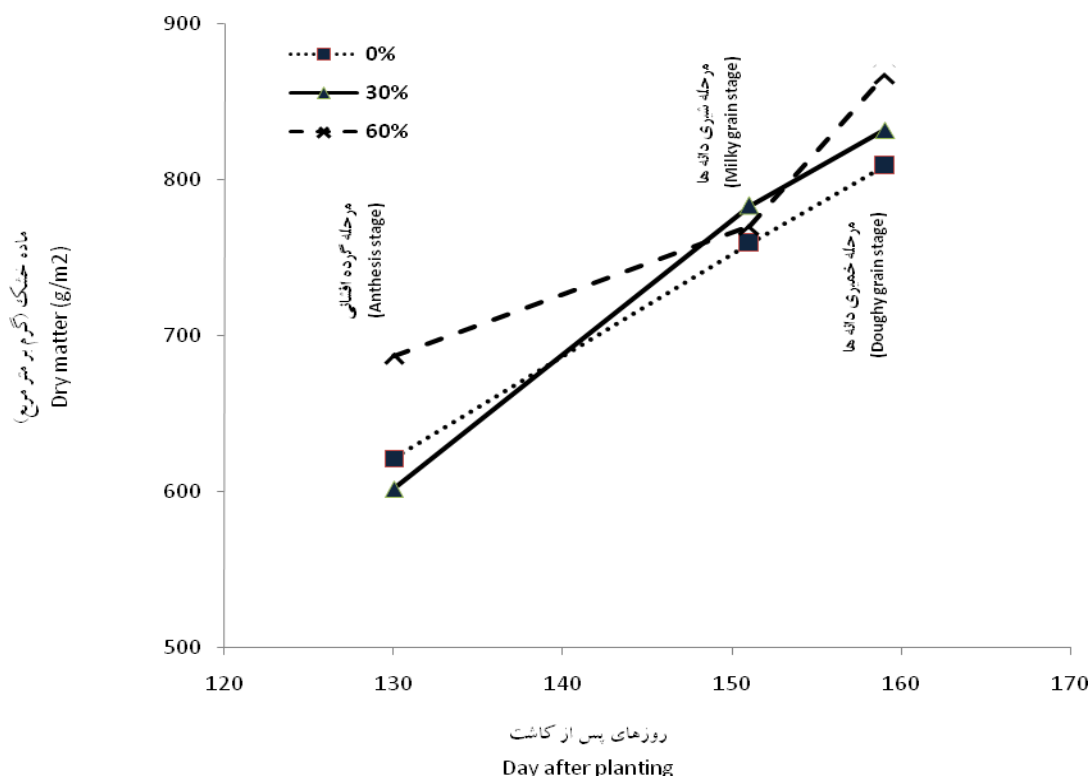
وزن خشک اندام های هوایی در مراحل نمو سنبلچه انتهایی، گرده افشانی، مرحله خمیری دانه ها

Shoot dry weight in the developmental stages of terminal spikelet, anthesis, dough stage grain



شکل ۱- اثر روش های مختلف خاک ورزی بر تولید و تجمع ماده خشک جو

Figure 1- Effect of different tillage methods on dry matter production and accumulation of barley



شکل ۲- اثر مقادیر مختلف بقایا بر تولید و تجمع ماده خشک جو
Figure 2- Effect of different rete of residue on dry matter production and accumulation of barely

کنترل علف‌های هرز عنوان نموده‌اند (Alijani *et al.*, 2010; Asadi and Hemat, 2002; Azadshahraki *et al.*, 2010). از طرف دیگر زیاو و همکاران (Ziyoun *et al.*, 2007) در آزمایش خود پی بردند که به کار بردن سیستم بدون عملیات خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی متداول طی یک دوره ۶ ساله منجر به افزایش عملکرد گندم شد. در تحقیقات انجام شده توسط مالکا و بلچارسزیک (Malecka and Blecharczyk, 2008) مشخص شد که عملکرد دانه جو در شرایط شخم حداقل و بدون شخم نسبت به شخم متداول به ترتیب ۷ و ۱۲ درصد کمتر بود. آزاد شهرکی و همکاران (Azadshahraki *et al.*, 2010) عنوان کردند که تیمار خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته و تأثیری بر اجزای عملکرد نداشتند، همچنین تیمار مدیریت بقایا تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای آن نداشتند.

نتایج آزمایش صفری و همکاران (Safari *et al.*, 2013) نشان داد، اثر بقایا در سطح ۵٪ و اثر روش‌های مختلف کاشت در سطح ۱٪ بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری داشت، در حالی که اثر خاک‌ورزی بر عملکرد تأثیر معنی‌دار نداشته و معمولاً اثر خاک‌ورزی بر رشد محصول از طریق تغییر در خصوصیات خاک حاصل می‌شود که این تغییر روند به‌آرامی صورت می‌پذیرد.

در مراحل ابتدایی نمو تیمار میزان بقایا در سطوح ۶۰ و ۳۰ درصد بقایا با اندکی اختلاف کمتر از سطح صفر درصد بقایا بود و از اواخر مرحله خمیری تا رسیدگی فیزیولوژیک با شیب تندی افزایش یافت. از این موضوع می‌توان چنین نتیجه گرفت که وجود بقایای گیاهی بر روی سطح خاک در حساس‌ترین مرحله نمو (دوره پرشدن دانه) احتمالاً موجب افزایش رطوبت خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک شده که نتیجه آن می‌تواند افزایش سطح فتوسنتزی و در نتیجه افزایش فتوسنتز باشد. کاوالاریس و جمتوس (Cavalaris and Gemtos, 2002) نیز وجود بقایا بر سطح خاک را مانعی برای رسیدن اشعه خورشید به سطح خاک دانستند که تبخیر آب را کاهش داده و در نتیجه سبب افزایش رطوبت ذخیره شده در خاک می‌شود.

عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای خاک‌ورزی و میزان بقایا بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت جو معنی‌دار نبود (جدول ۹). نتایج تحقیقات بسیاری از محققان نیز این نتایج را تأیید می‌نماید که حذف عملیات شخم و اعمال کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی و همچنین حفظ مقادیر مختلف بقایای گیاهی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گندم نداشته است زیرا فایده اصلی شخم را

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و خصوصیات زراعی جو تحت تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی (میانگین مربعات)
Table 9- Results of analysis of variance of yield and agronomic traits of barley under different tillage and rates of plant residue treatments (mean of squares)

میانگین مربعات (MS)								
وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبه	شاخص برداشت	عملکرد دانه	تعداد سنبه در متر مربع	ارتفاع بوته	عملکرد بیولوژیک	درجه آزادی	منابع تغییر S.O.V
1000-grain weight	Number of grains per spike	Harvest index (%)	Grain yield (g.m ⁻²)	Number of spikes per m ²	Plant height	Biologic yield	d.f	
4.351 ^{ns}	14.9 ^{ns}	14.1 ^{ns}	90600.3 ^{ns}	451.4 ^{ns}	6.7 ^{ns}	59314.5 ^{ns}	2	تکرار Replication
28.545*	67.4 ^{ns}	0.5 ^{ns}	455620.1 ^{ns}	1968.9 ^{ns}	10.8 ^{ns}	2569541.8 ^{ns}	2	خاک‌ورزی Tillage
6.393	47.0	8.8	312189.5	2039.7	17.9	1666881.1	4	خطا error a
1.478 ^{ns}	12.2 ^{ns}	82.9 ^{ns}	130150.3 ^{ns}	2483.4 ^{ns}	0.7 ^{ns}	913139.2 ^{ns}	2	بقایا Residue
20.684 ^{ns}	42.8*	24.4 ^{ns}	104800.7 ^{ns}	1468.4 ^{ns}	1.2 ^{ns}	1405483.6 ^{ns}	4	خاک‌ورزی × بقایا Tillage × Residue
9.863	11.1	35.2	206531.0	1365.9	16.3	809729.3	12	خطا error b
9.84	8.4	13.6	13.0	11.9	5.8	11.2		Coefficient of Variation (CV%)

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

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

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تیمارهای خاک‌ورزی و میزان بقایا تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشته است (جدول ۹). اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و میزان بقایا بر ارتفاع بوته نشان داد بیشترین ارتفاع بوته با (۶۷/۷۰ سانتی‌متر) از تیمار خاک‌ورزی متداول و بقایای صفر درصد و کمترین ارتفاع بوته با (۳۳/۶۷ سانتی‌متر) از تیمار بی‌خاک‌ورزی و بقایای صفر درصد به‌دست آمد (جدول ۱۳). در واقع میانگین ارتفاع بوته بین مقادیر مختلف بقایا در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. با اینکه بین تیمارهای خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری از این نظر وجود نداشت، ولی برهمکنش خاک‌ورزی و سال معنی‌دار بود. این امر نشان می‌دهد که تأثیر تغییر عملیات خاک‌ورزی در دراز مدت، قابل مشاهده و ارزیابی است. صفری و همکاران (Safari et al., 2013) گزارش نمودند که بیشترین ارتفاع بوته از تیمار خاک‌ورزی کاهش یافته و بقایای ۱۰۰ درصد و کمترین ارتفاع بوته در تیمار کم‌خاک‌ورزی و بقایای ۵۰ درصد به‌دست آمد.

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده و متقابل خاک‌ورزی و میزان بقایا بر صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین عملکرد دانه از تیمار بی‌خاک‌ورزی و کمترین آن از کم‌خاک‌ورزی به ترتیب با ۳۵۶۵ و ۳۲۳۴ کیلوگرم در

هکتار به‌دست آمد (جدول ۱۰). همچنین نتایج نشان داد با افزایش میزان بقایا از صفر به ۳۰ درصد عملکرد بیولوژیک به‌طور نسبی افزایش و در تیمار ۶۰ درصد بقایا کاهش یافت و بیشترین مقادیر آنها از تیمار حفظ ۳۰ درصد بقایا با ۸۳۸۹ و کمترین آن با ۷۷۸۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۱۱). همچنین بیشترین عملکرد بیولوژیک از برهمکنش تیمار بی‌خاک‌ورزی در حفظ ۶۰ درصد بقایا با ۹۱۲۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن از تیمار کم‌خاک‌ورزی در سطح صفر درصد بقایا به با ۶۷۶۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۱۲). از طرف دیگر بیشترین عملکرد دانه از برهمکنش تیمار بی‌خاک‌ورزی در سطح صفر درصد بقایا و کمترین آن از تیمار کم‌خاک‌ورزی در سطح صفر درصد بقایا به ترتیب با ۳۸۹۷ و ۳۱۶۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۱۲). بیشترین شاخص برداشت نیز از برهمکنش تیمار بی‌خاک‌ورزی در سطح صفر درصد بقایا (با شاخص ۴۹/۸ درصد) حاصل شد (جدول ۱۲).

کاوالاریس و جمتوس (Cavalariis and Gemtos, 2002) نیز وجود بقایا بر سطح خاک را مانعی برای رسیدن اشعه خورشید به خاک دانستند که تأخیر آب را کاهش داده و در نتیجه سبب افزایش رطوبت ذخیره شده در خاک می‌گردد و از این طریق می‌تواند بر افزایش قابلیت دسترسی گیاه به رطوبت خاک تأثیر مثبت داشته باشد. صفری و همکاران (Safari et al., 2013) بین بقایای ۹۰٪ و ۴۵٪ و سطح بدون بقایا اختلاف معنی‌داری به‌دست آوردند و نتایج آنها نشان داد که در تمام عمق‌ها بالاترین درصد رطوبت مربوط به تیمار با بقایای ۹۰

بقایا بر تعداد سنبله در متر مربع معنی‌دار نبود (جدول ۹). بیشترین تعداد سنبله در متر مربع از تیمار بی‌خاک‌ورزی (۳۲۳ سنبله) و کمترین آن (۲۹۴ سنبله) از تیمار کم‌خاک‌ورزی به‌دست آمد (جدول ۱۳). برهمکنش تیمارهای خاک‌ورزی و میزان بقایا بر تعداد سنبله در مترمربع نشان داد، که بیشترین تعداد سنبله در مترمربع (۳۶۶/۷) سنبله) از تیمار کم‌خاک‌ورزی با صفر درصد بقایا به‌دست آمد (جدول ۱۲).

درصد بود. این بقایا مانند سدی در سطح خاک عمل کرده و باعث کاهش رواناب شده و همچنین باعث افزایش نفوذ آب در خاک شده و در نتیجه باعث افزایش میانگین رطوبت وزنی خاک می‌شوند که با نتایج آلگر و همکاران (Ulger et al., 1993)، حیدری و جعفری (Heydari and Jafari, 2002) و عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2010) مطابقت دارد. از طرف دیگر نتایج نشان داد اثر تیمارهای خاک‌ورزی و میزان

جدول ۱۰- اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت جو
Table 10- Effect of tillage treatment on biological and grain yield and harvest index

تیمار خاک‌ورزی Tillage	عملکرد بیولوژیک Biological yield (ton.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت HI (%)
خاک‌ورزی متداول (Conventional Tillage)	8.234 ^a	3580 ^a	43.8 ^a
کم‌خاک‌ورزی (Reduced Tillage)	7.470 ^a	3234 ^a	43.7 ^a
بی‌خاک‌ورزی (No Tillage)	8.500 ^a	3656 ^a	43.3 ^a
(LSD 5%) کمترین اختلاف معنی‌دار	1.690	731.3	3.9

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level.

جدول ۱۱- اثر تیمارهای مدیریت بقایا بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت جو
Table 11- Effect of amount of residue treatment on biological and grain yield and harvest index

میزان بقایا Amount of Residue	عملکرد بیولوژیک Biological yield (ton.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت HI (%)
بدون بقایا (0%) (Without Residue)	7.752 ^a	3625 ^a	47.0 ^a
حفظ ۳۰ درصد بقایا ۳۰% (Residue Retention of 30%)	8.389 ^a	3450 ^a	41.3 ^a
حفظ ۶۰ درصد بقایا ۶۰% (Residue Retention of 60%)	8063 ^a	3395 ^a	42.5 ^a
(LSD 5%) کمترین اختلاف معنی‌دار	0.924	466.8	6.1

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level.

جدول ۱۲- برهمکنش تیمارهای خاک‌ورزی و میزان بقایا بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت جو
Table 12- Interaction effect between tillage and amount of residue treatment on biological yield, grain yield and harvest index

اثر متقابل تیمار خاک‌ورزی و بقایا Tillage * Residue	عملکرد بیولوژیک Biological yield (ton.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest Index (%)
خاک‌ورزی متداول + بدون بقایا (CTR ₁)	8.611 ^a	3811 ^a	44.2 ^a
خاک‌ورزی متداول + حفظ ۳۰% بقایا (CTR ₂)	8.611 ^a	3611 ^a	41.9 ^a
خاک‌ورزی متداول + حفظ ۶۰% بقایا (CTR ₃)	7.478 ^{ab}	3319 ^a	45.1 ^a
کم‌خاک‌ورزی + بدون بقایا (RTR ₁)	6.767 ^b	3168 ^a	47.1 ^a
کم‌خاک‌ورزی + حفظ ۳۰% بقایا (RTR ₂)	8.056 ^{ab}	3276 ^a	41.1 ^a
کم‌خاک‌ورزی + حفظ ۶۰% بقایا (RTR ₃)	7.589 ^{ab}	3258 ^a	42.9 ^a
بی‌خاک‌ورزی + بدون بقایا (NTR ₁)	7.878 ^{ab}	3897 ^a	49.8 ^a
بی‌خاک‌ورزی + حفظ ۳۰% بقایا (NTR ₂)	8.500 ^{ab}	3464 ^a	40.8 ^a
بی‌خاک‌ورزی + حفظ ۶۰% بقایا (NTR ₃)	9.122 ^a	3608 ^a	39.4 ^a
(LSD 5%) کمترین اختلاف معنی‌دار	1.602	808.5	10.56

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level.

CTR₁: Conventional Tillage + Without Residue, CTR₂: Conventional Tillage + Residue Retention of 30%, CTR₃: Conventional Tillage + Residue Retention of 60%, RTR₁: Reduced tillage + Without Residue, RTR₂: Reduced tillage + Retention of 30%, RTR₃: Reduced tillage + Retention of 60%, NTR₁: No tillage + Without Residue, NTR₂: No tillage + Residue Retention of 30%, NTR₃: No tillage + Residue Retention of 60%

جدول ۱۳- اثر ساده و برهمکنش تیمارهای خاک‌ورزی و میزان بقایا بر صفات زراعی و اجزای عملکرد دانه

Table 13- Simple and interaction effect of tillage and amount of residue treatment on agronomic traits and grain yield components

تیمار خاک‌ورزی Tillage	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد سنبله در متر مربع No. of spike/ square meter	تعداد دانه در سنبله No. of grain / spike	وزن دانه در سنبله Grain weight / spike (g)	وزن هزاردانه 1000-grain weight (g)
خاک‌ورزی متداول Conventional Tillage (CT)	70.3 ^a	313.9 ^a	42.7 ^a	1.286 ^a	29.9 ^b
کم‌خاک‌ورزی Reduced Tillage (RT)	68.6 ^a	294.3 ^a	38.0 ^a	1.229 ^a	32.3 ^a
بی‌خاک‌ورزی No Tillage (NT)	68.3 ^a	323.3 ^a	37.9 ^a	1.272 ^a	33.5 ^a
(LSD 5%) کمترین اختلاف معنی‌دار	5.5	59.1	8.9	0.349	3.8
تیمار بقایا Residue	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد سنبله در متر مربع No. of spike/ square meter	تعداد دانه در سنبله No. of grain / spike	وزن دانه در سنبله Grain weight / spike (g)	وزن هزاردانه Thousands grain weight (g)
بدون بقایا (صفر) Without Residue (0%)	68.8 ^a	328.9 ^a	39.8 ^a	1.263 ^a	31.6 ^a
حفظ ۳۰ درصد بقایا Residue Retention of 30%	69.3 ^a	306.1 ^a	38.3 ^a	1.236 ^a	32.4 ^a
حفظ ۶۰ درصد بقایا Residue Retention of 60%	69.1 ^a	296.6 ^a	40.6 ^a	1.287 ^a	31.8 ^a
(LSD 5%) کمترین اختلاف معنی‌دار	4.1	37.9	3.4	0.184	1.2
اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایا Tillage × Residue	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد سنبله در متر مربع No. of spike/ square meter	تعداد دانه در سنبله No. of grain / spike	وزن دانه در سنبله Grain weight / spike (g)	وزن هزاردانه Thousands grain weight (g)
(CTR ₁) خاک‌ورزی متداول + بدون بقایا	70.6 ^a	325.0 ^{ab}	43.8 ^a	1.411 ^{ab}	31.9 ^{ab}
(CTR ₂) خاک‌ورزی متداول + حفظ ۳۰٪ بقایا	70.0 ^a	314.3 ^{ab}	43.5 ^a	1.354 ^{ab}	31.1 ^{ab}
(CTR ₃) خاک‌ورزی متداول + حفظ ۶۰٪ بقایا	70.3 ^a	302.3 ^{ab}	40.9 ^{ab}	1.093 ^b	26.9 ^b
(RTR ₁) کم‌خاک‌ورزی + بدون بقایا	68.3 ^a	295.0 ^{ab}	40.5 ^{ab}	1.267 ^{ab}	31.2 ^{ab}
(RTR ₂) کم‌خاک‌ورزی + حفظ ۳۰٪ بقایا	69.0 ^a	309.0 ^{ab}	36.6 ^b	1.136 ^{ab}	31.1 ^{ab}
(RTR ₃) کم‌خاک‌ورزی + حفظ ۶۰٪ بقایا	68.3 ^a	279.0 ^b	37.1 ^b	1.283 ^{ab}	34.6 ^a
(NTR ₁) بی‌خاک‌ورزی + بدون بقایا	67.3 ^a	366.7 ^a	35.2 ^b	1.112 ^b	31.6 ^{ab}
(NTR ₂) بی‌خاک‌ورزی + حفظ ۳۰٪ بقایا	69.0 ^a	295.0 ^{ab}	34.9 ^b	1.218 ^{ab}	34.9 ^a
(NTR ₃) بی‌خاک‌ورزی + حفظ ۶۰٪ بقایا	68.7 ^a	308.3 ^{ab}	43.8 ^a	1.486 ^a	33.9 ^a
(LSD 5%) کمترین اختلاف معنی‌دار	7.2	65.8	5.9	0.318	5.6

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level.

CTR₁: Conventional Tillage + Without Residue, CTR₂: Conventional Tillage + Residue Retention of 30%, CTR₃: Conventional Tillage + Residue Retention of 60%, RTR₁: Reduced tillage + Without Residue, RTR₂: Reduced tillage + Retention of 30%, RTR₃: Reduced tillage + Retention of 60%, NTR₁: No tillage + Without Residue, NTR₂: No tillage + Residue Retention of 30%, NTR₃: No tillage + Residue Retention of 60%

برهمکنش تیمارهای خاک‌ورزی متداول با صفر درصد و بی‌خاک‌ورزی با ۶۰ درصد بقایا و وزن هزاردانه (۳۴/۹۳ گرم) از بی‌خاک‌ورزی با ۳۰ درصد بقایا و کمترین آن (۲۶/۹۰ گرم) از خاک‌ورزی متداول با ۶۰ درصد بقایا به‌دست آمد (جدول ۱۲). علیجانی و همکاران (Alijani et al., 2010) در رابطه با بررسی

به‌علاوه نتایج نشان داد بین تیمارهای خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی تفاوت آماری معنی‌داری از نظر وزن دانه در سنبله وجود نداشت، ولی برهمکنش خاک‌ورزی و مدیریت بقایا بر تعداد دانه در سنبله و همچنین اثر خاک‌ورزی بر وزن هزاردانه در سطح ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۸). بیشترین تعداد دانه در سنبله (۴۳/۸۰) از

مقدار کارآیی زراعی نیتروژن را نشان داد. اثر تیمارهای خاک‌ورزی و میزان بقایا بر عملکرد بیولوژیک، دانه و شاخص برداشت معنی‌دار نبود. بیشترین عملکرد بیولوژیک از تیمار بی‌خاک‌ورزی با ۸۵۰۰ و کمترین آن از کم‌خاک‌ورزی با ۷۴۷۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیک (۸۳۹۸ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ۳۰٪ بقایا و بیشترین عملکرد دانه (۵۲۲۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار صفر درصد بقایا حاصل شد. بیشترین عملکرد بیولوژیک از برهمکنش تیمار بی‌خاک‌ورزی با حفظ ۶۰٪ بقایا با ۹۱۲۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. از طرف دیگر بیشترین عملکرد دانه از برهمکنش تیمار بی‌خاک‌ورزی در سطح صفر درصد بقایا با عملکرد ۳۸۹۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. نهایتاً بیشترین شاخص برداشت از برهمکنش تیمار بی‌خاک‌ورزی در سطح صفر درصد بقایا با ۴۹/۸ درصد حاصل شد. بنابراین با عنایت به نتایج این تحقیق تغییر روش خاک‌ورزی از متداول به کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی و حفظ بقایای گیاهی بر روی سطح خاک علاوه بر افزایش نسبی عملکرد موجب شد برخی از عناصر غذایی از جمله فسفر و پتاسیم افزایش یابد و موجب افزایش کارآیی مصرف آنها نیز شد. هرچند به‌عنوان دستورالعمل فنی و توصیه به کشاورزان نمی‌توان به نتایج کوتاه مدت این تحقیق اکتفا نمود و تداوم این گونه تحقیقات لازم است.

تأثیر روش‌های خاک‌ورزی (متداول و کاهش‌یافته) و مقادیر بقایای گیاهی ذرت دانه‌ای (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم به این نتیجه رسیدند که روش‌های خاک‌ورزی بر تعداد سنبله در مترمربع و بقایای گیاهی بر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه اثر معنی‌داری داشت. حداکثر عملکرد دانه از تیمار خاک‌ورزی کاهش یافته و تیمار بدون بقایا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد بقایا نشان نداد و این موضوع خود تأییدی بر لزوم نگهداری بقایا در مزرعه جهت استفاده از منافع فراوان آن است. نتایج پژوهش امام و همکاران (Emam et al., 2002)، اسدی و همت (Asadi and Hemat, 2002) و باراکو و همکاران (Barraco et al., 2007) نیز همین نتایج را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد بیشترین میزان پتاسیم خاک از تیمار بی‌خاک‌ورزی به‌دست آمد و تحت تأثیر این تیمار میزان pH و EC خاک نیز کاهش یافت. همچنین افزایش میزان بقایای گیاهی تأثیر مثبتی بر کاهش EC خاک و افزایش میزان فسفر و پتاسیم خاک داشت. از طرف دیگر کارآیی مصرف عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در تیمار بی‌خاک‌ورزی بیشتر از دیگر تیمارهای خاک‌ورزی بود و برهمکنش تیمار بی‌خاک‌ورزی با صفر درصد بقایا بیشترین

References

- Abbasi, F., Asoodar, A., and Sadatfar, M. 2010. Effect stem crusher and types of tillage on soil physical properties after harvest. *Journal of Agricultural Engineering, Soil Science and Agricultural Machinery*, Chamran University Press 33 (2): 25-38. Ahvaz Iran (in Persian).
- Alijani, K. H., Bahrani, M. H., and Kazemeini, A. R. 2010. Effects of tillage methods and rates of corn residues on winter wheat yield and yield components and soil organic carbon and nitrogen in relay cropping. Pp. 2. In: *Proceedings of 11th Iranian Crop Science Congress*. Tehran, Iran. (in Persian).
- All-Issa, T. A., and Samarah, N. H. 2007. The effect of tillage practices on barley production under rainfed conditions in Jordan. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 2 (1): 75-79.
- Asadi, A., and Hemat, A. 2002. Effect of tillage on yield management barley residue standing maize. *Proceedings of Second National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*. Tehran, Iran. (in Persian).
- Azadshahraki, F., Naghavi, H., and Najafinejad, H. 2010. Effect of tillage method and wheat residual management on some soil properties and grain corn yield in Kerman, Iran. *Agroecology Journal* 6 (2): 1-9.
- Barraco, M., Díaz-Zorita, M., and Duarte, G. 2007. Corn and soybean residue covers effects on wheat productivity under no-tillage practices. In *Wheat Production in Stressed Environment*. Buck, H.T., Nisi, J. E., and Salomón, N. (ed.), Springer Publisher, Netherlands p. 209-216.
- Bauer, A., and Black, A. L. 1981. Soil carbon, nitrogen and bulk density comparison in two crop land tillage systems after 25 years and in virgin grassland. *American Journal of Soil Science and Society* 45: 1160-1170.
- Cavalaris, C. K., and Gemtos, T. A. 2002. Evaluation of four conservation tillage methods in the sugarbeet crop. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development Manuscript*, LW 01 008, 6: 1-24.
- Daneshvaran, Z., Esfahani, M., Payman, M., Rabiei, M., and Samiezadeh, H. 2009. Effect of seedbed preparation methods on grain yield, yield components and some growth indices of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop in paddy fields. *Journal of Crop Production and Processing*, Isfahan University of Technology, Iran. 12 (46):189-202. (in Persian with English abstract).
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency-measurement and management. In *Fertilizer Best Management*

- Practices. Proceedings of IFA International Workshop, 7-9 March 2007. Brussels, Belgium. p. 1-28.
11. Emam, Y., Kherdnam, M., Bahrani, M., Asad, M., and Ghadiri, H. 2000. The Effects of residue management on the grain yield and its components of winter wheat in continuous irrigated wheat cropping. *Iranian Journal of Agriculture Science* 31 (4): 839-850. (in Persian with English abstract).
 12. FAO. 2002. Fertilizer use by crop. 5th ed. International Fertilizer Industry Association (IFA), International Fertilizer Development Centre (IFDC), International Potash Institute (IPI), Potash and Phosphate Institute (PPI), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
 13. Heenan, D. P., Mcghie, W. J., and Thomson, F. M. 1995. Decline in soil organic carbon and total nitrogen in relation to tillage, stubble management and rotation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34 (7): 877-884.
 14. Hejazi, A., Bahrani, M. J., and Kazemini, S. A. 2010. Yield and yield components of irrigated rapeseed- wheat rotation as influenced by crop residues and nitrogen levels in a reduced tillage method. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Soil* 8 (5): 502-507.
 15. Heydari, A., and Jafari, A. 2002. Effect of maize residue management and tillage depth on wheat yield. Proceedings of Second National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Tehran, Iran. (in Persian).
 16. Lopez, M. V., Arrue, J. L., Fuentes, J. A., and Moret, D. 2005. Dynamics of surface barley residues during fallow as affected by tillage and decomposition in semiarid Aragon (NE Spain). *European Journal of Agronomy* 23: 26-36.
 17. Madejon, E., Murillo, J. M., Moreno, F., Lopez, M. V., Arrue, J. L., Alvaro-Fuentes, J., and Cantero, C. 2009. Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil and Tillage Research* 105 (1): 55-62.
 18. Malecka, I., and Blecharczyk, A. 2008. Effect of tillage systems: Mulches and nitrogen fertilization on spring barely (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomy Research* 6 (2): 517-529.
 19. Moll, R. H., Kamprath, E. J., and Jackson, W. A. 1982. Analysis and interpretation of is factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74: 562-564.
 20. Montgomery, D. R. 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *National Academy of Sciences of the USA* 104: 13268-13272.
 21. Najafinezhad, A., Javaheri, M. A., Gheibi, M., and Rostamia, M. A. 2007. Influence of tillage practices on the grain yield of maize and some soil properties in maize-wheat cropping system of Iran. *Journal of Agriculture and Social Science* 3 (3): 1813-2235.
 22. Novoa, R., and Loomis, R. S. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* 58: 177-204.
 23. Raun, W. R., and Johnson, G. V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal* 91: 357-363.
 24. Safari, A., Asoudar, M. A., Ghasemi, M., Ghaseminejad, M., and Ebdali Mashadi, A. 2013. Effect of residue management, different conservation tillage and seeding on soil physical properties and wheat grain yield. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 23 (2): 49-59.
 25. Simmons, B. L., and Coleman, D. C. 2008. Microbial community response to transition from conventional to conservation tillage in cotton fields. *Applied Soil Ecology* 40: 518-528.
 26. Sohrabi, S. S., Fateh, A., Ayneband, A., and Rahnama, A. 2014. Assessment of nitrogen efficiency indices and variation in nutrients uptake of wheat influenced by crop residue management and different nitrogen fertilizer sources. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 24 (3): 17-33. Tabriz, Iran. (in Persian with English abstract).
 27. Ulger, P., Arin, S., and Kayioglu, B. 1993. Effect of different tillage methods on sunflower and some soil properties and energy consumption of these tillage methods. *The American Marketing Association* 24 (3): 59-62.
 28. Xiang, Y., Ji-yun, J., Ping, H., and Ming-zao, L. 2008. Recent advances on the technologies to increase fertilizer use efficiency. *Agriculture Science in China* 7: 469-479.
 29. Zhao, R. F., Chen, X. P., Zhang, F. S., Zhang, H., Schroder, J., and Romheld, V. 2006. Fertilization and nitrogen balance in a wheat-maize rotation system in North China. *Agronomy Journal* 98: 935-945.
 30. Zhu, Z. L., and Wen, Q. X. 1992. Soil nitrogen in China. Jiangsu Science and Technology Press, Jiangsu. Pp. 228-231.
 31. Ziyoun, S. U. A., Zhang, J., Wu, W., Cai, D., Jiang, G., Huan, J., Gao, J., Hartmann, R., and Gabriels, D. 2007. Effects of conservation tillage practices on winter wheat water use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management* 87: 307-314.



Study of Soil Characteristics, Yield and Yield Components of Barley (*Hordeum vulgare* L.) under Different Tillage Methods and the Rate of Crop Residues

H. R. Komeili¹- M. Ghodsi^{2*}- P. Rezvani Moghaddam³- M. Nassiri Mahallati³- M. R. Jalal Kamali⁴

Received: 24-04-2016

Accepted: 30-12-2017

Introduction

The study carried out to measure the impact of different tillage methods and the rate of crop residue on soil characteristics, yield and yield components of barley. Excessive traditional tillage and residue removal practices caused to soil erosion and physical, chemical and biological degradation. As a result, improved or new varieties of crops (such as barley) as well as the use of other inputs are not able to deliver their potential contribution. Recently, many concerned farmers have begun to adopt and adapt improved crop management practices that lead towards the ultimate vision of sustainable farming. The term Conservation Agriculture (CA) removes the emphasis from the tillage component and addresses an enhanced concept of the complete agricultural system; it involves major changes in many aspects of the farm cropping operation. Normally starting CA with reduced or zero tillage, it progresses to the retention of adequate levels of crop residue on the soil surface, then to appropriate crop/cultivar selection and rotations.

Materials and Methods

This experiment using a split-plot design based on randomized complete block with 3 replications was conducted at agricultural research station of Gonabad during 2012-13 growing seasons. Main factor was 3 tillage methods (conventional tillage (CT), reduced tillage (RT) and no tillage (NT)) allocated to main plots and 3 residue management (Zero (R0), 30% (R1) and 60% (R2) of residue retention) were assigned in sub plots.

Results and Discussion

Results showed that the highest level of potassium (K) was obtained from (NT) treatment and under this treatment the amounts of pH and EC were decreased. In addition, under residue management treatments the amounts of EC was decreased and the amounts of phosphorus (P) and K were increased. Furthermore, the nutrition use efficiency (NUE) of nitrogen (N), P and K, were higher in NT treatment in comparison with the other tillage treatments. Interaction effects of NT with 0% of residue (R0) had higher level of agronomic efficiency of nitrogen. On the other hand, different tillage methods and the rate of residue management had no significant effects on biological yield (BY), grain yield (GY), and harvest index (HI). The highest and the lowest level of BY were obtained from NT (8500 kg. ha⁻¹) and RT (with 7470 kg. ha⁻¹) treatments, respectively. The highest amount of BY (8398 kg. ha⁻¹) were obtained from retention of 30% residue (R1) and the highest amount of GY (5224 kg. ha⁻¹) from R0 treatment. The highest BY (9122 kg. ha⁻¹) were obtained from NT + retention of 60% residue treatment (R2). The highest of GY (3897 kg. ha⁻¹) and harvest index (HI) were related to NT + R0

1- Post graduate (PhD) of International Campus, Faculty of Agriculture, Ferdwosi University of Mashhad

2- Associate Professor of Agronomic-Horticulture Science Research Division, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agriculture Research, Education and Extinction Organization (AREEO)

3- Professor of Faculty of Agriculture, Ferdwosi University of Mashhad

4- Principal Scientist, Wheat Breeder, CIMMYT branch center in Iran

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

treatments. Finally, change in tillage method from conventional to conservation (no tillage) had no significant effects on yield and yield components of barley. Moreover, increasing of crop residue had positive effect on increasing amount of P and K and decreasing of soil EC.

Key words: Conservation agriculture, Efficiency, No tillage, Reduced tillage, Yield



مقایسه عملکرد سه رقم تاج خروس علوفه‌ای (*Amaranthus hypochondriacus* L.) در مراحل مختلف برداشت

عبدالامیر راهنما^{۱*} - امیر رضا صفایی^۲ - مرتضی رضایی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۶

چکیده

تاج خروس یکی از گیاهان بومی آفریقا است که علاوه بر تحمل نسبی به شرایط خشکی، پتانسیل بالایی در تولید علوفه دارد. این آزمایش با سه رقم تجاری اصلاح شده تاج خروس شامل ارقام Cim, Loura و Kharkovski و دو زمان برداشت شروع و پایان گلدهی به صورت آزمایش فاکتوریل کرت‌های یک بار خرد شده در زمان در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا گردید. نتایج نشان داد، بین ارقام مورد آزمایش از نظر مجموع عملکرد علوفه تازه و خشک تفاوت معنی‌دار وجود داشت ولی بین زمان‌های برداشت و اثرات متقابل اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد رقم Loura با ارتفاع ۱۶۱/۰ سانتی‌متر بیش‌ترین ارتفاع بوته در چین اول و دو رقم Cim و Kharkovski به ترتیب با ۱۵۵/۱ و ۱۴۶/۹ سانتی‌متر ارتفاع بوته در چین اول در رده‌های بعدی قرار گرفتند. بیش‌ترین قطر ساقه معادل ۲۰/۶ میلی‌متر در کلاس a و رقم Kharkovski تولید و دو رقم دیگر با متوسط ۱۶/۹ و ۱۶/۸ میلی‌متر قطر ساقه در کلاس b قرار گرفتند. از بین ارقام مورد بررسی رقم Loura با مجموع عملکرد ۹۰/۳۰ تن در هکتار علوفه تازه و ۱۳/۰۵ تن در هکتار علوفه خشک طی دو چین نسبت به دو رقم دیگر برتر بود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد علوفه، گیاهان جدید، مقایسه ارقام

مقدمه

طی دهه‌های اخیر مباحث جدیدی در زراعت، تحت عنوان کشت و بهره‌وری از گیاهان زراعی جدید مطرح شده که شامل ارزیابی گیاهانی است که جدیداً به صورت زراعی درآمده یا پس از مدتی فراموشی به دلایل خاص مانند مصرف کم آب، مقاومت به شرایط نامساعد محیطی و پایداری تولید، مجدداً مورد توجه قرار گرفته است (Johnson and Henderson, 2002; Moshaver et al., 2016; Palada and Chang, 2003; Teutonico and Knorr, 1985; Tucker, 1986). تاج خروس (*Amaranthus*) گیاهی شبه غله از خانواده آمارانثاسه (*Amaranthaceae*)، پربافت، علفی، با رشد سریع

بوده و اغلب به صورت علف هرز می‌روید. این جنس حدود ۶۰ گونه را شامل می‌شود که تاکنون تعداد محدودی از آن‌ها اهلی شده و به صورت زراعی کشت می‌شوند. گیاه تاج خروس دارای ارقام علوفه‌ای، دانه‌ای و خوراکی است در عین حال برخی ارقام دو منظوره بوده و به صورت دانه‌ای و یا علوفه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gimplinger et al., 2007; Myers, 1996). گونه *A. cruentus* *Amaranthus hypochondriacus* و *A. caudatus* به عنوان گیاه علوفه‌ای و تولید بذر در برخی مناطق دنیا کشت می‌شوند، این گونه‌ها در قرن‌های دور در آمریکای مرکزی به عنوان یک منبع غذایی برای دام و همچنین بذر آن مانند یک بذر غله مورد استفاده قرار می‌گرفته است، از بین سه گونه ذکر شده دو گونه *A. caudatus* و *A. cruentus* در ایران موجود بوده و به عنوان تاج خروس زینتی مورد استفاده قرار می‌گیرند با وجودی که گونه‌های فوق‌الذکر از مکزیک و گواتمالا به سایر مناطق برده شده‌اند ولی این گونه‌ها در لیست علف‌های هرز مشکل‌ساز و مهاجم سایر مناطق گزارش نشده‌اند. گیاه تاج خروس با توجه به خصوصیات بارز مانند مقاومت به گرما و خشکی، زودرسی و پتانسیل بالای تولید دانه و علوفه یکی از گیاهانی است که از سال‌ها قبل مورد توجه قرار گرفته

۱- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- استادیار، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- استادیار، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(*)- نویسنده مسئول

(Email: abam_rah@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v16i3.64931

تحقیقات اصلاح تهیه و نهال بذر واقع در شهرک نهال و بذر در ۳ کیلومتری اتوبان تهران کرج در حد فاصله ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا اجرا گردید. آب و هوای منطقه مورد آزمایش مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نسبتاً سرد می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه این منطقه معادل ۲۷۵ میلی‌متر، میانگین سالیانه رطوبت نسبی ۵۲٪، میانگین حداکثر و حداقل آن به ترتیب ۷۲ و ۳۸٪ و مجموع تبخیر سالانه معادل ۷۹۲ میلی‌متر می‌باشد. میانگین سالیانه درجه حرارت معادل ۱۴ درجه سانتی‌گراد، متوسط حداقل و حداکثر درجه حرارت به ترتیب معادل ۱/۰- و ۲۵/۴+ درجه سانتی‌گراد، حداقل و حداکثر مطلق دما به ترتیب ۲۰- و ۴۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج تجزیه خاک در عمق فعال ریشه (۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک) نشان داد بافت خاک مزرعه آزمایشی کلی لوم، دارای واکنش قلیایی ۸/۲، هدایت الکتریکی ۱/۶۱ و از نظر ماده آلی ضعیف می‌باشد. میزان اسیدیته آب آبیاری مزرعه معادل ۷/۸ و هدایت الکتریکی ۴۹۰ تا ۶۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر و از نوع بی‌کربناته بود.

این آزمایش با سه رقم جدید و اصلاح شده تاج‌خروس علوفه‌ای از گونه *Amaranthus hypochondriacus* با منشأ روس با اسامی تجاری Cim, Loura و Kharkovski و دو زمان برداشت شروع و پایان گلدهی طی دو چین به روش فاکتوریل، کرت‌های یک‌بار خرد شده در زمان در قالب طرح پایه آماری بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. هر تیمار در کرتی شامل شش خط به طول شش متر و با فاصله ۶۰ سانتی‌متر بین خطوط کشت گردید، به این منظور در اوایل بهار سال ۱۳۹۵ اقدام به شخم، دیسک و تسطیح گردید. عملیات کودپاشی بر مبنای آزمون خاک و بر اساس ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره به ترتیب در هنگام کاشت و هنگام رشد سریع ساقه، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات و ۱۰۰ کیلوگرم پتاس از منبع سولفات پتاسیم در هنگام کاشت استفاده گردید. پس از کودپاشی اقدام به ایجاد جوی پشته با فاروئر به فاصله ۶۰ سانتی‌متر گردید. عملیات کاشت با دستگاه خطی کار دستی با کاربرد تقریبی ۱/۵ کیلوگرم بذر در هکتار بر اساس ۳ سانتی‌متر فاصله بین بذور انجام و با توجه به شرایط مزرعه پس از سبز شدن بر اساس ده سانتی‌متر بین بوته‌ها با تراکم در حدود ۱۷۰۰۰ بوته در هکتار تنظیم شد. آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت، آبیاری دوم با فاصله چهار روز پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به نیاز به گونه‌ای که هیچ تنش کم آبی به گیاه وارد نشود با فاصله هفت تا ۱۰ روز یک بار انجام شد. پس از کاشت و علی‌رغم مشاهده خسارت برخی آفات برگ‌خوار و ساقه‌خوار ولی هیچ مبارزه شیمیایی انجام نشد زیرا میزان خسارت ناچیز، رشد گیاه بسیار سریع و تعلیف دام با علوفه تازه وجود دارد. در این آزمایش دفع علف‌های هرز

است (Henderson et al., 2000)، برگ‌های تاج‌خروس حاوی مقادیر قابل قبولی از پروتئین، ویتامین و عناصر معدنی، فیبر و چربی غیر اشباع می‌باشد لذا به‌عنوان یک گیاه امیدبخش برای کشت در نواحی گرم و خشک قابل توصیه می‌باشد (Chong, 1996; Grubben, 2004; Olaniyi, 2007; Reta Alemayehu et al., 2014). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که ارزش غذایی علوفه تاج‌خروس به‌عنوان خوراک نشخوارکنندگان برابر و یا بهتر از علوفه‌های رایجی مانند یونجه است (Rezaei et al., 2009). در آزمایشی ارزش غذایی ۵ گونه مختلف تاج‌خروس، علف چمنی، لوبیا چشم‌بلبلی و ذرت در سه مرحله برداشت ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ روز پس از کاشت مقایسه و گزارش گردید که متوسط درصد ماده خشک تاج‌خروس با افزایش فاصله زمانی کاشت تا برداشت به ترتیب از ۷/۴ به ۱۷/۸٪ افزایش یافت این دامنه برای علوفه چمنی ۱۴/۸، لوبیا چشم‌بلبلی ۱۳/۴ تا ۱۹ و ذرت ۱۳/۲ تا ۱۸/۳ درصد بود. در هر سه مرحله برداشت درصد پروتئین تاج‌خروس بیش‌تر از سه گیاه دیگر بود. میزان پروتئین علوفه تاج‌خروس در فاصله زمانی ۵۰ و ۸۰ روز پس از برداشت بین ۱/۵ تا ۲ برابر بیش‌تر از پروتئین علوفه چمنی بود. میزان پروتئین با افزایش فاصله زمانی کاشت تا برداشت کاهش یافت. میزان فیبر خام تاج‌خروس معادل ۹/۴ تا ۳/۶ و برای سایر گونه‌ها به ترتیب معادل ۲۸ تا ۳۶/۶، ۲۱/۸ تا ۳۳/۷ و ۲۲/۴ تا ۲۵/۷ درصد بود. میزان ماده آلی تاج‌خروس و سایر گیاهان علوفه‌ای به ترتیب معادل ۲/۴ تا ۳/۶، ۱/۶ تا ۲/۴، ۴ تا ۵/۷ و ۲/۴ تا ۲/۵ درصد و میزان خاکستر تاج‌خروس علوفه‌ای معادل ۱۱/۴ تا ۱۲/۵ درصد بود. نهایتاً تاج‌خروس با فاصله زمانی برداشت ۵۰ روز پس از کاشت و برداشت‌های مکرر به‌عنوان گیاه علوفه‌ای جهت کشت در سریلانکا توصیه گردید (Leukebandara et al., 2015). در آزمایش دیگر هفت رقم تاج‌خروس با سه زمان برداشت در شروع، اواسط و پایان گلدهی مقایسه و با توجه به قدرت رویش مجدد، برداشت در زمان شروع گلدهی توصیه گردید (Sleugh et al., 2001).

در مجموع کشت تاج‌خروس به‌عنوان گیاه زراعی شبه‌غلات علاوه بر تولید علوفه با کیفیت در گرم‌ترین ماه‌های سال (Dahiru, 2016; Nyankanga et al., 2012; Whitehead et al., 2001) سبب افزایش تنوع کشت و کاهش ریسک آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز می‌گردد. افزایش تنوع در سیستم کشت به نوبه خود کشاورزان را در برابر خطرات احتمالی ناشی از تک کشتی بیمه می‌نماید. این آزمایش با هدف بررسی زراعی و مقایسه عملکرد کمی و کیفی سه رقم جدید تجاری و اصلاح شده تاج‌خروس علوفه‌ای در دو زمان برداشت اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال ۱۳۹۵ در مزرعه ۴۰۰ هکتاری مؤسسه

بلافاصله آبیاری گردید. جوانه‌زنی ارقام به‌طور متوسط حدود ۵ روز پس از کاشت و سبز شدن ۷ تا ۹ روز پس از کاشت و مرحله ۳ برگی گیاه حدود ۱۵ تا ۱۷ روز پس از کاشت اتفاق افتاد. رشد سریع گیاه بعد از مرحله پنج برگی و حدود ۲۲ روز پس از کاشت آغاز گردید. در این مرحله آثاری از خسارت زخم تریپس، آگروتیس و آفات برگ‌خوار مشاهده و لی با توجه به رشد سریع گیاه (Dahiru, 2016) هیچ میارزه شیمیایی انجام نشد. اولین برداشت تیمار شروع گلدهی در رقم Kharkovski حدود ۶۲ روز پس از کاشت و در دو رقم دیگر ۷۰ روز پس از کاشت انجام شد. برداشت پایان گلدهی در رقم Kharkovski در حدود ۸۲ روز پس از کاشت و در دو رقم دیگر ۸۵ روز پس از کاشت انجام شد. چین دوم شروع و پایان گلدهی رقم Kharkovski به‌ترتیب ۳۲ و ۳۴ روز پس از چین اول، در رقم Loura به‌ترتیب ۴۱ و ۴۸ روز پس از چین اول و در رقم Cim به‌ترتیب ۴۳ و ۵۲ روز پس از چین اول انجام شد. با توجه به کاهش دمای محیط چین سوم رقم Kharkovski در حدود ۵۹ روز پس از چین دوم و در دو رقم باقی‌مانده به‌ترتیب ارقام ۵۴ و ۵۲ روز پس از کاشت انجام شد. با توجه به پوسیده شدن ساقه و از بین رفتن قدرت پنبه‌زنی تیمار برداشت پس از گلدهی در چین سوم عملکرد قابل قبولی تولید نکرد.

به‌صورت وجین دستی دو هفته پس از کاشت انجام شد. تعیین عملکرد علوفه تازه پس از حذف دو خط کناری و نیم متر از بالا و پایین کرت‌ها از چهار خط وسط بر مبنای ۱۲ متر مربع از ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک انجام شد. ارتفاع بوته از سطح خاک تا بالاترین نقطه گیاه بر اساس اندازه‌گیری ۲۰ بوته تصادفی از سطح هر کرت انجام شد. قطر ساقه نیز با اندازه‌گیری تصادفی قطر ساقه ۲۰ بوته تصادفی از محل بیش‌ترین قطر ساقه انجام شد. نسبت برگ به ساقه با جداسازی برگ و ساقه ۵ بوته خشک محاسبه شد. برای اندازه‌گیری ماده خشک و به منظور حفظ خصوصیات کیفی نمونه یک کیلوگرمی علوفه تازه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک و با تقسیم بر وزن تازه محاسبه گردید (Whitehead et al., 2001; Sleugh et al., 2001). تعداد پنجه بوته با شمارش تعداد پنجه ده بوته تعیین شد. نتایج اعداد خام حاصل از آزمایش با نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه و میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردید.

نتایج و بحث

روند کلی رشد

ارقام مورد مقایسه در این آزمایش در نیمه اردیبهشت ماه کشت و

جدول ۱- مشخصات کلی رشد و چین‌برداری ارقام تاج‌خروس در زمان‌های متفاوت برداشت

Table 1- Growth characteristics and harvesting time of *Amaranth* varieties

تیمار Treatment	زمان برداشت چین اول Harvest time 1	زمان برداشت چین دوم Harvest time 2	زمان برداشت چین سوم Harvest time 3
Loura, شروع گلدهی،	12, Jul.	22, Aug.	15, Oct.
Loura, flowering initiation	۹۵/۴/۲۲	۹۵/۶/۱	۹۵/۷/۲۴
Loura, پایان گلدهی،	27, Jul.	13, Sep.	-
Loura, end of flowering	۹۵/۵/۶	۹۵/۶/۲۳	-
Cim, شروع گلدهی،	12, Jul.	24, Aug.	15, Oct.
Cim, flowering initiation	۹۵/۴/۲۲	۹۵/۶/۳	۲۴.۷.۹۵
Cim, پایان گلدهی،	27, Jul.	17, Sep.	-
Cim, end of flowering	۹۵/۵/۶	۹۵/۶/۲۷	-
Kharkovski, شروع گلدهی،	4, Jul.	5, Aug.	3, Oct.
Kharkovski, flowering initiation	۹۵/۴/۱۴	۹۵/۵/۱۵	۹۵/۷/۱۲
Kharkovski, پایان گلدهی،	24, Jul.	27, Aug.	-
Kharkovski, end of flowering	۹۵/۵/۳	۹۵/۶/۶	۶

(جدول ۲).

مقایسه میانگین اثرات متقابل ارقام در زمان برداشت در چین‌برداری نشان داد بیش‌ترین ارتفاع بوته معادل ۱۷۹/۳ سانتی‌متر در رقم Loura، شروع دانه‌بندی و در چین اول تیمار برداشت شروع گلدهی و کم‌ترین آن معادل ۱۱۳/۸ سانتی‌متر در چین دوم شروع گلدهی رقم Kharkovski مشاهده گردید (جدول ۳).

بررسی صفات رویشی

نتایج تجزیه واریانس اعداد حاصل از آزمایش به روش فاکتوریل اسپلیت پلات در زمان نشان داد که بین اثرات متقابل ارقام در زمان برداشت در چین‌برداری از نظر ارتفاع و قطر ساقه تفاوت معنی‌دار، نسبت برگ به ساقه فقط از نظر چین و متوسط تعداد پنجه در بوته از نظر ارقام، چین و اثرات زمان برداشت در چین تفاوت معنی‌دار داشت

جدول ۲- میانگین مربعات و سطح معنی دار بودن صفات رویشی ارقام تاج خروس در زمان های متفاوت برداشت و چین های متوالی
Table 2- Mean squares and significant level of growth characteristics of *Amaranthus* varieties at different harvest time and consecutive cutting

تعداد پنجه در بوته Tiller per plants	نسبت برگ به ساقه Leaves/stem	قطر ساقه Plant diameter	ارتفاع بوته Plant height	درجه آزادی d.f	منابع تغییرات S.O.V
0.38	0.3	0.09	43.7	3	بلوک Block
11.12**	0.01 ^{ns}	0.56 ^{ns}	1534.2**	2	رقم Varieties (V)
0.32 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.61 ^{ns}	10950.5**	1	زمان برداشت Harvest time (H.t.)
0.25 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.18 ^{ns}	203.1*	2	رقم در زمان برداشت (V×H.t.)
0.17	0.03 ^{ns}	0.03	43.5	15	خطا Error
3.26**	1.02**	3.1**	6510.0**	1	چین Cut (C)
0.06 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.03 ^{ns}	183.9*	2	رقم در چین (V×C)
3.26**	0.10 ^{ns}	1.54**	2338.0**	1	زمان برداشت در چین (H.t.× C)
0.06 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.16*	736.0**	2	رقم در زمان برداشت در چین (V× H.t. ×C)
0.05	0.04	0.05	56.5	18	خطا Error
5.9	13.8	13.6	5.3	-	ضریب تغییرات C.V.

ns, *, ** و ns به ترتیب وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵٪، ۱٪ و عدم وجود اختلاف معنی دار
ns, *, ** are no significant and significant at 5% and 1% levels respectively

ارقام منجر به کاهش قطر ساقه آنها می شود (Hauptli and Jain 1985). کمترین ارتفاع بوته در این آزمایش در رقم Kharkovski دیده شد و بر همین اساس مقایسه میانگین قطر ساقه نشان داد بیشترین قطر ساقه معادل ۲۰/۶ میلی متر در چین اول رقم Kharkovski و تیمار برداشت شروع دانه بندی و کمترین آن معادل ۹/۸ میلی متر در چین دوم رقم Cim مشاهده گردید. به طور کلی با توجه به کوتاه تر بودن طول دوره رشد در تمامی تیمارها متوسط قطر ساقه در تیمار برداشت شروع گلدهی و چین دوم کم تر از تیمار برداشت شروع دانه بندی و چین اول بود (جدول ۳).

تأخیر در برداشت در چین اول سبب افزایش رشد رویشی و افزایش قطر ساقه گردید، از طرفی تأخیر در برداشت سبب شد تا قطر ساقه این تیمار در چین دوم به سبب تخلیه شدن مواد محلول ساقه و ضعیف شدن ساقه گیاه کاهش یابد، به همین دلیل متوسط قطر ساقه در تیمار برداشت شروع دانه بندی در چین دوم در تمامی ارقام کم تر از متوسط قطر ساقه ارقام در چین اول این تیمار بود، این مسئله به نوبه خود بر نسبت برگ به ساقه که یکی از صفات کیفی گیاهان علوفه ای

مقایسه میانگین ارتفاع بوته نشان داد که به طور کلی متوسط ارتفاع بوته رقم Loura از دو رقم دیگر بیش تر هم چنین متوسط ارتفاع بوته تمامی ارقام در تیمار برداشت شروع دانه بندی بیش تر از تیمار برداشت شروع گلدهی و متوسط ارتفاع چین اول بیش تر از چین دوم بود زیرا طول دوره رشد این تیمار برداشت هنگام گلدهی و چین اول بیش تر از طول دوره رشد تیمار برداشت شروع گلدهی و چین دوم بود (جدول ۵). سایر محققین نیز گزارش نمودند که با توجه به اینکه تاج خروس دارای سیستم فتوسنتزی چهار کرینه می باشد دارای کارایی بالای مصرف CO₂ تحت دامنه وسیعی از شرایط حرارتی و رطوبتی بوده پتانسیل بالایی برای تولید علوفه سبز در گرم ترین فصل سال را دارد. بیشترین افزایش ارتفاع بوته گیاه بعد از شروع گلدهی اتفاق و تا گلدهی کامل ادامه دارد (Stallknecht and Schulz-Schaeffer, 1993).

نتایج تحقیقات انجام شده نشان داده است که در صورتی که ارقام تحت شرایط ثابتی از نظر تراکم کشت شوند معمولاً بین قطر و ارتفاع بوته آنها همبستگی منفی وجود دارد و معمولاً افزایش ارتفاع بوته

آماري b قرار گرفت.

است تأثیر داشت، در این آزمایش متوسط برگ به ساقه چین اول معادل ۴/۱ در کلاس آماری a و در چین دوم معادل ۳/۶ و در کلاس

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل ارقام در زمان برداشت در چین‌برداری بر ارتفاع و قطر ساقه

Table 3- Means comparison of interaction between varieties and harvest time on plant height and stem diameter

تیمار Treatments	ارتفاع بوته Stem height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)
رقم لورا، شروع گلدهی، چین اول Loura, flowering initiation, cut1	142.8 ^c	18.4 ^{d^e}
رقم لورا، شروع گلدهی، چین دوم Loura, flowering initiation, cut2	135.0 ^c	14.0 ^{ef}
رقم لورا، پایان گلدهی، چین اول Loura, end of flowering, cut1	179.9 ^a	18.8 ^{bc}
رقم لورا، پایان گلدهی، چین دوم Loura, end of flowering, cut2	143.0 ^c	11.0 ^{fg}
رقم سیم، شروع گلدهی، چین اول Cim, flowering initiation, cut1	137.0 ^c	13.3 ^{ef}
رقم سیم، شروع گلدهی، چین دوم Cim, flowering initiation, cut2	120.0 ^d	13.8 ^{ef}
رقم سیم، پایان گلدهی، چین اول Cim, end of flowering, cut1	173.3 ^a	20.6 ^b
رقم سیم، پایان گلدهی، چین دوم Cim, end of flowering, cut2	155.8 ^b	9.8 ^g
رقم خارکوفسکی، شروع گلدهی، چین اول Kharkovski, flowering initiation, cut1	117.0 ^d	17.5 ^{bcd}
رقم خارکوفسکی، شروع گلدهی، چین دوم Kharkovski, flowering initiation, cut2	113.8 ^d	13.3 ^{ef}
رقم خارکوفسکی، بعدا پایان گلدهی، چین اول Kharkovski, end of flowering, cut2	176.8 ^a	23.8 ^a
رقم خارکوفسکی، پایان گلدهی، چین دوم Kharkovski, end of flowering, cut2	118.8 ^d	16.3 ^{cde}

اعداد هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشد از نظر آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means, in each Colum, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level

محلول موجود در ساقه و از طرف دیگر ایجاد فرصت کافی برای عوامل خسارت‌زای ساقه مانند سزامیا گردید این مسئله موجب تخلیه ساقه افزایش پوسیدگی و کاهش قدرت پنبه‌زنی گیاه شد.

بررسی عملکرد علوفه تازه و خشک

نتایج تجزیه واریانس اعداد حاصل از آزمایش به روش فاکتوریل اسپلیت‌پلات در زمان نشان داد که بین ارقام، چین، رقم در چین و زمان برداشت در چین از نظر عملکرد علوفه تازه و بین ارقام، چین و زمان برداشت در چین از نظر عملکرد علوفه خشک تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۵).

سرعت رشد بالا و قدرت پنبه‌زنی بعد از چین‌برداری از صفات خوب گیاهان علوفه‌ای می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد رقم Loura با متوسط ۴/۷۲ عدد بیش‌ترین تعداد پنبه در بوته را تولید و ارقام Cim و Kharkovski با متوسط ۴/۳۶ و ۳/۲۰ پنبه در بوته در رده‌های بعدی قرار گرفتند، همچنین متوسط تعداد پنبه در بوته چین اول معادل ۴/۱ در کلاس آماری a و در چین دوم معادل ۳/۶ و در کلاس آماری b قرار گرفت. بین تیمار زمان برداشت و چین‌برداری نیز تفاوت معنی‌دار دیده شد و بیش‌ترین تعداد پنبه معادل ۴/۴۳ عدد پنبه در بوته در چین اول تیمار زمان برداشت شروع گلدهی و کم‌ترین آن معادل ۳/۳۹ پنبه در بوته در چین دوم همین تیمار مشاهده گردید (جدول ۴).

به‌طور کلی تأخیر در برداشت از یک طرف سبب تخلیه مواد

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل چین در زمان برداشت بر تعداد پنجه در بوته

Table 4- Means comparison of interaction effects between cut and harvest time on tiller per plant

تیمار Treatments	تعداد پنجه در بوته Tiller per plant
چین اول، شروع گلدهی flowering initiation, cut1	4.43 ^a
چین دوم، شروع گلدهی flowering initiation, cut2	3.39 ^b
چین اول، پایان گلدهی end of flowering, cut1	3.75 ^b
چین دوم، پایان گلدهی end of flowering, cut2	3.57 ^b

اعداد هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشد از نظر آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند.

Means, in each Column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level

جدول ۵- میانگین مربعات و سطح معنی داری عملکرد علوفه تازه و خشک ارقام تاج خروس در زمان های مختلف برداشت و چین های متوالی

Table 5- Mean squares and significant level of fresh and dry yield of *Amaranthus* varieties at different harvest time and consecutive cutting

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد علوفه تازه Fresh yield	عملکرد علوفه خشک Dry yield
بلوک Block	3	39.36	3.44
رقم Varieties (V)	2	214.78 ^{**}	4.42 ^{**}
زمان برداشت Harvest time (H.t.)	1	22.66 ^{ns}	0.35 ^{ns}
رقم در زمان برداشت (V×H.t.)	2	15.43 ^{ns}	0.05 ^{ns}
خطا Error	15	294.77 ^{ns}	0.62
چین Cut (C)	1	27985.02 ^{**}	591.58 ^{**}
رقم در چین (V×C)	2	191.41 [*]	1.90 ^{ns}
زمان برداشت در چین (H.t.×C)	1	256.78 ^{**}	5.17 [*]
رقم در زمان برداشت در چین (V×H.t.×C)	2	48.48 ^{ns}	0.53 ^{ns}
خطا Error	18	495.41	1.16
ضریب تغییرات C.V.	–	13.8	5.9

ns, **, * و ns به ترتیب وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵٪، ۱٪ و عدم وجود اختلاف معنی دار

ns, *, ** are no significant and significant at 5% and 1% levels respectively

عملکرد علوفه تازه و خشک اثرات متقابل ارقام در زمان برداشت و تیمار زمان برداشت تفاوت معنی دار وجود نداشت، ولی بین مجموع عملکرد علوفه تازه و خشک ارقام اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول ۶).

با توجه به اینکه در تجزیه فوق متوسط عملکرد ارقام در چین های متوالی بررسی می شود در صورتی که هدف نهایی انجام آزمایش مقایسه مجموع عملکرد علوفه تازه و خشک ارقام مختلف می باشد، لذا تجزیه به روش فاکتوریل انجام و مجموع عملکرد مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین مجموع

جدول ۶- میانگین مربعات و سطح معنی‌دار بودن مجموع عملکرد علوفه تازه و خشک ارقام تاج‌خروس در زمان‌های مختلف برداشت
Table 6- Mean squares and significant level of total fresh and dry yield of *Amaranthus* varieties at different harvest time

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد علوفه تازه	عملکرد علوفه خشک
S.O.V	d.f	Fresh yield	Dry yield
بلوک	3	78.7	6.9
Block			
رقم	2	428.9**	8.8*
Varieties (V)			
زمان برداشت	1	45.0 ^{ns}	0.71 ^{ns}
Harvest time (H.t.)			
رقم در زمان برداشت	2	15.3 ^{ns}	0.10 ^{ns}
(V×H.t.)			
خطا	15	39.4	1.24
Error			
ضریب تغییرات	—	7.6	9.4
C.V.			

ns, *, ** are no significant and significant at 5% and 1% levels respectively

مقایسه مجموع عملکرد علوفه تازه و خشک ارقام نشان داد رقم Loura با مجموع ۹۰/۳۰ تن در هکتار علوفه تازه و ۱۳/۰۵ تن در هکتار علوفه خشک در کلاس آماری a و نسبت به دو رقم دیگر برتر بود ارقام Cim و Kharkovski به ترتیب با مجموع ۸۰/۹۹ و ۷۵/۸۶ تن در هکتار علوفه تازه و ۱۱/۶۲ و ۱۱/۰۰ تن در هکتار علوفه خشک در یک گروه و در رده بعدی قرار گرفتند (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه مجموع عملکرد علوفه تازه و خشک ارقام تاج‌خروس
Table 7- Comparison of total fresh and dry yield of *Amaranthus* varieties

ارقام	مجموع عملکرد	مجموع عملکرد
Varieties	علوفه تازه	علوفه خشک
	Total fresh yield (ton. ha ⁻¹)	Total dry yield (ton. ha ⁻¹)
Loura	90.3 ^a	13.05 ^a
Cim	80.99 ^b	11.62 ^b
kharkovski	75.86 ^b	11.00 ^b

اعداد هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشد از نظر آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.
ns, *, ** are no significant and significant at 5% and 1% levels respectively

مختلف در این آزمایش نشان داد عملکرد چین اول معادل ۶۵/۳۳ تن در هکتار علوفه تازه و ۹/۴۶ تن در هکتار علوفه خشک و در چین دوم به ترتیب معادل ۱۷/۰۴ تن در هکتار علوفه تازه و ۲/۴۴ تن در هکتار علوفه خشک بود. به عبارت دیگر حدود ۷۴٪ عملکرد علوفه در چین اول و فقط ۲۶٪ عملکرد در چین دوم تولید گردید، این مسئله از نظر مدیریت مزرعه و جلوگیری از تأخیر در کشت بعدی اهمیت زیادی دارد. تحقیقات انجام شده در این زمینه نیز نشان داد که پوسیده شدن، ناشی از رقتن تعدادی از بوته‌ها و ضعف شدن بوته‌های باقی‌مانده عملکرد علوفه در چین دوم بوده به نحوی که تاج‌خروس در برخی مناطق بیش‌تر از یک چین تولید نمی‌نماید (Ainehband et al., ۲۰۰۷).

آینه بند و همکاران (Ainehband et al., ۲۰۰۷) در تحقیقی ارزش تغذیه‌ای علوفه تاج‌خروس ارقام اسلواکی، مرکادو، پلیزنت و آمونت را در تاریخ‌های اول تیرماه، پانزدهم تیرماه و اول مرداد در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که بین مجموع عملکرد علوفه ارقام تاج‌خروس اثر معنی‌دار وجود داشت. در آزمایش محققین فوق، رقم مرکادو با تولید ۳۱ تن در هکتار بیش‌ترین علوفه خشک را تولید کرد. بیش‌ترین درصد پروتئین علوفه نیز در رقم آمونت به دست آمد. در مجموع و بر اساس شرایط انجام آزمایش رقم مرکادو جهت کاشت در شرایط خوزستان توصیه گردید. بررسی و مقایسه متوسط عملکرد علوفه تازه و خشک چین‌های

(2007; Tucker 1986).

می‌گردد. مطابق انتظار بین قطر و ارتفاع بوته همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت. همچنین بین متوسط تعداد پنجه در بوته و قطر ساقه همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت. بررسی مشاهده‌ای نشان داد که ساقه‌های ضخیم‌تر حساسیت بیشتری به آفت سزامیا داشته و پس از اولین برداشت تعداد بیشتری از آن‌ها از بین رفت. همبستگی بین ارتفاع بوته و متوسط تعداد پنجه و نسبت برگ به ساقه و متوسط تعداد پنجه در بوته مثبت و معنی‌دار بود، بر همین اساس ارقام Loura و Cim با متوسط ارتفاع بوته بیشتر، تعداد پنجه و نسبت برگ به ساقه بیشتری داشتند.

همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد

جدول همبستگی نشان داد که عملکرد علوفه خشک با متوسط قطر ساقه همبستگی منفی و معنی‌دار و با ارتفاع بوته نسبت برگ به ساقه و متوسط تعداد پنجه در بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. نتایج این آزمایش نیز مؤید این مطلب است که رقم kharkovski بیش‌ترین قطر ساقه و کم‌ترین عملکرد را تولید نمود زیرا درصد ماده خشک ساقه تاج‌خروس کم‌تر از درصد ماده خشک برگ می‌باشد و کاهش نسبت برگ به ساقه موجب کاهش عملکرد علوفه خشک

جدول ۸- همبستگی بین عملکرد، قطر و ارتفاع بوته، نسبت برگ به ساقه و تعداد پنجه در بوته
Table 8- Correlation between stem height and diameter, leaf to stem ratio and tiller per plant

متوسط تعداد پنجه در بوته Tiller per plant	نسبت برگ به ساقه Leaves/stem	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Plant diameter	عملکرد علوفه خشک Dry yield
عملکرد علوفه خشک Dry yield	1			
قطر ساقه Plant diameter	-0.72 **	1		
ارتفاع بوته Plant height	0.93**	-0.93 **	1	
نسبت برگ به ساقه Leaves/stem	0.96 **	0.50 ns	0.79 **	1
متوسط تعداد پنجه در بوته Tiller per plant	0.96 **	-0.89 **	0.99 **	0.85 **

نتیجه‌گیری

درمجموع، نتایج این آزمایش مشخص نمود که رقم Loura با متوسط ارتفاع بوته ۱۵۰ سانتی‌متر، متوسط قطر ساقه ۱۴/۵ میلی‌متر، متوسط ۱/۴٪ نسبت برگ به ساقه، متوسط تعداد پنجه ۴/۷۲ طی دو چین و در طول دوره رشد ۱۱۱ روز با مجموع تولید ۹۰/۳۰ تن در هکتار علوفه تازه و ۱۳/۰۵ تن در هکتار علوفه خشک نسبت به دو رقم دیگر برتری داشت. بین مجموع عملکرد علوفه تیمارهای مختلف زمان برداشت تفاوت معنی‌دار وجود نداشت ولی طول دوره رشد تیمار برداشت قبل از گلدهی ۲۳ روز کم‌تر از تیمار برداشت پس از گلدهی بود، این مسئله از نظر مدیریتی و داشتن فرصت کافی جهت تهیه زمین زراعی برای کشت بعدی اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. با توجه به

نتایج به‌دست آمده و برخی خصوصیات خوب گیاه علوفه‌ای تاج‌خروس در حال حاضر سوالات متعددی وجود دارد که پیشنهاد می‌گردد با اجرای طرح‌های تحقیقاتی در خصوص تعیین رابطه بین تراکم بوته (میزان بذر و فاصله ردیف) از نظر مدیریت مزرعه و تولید کمی و کیفی علوفه، مقایسه کمی و کیفی علوفه تولیدی در چین‌های متناوب، تعیین رابطه بین تاریخ کاشت و تولید کمی و کیفی علوفه با در نظر گرفتن تناوب منطقه، تعیین رابطه بین میزان آب آبیاری و تولید کمی و کیفی علوفه، تعیین رابطه بین شوری آب، خاک، تغذیه و عملکرد و در نهایت بررسی امکان افزایش میزان بهره‌برداری از واحد سطح زمین در کشت مخلوط تاج‌خروس با سایر گیاهان علوفه‌ای تابستانه (سویا، ذرت، سورگوم) به آنها پاسخ داده شود.

References

- Abbasi, D., Rouzbehan, Y., and Rezaei, J. 2012. Effect of harvest date and nitrogen fertilization rate on the nutritive value of amaranth forage (*Amarantus hypochondriacus* L.). *Animal Feed Science and Technology* 171: 6-13.

2. Ainehband, A., Aghazizadeh, V., and Mesgarabashi, M. 2007. The effect of different planting dates on quantitative and qualitative yield of new cultivars of *Amaranthus* spp. Iranian Journal of Crop Research 2 (5): 227-221.
3. Andini, A., Yoshida, S., and Ohsawa, R. 2013. Variation in Protein Content and Amino Acids in the Leaves of Grain, Vegetable and Weedy Types of *Amaranthus*. Agronomy 3: 391-403.
4. Chong, C. C. 1996. Evaluation of six amaranth varieties. Animal Feed Science and Technology 78: 346-354.
5. Dahiru, M. 2016. Growth Rate of Vegetable Amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) as Influenced by Row Spacing and Nitrogen Fertilizer in Mubi, Northern Guinea Savannah Zone, Nigeria. International Journal of Innovative Agriculture & Biology Research 4 (2): 8-20.
6. Gimplinger, D. M., Dobos, G., Schonlechner R., and Kaul, H. P. 2007. Yield and Quality of Grain Amaranth (*Amaranthus* sp.) in Eastern Austria. Plant Soil Environ. 53 (3): 105-112.
7. Grubben, G. J. 2004. Plant Resources of Tropical Africa. PROTA; Wageningen, Netherlands: 2004. Vegetables; p. 667.
8. Hauptli, H., and Jain, S. 1985. Genetic variation in outcrossing rate and correlated floral traits in a population of grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). Genetica 60: 21-27.
9. Henderson, T., Johnson, B., and Schreiter, A. 2000. Row spacing, plant population and cultivar effects on grain amaranth in the Northern Great Plains. Agronomy Journal 92: 329-336.
10. Johnson, B., and Henderson, T. 2002. Water use patterns of grain amaranth in the Northern Great Plains. Agronomy Journal 94: 1437-1443.
11. Leukebandara, I. K., Premaratne, S., and Peiris, B. L. 2015. Nutritive Quality of Thampala (*Amaranthus* spp.) as a Forage Crop in Sri Lanka. Tropical Agricultural Research 26 (4): 624-631.
12. Myers, R. L. 1996. Amaranth, new crop opportunity. In: Janick, J. (ed.): Progress in New Crops. ASHS Press, Alexandria: 207-220.
13. Moshaver, E., Madani, H., Emam, Y., Nour Mohamadi, G., and Heidari Sharifabad, H. 2016. Effect of planting date and density on amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) growth indices and forage yield. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences 4 (5): 541-547.
14. Nyankanga, R. O., Onwonga, R. N., Wekesa, F. N., Nakimbugwe, D., Masinde, D., and Mugisha, J. 2012. Effect of Inorganic and Organic Fertilizers on the Performance and Profitability of Grain Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) in Western Kenya. Journal of Agricultural Science 4 (1): 223-232.
15. Olaniyi, J. O. 2007. Evaluation of yield and quality performance of grain amaranth varieties in the Southwestern Nigeria. Research Journal of Agriculture 1 (2): 42-45.
16. Palada, M., and Chang, L. 2003. Suggested Cultural Practices for Vegetable Amaranth. The World Vegetable Centre (AVRDC), International Cooperators' Fact Sheet; Shanhua, Taiwan: 2003. Pp. 3-552.
17. Reta Alemayehu, F., Bendevis, M., and Jacobsen, S. E. 2014. The potential for utilizing the seed crop amaranth (*Amaranthus* spp.) in East Africa as an alternative crop to support food security and climate change mitigation. Journal of Agronomy and Crop Science. 2014 doi: 10.1111/Jac. 12108.
18. Sleugh, B. B., Moore, K. J., Brummer, E. C., Knapp, A. D., Russell, J., and Gibson, L. 2001. Forage nutritive value of various amaranth species at different harvest dates. Crop Science 41: 466-472.
19. Rezaei, J., Rouzbehan, Y., and Fazaeli, H. 2009. Nutritive Value of Fresh and Ensiled Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) Treated with Different Levels of Molasses. Animal feed Science and Technology 15 (12): 153-160.
20. Stallknecht, G. F., and Schulz-Schaeffer, J. R. 1993. Amaranth rediscovered. P, 211-218. In: J. Janick and J.E. Simon (eds). New Crops. Willey, New York
21. Teutonico, R. A., and Knorr, D. 1985. Amaranth: composition, properties, and applications of a rediscovered food crop. Food Technology 39: 49-60.
22. Tucker, J. B. 1986. Amaranth, the once and future crop. Bio Science 36: 9-13, 59-60.
23. Whitehead, W. F., Terrill, T. H., Singh, B. P., and Galaye, S. 2001. Amaranth Productivity and Nutrient Composition in Central Georgia. Proc. XIX International Grassland Congress, Feb. 2001. Piracicaba, Brazil



Forage Yield Comparison of Three Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) Varieties at Different Harvesting Stages

A. Rahnama^{1*} - A. R. Safaeie² - M. Rezaei³

Received: 06-06-2017

Accepted: 15-04-2018

Introduction

Amaranthus L. is one of the oldest food crops in the new world. Earlier studies have predicted that the grain *Amaranthus* L. was domesticated in America. This crop has about 60 species of annual flowering plants distributed throughout the world's temperate and tropical regions. Three species of *Amaranth* (*Amaranthus hypochondriacus* L., *A. cruentus* L. and *A. caudatus* L.) were domesticated in the new world, but spread to the old world where they became important crop plants. These crops have potential for higher nutritional value, better adaptability to various ecological zones, and better resistance to biotic and abiotic stresses than most other staple crops. *Amaranthus* is one of the native plants of Africa that in addition to the relative tolerance to drought, have high forage production potential.

Materials and Methods

The experiment was conducted at the Karaj research station belongs to Seed and Plant Improvement Research Institute of Iran during the spring of 2016. This research located at 32° 34' N, 28° 32' S, the soil type was sandy loam. The experimental design was a randomized complete block with four blocks in split plots factorial method. Treatments included as three varieties of *Amaranth* consists of Loura, Cim and Kharkovski and two harvest times which were initiation and the end of flowering. All *amaranth* varieties belonging to species *A. Hypochondriacus* L., Plots consisted of six rows with 6-meter length, between and within row spacing were 0.6 and 0.1 meter, respectively. Soil was prepared in early bloom and seeds planted on the firmed bed at 1-2 cm depth in mid-May. Fertilization, Irrigation, weed and insect control were followed like the other leafy forage crop. Ten randomly selected plants were collected at the harvesting time to measure growth parameters consisting, plant stems, height and diameter, leaf to stem rate and tiller per plants. Two middle rows were used for the yield determinations. Dry weights were recorded after drying the fresh forage at 650C in the oven for 48h. Analysis of variance for all traits was done by the MSTAT-C software and for mean comparison used Duncan's multiple range tests.

Results and Discussion

Analysis of variance for all traits was done by the MSTAT-C software and for means comparison used Duncan's multiple range tests. The results showed significant difference in cultivars fresh and dry forage yield but there was not any difference between harvest time and interaction effects. The means comparison showed that the Loura white 161.0 cm had the maximum stem length, Cim and Kharkovski whit 155.0 and 146.9 cm ranked in next categories. The maximum stem diameter equal 20.6 mm belongs to Kharkovski cultivar in class one and two-other cultivars stem diameter were 16.9 and 16.8 mm and placed in class b.

Conclusions

The results showed that the Loura *amaranth* variety was superior to the other two varieties. This variety had 150 cm stem height, 14.5 mm stem diameter, 1.4% leaf to stem ratio, 4.72 tillers per plant and it can produce 90.30, 13.05 tons per hectare fresh, dry forage yield tow cuts, and 111 days growth duration. The ccomparison of different harvesting times showed that harvesting at flowering initiation was better than the end of flowering.

1- Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2- Assistant Professor, Animal Science Research Institute of Iran, Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

3- Assistant Professor, Animal Science Research Institute of Iran, Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

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

Comparing the amount of forage produced, showed that cutting at flowering initiation was better than cutting after the end of flowering. The growth duration of harvest at flowering initiation was 23 days less than harvest after the end of flowering. In terms of management and of having many opportunities to prepare the ground for the next crop, this issue is of tremendous importance.

Keywords: Cultivars comparison, Forage yield, New crops



اثر شرایط مختلف رطوبتی خاک و کاربرد نانو اکسیدروی بر تغییرات فیتوهورمونی و کیفیت تغذیه‌ای گندم نان (*Triticum aestivum*)

امین عباسی^{۱*} - فریرز شکاری^۲ - رامین لطفی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

چکیده

تنش خشکی و کمبود عنصر روی از عوامل مهم تأثیرگذار بر روی تغییر وضعیت رشدی و کاهش کمیت و کیفیت گندم تولیدی می‌باشد. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۴ در کشتزار پژوهشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه انجام گرفت. دو عامل شرایط مختلف رطوبتی [آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (عدم تنش)، آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید)] و کاربردهای عنصر روی [بذر خشک، افشانه کردن ۰/۵ گرم در ۱۰۰ لیتر و ۱ گرم در ۱۰۰ لیتر نانو اکسیدروی و افشانه کردن ۰/۵ گرم در ۱۰۰ لیتر و ۱ گرم در ۱۰۰ لیتر اکسیدروی] به عنوان فاکتورهای این پژوهش بر روی رقم هما (سرذاری ۳۹) مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های مزرعه‌ای آشکار شد که کاربرد عنصر روی در شرایط تنش قادر به بهبود شماری از پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش می‌باشد به نحوی که برهم‌کنش مربوط به اعمال تنش خشکی و کاربرد عنصر روی بر روی ایندول استیک اسید، آبسسیک اسید، اسید جیبرلیک، مقادیر عنصر روی، شاخص کلروفیل، پروتئین، ماده خشک کل، اسید فیتیک و پرولین و اثرات ساده‌ی مربوط به کاربرد عنصر روی و تنش خشکی بر میزان تریپتوفان و عملکرد اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گشت. به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان چنین اذعان داشت که بروز تنش خشکی با اثر مستقیم بر مقادیر هورمون‌های گیاهی تأثیرات نامطلوبی را بر روی رشد و نمو گیاهان دارد. بهره‌گیری از تیمار ۰/۵ گرم نانو اکسید روی در می‌تواند با افزایش ساخت پرولین و پیشگیری از تخریب کلروفیل موجب کاهش اثرات سوء تنش کم‌آبی و بهبود شرایط رشدی گیاهان گردد که نهایتاً به بهبود عملکرد کمی و کیفی منتهی گردد.

واژه‌های کلیدی: اسید فیتیک، اکسین، تریپتوفان، سیتوکینین، عملکرد

مقدمه

دارا می‌باشد. اغلب مناطق تولید گندم در جهان در بخشی از فصل رشد با کمبود آب مواجه هستند. کشور ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در سال جزو مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود. در کشورمان کم‌آبی مهم‌ترین عامل کاهش‌دهنده کیفیت و کمیت عملکرد گندم و سایر گیاهان زراعی اطلاق می‌گردد (Roche et al., 2009). تنش خشکی تأثیرات چند جانبه‌ای بر روی گیاهان می‌گذارد که نمود آنها در گیاهان کاهش تقسیم سلولی، حجم سلول، رشد اندام‌های گیاه، سطح برگ، فتوسنتز خالص، سنتز پروتئین، کلروفیل، تغییر توازن هورمونی و تغییرات بیان ژنی را به دنبال دارد (Ji et al., 2010). این تغییرات اغلب به‌وسیله تحریک‌پذیری هورمون‌های گیاهی از تنش خشکی به انجام می‌رسد. هورمون‌های گیاهی علاوه بر اینکه در سازگاری گیاهان به تنش خشکی می‌توانند ایفای نقش کنند در رشد و نمو گیاهان در این شرایط نیز نقش کلیدی

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان قدیمی‌ترین و مهم‌ترین گیاه در میان محصولات زراعی با میانگین برداشت سالیانه حدود ۷۳۰ میلیون تن و سطح زیر کشت ۲۲۰ میلیون هکتار (FAO, 2014)، بیشترین تولید و سطح زیر کشت را در بین محصولات زراعی

۱- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۲- استاده، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۳- استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
(*)- نویسنده مسئول:
(Email: a.abbasi25@yahoo.com
DOI: 10.22067/gsc.v16i3.67795

را بر عهده دارند (Muraro et al., 2011).

روی جزء تشکیل دهنده برخی از پروتئین‌های غیرآنزیمی و همچنین، کوفاکتور شماری از آنزیم‌هاست. در گیاهان زراعی، آنزیم‌های متعددی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و ساخت پروتئین‌ها درگیر هستند که فعالیت آن‌ها توسط روی صورت می‌پذیرد که می‌توان به آلدولاز، ایزومراز، ترانس فسفریلاز، DNA و RNA پلیمرز و دهیدروژناز اشاره نمود. عنصر روی در سنتز پروتئین و تولید انرژی سلولی نیز دخیل می‌باشد (Broadley et al., 2007). این عنصر نقش مهمی را در حفظ و تمامیت غشای سلولی، گرده‌افشانی و مقاومت در برابر پاتوژن‌ها ایفا می‌کند (Marschner, 2011). روی همچنین، در تنظیم بیان ژن در تحمل به تنش‌های محیطی نقش مهمی دارد (Broadley et al., 2007). عنصر یاد شده به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در تشکیل نشاسته، متابولیسم نیتروژن، انسجام غشاها، فعالیت فیتوکروم‌ها، تبدیل کربوهیدرات‌ها و انجام اکسیداسیون یاخته‌های گیاهی نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند (Fageria et al., 2003). به‌عنوان مهمترین نقش این عنصر می‌توان به ساخته شدن ایندول استیک اسید از تربیتوفان اشاره نمود (Abbasi et al., 2015).

استفاده از فناوری‌های روز دنیا و به‌ویژه فناوری نانو از جمله رویکردهای نوینی می‌باشد که مورد توجه پژوهشگران بخش کشاورزی دنیا قرار گرفته است (Scott and Chen, 2013). نانو ذرات مجموعه‌ای از اتم‌ها و مولکول‌هایی با قطر بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند. به‌عبارتی آن دسته از موادی که در تمام ابعاد در مقیاس نانو می‌باشند، نانو ذرات خوانده می‌شوند (Klaine et al., 2008). فناوری نانو با تغییر و اثرگذاری در فرمولاسیون کودها و تولید موادی با ویژگی‌های مناسب و منحصر به فرد (نانوکود شیمیایی، نانوکود آلی و نانوکود بیولوژیک) می‌تواند نقش مهمی را در افزایش راندمان و کیفیت محصولات کشاورزی به‌واسطه سرعت جذب بالاتر ایفا نماید (Manjunatha et al., 2016). اکسید روی از طرف سازمان غذا و داروی آمریکا به‌عنوان یکی از ترکیبات ایمن و سالم عنصر روی شناخته شده است (Premanathan et al., 2011). نانو اکسید روی

نیز در همین راستا به‌عنوان نانو ذره‌ای جدید مهندسی شده است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که کاربرد نانواکسید روی علاوه بر افزایش مصرف غلظت عنصر روی در گیاهان بر میزان جذب سایر عناصر نیز تأثیر دارد (Kisan et al., 2015). با مصرف عناصر ریز مغذی قدرت تحمل گندم به شرایط تنش افزایش می‌یابد. زاین و همکاران (Zain et al., 2015) اظهار داشتند که محلول‌پاشی عناصر کم مصرف در مقایسه با سایر روش‌های کاربرد تأثیر مثبتی بر برخی از خصوصیات رشدی گندم داشت. همچنین رزمجو و غفاری (Razmjoo and Ghafari, 2015) گزارش نمودند که کاربرد کود به فرم نانو در مقایسه با فرم معمولی تأثیر بیشتری بر عملکرد گندم داشته است.

وقوع تنش خشکی در کشتزارهای گندم از یک سو و کمبود عنصر روی از سوی دیگر، عملکرد کمی و کیفی گندم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بدیهی است که افزایش دسترسی عنصر روی و کاهش اثرات تنش خشکی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود وضعیت حاضر داشته باشند. در پژوهش کنونی تلاش گردیده تا اثر افشانه کردن نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی در راستای افزایش تحمل گیاهان زراعی به تنش خشکی در گندم پاییزه (هما) مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، اثرات تیمارهای یاد شده بر تغییرات رشدی، عملکرد کمی و کیفی و تغییرات فیتوهورمونی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور تعیین اثر مصرف عنصر روی در دو فرم نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی بر مقادیر فیتوهورمون‌های گیاهی، وضعیت رشدی و کیفیت تغذیه‌ای گندم در شرایط تنش خشکی در سال ۱۳۹۴ در کشتزار پژوهشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه اجرا گردید. برای انتخاب کشتزار مناسب، نخست نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متری کشتزارهای مختلف تهیه و غلظت برخی از عناصر غذایی و سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شدند (جدول ۱) (Ali-Ehyaee et al., 1993).

جدول ۱- نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده پیش از کاشت

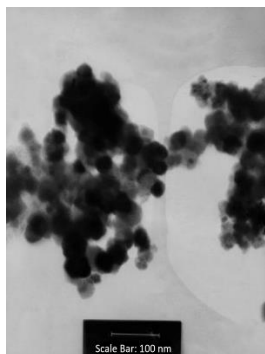
Table 1- Results of physical and chemical analysis of soil before planting

مقادیر	ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک مورد آزمایش	مقادیر	ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک مورد آزمایش
Values	Soil characteristics measured in the soil	Values	Soil characteristics measured in the soil
0.06	نیترژن کل (Total Nitrogen)	sandy loam	بافت خاک (Soil Textures)
3.81	فسفر قابل جذب (روش اوسون) (P availability)	7.51	اسیدیته گل اشباع (Soil Clay Acidity)
364	پتاسیم قابل جذب (استات آمونیوم) (K availability)	0.46	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) (Electrical Conductivity)
0.38	روی قابل جذب (DTPA) (Zn availability)	9.61	کربنات کلسیم معادل (Calcium Carbonate equivalent)
1.56	منگنز قابل جذب (DTPA) (Mn availability)	0.32	کربن آلی (Organic Carbon)
3.26	آهن قابل جذب (DTPA) (Fe availability)	46	رطوبت اشباع (Saturation Moisture)

روی را داشت انتخاب گردید. تغذیه‌ی کودی کشتزار به دو شکل کود

برای اجرای آزمایش، خاک کشتزاری که کمترین میزان عنصر

لازم به ذکر است که مواد نانو اکسید روی به روش همرسوبی با استفاده از نیترات روی و سدیم هیدروکسید در آزمایشگاه پژوهشی و تحقیقاتی گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مراغه انجام شد (Devi and Velu, 2016). تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (Transmission Electron Microscopic) ذرات حاصل از واکنش همرسوبی در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- تصویر (TEM) میکروسکوپ الکترونی نانو اکسید روی
Figure 1- TEM micrograph of Nano-ZnO nanoparticles

در این پژوهش صفات عملکرد زیست‌شناختی (بیولوژیک)، عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت از حاصل‌ضرب نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک در ۱۰۰ به‌دست آمد (Fageria et al., 2003). پروتئین دانه‌های برداشت شده با کاربرد دستگاه پروتابل آنالیزور بذر Zeltex (مدل ZX50) اندازه‌گیری شد. شاخص کلروفیل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (Spad Minolta-502) در زمان سنبله‌دهی در برگ ماقبل آخر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری غلظت روی دانه‌های برداشت شده از واحدهای آزمایشی با بهره‌گیری از روش Wet Ashing به استفاده از دستگاه جذب اتمی شیمادزو (Shimadzu AA-6300) به انجام رسید (Van Loon, 2012). برای ارزیابی میزان تجمع پرولین به‌عنوان یک عامل مهم در برآورد میزان مقاومت به خشکی از روش باتس استفاده گردید (Bates et al., 1973). اندازه‌گیری غلظت هورمون‌های ایندول استیک اسید و اسید آبسسیک به‌وسیله روش کوجیما همراه با اصلاحاتی که توسط یوکوتو و همکاران صورت گرفته است انجام شد (Yokota et al., 1994). اندازه‌گیری غلظت هورمون اسید جیبرلیک به‌وسیله روش مورد اشاره Barendse صورت گرفت (Barendse et al., 1980). میزان اسیده‌های آمینه در نمونه‌های برداشت شده توسط دستگاه HPLC و روش استاندارد فونتاین تعیین شد (Fontaine, 2003). گذشته از این موارد، اندازه‌گیری اسیدفیتیک دانه نیز به روش Haug و Lantzsch صورت گرفت (Haug and Lantzsch, 1983).

پیش از تجزیه‌ی واریانس، نرمال بودن توزیع داده‌ها و خطاها و افزایشی بودن اثر بلوک در تیمار بررسی گردید. مقایسه‌ی میانگین

پایه و کود سرک صورت گرفت. کود پایه شامل فسفر (۱۸ کیلوگرم در هکتار از منبع کود فسفات آمونیوم) و نیتروژن (۹۶ کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره و ۱۰ کیلوگرم از منبع کود فسفات آمونیوم)، در هنگام دیسک زدن در سطح خاک پخش شد.

این پژوهش با بهره‌گیری از آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. در آزمایش حاضر، دو فاکتور شامل شرایط مختلف رطوبتی خاک (آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان فاکتور اول و کاربردهای عنصر روی (بذر خشک، افشانه کردن ۰/۵ گرم در ۱۰۰ لیتر نانو اکسیدروی، افشانه کردن ۱ گرم در ۱۰۰ لیتر نانو اکسید روی، افشانه کردن ۱ گرم در ۱۰۰ لیتر اکسیدروی، افشانه کردن ۱ گرم در ۱۰۰ لیتر اکسید روی) به‌عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. به منظور تهیه کردن محلول نانو اکسید روی، مقدار مشخص نانوذرات اکسید روی را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب افزوده و به مدت نیم ساعت در مجاورت امواج فراصوت قرار گرفت شد. بعد از پراکنده شدن یکنواخت نانوذرات در داخل آب، عمل افشانه کردن در مرحله‌ی ۱۸ زادوکس و در دو مرحله با فاصله یک هفته‌ای انجام شد. برای اعمال شرایط متفاوت رطوبتی تمامی تیمارها تا مرحله ۶-۴ برگی به‌صورت کامل آبیاری شدند سپس جهت اعمال الگوی آبیاری، مقادیر رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائم (WP) اندازه‌گیری شد. طول کرت‌ها چهار متر و عرض آنها دو متر و فاصله‌ی بین کرت‌ها ۲ متر و فاصله بین تکرارها ۵ متر در نظر گرفته شد. زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری خاک در یک نوبت در وسط هر روز از عمق توسعه ریشه در تیمارهای مختلف و رسیدن به رطوبت مورد نظر تعیین گردید (Martin et al., 1990). میزان آب آبیاری برای هر کرت با در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر) مساحت کرت و رطوبت ظرفیت زراعی خاک بر حسب متر مکعب محاسبه شد (Rostamza et al., 2011).

$$I_n = \frac{(F_{ci} - \theta_i) \times D \times A}{100} \quad (1)$$

I_n : حجم آب مصرفی، F_{ci} : رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی، θ_i : مقدار رطوبت خاک در شرایط نمونه‌برداری، D : عمق مناسب نفوذ ریشه، A : سطح کرت مورد استفاده.

انتهای کرت‌ها برای جلوگیری از خروج آب به‌طور کامل بسته شدند. برای جلوگیری از تأثیر بارندگی‌ها بر روی کشتزار آزمایشی و اثرات آنها بر تیمارهای خشکی، پوشش‌های پلاستیکی با توجه به پیش‌بینی‌های هواشناسی در روزهایی با احتمال بارش بر روی کشتزار در نظر گرفته شد. همچنین جهت یکنواختی شرایط محیطی در بین سطوح مختلف آبیاری، پوشش‌ها بی‌درنگ پس از سپری شدن روزهای بارانی برداشته می‌شد.

صفات مورد بررسی توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای انجام تجزیه‌ی داده‌ها و رسم نمودارها نرم‌افزارهای GenStat 12، SPSS17 و Excel به کار رفت.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های مزرعه‌ای آشکار شد که کاربرد عنصر روی در تیمارهای تنش مورد بررسی قادر به بهبود شماری از پارمترهای این پژوهش می‌باشد. به گونه‌ای که با توجه به جدول ۲ برهم‌کنش مربوط به اعمال تنش خشکی و کاربرد عنصر روی بر روی ایندول استیک اسید، آبسیک اسید، اسید جبرلیک، مقادیر عنصر روی، شاخص کلروفیل، پروتئین، ماده خشک کل، اسید فیتیک و پرولین معنی‌دار بوده است ($p < 0.01$). همچنین اثرات جداگانه کاربرد عنصر روی و تنش خشکی بر صفات میزان تریپتوفان و عملکرد اقتصادی معنی‌دار گشت ($p < 0.01$) (جدول ۲). همچنین اثرات ساده‌ی این تیمارها در صفات میزان تریپتوفان، عملکرد اقتصادی معنی‌دار شد ($p < 0.01$).

تجزیه‌ی واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش کاربرد نانو اکسید روی و اعمال تنش خشکی دارای اثرات معنی‌داری در مقادیر ایندول استیک اسید بودند ($p < 0.01$) (جدول ۲). بیشترین میزان ایندول استیک اسید مربوط به تیمار کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد در هر سه نوع آبیاری می‌باشد که تفاوت معنی‌داری با تیمار نیم درصد کاربرد اکسید روی در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نشان نداد (شکل ۲). در این پژوهش، میزان استیک اسید در تیمار شاهد با آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در حدود ۱۱۸/۳ نانوگرم بر گرم وزن تر بود، بهره‌گیری از نانو اکسید روی در شرایط فوق باعث افزایش ۳۷/۵ درصدی ایندول استیک اسید گشت، کاربرد اکسید روی نیز سبب افزایش ۱۳/۴ درصدی میزان ایندول استیک اسید شد. به همین ترتیب، کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در تیمار شاهد با آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی سبب افزایش میزان هورمون ایندول استیک اسید از حدود ۱۳۰ نانوگرم بر گرم وزن تر تا ۲۹۲/۳ نانوگرم بر گرم وزن تر گردید (شکل ۲). طبق اظهارات مارشنر (Marschner, 2011) متمایزترین نشانه‌های کمبود روی کاهش یا توقف رشد برگ‌ها و اندام‌های هوایی می‌باشد. افزایش رشد شاخساره در نتیجه‌ی کاربرد عنصر روی توسط چاکماک (Cakmak, 2008) نیز گزارش گردیده است. عنصر روی سطوح اکسین در گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که کمبود آن موجب توقف رشد و همچنین، تجزیه ایندول استیک اسید توسط افزایش فعالیت پراکسیداز خواهد گردید. تبدیل مواد به مقیاس نانو تمام خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و فعالیت کاتالیزوری

عناصر را تغییر می‌دهد که علاوه بر افزایش انحلال‌پذیری عناصر، قابلیت نفوذ در غشای سلولی آنها را نیز بهبود می‌دهد همچنین در افزایش فعالیت‌های شیمیایی عناصر نیز تأثیر مثبتی دارد. برای نخستین بار، سکوگ (Skoog, 1940) گزارش کرد هنگامی که گیاهان گوجه‌فرنگی تحت شرایط کمبود روی قرار گرفتند میزان ایندول استیک اسید در این گیاهان کاهش معنی‌داری را نشان داد. در شرایط فراهمی این عنصر، گذشته از افزایش مقدار ایندول استیک اسید، بلندی گیاهان نیز افزایش معنی‌داری را نشان داد. عنصر روی سطوح اکسین در گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که کمبود آن موجب توقف رشد و همچنین، تجزیه ایندول استیک اسید توسط افزایش فعالیت پراکسیداز خواهد گردید. پایین بودن اکسین در گیاهانی با کمبود روی توسط چاکماک و همکاران (Cakmak et al., 1989) نیز گزارش شده است.

تجزیه‌ی واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش کاربرد نانو اکسید روی و اعمال تنش خشکی دارای اثرات معنی‌داری در مقادیر اسید آبسیک بودند ($p < 0.01$) (جدول ۲). بیشترین میزان اسید آبسیک مربوط به تیمار کاربرد اکسید روی نیم درصد در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۲). در این پژوهش، میزان اسید آبسیک در تیمار شاهد با آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در حدود ۴۹۴ نانوگرم بر گرم وزن تر بود، به کارگیری نانو اکسید روی در همان شرایط باعث کاهش ۲۲ درصدی اسید آبسیک گشت، کاربرد اکسید روی نیز در همین شرایط سبب کاهش ۹/۵۱ درصدی میزان اسید آبسیک شد. به همین ترتیب، کاربرد نانو اکسید روی در شرایط آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش ۴۹/۶ و ۲۰/۵ نانوگرم بر گرم وزن تر از مقدار این هورمون نسبت به تیمار شاهد در این شرایط گردید (شکل ۲). اسید آبسیک باعث کاهش رشد دانه می‌گردد که به احتمال فراوان از راه کاهش در شمار سلول آندوسپرمی و محدود کردن بیشینه گنجایش اندوخته‌ای (Myers et al., 1990) یا از راه اثرات بازدارندگی آن بر روی گسیل ساکاروز-14C (Borkovec and Prochazka, 1992) صورت می‌گیرد. پژوهش‌های بعدی آشکار ساخت که سطوح بسیار بالای این هورمون پس از دوره تقسیم سلولی، اثر بازدارندگی بر روی پر شدن دانه و رشد دانه ایجاد می‌کند (Ahmadi and Baker, 1999). ولی غلظت متعادل آبسیک اسید در آغاز پر شدن دانه و پیری برگ‌های پرچم به بهبود اجزای عملکرد خواهد انجامید. با توجه به شکل ۲ بیشترین میزان اسید آبسیک مربوط به تیمار کاربرد اکسید روی در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار نانو اکسید روی و آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی می‌باشد که انتظار بر این است که اندازه دانه در این تیمارها نیز بزرگتر باشد چرا که سرعت پرشدن دانه در این تیمارها بالاتر می‌باشد. در همین رابطه

استیک اسید و اسید آبسسیک به طور معنی داری کاهش نشان می دهد (Zdunek and Lips, 2001). کاهش غلظت اسید آبسسیک در کمبود پتاسیم نیز گزارش شده است (Benech- Marrush *et al.*, 1998).

اسچوسلر و همکاران (Schussler *et al.*, 1984) نشان دادند که در گیاه سویا (*Glycine max* L.) رقمی با وزن دانه بالا، محتوای اسید آبسسیک نیز بالاتر بود. در رابطه با نیتروژن نیز این گفته صادق می باشد که با کاهش در دسترس بودن این عنصر میزان ایندول

جدول ۲- تجزیه ی واریانس میانگین مربعات مربوط به صفات مورد بررسی گندم تحت تأثیر عنصر روی و اعمال تنش خشکی

Table 2- Analysis of variance mean of squares of the traits affected by zinc and drought stress

میانگین مربعات (Mean Square)												
منابع تغییرات Sources of Variation	df	ایندول استیک اسید Indole-acetic acid	آبسیسیک اسید Absciscic acid	اسید جیبرلیک Gibberellic acid	تریپتوفان Tryptop han	مقادیر عنصر روی Zinc	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	پروتئین Protein	ماده خشک کل Total dry matter	عملکرد اقتصادی Yield	اسید فیتیک Phytic Acid	پرولین Proline
تکرار Replication	2	41.76	220.87	109.4	0.23022	0.000016	0.0028	0.30422	14071	0.0086	0.05067	1.7936
تنش Stress	4	20666.8**	202213.8**	15348.6**	5.82689**	0.00042**	38.557**	28.26822**	14352503**	8.1234**	12.514**	163.344**
اشتباه اصلی Error a	4	15.96	11.27	87.1	0.03489	0.000001	0.16422	0.00856	6702	0.03424	0.0343	0.3756
عنصر روی Zn	4	16962.61**	4555.5**	757.92**	0.98978**	0.000073**	4.3025**	4.2325**	478012**	0.2973**	3.29022**	36.1141**
روى × تنش Zn×Stress	8	1830.63**	1091.36**	93.24**	0.04161ns	0.000006**	0.6183**	0.779**	33473*	0.03648 ^{ns}	3.9027**	10.671**
اشتباه Error B	24	76.22	54.13	14.7	0.03917	0.0000006	0.0687	0.04165	13844	0.02454	0.07922	0.626
ضریب تغییرات CV	-	4.8	4	3	8.8	5.1	3.9	3	9.4	7.2	5.1	1.5

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

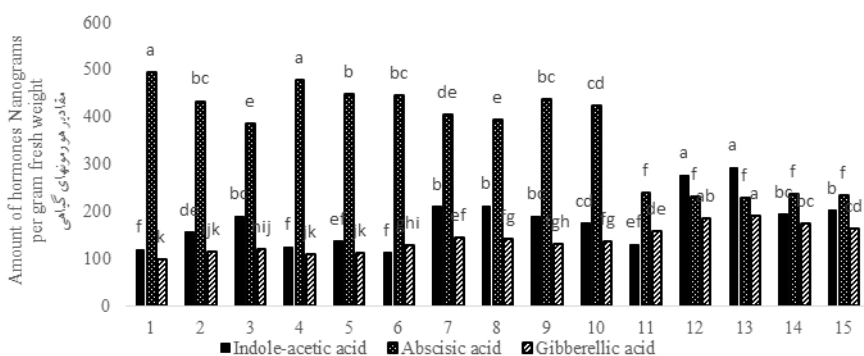
در هر دو شرایط آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز نسبت به تیمارهای عدم کاربرد عنصر روی در همین شرایط افزایشی معادل ۱۲/۵۹ و ۱۸/۰۸ درصد را نشان دادند (شکل ۲). بر پایه گزارش های سینگ و شوکلا (Singh and Shukla, 1985) کاربرد سولفات روی سبب افزایش تولید ایندول استیک اسید گردید که نتیجه آن افزایش درازای ساقه و پیرو آن ماده خشک گیاه بوده است. از سویی سکیموتو و همکاران (Sekimoto *et al.*, 1997) دریافتند که تغذیه مناسب گیاه با عنصر روی غلظت اسید جبرلیک درون گیاهی را هم افزایش می دهد، این پژوهشگران دلیل اصلی توقف رشد برگی را کاهش همزمان اسید جبرلیک و ایندول استیک اسید دانستند.

تجزیه ی واریانس داده ها نشان داد که اثرات اصلی هر دو فاکتور کاربرد عنصر روی و اعمال تنش خشکی در میزان تریپتوفان برگ های گیاهان تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد داشت

در پژوهش کنونی تجزیه ی واریانس داده ها نشان داد که برهم کنش کاربرد نانو اکسید روی و اعمال تنش خشکی دارای اثرات معنی داری در مقادیر هورمون اسید جبرلیک در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). بیشترین میزان هورمون اسید جبرلیک مربوط به تیمار کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن مربوط به تیمار عدم کاربرد عنصر روی در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۲). در این پژوهش، میزان هورمون اسید جبرلیک در تیمار عدم کاربرد عنصر روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در حدود ۱۵۷/۷ نانوگرم بر گرم وزن تر بود. به بیان بهتر، کاربرد نانو اکسید روی در این شرایط باعث افزایش ۱۷/۴۳ درصدی هورمون اسید جبرلیک گشت. کاربرد اکسید روی در همین شرایط نیز سبب افزایش ۹/۳۶ درصدی میزان هورمون اسید جبرلیک شد. به همین ترتیب، کاربرد نانو اکسید روی

مربوط به تیمار آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد عنصر روی بود و کمترین آن نیز با مقادیر ۱/۶۷ و ۱/۷۶ میکروگرم در گرم وزن تر مربوط به تیمار کاربرد یک درصد نانو اکسید روی و آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۳).

(جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین میزان تریتوفان در فاکتور اول مربوط به تیمار کاربرد یک درصد نانو اکسید روی می‌باشد. در رابطه با فاکتور دوم نیز تیمار آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در کمترین مقدار قرار داشت. بیشترین میزان تریتوفان در فاکتور اول و دوم با مقادیر ۲/۹ و ۲/۵۸ میکروگرم در گرم وزن تر



۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Control-50 Irri	Nano zinc oxide0.5-50 Irri	Nano zinc oxide1-50 Irri	Zinc oxide0.5-50 Irri	Zinc oxide1-50 Irri	Control-75 Irri	Nano zinc oxide0.5-75 Irri	Nano zinc oxide1-75 Irri
شاهد-آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۵ درصد نانو روی-آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۱ درصد نانو اکسید روی-آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۵ درصد اکسید روی-آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۱ درصد اکسید روی-آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی	شاهد-آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی	۰/۵ درصد نانو روی-آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی	۱ درصد نانو اکسید روی-آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	
Zinc oxide0.5-75 Irri	Zinc oxide1-75 Irri	Control-90 Irri	Nano zinc oxide0.5-90 Irri	Nano zinc oxide1-90 Irri	Zinc oxide0.5-90 Irri	Zinc oxide1-90 Irri	
۰/۵ درصد اکسید روی-آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی	۱ درصد اکسید روی-آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی	شاهد-آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۵ درصد نانو روی-آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۱ درصد نانو اکسید روی-آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۰/۵ درصد اکسید روی-آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی	۱ درصد اکسید روی-آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی	

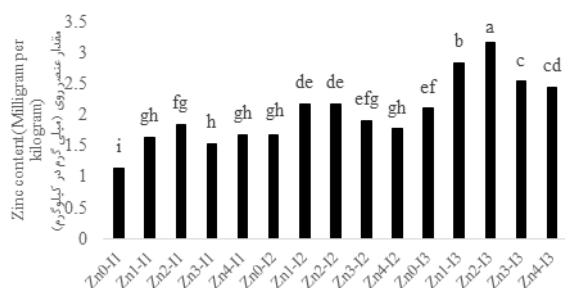
شکل ۲- اثر کاربردهای عنصر روی در شرایط مختلف تنش بر مقادیر اسید جبرلیک، اسید آبنسیک و ایندول استیک اسید

Figure 2- Effect of zinc element application in different stress conditions on gibberellic acid, Absciscic acid and indole acetic acid

گیاهان شناخته شده است که شامل مسیر زیر می‌باشد: اسید آمینه تریتوفان به وسیله واکنش دامیناسیون به ایندول پیروویک اسید تبدیل می‌شود. سپس این ماده توسط واکنش دکربوکسیلاسیون به اندول استالدوئید تبدیل می‌گردد. ایندول استالدوئید نیز تحت تأثیر واکنش دهیدروژناسیون به ایندول استیک اسید تبدیل خواهد شد. آشکار شده است که عنصر روی به صورت غیرمستقیم در سنتز ایندول استیک اسید و به صورت مستقیم در سنتز تریتوفان نقش ایفا می‌کند، به این صورت که اسید آمینه تریتوفان به واسطه آنزیم تریتوفان

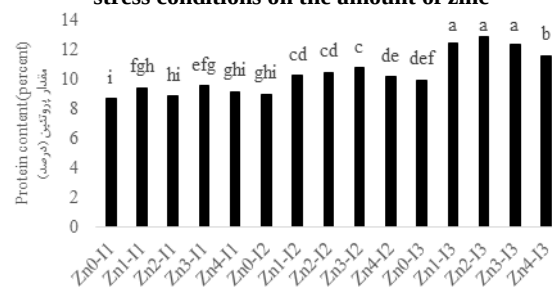
طی این پژوهش، انباشت اسید آمینه تریتوفان با کاربرد نانو اکسید روی به مقدار ۰/۵۳ و ۰/۸۲ درصد کاهش یافت. در پژوهش‌های نخستین در مورد اکسین بیان گردیده است که از آنجایی که ایندول استیک اسید از دیدگاه ساختمان شیمیایی همانند اسید آمینه تریتوفان است از این رو، به احتمال فراوان از تریتوفان ساخته می‌شود. پس از شناسایی عناصر رادیواکتیو و کاربرد آنها در پژوهش‌های زیستی، این نظر تأیید شد. با به کارگیری کربن رادیواکتیو (کربن ۱۴) مسیر تشکیل ایندول استیک اسید (IAA) در بسیاری از

است. کمبود عناصر کم مصرف منجر به تغییراتی در سطوح اسیدهای آمینه گیاهان می گردد که از این تغییرات به عنوان شاخص و معیار شناسایی نوع و مقدار کمبود استفاده می گردد. بنا به اظهارات چاکماک و همکاران (Cakmak *et al.*, 1989) تجمع برخی از اسیدهای آمینه در شرایط کمبود عناصر کم مصرف رخ می دهد. در شرایط کمبود عنصر روی انباشت اسید آمینه تریتوفان در این پژوهش گزارش می گردد که این نتیجه توسط چاکماک و همکاران (Cakmak *et al.*, 1989) نیز گزارش شده است.



شکل ۴- اثر کاربردهای عنصر روی در شرایط مختلف رطوبتی بر مقدار عنصر روی

Figure 4- Effect of zinc element application in different stress conditions on the amount of zinc



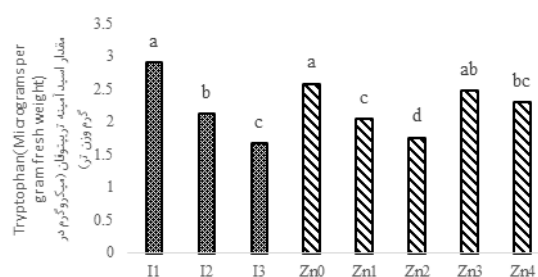
شکل ۶- اثر کاربردهای مختلف روی در شرایط مختلف رطوبتی بر مقدار پروتئین

Figure 6- Effect of zinc element application in different stress conditions on the amount of protein

I1	I2	I3	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Zn4
Irrigation at 50% crop capacity	Irrigation at 75% crop capacity	Irrigation at 90% crop capacity	Control	Nano zinc oxide 0.5%	Nano zinc oxide 1%	Zinc oxide 0.5%	Zinc oxide 1%
آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی	آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی	آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی	عدم کاربرد عنصر روی	نانو اکسید روی ۰/۵ درصد	نانو اکسید روی ۱ درصد	اکسید روی ۰/۵ درصد	اکسید روی ۱ درصد

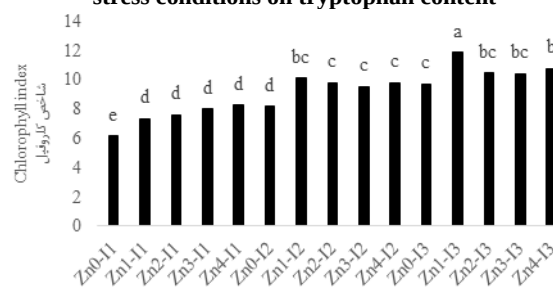
تیمار کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود و کمترین مقدار این عنصر نیز با مقدار ۱/۱۳ میلی گرم در کیلوگرم مربوط به تیمار شاهد در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۴). کاربرد نانو اکسید روی به تنهایی توانست میزان ذخیره

سنتتاز تولید می گردد که طی فعالیت این آنزیم پیش ماده ایندول و سرین باهم ترکیب و تولید اسید آمینه تریتوفان می کنند (Salami and Kenefick, 1970). ولی طبق اظهارات سلامی و کنفیک (Salami and Kenefick, 1970) سازوکار سنتز ایندول استیک اسید بیشتر از سازوکار تولید تریتوفان از کمبود عنصر روی متأثر می گردد به همین دلیل می باشد که در پژوهش حاضر، اسید آمینه تریتوفان در شرایط کمبود عنصر روی به حالت انباشت در آمده است. در شرایط کمبود این عنصر در پژوهش حاضر، اسید آمینه تریتوفان انباشته شده



شکل ۳- اثر کاربردهای مختلف روی و شرایط مختلف رطوبتی بر مقدار تریتوفان

Figure 3- Effect of z1inc element application in different stress conditions on tryptophan content



شکل ۵- اثر کاربردهای مختلف روی در شرایط مختلف رطوبتی بر شاخص کلروفیل

Figure 5- Effect of zinc element application in different stress conditions on Chlorophyll index

بررسی تأثیر کاربرد نانو اکسید روی و اکسید روی معمولی در شرایط متفاوت تنش خشکی نشان داد که میزان عنصر روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار است (جدول ۲). مقایسات میانگین این پارامتر نشان داد که بالاترین مقدار عنصر روی در دانه مربوط به

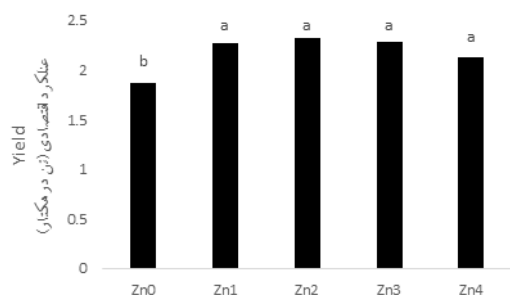
عنصر روی در دانه را به ترتیب ۳۸/۲۵، ۲۲/۶۸ و ۳۳/۵۴ درصد در شرایط آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد بهبود یخشد (شکل ۴). افشانه کردن عنصر روی بر اندام‌های هوایی، علاوه بر رشد ریشه و شاخساره می‌تواند موجب افزایش عملکرد و غلظت روی در دانه نیز گردد (Movahhedy et al., 2009). چاکماک و همکاران (Cakmak et al., 2010) اشاره کردند که افشانه کردن برگی عنصر روی بسیار بیش‌تر از کاربرد خاکی آن در افزایش غلظت روی دانه مؤثر می‌باشد. سلول‌های برگ‌های گندم دارای دیواره سلولی نیمه نفوذپذیر هستند که همین امر باعث می‌گردد مولکول‌هایی با اندازه کمتر از چند نانومتر بتوانند از دیواره سلولی عبور کنند (Stoimenov et al., 2002). بنابراین با عبور نانوذرات از سلول‌های گیاهی این احتمال وجود دارد که این نانوذرات از طریق آوندها و به همراه مواد غذایی به دانه‌ها رسیده و در آن تجمع می‌یابند. همچنین بنا به گزارشات مانجوناتا و همکاران (Manjunatha et al., 2016) با توجه به کوچک‌تر بودن اندازه نانو ذرات روی نسبت به سایر نانو ذرات، میزان جذب و تجمع این نانوذره در اندام‌های هوایی و دانه گیاهان (در شرایط افشانه کردن) نسبت به سایر نانو ذرات در بیشترین مقدار خود بود. از نظر زمان افشانه کردن نیز گزارشات متعددی وجود دارد که افشانه کردن عنصر روی را در مراحل آخر پر شدن دانه، بوتینگ و شیرینی دانه مؤثرترین راه برای بهینه‌سازی غلظت روی دانه دانسته‌اند که به‌طور میانگین غلظت روی دانه را تا حدود ۱۴۰ درصد افزایش می‌دهد (Cakmak, 2010).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش، کاربرد عنصر روی در شرایط متفاوت تنش خشکی بر شاخص کلروفیل در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین این شاخص نشان داد که بیشترین میزان آن با مقدار ۱۱/۸۳ مربوط به تیمار کاربرد نیم درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میزان آن نیز با مقدار ۶/۱۳ مربوط به تیمار شاهد در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود. از میان رفتن و کاهش میزان کلروفیل برگ از واکنش‌هایی است که در شرایط کمبود عنصر روی دیده می‌شود (Abbasi et al., 2016). عنصر روی با دخالت در تنظیم غلظت‌های سیتوپلاسمی عناصر، در بیوسنتز کلروفیل و کارتنوئید نقش مهمی را ایفا می‌کند (Wang et al., 2009). که سرانجام بر روی دستگاه فتوسنتزی گیاه مؤثر و مطلوب خواهد بود (Aravind and Prasad, 2004). افزایش میزان کلروفیل با مصرف عنصر روی در گیاه لفل (*Capsicum annum* L.)، گندم و لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) گزارش شده است (Abbasi and shekari, 2016). کمبود عنصر روی از راه کاهش پایداری سلولی موجب افزایش نشت سلولی می‌گردد که این امر تأثیر مستقیمی می‌تواند بر روی تخریب کلروفیل‌ها و کاهش میزان فتوسنتز برگ داشته باشد (Fitter and Hay, 2002). از طرفی، هر چند عنصر روی به‌صورت مستقیم در

تشکیل کلروفیل نقش اساسی ندارد ولی می‌تواند بر غلظت دیگر عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل (همانند آهن و منیزیم (Abbasi and Enayati, 2013)) مؤثر باشد (Kaya and Higgs, 2002). موحدی و همکاران (Movahhedy et al., 2004) در آزمایشی به این نتیجه رسیدند که افشانه کردن عنصر روی می‌تواند موجب افزایش کلروفیل در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گردد که این امر می‌تواند به علت نقش این عنصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل باشد. گذشته از نقش سازنده عنصر روی بر حفظ کارایی کلروفیل برگ‌ها، عنصر یاد شده در به تعویق انداختن تخریب و پیری سلولی به‌صورت غیر مستقیم بر شاخص کلروفیل تأثیر دارد (Movahhedy et al., 2004). تورس نتو و همکاران (Torres Netto et al., 2005) علت کاهش مقدار کلروفیل در برگ‌های تنش دیده در ارقام گندم را در نتیجه خسارت به غشا کلروپلاست طی تنش اعلام کردند. آنها بیان داشتند که با توجه به تأثیر سوء شرایط تنش بر واکنش نوری و انتقال الکترون در مسیرهای صدمه رسان، تولید انواع اکسیژن فعال افزایش چشمگیری یافته و این مولکول‌ها باعث واکنش‌های فتواکسیداسیون در کلروپلاست و همچنین باعث اکسیداسیون کارتنوئید و پروتئین‌ها می‌شود. تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش خشکی باعث از بین رفتن کلروفیل و کاهش مقدار آن در واحد سطح می‌گردد (Wahid et al., 2007).

بررسی تأثیر کاربرد عنصر روی در شرایط متفاوت تنش خشکی بر روی مقدار پروتئین در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین این پارامتر نشان داد که بیشترین میزان پروتئین با مقادیر ۱۲/۸، ۱۲/۴ و ۱۲/۳۳ درصد مربوط به تیمار کاربرد یک و نیم درصد نانو اکسید روی و نیم درصد اکسید روی در شرایط آبیاری نرمال و کمترین میزان پروتئین نیز با مقدار ۸/۶۳ درصد مربوط به تیمار شاهد در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۶). از گزارشات قدیمی در رابطه با پروتئین می‌توان به گزارش مارشمر (Marschner, 1993) اشاره نمود که به افزایش درصد پروتئین دانه گندم با مصرف سولفات روی منتهی شد. بنا به اظهارات دنیل و همکاران (Daniel et al., 2003) عنصر روی در تولید پروتئین نقش مهمی را ایفا کرده و می‌تواند درصد آن را افزایش دهد. تیمار نانو اکسید روی احتمالاً به علت افزایش فعالیت برخی آنزیم‌ها نظیر آنزیم‌های هیدرولیزکننده یا به دلیل سنتز پروتئین‌ها و پلی پپتیدهای درگیر در سیستم دفاعی سلول، افزایش mRNA و به تبع آن افزایش مقدار کل پروتئین باشد (Fediuc et al., 2002). افزایش میزان پروتئین دانه در شرایط افزایش عنصر روی توسط بقای زاده و همکاران (Baghizadeh et al., 2011) تعدادی از پژوهشگران در گیاهان مختلف گزارش شده است. بنا به اظهارات کرما (Keram et al., 2014) فعالیت آنزیم گلوتامیک دهیدروژناز به‌واسطه تأثیر

2008). عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2016) وجود همبستگی بالا بین رشد و عملکرد گندم را تأیید کردند. در همین راستا سدری و ملکوتی (Sedri and Malakouti, 1998) اعلام کردند در مناطقی از ایران که روی قابل جذب خاک کمتر از ۱/۱ میلی گرم بر کیلوگرم باشد کاهش رشد گیاهان سبب کاهش عملکرد گیاهان زراعی می گردد. در این پژوهش، با کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در شرایط آبیاری کامل میزان عملکرد گندم را به میزان ۱۷/۸۱ درصد نسبت به شرایط شاهد بهبود بخشید (شکل ۶). در همین راستا، عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2016) گزارش کردند که بهره گیری از سولفات روی نسبت به غلظت صفر در شرایط بدون تنش، باعث افزایش ۲۷ و ۲۲ درصدی عملکرد دانه شد.



شکل ۸- اثر شرایط کاربردهای مختلف روی بر مقدار عملکرد اقتصادی

Figure 8- Effect of zinc element application on yield

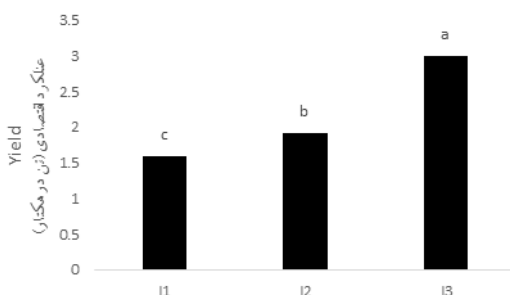
I1	I2	I3	Zn0	Zn1	Zn2	Zn3	Zn4
Irrigation at 50% crop capacity	Irrigation at 75% crop capacity	Irrigation at 90% crop capacity	Control	Nano zinc oxide 0.5%	Nano zinc oxide 1%	Zinc oxide 0.5%	Zinc oxide 1%
آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی	آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی	آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی	عدم کاربرد عنصر روی	نانو اکسید روی ۰/۵ درصد	نانو اکسید روی ۱ درصد	اکسید روی ۰/۵ درصد	اکسید روی ۱ درصد

پورقاسم و همکاران (Pourghasem et al., 2005) اعلام نمودند که کمبود عنصر روی عامل اصلی کاهش کیفیت نان های مصرفی برخی از کلان شهرها و یکی از شایع ترین ناهنجاری های تغذیه ای در این شهرها می باشد. عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2017) ادعان داشتند که کاربرد عنصر روی در بین تیمارهای به کار برده شده به دلیل کاهش میزان اسید فیتیک دانه های برداشت شده توانست در افزایش کیفیت تغذیه ای در شرایط تنش خشکی تأثیر مستقیم داشته باشد.

برهم کنش کاربرد عنصر روی در مراحل تنش بر غلظت پرولین گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید (جدول ۲). مقایسات میانگین این پارامتر نشان داد که بالاترین غلظت این ماده در تیمار

مستقیم عنصر روی فعال می گردد که این امر باعث افزایش گلوتن اندوخته شده در دانه و بالا رفتن میزان پروتئین دانه خواهد شد.

بررسی تأثیر کاربرد عنصر روی در شرایط متفاوت تنش خشکی بر روی عملکرد اقتصادی گندم در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین این شاخص نشان داد که کاربرد یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین مقدار عملکرد دانه را از آن خود نمود (شکل ۶). کمترین میزان این پارامتر نیز با مقدار ۱/۱۸۶ تن در هکتار مربوط به تیمار شاهد در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۶). تأثیرپذیری رشد گیاهان از کمبود عنصر روی نهایتاً سبب کاهش عملکرد گیاهان زراعی خواهد شد، این مهم به دلیل اهمیت عنصر روی در انجام فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان زراعی می باشد (Khan et al., 2003).



شکل ۷- اثر شرایط مختلف رطوبتی بر مقدار عملکرد اقتصادی

Figure 7- Effect of different stress conditions on yield

درخصوص اسید فیتیک اثرات کاربرد عنصر روی در شرایط متفاوت تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسات میانگین این پارامتر نشان داد که بالاترین مقدار اسید فیتیک دانه با مقدار ۲۰/۷۷ درصد مربوط به تیمار کاربرد نیم درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود و کمترین مقدار این ماده نیز با مقدار ۱۶/۶ میلی گرم در کیلوگرم مربوط به تیمار یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). فسفر در دانه ۵۰ تا ۸۰ درصد به صورت اسید فیتیک ذخیره می گردد. این ماده با تشکیل پیوندهای مستحکم با عنصر روی غلظت این عنصر را به شدت کاهش داده و سبب اختلال در جذب و هضم آنها در دستگاه گوارش انسان می شود (Prasad, 2003).

نیتروزن در گیاهان زراعی بخصوص در شرایط تنش خشکی شناخته می‌شود (Liang et al., 2013). به‌صورت کلی در گیاهان زراعی دو مسیر برای سنتز پرولین وجود دارد. ۱. مسیر گلوتامات که نقش اصلی در سنتز پرولین در شرایط تنش خشکی دارد و ۲. مسیر آرژنین-اورنیتین (Hu et al., 1992). پرولین در شرایط تنش از واکوئل به سیتوزول و با کاهش تنش به واکوئل و پلاسمید انتقال می‌یابد. تأثیر عنصر روی در افزایش غلظت پرولین توسط پژوهشگران دیگری نیز گزارش شده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش غلظت عنصر روی مقدار پرولین اندام هوایی افزایش می‌یابد (Singh et al., 2014).

یک درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل گردید. کم‌ترین مقدار پرولین نیز مربوط به تیمار کاربرد نیم درصد نانو اکسید روی در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). یکی از شاخص‌های ارزیابی گیاهان تحت تنش خشکی، انباشت پرولین در اندام‌های مختلف گیاهی می‌باشد (Zengin, 2006). اثرات مثبت حضور پرولین در توازن آب و تحمل تنش خشکی در پژوهش‌ها نشان داده شده است (Siddiqui et al., 2015). افزایش سنتز پرولین در گیاهان تحت تنش سبب مهار و کاهش اثرات انواع اکسیژن فعال می‌گردد که این مهم نیز باعث محافظت غشاهای سلولی، پروتئین‌های سلول و همچنین آنزیم‌های سیتوپلاسمی می‌گردد (Liang et al., 2013). همچنین این ماده به‌عنوان منبع کربن و

جدول ۳- مقایسات میانگین مربوط به صفات ماده خشک، عملکرد اقتصادی، مقدار اسید فیتیک و پرولین تحت تأثیر تیمارهای مصرف عنصر روی و اعمال تنش خشکی

Table 3- Compare means of dry matter, yield, amount of phytic acid and proline under the influence of zinc element treatment and drought stress

تنش خشکی Stress Drought	تیمار Treatment	ماده خشک Dry matter	مقدار اسید فیتیک Phytic Acid	پرولین Proline
Irrigation at 50% crop capacity	Control	3220fg	19.3b	53.67efg
	Nano zinc oxide0.5	3567def	17.13fg	55.53de
	Nano zinc oxide1	3614de	16.6g	61.97a
	Zinc oxide 0.5	3620de	17.4efg	52.9fgh
Irrigation at 75% crop capacity	Zinc oxide 1	3437efg	17.13fg	54.23def
	Control	3151g	18.13cde	54.3def
	Nano zinc oxide0.5	3631de	18.43bcd	55.87cde
	Nano zinc oxide1	3932d	17.63def	58.17bc
Irrigation at 90% crop capacity	Zinc oxide 0.5	3579def	19.1b	56.3cd
	Zinc oxide 1	3430efg	18.73bc	58.9b
	Control	4910c	19.3b	49.2ij
	Nano zinc oxide0.5	5429ab	20.77a	48.73j
Irrigation at 90% crop capacity	Nano zinc oxide1	5548a	18.7bc	52.37fgh
	Zinc oxide 0.5	5126bc	17.17fg	50.8hij
	Zinc oxide 1	5046c	20.77a	51.6ghi

نتیجه‌گیری

افزایش شاخص کلروفیل از مقدار ۶/۱۳ به مقدار ۶/۶، افزایش مقدار پروتئین دانه از مقدار ۸/۶۳ به ۸/۸ درصد در شرایط تنش شدید و کاربرد یک درصد نانو اکسید روی نشان از تخفیف اثرات سوء تنش خشکی و بهبود شرایط رشدی گیاهان می‌باشد که نهایتاً به افزایش عملکرد زیست‌توده از ۳۲۲۰ به ۳۶۱۴ کیلوگرم در هکتار و همچنین افزایش عملکرد اقتصادی از ۱/۱۸۶ به ۱/۶۸۴ تن در هکتار منتهی گردید. از لحاظ کیفیت عملکرد نیز افزایش ذخیره عنصر روی در دانه از ۱/۱۳ به ۱/۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و کاهش میزان اسید فیتیک از ۱۹/۲ به ۱۶/۶ درصد در شرایط تنش خشکی شدید و کاربرد یک درصد نانو اکسید روی نشان از کاهش اثرات سوء تنش خشکی و بهبود عملکرد کیفی نیز می‌باشد.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان چنین اذعان داشت که بروز تنش خشکی با تأثیر بر مقادیر هورمون‌های گیاهی سبب کاهش رشد اندام‌های هوایی و نهایتاً کاهش عملکرد زیست‌توده و عملکرد نهایی می‌گردد. از آنجایی که بهره‌گیری از عنصر روی می‌تواند با افزایش ساخت پرولین و پیشگیری از تخریب کلروفیل موجب کاهش اثرات سوء تنش کم‌آبی و بهبود شرایط رشدی گیاهان گردد می‌توان نتیجه گرفت که این تغییرات در شرایط کاربرد عنصر روی نهایتاً می‌تواند به بهبود عملکرد زیست‌توده و عملکرد نهایی منتهی گردد. طی پژوهش حاضر افزایش میزان ایندول استیک اسید از ۱۱۸/۳ به ۱۸۹/۳ نانوگرم برگرم وزن‌تر، افزایش میزان اسید جیبرلیک از ۹۸/۳ به ۱۲۰ نانوگرم برگرم وزن‌تر، کاهش میزان آسبیزیک اسید از ۴۹۴ به ۳۸۵/۳ نانوگرم برگرم وزن‌تر، افزایش میزان پرولین از ۵۳/۶۷ به ۶۱/۹۷ درصد،

References

- Abbasi, A., and Enayati. 2013. Decrease of cell defense mechanisms efficiency and oxidative stress accruing in lake of Mg condition. Iranian Journal of Dryland Agriculture 1 (4): 41-52. (in Persian).
- Abbasi, A., and Shekari, F. 2016. Effect of zinc sulfate on growth and yield of wheat under soil zinc deficiency and drought stress. Cereal Research 6 (2): 145-158. (in Persian).
- Abbasi, A., Shekari, F., Mosavi, S. B., Sabaghnia, N., and Javanmard, A. 2017. Effect of zinc sulfate in the quantity and quality of wheat grain under soil zinc deficiency and drought stress. Cereal Research 7 (1): 1-18. (in Persian).
- Abbasi, A., Shekari, F., Mosavi, S. B., Sabaghnia, N., and Javanmard, A. 2016. The Partitioning Trend of Resources and Alpha-Amylase Enzyme Activity with Zinc Priming in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed. Iranian Journal of Seed Research 3 (2): 1-13. (in Persian).
- Abbasi, A., Shekari, F., Mousavi, S. B., and Sabaghnia, N., 2016. Assessment of the Effect of Zinc Sulfate Biofortification on the Quantity and Quality Characteristics of Spring Wheat Cultivars. Advances in Bioresearch 7 (1):18-25.
- Abbasi, A., Shekari, F., Mousavi, S. B., and Sabaghnia, N. 2015. Promoting the Use of Wheat Enriched Seeds, Stable Way to Solve Zinc Deficiency Problem. International Conference on Healthy Agriculture, Nutrition and Community. Icanp-100-992-1. July, 2015, Tehran, Iran.
- Ahmadi, A., and Baker, D. A. 1999. Effects of abscisic acid (ABA) on grain filling processes in wheat. Plant Growth Regulation 28: 187-197.
- Ali Ehyae, M., and Behbahanizadeh, A. A. 1993. Describe the methods of soil analysis. Soil and Water Research Institute, No. 893.
- Aravind, P., and Prasad, M. N. V. 2004. Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L.: A freshwater macrophyte. Plant Science 166: 1321-1327.
- Baghizadeh, A., and Hajmohammadrezaei, M. 2011. Effect of Drought stress and its interaction with soluble sugar and Salicylic acid on Okra (*Hibiscus Esculentus* L.) germination and seedling growth, Journal of Stress & Biochemistry 1: 55-65.
- Barendse, G., Van, de. Werken, P., and Takahashi, N., 1980. High-performance liquid chromatography of gibberellins. Journal of Chromatography A. 198 (4): 449-455.
- Bates, L., Waldren, R., and Teare, I., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39 (1): 205-207.
- Borkovec, V., and Prochazka, S. 1992. Pre anthesis interaction of cytokinins and ABA in the transport of 14C sucrose to the ear of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agronomy Crop Science 169: 229-235.
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., and Lux, A. 2007. Zinc in plants. New Phytologist 173 (4): 677-702.
- 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.
- Cakmak, I., Marschner, H., and Bangerth, F. 1989. Effect of Zinc Nutritional Status on Growth, Protein Metabolism and Levels of Indole-3-acetic Acid and other Phytohormones in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Experimental Botany 40: 212, pp.
- Daniel, L. P., Roma, D., Bol, A., Nerdal, N., and Brown, K. H. 2003. Absorption of zinc from wheat products fortified with iron and either zinc sulfate or zinc oxide. The American Journal of Clinical Nutrition 78 (2): 279-283.
- Devi, P. G., and Velu, A. S. 2016. Synthesis, structural and optical properties of pure ZnO and Co doped ZnO nanoparticles prepared by the co-precipitation method. Journal of Theoretical and Applied Physics 10 (3): 233-240.
- Fageria, N., Slaton, N., and Baligar, V. 2003. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. Advances in Agronomy 80: 63-152.
- Fao. 2014. from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Fediuc, E., and Laszlo, E. 2002. Physiological and biochemical aspects of cadmium toxicity and protective mechanisms induced in phragmites Australia and Typha latifolia. Plant Physiology 5: 129-132.
- Fitter, A. H., and Hay, R. 2002. Environmental physiology of plants, 3rd ed. San Diego, CA, USA: Academic Press.
- Fontaine, J. 2003. Amino acid analysis of feeds. Amino acids in animal nutrition: 15-40.
- Haug, W., and Lantzsch, H. J. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. Journal of the Science of Food and Agriculture 34 (12): 1423-1426.
- Hu, C. A., Delauney, A. J., and Verma, D. P. 1992. A bifunctional enzyme (Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate synthetase) catalyzes the first two steps in proline biosynthesis in plants. Proceedings of the National Academy of Sciences 89: 9354-9358.
- Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D. C., Jenkins, C. L., Condon, A. G., Richards, R. A., and Dolferus, R., 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. Plant, Cell & Environment 33 (6): 926-942.

27. 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: 53-64.
28. Keram, K. S. 2014. Response of Zinc Fertilization to Wheat on Yield, Quality, Nutrients Uptake and Soil Fertility Grown in a Zinc Deficient Soil. *European Journal of Academic Essays* 1 (1): 22-26.
29. Khan, M. A., Fuller, M. P., and Baloch, F. S. 2008. Effect of Soil Applied Zinc Sulphate on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grown on a Calcareous Soil in Pakistan. *Cereal Research Communications* 36 (4): 571-582.
30. Kisan, B., Shruthi, H., Sharanagouda, H., Revanappa, S., and Pramod, N., 2015. Effect of nano-zinc oxide on the leaf physical and nutritional quality of spinach. *Agrotechnology* 5: 135.
31. Klaine, S., Alvarez, P., Batley, G., Fernandes, T., Handy, R., Lyon, D., Mahendra, S., McLaughlin, M. J., and Lead, J. R. 2008. Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects. *Environmental Toxicology Chemistry* 27: 1825-1851.
32. Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., and Becker, D. F. 2013. Proline Mechanisms of Stress Survival. *Antioxid Redox Signal* 19 (9): 998-1011.
33. Manjunatha, S., Biradar, D., and Aladakatti, Y. 2016. Nanotechnology and its applications in agriculture: A review. *Journal of Farm Science* 29 (1): 1-13.
34. Marrush, M., Ymaguchi, A., and Saltveit, M. E. 1998. Effect of potassium nutrition during bell pepper seed development on vivipary and endogenous levels of abscisic acid. *American Society for Horticultural Science* 123: 925-930.
35. Marschner, H. 1993. Mineral nutrition of hisherplants. 2nd ed. Academic. Press public.
36. Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants, Academic press.
37. Martin, D., Stegman, E., and Fereres, E. 1990. Irrigation scheduling principles. IN: Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 155-203, 19, 9, 81.
38. Movahhedi Dehnavi, M., Modarres Sanavi, A. M., Soroush-Zade, A., and Jalali, M., 2004. Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and maganese. *Biaban* 9 (1): 93-110.
39. Movahhedy-dehnavy, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. *Industrial Crops and Products* 30: 82-92.
40. Muraro, D., Byrne, H., King, J., Voß, U., Kieber, J., and Bennett, M. 2011. The influence of cytokinin–auxin cross-regulation on cell-fate determination in Arabidopsis thaliana root development. *Journal of Theoretical Biology*. 283 (1): 152-167.
41. Myers, P. N., Setter, T. L., Madison, J. T., and Thompson, J. F. 1990. Absciscic acid inhibition of endosperm cell division in cultured maize kernels. *Plant Physiol* 94: 1330-1336.
42. Pourghasem Gargari, B., Mahboub, S. A., and Razavieh, S. V. 2005. Phytic acid and its molar ratio to zinc in consumed breads in tabriz. *Journal of Urmia University of Medical Scinces* 16 (3): 136-142.
43. Prasad, A. S. 2003. Zinc deficiency. *British Medical J.* 326 (7386): 409-410.
44. Premanathan, M., Karthikeyan, K., Jeyasubramanian, K., and Manivannan, G. 2011. Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward Gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* 7 (2): 184-192.
45. Razmjoo, J., and Ghafari, H. 2015. Response of durum wheat to foliar application of varied sources and rates of iron fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17 (2): 321-331.
46. Roche, J., Hewezi, T., Bouniols, A., and Gentzbittel, L. 2009. Real-time PCR monitoring of signal transduction related genes involved in water stress tolerance mechanism of sunflower. *Plant Physiology and Biochemistry* 47 (2): 139-145.
47. Rostamza, M., Chaichi, M. R., Jahansouz, M. R., and Alimadadi, A. 2011. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management* 98 (10): 1607-1614.
48. Salami, A. U., and Kenefick, D. G. 1970. Stimulation of growth in zinc-deficient corn seedlings by the addition of tryptophan. *Crop Science* 10: 291-4.
49. Schussler, J. R., Brenner, M. L., and Brun, W. A. 1984. Absciscic acid and its relationship to seed filling in soybeans. *Plant Physiology* 76: 301.
50. Scott, N., and Chen, H. 2013. Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems. *Industrial Biotechnology* 9 (1): 17-18.
51. Sedri, M. H., and Malakouti, M. J. 1998. Determination of micronutrients critical levels in Kordestan irrigated wheat soils. *Iran. J. Soil Water Sci.* 12: 19-31.
52. Sekimoto, H., Mitsuo, H., Takahito, N., and Takao, Y. 1997. Zinc Deficiency Affects the Levels of Endogenous Gibberellins in *Zea mays* L. *Plant Cell Physiology* 38 (9): 1087-1090.
53. Siddiqui, M. H., Al-Khaishany, M. Y., Al-Qutami, M. A., Al-Wahaibi, M. H., Grover, A. H. M., Al-Wahaibi, M. S., and Bukhari, N. A. 2015. Response of different genotypes of faba Bean plant to drought stress. *International Journal*

- of Molecular Sciences 16: 10214-10227.
54. Singh, J., Padmalochan, H., and Jolly, B. 2014. Potential of *Vigna unguiculata* as a Phytoremediation Plant in the Remediation of Zn from Contaminated Soil. American Journal of Plant Sciences 5: 1156-1162.
55. Singh, K., and Shukla, V. C. 1985. Response of wheat to zinc application in different soils of a semiarid region. Indian Society of Soil Science 40: 119-124.
56. Stoimenov, P. K., Klinger, R. L., Marchin, G. L., and Klabunde, K. Y. 2002. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. Langmuir 18: 6679-6686.
57. Skoog, F. 1940. Relationships between zinc and auxin in the growth of higher plants. American Journal of Botany 27: 939-951.
58. Torres Netto, A., Campostrini, E., DeOliviera, J. G., and Bressan-Smith, R. E. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. Scientia Horticulture 104: 199-209.
59. Van Loon, J. A. 2012. Analytical atomic absorption spectroscopy: selected methods, Elsevier.
60. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M. R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. Environmental and Experimental Botany 61: 199-223.
61. Wang, H., Liu, R. L., and Jin, J. Y. 2009. Effects of zinc and soil moisture on photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of maize. Biologia plantarum 53 (1): 191-194.
62. Yokota, T., Nakayama, M., Harasawa, I., Sato, M., Katsuhara, M., and Kawabe, S. 1994. Polyamines, indole-3-acetic acid and abscisic acid in rice phloem sap. Plant growth regulation 15 (2): 125-128.
63. Zain, M., Khan, I., Qadri, R. W. K., Ashraf, U., Hussain, S., Minhas, S., Siddiquei, A., Jahangir, M. M., and Bashir, M. 2015. Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield and related attributes. American Journal of Plant Sciences 6 (07): 864.
64. Zdunek, E., and Lips, S. H. 2001. Transport and accumulation rates of abscisic and aldehyde oxidase activity in *Pisum sativum* L. in response to sub optimum growth condition. Journal of Experimental Botany 52: 1269-1276.
65. Zengin, K. F. 2006. The effects of Co_2^+ and Zn_2^+ on the contents of protein, abscisic acid, proline and chlorophyll in bean (*Phaseolus vulgaris* cv. Strike) seedlings. Journal of Environmental Biology 27: 441-448.



Effect of Drought Stress and Application of Zinc Oxide on Hormonal Changes and Growth Status of Wheat Bread

A. Abbasi^{1*} - F. Shekari² - R. Lotfi³

Received: 05-10-2017

Accepted: 10-06-2018

Introduction Drought stress and Zn deficiency are important factors affecting the quantity and quality of wheat. Zn deficiency reduces photosynthesis and disorders protein synthesis that the consequence of such process is the gathering of amino acids and amides, and disordering of carbohydrates metabolism. Besides, in such a condition, the length of plants and the size of leaves reduce due to changes in Auxin metabolism, especially Indole Acetic Acid (IAA). Drought stress reduces leaf size, cell division, plant growth, amount of photosynthesis, protein synthesis and chlorophyll content. Balance of plant hormones is affected by both of these factors. Among the compounds with zinc element, Zinc oxide is known from the US Food and Drug Administration as one of the safest and most integral components of Zinc. Nanoparticles have attracted much attention for their distinct characteristics that are unavailable in conventional macroscopic materials. Obviously, increasing of zinc availability and reducing of drought effects can play an effective role in improving the present situation.

Materials and Methods The present study was carried out using split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications. Two factors of drought stress (irrigation at 90% of field capacity as non-stress condition, irrigation in 75% of field capacity as medium stress and irrigation in 50% of field capacity as severe stress) and application of zinc element (without treatment, spraying of 5 and 10 ppm of Nano Zinc Oxide and Zinc Oxide) were examined as factors of this study. In this study, parameters of Indole acetic acid, Absciscic acid, Gibberellic acid, Tryptophan, Amount of Zinc, Chlorophyll index, Protein, Total dry matter, Phytic acid, Proline, and Yield were measured.

Results and Discussion Results of variance analysis of field data revealed that zinc element application in stress conditions could improve a number of parameters of this study. The interactions between drought and zinc on indole acetic acid, absciscic acid, gibberellin, zinc element values, chlorophyll index, protein, phytic acid at one percent probability level and total dry matter content at five percent probability level were significant. Application of nano-zinc oxide in 75% and 50% of field capacity, as well as non-application of Zinc in these conditions caused optimal changes in plant hormones, chlorophyll, protein, economic performance and proline. Application of zinc oxide increased 13.4 and 17.43 percent in the amount of indole acetic acid and gibberellin, while the use of zinc oxide reduced the acidity of 51.9 percent of absciscic acid under 90% field capacity. Zn content increased in seed from 1.13 to 1.83 mg kg and reduction of phytic acid from 19.2 to 16.6 percent under severe drought stress. Application of 10 ppm nano-zinc oxide showed a decrease in the negative effects of drought stress and improved quality of wheat.

Conclusions As a general conclusion, it can be acknowledged that drought stress with effect on plant hormones, decreased the growth of shoot which causes reduced plant dry matter and plant yields. The use of zinc could increase the proline production and prevented chlorophyll degradation that causes reduced the effects of water stress and improved plant growth conditions. As a final result, these changes in Zinc application conditions could improve dry matter yield and economic yield.

Keywords: Auxin, Cytokinin, Phytic Acid, Tryptophan, Yield

1- Assistant Professor of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran

2- Professor of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran

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

(* - Corresponding Author Email: a.abbasi25@yahoo.com)



مطالعه واکنش برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) به سطوح مختلف آب و نیتروژن

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

چکیده

مطالعه واکنش‌های فیزیولوژیک ذرت به مقادیر مختلف آب و نیتروژن، به شناسایی سازوکارهای مؤثر بر ایجاد مقاومت در مقابل شرایط نامطلوب محیطی کمک می‌کند. در این راستا، طی دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در دانشگاه رازی، اثر سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن بر برخی صفات فیزیولوژیک مؤثر بر رشد و تولید ذرت سینگل کراس ۷۰۴ بررسی شد. آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اصلی، چهار سطح آبیاری شامل تأمین ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی و فاکتور فرعی، چهار سطح نیتروژن شامل تأمین ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ درصد مقدار توصیه شده بر اساس آزمون خاک بود. نتایج نشان داد که به دلیل شرایط آب و هوایی متفاوت و دمای بیشتر هوا در سال دوم آزمایش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای برگ‌ها در مقایسه با سال اول به طور معنی‌داری کمتر و دمای برگ به طور معنی‌داری بیشتر بود. همچنین تأثیر منفی کم آبی بر فعالیت فتوسیستم II در سال دوم مشاهده شد. در هر دو سال، با افزایش شدت کم آبی، صفات‌های محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوستیز و سرعت تعرق کاهش یافتند. افزایش مقدار نیتروژن تا حد تأمین نیاز گیاه منجر به افزایش سرعت فتوستیز شد. در شرایط بدون تنش کم آبی، مصرف نیتروژن تا حد مقدار توصیه شده منجر به افزایش سرعت فتوستیز، کاهش سرعت تعرق و در نهایت بهبود کارایی مصرف آب فتوستیزی گردید. اما در شرایط کم آبیاری، تفاوت صفات مورد بررسی بین سطوح نیتروژن معنی‌دار نبود. در هر دو سال، افزایش همزمان آب و نیتروژن موجب افزایش عملکرد دانه گردید. در سال اول بیشترین و کمترین عملکرد دانه (۹۸۰ و ۲۹۴ گرم در مترمربع) به ترتیب متعلق به تیمارهای $I_{120\%}N_{140\%}$ و $I_{60\%}N_{70\%}$ بود. در سال دوم نیز بیشترین و کمترین عملکرد دانه (۹۰۳ و ۲۷۷ گرم در مترمربع) به ترتیب در تیمارهای $I_{120\%}N_{100\%}$ و $I_{60\%}N_{40\%}$ مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: تعرق، فتوستیز، کم آبی، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

(Alizadeh Oghyanus *et al.*, 2008). به منظور دستیابی به تولید

قابل قبول و جلوگیری از تلفات آب و نیتروژن، باید این دو نهاده مهم با مدیریت دقیق در اختیار گیاه قرار گیرد.

پاسخ مناسب ذرت به کاربرد نیتروژن که از طریق تأثیر بر ویژگی‌های فیزیولوژیک سبب دستیابی به عملکرد بالاتر می‌شود، دلیل مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژن‌دار از سوی کشاورزان است (Mulvaney *et al.*, 2001). مصرف زیاد نیتروژن، تلفات نیتروژن شامل آبشویی، دنیتریفیکاسیون و تصعید را به دنبال دارد (Olaniyan *et al.*, 2004). امروزه به کارگیری روش‌های نوین آبیاری، مانند کم آبیاری نه تنها به عنوان راهکاری برای مقابله با بحران کم آبی مورد توجه قرار دارد، بلکه نقش مهمی در جلوگیری از آبشویی و حفظ عناصر غذایی در منطقه ریشه و افزایش جذب آن‌ها توسط گیاه خواهد داشت (Gheysari *et al.*, 2009). کم آبیاری به عنوان یک راهکار

تغییر سطوح آب و نیتروژن سبب ایجاد واکنش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متفاوتی در گیاه و سلول‌های آن می‌شود. این تغییرات در گیاه برای پاسخ به تنش در جهت تخفیف یا رفع اثرات تنش، ایجاد شده و به دنبال آن عملکرد تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Ghobadi, 2017). مدیریت نامناسب آب و نیتروژن، اصلی‌ترین عوامل محدودکننده رشد ذرت (*Zea mays* L.) محسوب می‌شوند

۱- دانش‌آموخته دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه رازی

۲ و ۴- به ترتیب دانشیار و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه رازی

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

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

سودمند در شرایط محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی، مطرح شده است. با کم آبیاری به طور آگاهانه به گیاه اجازه داده می شود با دریافت آب کمتر از نیاز، محصول خود را کاهش دهد (English et al., 1990). در صورت استفاده منطقی و مدیریت شده از روش کم آبیاری، میزان کاهش محصول در برابر منفعت حاصل از مقدار آب ذخیره شده ناچیز خواهد بود (Dokoochaki et al., 2012). در حال حاضر، اغلب توصیه مصرف نیتروژن برای شرایط مطلوب آبی انجام می شود. با توجه به این که در شرایط کم آبی جذب عناصر غذایی کاهش می یابد، لازم است توصیه های کودی مطابق با شرایط آبی موجود صورت گیرد. مطالعه نحوه و شدت واکنش فیزیولوژیک ذرت به مقادیر مختلف آب و نیتروژن در دسترس، به شناسایی ساز و کارهای مؤثر در ایجاد مقاومت گیاه به شرایط نامطلوب محیطی و تخمین دقیق تر نیاز ذرت به آب و نیتروژن کمک می کند.

برگ های ذرت در ایجاد سازوکار اجتناب از کم آبی نقش مهمی دارند. لوله شدن برگ، پیامد کاهش فشار تورژسانس سلول های بالی فرم اطراف رگبرگ است. حفظ پتانسیل آب برگ عامل مهمی در تولید ماده خشک است (Khaksar et al., 2014). محتوای نسبی آب برگ، شاخص مناسبی برای ارزیابی وضعیت آب برگ است. زیرا تعادل بین آب تأمین شده برای برگ و سرعت تعرق را منعکس می کند (Sanchez-Rodriguez et al., 2010). کاهش سرعت فتوسنتز در اثر تنش به محدودیت های روزنه ای و غیر روزنه ای مربوط است. دلیل اصلی کاهش فتوسنتز در شرایط کمبود آب، کاهش ورود دی اکسید کربن در اثر بسته شدن روزنه ها است. کاهش معنی دار هدایت روزنه ای در اثر کم آبی قبل از کاهش معنی دار پتانسیل آب برگ ایجاد می شود (Rezaii Rad et al., 2016). پس از درک تنش کم آبی به عنوان یک عکس العمل فیزیولوژیک، هورمون آبسزیک اسید در ریشه تولید می شود. ارسال این هورمون به اندام های هوایی پاسخ های دفاعی مثل بسته شدن روزنه ها، کاهش سرعت رشد برگ و در نتیجه کاهش هدر رفت آب و افزایش کارایی مصرف آب را به دنبال دارد (Sepaskhah and Ahmadi, 2010). محدودیت های غیر روزنه ای فتوسنتز ناشی از افزایش مقاومت مزوفیلی نسبت به انتشار دی اکسید کربن از فضای زیر روزنه به محل تثبیت، افزایش مقاومت غلاف آوندی نسبت به حرکت اسید چهار کربنه از سلول مزوفیلی به سلول غلاف آوندی، تخریب غشاهای سلول و کلروپلاست، کاهش محتوای رنگدانه، کاهش مقدار و فعالیت آنزیم های فتوسنتزی و ممانعت از فعالیت فتوسیستم II است (Seghatoleslami et al., 2008; Retta et al., 2016).

به دنبال کمبود نیتروژن، کاهش سطح برگ در مقایسه با کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ تأثیر بیشتری بر کاهش تولید ماده خشک خواهد داشت. با این وجود، شواهدی مبنی بر تأثیر مستقیم نیتروژن بر

سرعت فتوسنتز وجود دارد. نیتروژن با تغییر محتوای رنگدانه و سنتز آنزیم های مسیر فتوسنتز، جذب تشعشع و سرعت فتوسنتز را تحت تأثیر قرار می دهد (Zeiaie, 2007). دینگ و همکاران (Ding et al., 2005) کاهش سرعت فتوسنتز ذرت در شرایط کمبود نیتروژن را به دلیل کاهش محتوای پروتئین های استروما و تیلاکوئید از جمله آنزیم های کلیدی فتوسنتز (رابیسکو و فسفوانول پیروات کربوکسیلاز) گزارش کردند. با این حال، به عقیده ضیایی (Zeiaie, 2007) وفور آنزیم رابیسکو موجب مقاومت فتوسنتز در مقابل کمبود نیتروژن می شود. اما ممکن است بر اثر حرکت و انتقال نیتروژن از برگ، سطح نیتروژن برگ به قدری پایین بیاید که فتوسنتز آسیب ببیند.

با توجه به بحران کم آبی، لزوم گسترش تکنیک کم آبیاری و به دنبال آن لزوم برقراری تناسب بین مقدار نیتروژن مصرفی با آب موجود در روش کم آبیاری احساس می شود. در این شرایط، مطالعه صفات فیزیولوژیک به فهم بهتر واکنش ذرت به مقادیر مختلف آب و نیتروژن در دسترس کمک می کند. بنابراین، این تحقیق با هدف ارزیابی نقش مقادیر مختلف آب و نیتروژن در ایجاد تغییرات فیزیولوژیک برگ ذرت در مرحله ظهور گل تاجی انجام شد.

مواد و روش ها

این تحقیق طی سال های 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) به صورت کرت های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی چهار سطح آبیاری شامل تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید کم آبی، I_{60%})، تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی (تنش ملایم کم آبی، I_{80%})، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (آبیاری کامل، I_{100%}) و تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی (بیش آبیاری، I_{120%}) 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 ۳). بر اساس طبقه بندی دمارتن، اقلیم منطقه سرد و نیمه خشک می باشد. خصوصیات آب و هوایی محل آزمایش در طول دوره رشد گیاه ذرت در جدول ۱ ارائه شده است.

به منظور آماده سازی زمین، شخم پاییزه و دیسک بهاره انجام شد. در هر دو سال بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲)، فسفر به میزان ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سوپرفسفات تریپل (حاوی ۴۶ درصد P₂O₅) و پتاسیم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سولفات پتاسیم (حاوی ۴۶ درصد K₂O) به صورت پیش کاشت استفاده شد.

جدول ۱- شرایط آب و هوایی محل مورد مطالعه در طول دوره رشد ذرت

Table 1- Weather conditions of the study area during maize growth seasons

سال Year	ماه Month	میانگین درجه حرارت ماهانه Average monthly temperature (°C)			میزان تبخیر Evaporation (mm)	
		(min.) حداقل	(max.) حداکثر	(average) متوسط		
2014	۱۳۹۳	May اردیبهشت	9.2	27.2	18.4	194.1
		June خرداد	13.0	33.0	24.2	283.4
		July تیر	17.6	38.9	29.2	328.4
		Aug. مرداد	17.8	39.3	29.3	352.6
		Sep. شهریور	13.8	30.3	21.7	250.5
		Oct. مهر	10.3	26.9	18.6	146.9
2015	۱۳۹۴	May اردیبهشت	9.0	28.4	19.3	275.4
		June خرداد	14.1	36.9	26.0	359.2
		July تیر	19.3	38.6	29.8	388.1
		Aug. مرداد	19.6	39.9	30.6	396.6
		Sep. شهریور	15.9	34.6	25.8	294.5
		Oct. مهر	11.0	29.2	20.1	199.2

Reference: www.fieldclimate.com

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2- 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 ⁻¹)	کربن آلی OC (%)	نیترژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (ppm)
۱۳۹۳	0-30	رسی	7.37	0.60	27.00	1.48	0.15	5.2	340
	30-60	رسی	7.40	-	-	1.12	0.11	-	-
۱۳۹۴	0-30	رسی	7.69	0.55	27.00	1.00	0.10	5.1	350
	30-60	رسی	7.60	-	-	0.90	0.09	-	-

نیترژن، مقدار کود اوره به ازای هر کرت محاسبه شد (جدول ۳). تقسیم هر سطح نیترژن به صورت 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 - مونتیت 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

طول هر کرت شش متر، فاصله ردیف‌های کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۷/۷۸ سانتی‌متر بود، به طوری که تراکم ۷/۵ بوته در مترمربع حاصل شد. 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 عدد بذر ضد عفونی شده با قارچ کش کاربوکسین تیرام دو در هزار قرار داده شد. به منظور رسیدن به تراکم مطلوب، در مرحله چهار برگی بوته‌های اضافی تنک شدند.

بر اساس نتایج آزمون خاک، نیاز ذرت دانه‌ای رقم فوق‌الذکر، برای تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیترژن، در سال اول ۱۶۱ و در سال دوم ۱۸۴ کیلوگرم نیترژن خالص در هکتار تعیین گردید (Malakooti and Gheibi, 2000). با توجه به سطوح در نظر گرفته شده برای تیمار

شده برای هر کرت در دوره‌های هفت روزه (دور آبیاری معمول در منطقه) تعیین و در اختیار گیاهان قرار گرفت. آبیاری توسط لوله پلی اتیلن 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 روش پنمن - مونتیث فائو برای محاسبه دقیق نیاز آبی در شهرستان کرمانشاه بود.

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 به دست آمد. با فرض راندمان آبیاری معادل ۹۰ درصد، نیاز ناخالص آبیاری تخمین زده شد. نیاز آبیاری سایر تیمارها نیز به عنوان ضریبی از نیاز آبیاری تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه و مقادیر آب در نظر گرفته

جدول ۳- مقدار آب آبیاری و کود اوره برای هر یک از سطوح اب و نیتروژن

Table 3- Seasonal irrigation water volume and urea amount for each irrigation and nitrogen levels.

سطوح آبیاری Irrigation levels	توصیف Description	مجموع آب مصرفی Total water distributed (mm)			
		2014	۱۳۹۳	2015	۱۳۹۴
I _{60%}	تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی supplying 60% of total water requirement	670.54		602.84	
I _{80%}	تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی supplying 80% of total water requirement	810.72		737.12	
I _{100%}	تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی supplying 100% of total water requirement	950.90		894.60	
I _{120%}	تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی supplying 120% of total water requirement	1091.08		1033.52	
سطوح نیتروژن Nitrogen levels	توصیف Description	مقدار کود اوره مصرفی Urea fertilizer amount (kg ha ⁻¹)			
		2014	۱۳۹۳	2015	۱۳۹۴
N _{40%}	تأمین ۴۰ درصد نیاز نیتروژن supplying 40% of total nitrogen requirement	140		160	
N _{70%}	تأمین ۷۰ درصد نیاز نیتروژن supplying 70% of total nitrogen requirement	245		280	
N _{100%}	تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن supplying 100% of total nitrogen requirement	350		400	
N _{140%}	تأمین ۱۴۰ درصد نیاز نیتروژن supplying 140% of total nitrogen requirement	490		560	

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای و دمای برگ در زمان ظهور گل‌تاجی، در سال‌های اول و دوم پنج روز بعد از آبیاری در یک روز آفتابی با آسمان صاف بین ساعت ۱۱ تا ۱۳ انجام شد. به این منظور انتشار بخار آب از روزنه (میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) و دمای (سانتی‌گراد) برگ‌های جوان توسعه یافته سه بوته از هر کرت توسط دستگاه پرومتر مدل SC-1 تعیین شد.

جهت تعیین حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II از دستگاه فلوریمتر مدل Pocket PEA استفاده شد. اندازه‌گیری در زمان ظهور گل‌تاجی، در سال‌های اول و دوم پنج روز بعد از آبیاری از برگ‌های جوان و توسعه یافته سه بوته از هر کرت بین ساعت ۱۱ تا ۱۳ انجام شد.

$$F_V/F_M = \frac{F_M - F_0}{F_M} \quad (2)$$

F_M فلورسانس حداکثر، F_0 فلورسانس حداقل و F_V/F_M نسبت

به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، در زمان ظهور گل‌تاجی، نمونه‌برداری در سال‌های اول و دوم، شش روز بعد از آبیاری و از برگ پرچم سه بوته از هر کرت صورت گرفت. نمونه‌ها در پلاستیک قرار داده شدند و با کمک فلاسک حاوی یخ خشک به سرعت به آزمایشگاه که در مجاورت مزرعه قرار دارد منتقل و وزن تر (FW) آن‌ها تعیین شد. سپس برگ‌ها به مدت چهار ساعت در شدت نور کم در آب مقطر قرار گرفته و پس از حذف رطوبت سطحی آن‌ها توسط کاغذ صافی، وزن برگ‌ها در حالت تورژسانس (TW) تعیین شد. در پایان، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک (DW) آن توسط ترازوی با دقت یک هزارم گرم توزین شد و محتوای نسبی آب برگ (درصد) با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (Barrs, 1968).

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad (1)$$

واریانس خطای آزمایش دو سال برای تمام صفات اندازه‌گیری شده ناهمگن بود، بنابراین، نتایج مربوط به سال اول و دوم آزمایش به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

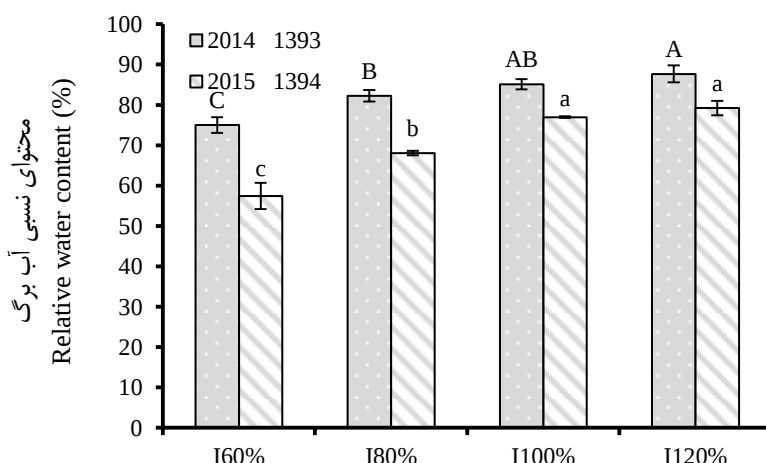
اثر آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ در هر دو سال معنی‌دار بود (جدول ۴). در هر دو سال، با افزایش شدت کم آبی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. محتوای نسبی آب برگ تمام سطوح آبیاری در سال دوم از سال اول کمتر بود. همچنین در سال دوم، کاهش محتوای آب برگ در تنش ملایم و شدید کم‌آبی در مقایسه با سال اول شدیدتر بود. به طوری که در سال اول محتوای نسبی آب برگ در شرایط تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی نسبت به تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۲/۶، ۵/۴ و ۱۲/۷ درصد کمتر بود. در سال دوم این مقادیر به ترتیب ۲/۲، ۱۱/۱ و ۲۱/۸ درصد به دست آمد (شکل ۱). کاهش محتوای نسبی آب برگ نشان‌دهنده کاهش آماس سلول‌های برگ است که موجب کاهش رشد می‌گردد. کم‌آبی با تأثیر بر اندازه سلول، کاهش فضای بین سلولی و افزایش ضخامت لایه پارانشیم برگ که ناشی از پیر شدن برگ‌ها است، محتوای نسبی آب برگ را کاهش می‌دهد. کاهش آماس سلولی با تأثیر بر باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و تعرق را کنترل کرده و با تأثیر بر فرآیندهای آنزیمی که به طور مستقیم تحت کنترل پتانسیل آب هستند، بر رشد و تولید گیاه اثر منفی دارد (Khaksar *et al.*, 2014).

فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر است.

اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی در سال ۱۳۹۳ توسط دستگاه SPAD مدل 502 در زمان ظهور گل تاجی بعد از کالیبراسیون دستگاه و پاک کردن غبار از سطح برگ انجام شد. در زمان اندازه‌گیری سه برگ از برگ‌های توسعه‌یافته با موقعیت تقریباً مشابه بر روی بوته‌های مختلف انتخاب شد. میزان سبزی‌نگی سه نقطه از هر برگ تعیین و میانگین این اعداد ثبت شد.

بررسی تبدلات گازی برگ در سال ۱۳۹۳ مقدور شد. به منظور اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز خالص (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) و سرعت تعرق (میلی‌مول آب بر مترمربع در ثانیه) در مرحله ظهور گل تاجی، شش روز بعد از آبیاری، از دستگاه LCI Analyser استفاده شد. برگ‌های جوان گسترش یافته‌ای که در معرض نور بودند، برای اندازه‌گیری تبدلات گازی انتخاب شدند. اندازه‌گیری در یک روز آفتابی با آسمان صاف بین ساعت ۱۲ تا ۱۴ در شدت نور ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه، با قرار دادن قسمت میانی پهنک در داخل محفظه دستگاه به مدت ۴۵ ثانیه انجام شد. کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول دی‌اکسید کربن بر میلی‌مول آب) از تقسیم سرعت فتوسنتز به سرعت تعرق محاسبه شد.

آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش Kolmogorov-smirnov و نرمال کردن داده‌های غیر نرمال به روش Box-Cox و آزمون بارتلت به منظور بررسی همگن بودن واریانس خطای دو سال برای هر صفت با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ صورت گرفت. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح پنج درصد، با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۸/۲ انجام شد. با توجه به اینکه



شکل ۱- مقایسه میانگین سطوح در صفت محتوای نسبی آب برگ در سال‌های ۱۳۹۳ (حروف بزرگ) و ۱۳۹۴ (حروف کوچک) در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 1- Mean comparison of irrigation levels for relative water content in 2014 (uppercase letters) and 2015 (lowercase letters). In per column, vertical bars represent the standard error.

جدول ۴- تجزیه واریانس سالیانه صفات مورد بررسی (میانگین مربعات)
Table 4- Annual analysis of variance for measured traits (mean squares)

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	محتوای نسبی آب برگ		هدایت روزنه‌ای برگ		دمای برگ		حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسنتز		سبزی برگ SPAD	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	سرعت تعرق Transpiration rate	مصرف آب فتوسنتزی Photosynthetic water use efficiency
			2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2014	2014	2014
Replication	تکرار	2	2.73 ^{ns}	30.99 ^{ns}	632.99 ^{**}	46.54 ^{ns}	78.89 ^{**}	37.97 ^{**}	0.0002 ^{ns}	0.0049 ^{ns}	63.20 ^{**}	49.40 ^{ns}	0.09 ^{ns}	1.11 ^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	3	359.13 ^{**}	1174.79 ^{**}	2905.26 ^{**}	1072.98 ^{**}	8.95 ^{ns}	46.97 ^{**}	0.0058 ^{ns}	0.0196 [*]	216.19 ^{**}	543.3 ^{**}	10.82 ^{**}	3.08 ^{ns}
Error a	اشتباه	6	15.41	10.44	223.86	55.49	3.03	3.84	0.0109	0.0047	15.45	72.80	0.27	2.06
Nitrogen (N)	نیترژن	3	16.10 ^{ns}	30.55 ^{ns}	165.85 ^{ns}	39.78 ^{ns}	0.31 ^{ns}	3.99 ^{ns}	0.0052 ^{ns}	0.0199 [*]	28.73 ^{ns}	105.40 ^{ns}	1.39 [*]	14.05 ^{**}
NxI	آبیاری × نیترژن	9	14.34 ^{ns}	5.25 ^{ns}	81.89 ^{ns}	105.70 ^{ns}	0.07 ^{ns}	4.00 ^{ns}	0.0113 ^{ns}	0.0067 ^{ns}	19.80 ^{ns}	24.10 ^{ns}	1.36 ^{**}	7.12 ^{**}
Error b	اشتباه	24	23.87	11.33	107.31	46.53	0.29	3.75	0.0052	0.0058	395.96	12.13	0.23	0.64
CV (%)	ضرب تغییرات	-	5.92	4.78	22.02	29.60	1.39	4.49	10.68	11.24	11.43	15.88	19.11	13.56

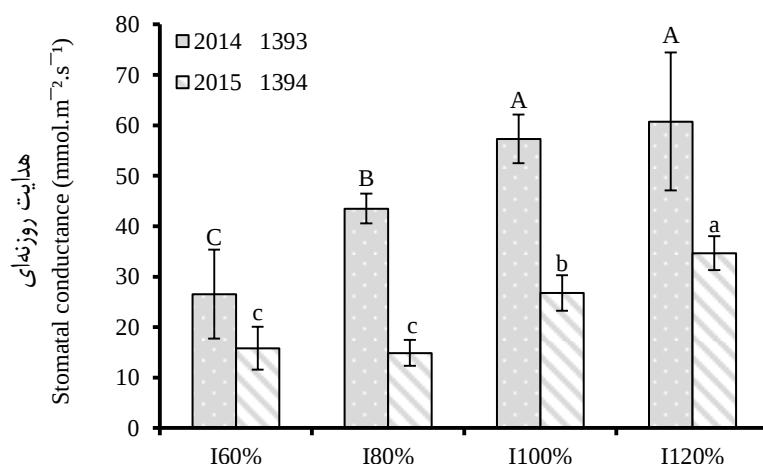
* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار
, * and ** significant at 5% and 1% levels and non-significant, respectively.

هدایت روزنه‌ای برگ

اثر آبیاری در هر دو سال بر هدایت روزنه‌ای برگ معنی‌دار بود (جدول ۴). در سال دوم، هدایت روزنه‌ای در تمام سطوح آبیاری نسبت به سال اول کمتر بود. به دلیل شرایط آب و هوایی مساعدتر سال اول از نظر درجه حرارت هوا در طول دوره رشد، امکان باز بودن بیشتر روزنه‌ها فراهم بود. در هر دو سال، با مصرف آب کمتر، هدایت روزنه‌ای کاهش یافت. در سال اول اختلاف بین هدایت روزنه‌ای در شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی معنی‌دار نبود (به ترتیب ۶۰/۸ و ۵۷/۳ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه). اما تنش ملایم و شدید کم‌آبی منجر به کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای شدند (به ترتیب ۳۳/۵ و ۲۶/۵ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه). در سال دوم، با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی هدایت روزنه‌ای (۲۶/۸ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) به‌طور معنی‌داری کمتر از شرایط تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی (۳۴/۷ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) بود. کمترین میزان هدایت روزنه‌ای با اعمال تنش ملایم و تنش شدید کم‌آبی در سال دوم (به ترتیب ۱۴/۹ و ۱۵/۸ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) ثبت شد (شکل ۲). یکی از اولین واکنش‌های گیاه به تنش، محدود کردن هدایت روزنه است. اگر میزان آبی که از سلول‌های محافظ روزنه دفع می‌شود از آبی که از سلول‌های مزوفیلی به این سلول‌ها منتقل می‌شود بیشتر باشد، سلول‌های محافظ روزنه چروکیده شده و دهانه روزنه کوچک‌تر و در نهایت بسته می‌شود. به علاوه در واکنش به کمبود آب، آبنسجک اسید در سلول‌های مزوفیلی تجمع یافته و به سلول‌های محافظ روزنه می‌رسد. آبنسجک اسید با دخالت در کار پمپ‌های پروتونی موجود در غشاء، موجب تشدید خروج یون پتاسیم از سلول‌های محافظ و بسته شدن روزنه می‌شود (Ahmadi et al., 2008). سوزا و همکاران (Souza et al., 2013) نیز نتایج مشابهی را در رابطه با تأثیر کم‌آبی بر هدایت روزنه‌ای ذرت گزارش کردند.

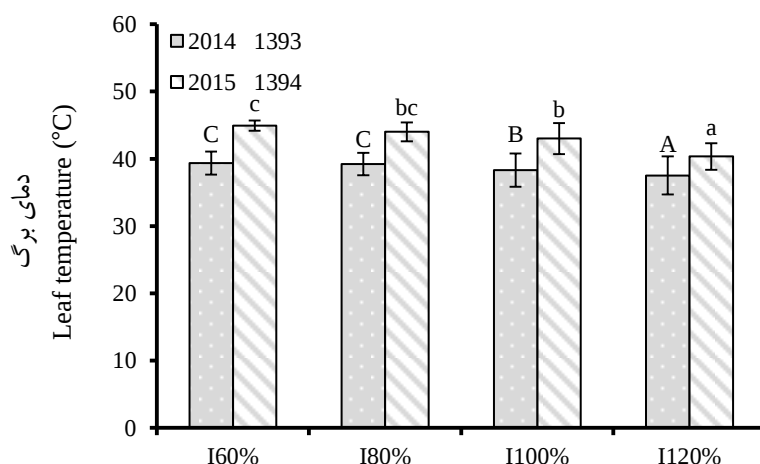
دمای برگ

دمای برگ در هر دو سال به طور معنی‌داری تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت (جدول ۴). در تمام سطوح آبیاری، دمای برگ در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود (شکل ۳). کاهش تعرق به دلیل هدایت روزنه‌ای کمتر برگ‌ها در سال دوم نسبت به سال اول منجر به افزایش دمای برگ شد. در هر دو سال، با افزایش شدت کم‌آبی، دمای برگ بیشتر شد. مقدار افزایش دما در تیمارهای کم آبیاری نسبت به آبیاری مطلوب در سال دوم از سال اول بیشتر بود. به طوری که در شرایط تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نسبت به تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی، دمای برگ در سال اول به ترتیب ۰/۷۸، ۱/۷۰ و ۱/۸۴ درجه سانتی‌گراد بالاتر بود. این مقادیر در سال دوم به ترتیب ۲/۶۶، ۳/۶۶ و ۴/۵۹ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (شکل ۴).



شکل ۲- مقایسه میانگین سطوح آبیاری در صفت هدایت روزنه‌ای برگ در سال‌های ۱۳۹۳ (حروف بزرگ) و ۱۳۹۴ (حروف کوچک). در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 2- Mean comparison of irrigation levels for stomatal conductance in 2014 (uppercase letters) and 2015 (lowercase letters). In per column, vertical bars represent the standard error.



شکل ۳- مقایسه میانگین سطوح آبیاری در صفت دمای برگ در سال‌های ۱۳۹۳ (حروف بزرگ) و ۱۳۹۴ (حروف کوچک) در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 3- Mean comparison of irrigation levels for leaf temperature in 2014 (uppercase letters) and 2015 (lowercase letters). In per column, vertical bars represent the standard error.

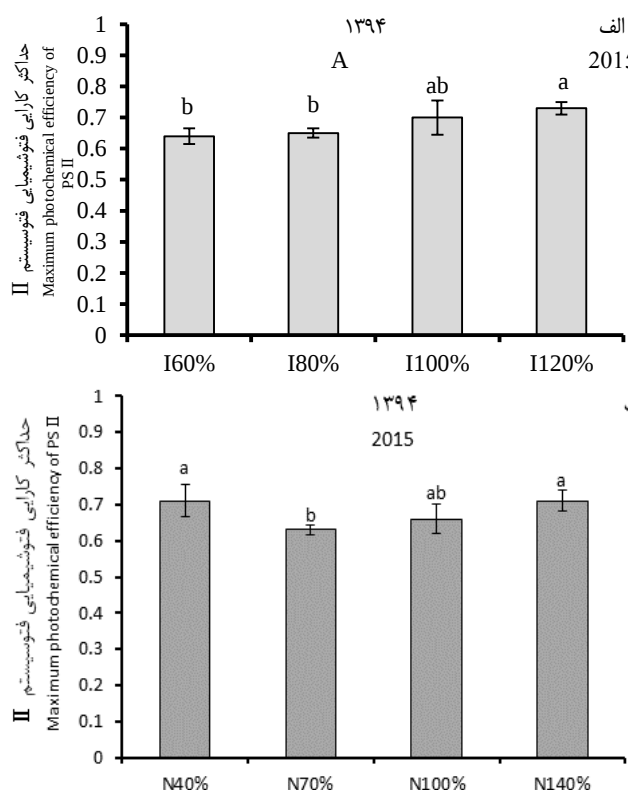
حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II

در سال اول اثرهای آبیاری، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II معنی‌دار نبود (جدول ۴). بنابراین کمبود آب و نیتروژن تا زمان ظهور گل‌تاجی بر واکنش‌های نوری فتوستنز تأثیر منفی نداشته است. در آزمایش اشرف و همکاران (Ashraf et al., 2007) نیز کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار نگرفت. با این حال در سال دوم، فعالیت فتوسیستم II تحت تأثیر مقدار آب و نیتروژن مصرفی قرار گرفت

در شرایط تنش، بخش زیادی از انرژی خورشیدی جذب شده توسط برگ‌ها در واکنش‌های فتوشیمیایی مصرف نمی‌شود و به گرما تبدیل می‌شود. به دلیل بالا بودن گرمای نهان تبخیر آب، تعرق راه اصلی دفع انرژی اضافه است. کاهش تعرق به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، افزایش دمای برگ را به دنبال دارد (Ahmadi et al., 2009).

تبدیل می‌شود. اتصال پروتون‌ها و زاگزانتین به پروتئین‌های مجموعه‌های جمع‌آوری‌کننده نور، منجر به پراکنش انرژی اضافی به شکل گرما می‌شود (Kafi et al., 2012). در این آزمایش به نظر می‌رسد که گرمای بیشتر هوا در سال دوم، تضعیف سیستم دفاعی و آسیب به مراکز واکنش فتوسیستم II را در شرایط کم‌آبی به دنبال داشته است. در آزمایش سوزا و همکاران (Souza et al., 2013) نیز در سال دوم اجرای آزمایش که دمای هوا در طول دوره رشد ذرت نسبت به سال اول کمتر بود، کم‌آبی کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را تغییر نداد.

(جدول ۴). افزایش شدت کم‌آبی، منجر به کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II شد. به طوری که مقدار این شاخص در شرایط تأمین ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیازآبی، به ترتیب ۰/۷۳، ۰/۷۰، ۰/۶۵ و ۰/۶۴ به دست آمد (شکل ۴-الف). در اثر تنش، فعالیت مجموعه آزادکننده اکسیژن در مرکز واکنش فتوسیستم II به دلیل تخریب پروتئین D₁ مختل می‌شود و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II کاهش می‌یابد (Huseynova, 2012). اما در صورتی که انرژی اضافی دفع شود، فتوسیستم II از آسیب در امان می‌ماند. رنگدانه‌های کارتنوئید در پراکنده کردن انرژی اضافی نقش دارند. در نور شدید، ویولوگزانتین از طریق ایجاد ماده حد واسطه آنتروگزانتین به زاگزانتین



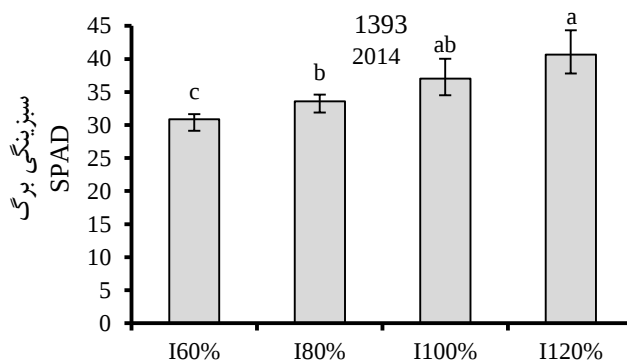
شکل ۴- مقایسه میانگین سطوح آبیاری (الف) و سطوح نیتروژن (ب) در صفت حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در سال ۱۳۹۴. در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 4- Mean comparison of irrigation levels (A) and nitrogen levels (B) for maximum photochemical efficiency of PSII in 2015. In per column, vertical bars represent the standard error.

آمد (شکل ۵). در شرایط کم‌آبی به دلیل کاهش ساخت و افزایش سرعت تجزیه رنگدانه‌ها، سبزی‌نگی برگ‌ها کاهش می‌یابد. در آزمایش فاضلی رستم‌پور و همکاران (Fazeli Rostampour et al., 2010) نیز اعمال تنش کم‌آبی منجر به کاهش سبزی‌نگی برگ ذرت شد.

سبزی‌نگی برگ

سبزی‌نگی برگ فقط در سال ۱۳۹۳ اندازه‌گیری شد. اثر آبیاری بر سبزی‌نگی برگ معنی‌دار بود (جدول ۴). با مصرف آب کمتر، سبزی‌نگی برگ کاهش یافت. به طوری که با تأمین ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، سبزی‌نگی برگ به ترتیب ۴۰/۷، ۳۷، ۳۳/۶ و ۳۰/۹ به دست



شکل ۵- مقایسه میانگین سطوح آبیاری در صفت سبزیگی برگ در سال ۱۳۹۳. در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.
Figure 5- Mean comparison of irrigation levels for SPAD in 2014. In per column, vertical bars represent the standard error.

سرعت فتوسنتز

روزنه‌ای رخ داد (شکل ۲). با این حال، محدودیت‌های غیر روزنه‌ای نیز تأثیر زیادی بر کاهش سرعت فتوسنتز در شرایط کم آبی دارند. به علاوه، کمبود شدید آب باعث ایجاد تغییرات ساختاری در دستگاه فتوسنتزی از جمله تخریب تیلاکوئیدهای کلروپلاست سلول‌های مزوفیل و غلاف آوندی می‌شود (Stoyanova et al., 2002). کاهش سرعت فتوسنتز در شرایط کمبود نیتروژن با افزایش مقاومت روزنه‌ای، مقاومت مزوفیلی و مقاومت غلاف آوندی همراه است (Zeiaie, 2007). در شرایط کمبود شدید نیتروژن، آنزیم رابیسکو تجزیه می‌شود. با کاهش مقدار رابیسکو در برگ، تثبیت دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد (Ahmadi et al., 2009). همچنین نیتروژن با بهبود ترکیب غشاء پلاسمایی، نفوذپذیری غشاء و هدایت غلاف آوندی در افزایش سرعت فتوسنتز مؤثر است (Retta et al., 2016).

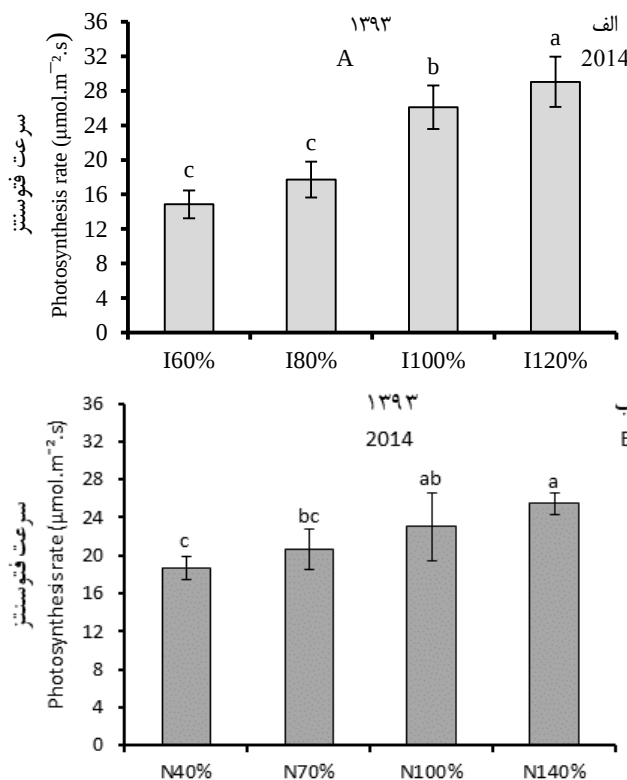
سرعت تعرق

وضعیت سرعت تعرق فقط در سال ۱۳۹۳ بررسی شد. اثرهای آبیاری، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر سرعت تعرق معنی‌دار بودند (جدول ۴). صرف نظر از مقدار نیتروژن، با تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بیشترین سرعت تعرق ثبت شد (به ترتیب ۴/۵ و ۴/۶ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه). کمبود ملایم و شدید آب، سرعت تعرق را به طور معنی‌داری کاهش داد (به ترتیب ۳/۲ و ۲/۸ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه). در شرایط تأمین ۱۲۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر سرعت تعرق معنی‌دار نبود. اما در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، با مصرف ۷۰ درصد نیاز نیتروژن، سرعت تعرق به طور معنی‌داری بیشتر از سایر سطوح نیتروژن بود (۶ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) (شکل ۷). کاهش هدایت روزنه‌ای در واکنش به کمبود آب عامل محدودیت تبادلات گازی است. گی و همکاران (Ge et al., 2012) نیز کاهش معنی‌دار سرعت تعرق در اثر تنش ملایم و شدید کم‌آبی نسبت به آبیاری مطلوب را گزارش کردند. در آزمایش امام و ضیایی (Emam and Zeiaie, 2010) سرعت تعرق

اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز فقط در سال ۱۳۹۳ انجام شد. در مرحله ظهور گل‌تاجی، اثرهای سطوح آبیاری و مقادیر مختلف نیتروژن بر سرعت تثبیت خالص دی‌اکسید کربن معنی‌دار بود (جدول ۴). با تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی به ازای هر مترمربع برگ به‌طور متوسط ۲۹ میکرومول دی‌اکسید کربن در ثانیه تثبیت شد. مصرف آب کمتر، سرعت فتوسنتز را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. به‌طوری‌که با تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نسبت به تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی سرعت تثبیت دی‌اکسید کربن به ترتیب ۲/۹، ۱۱/۳ و ۱۴/۲ میکرومول بر مترمربع در ثانیه کمتر بود (شکل ۶-الف). رضایی‌راد و همکاران (Rezaii Rad et al., 2016) و گی و همکاران (Ge et al., 2012) نتایج مشابهی در رابطه با تأثیر آب بر سرعت فتوسنتز را گزارش کردند. مصرف نیتروژن تا حد نیاز گیاه بر سرعت فتوسنتز تأثیر مثبت داشت. اما افزایش سرعت فتوسنتز با مصرف نیتروژن بیشتر از نیاز گیاه از نظر آماری معنی‌دار نبود. از طرف دیگر، کمبود شدید نیتروژن (تأمین ۴۰ درصد نیاز گیاه) سرعت فتوسنتز را به شدت کاهش داد. سرعت تثبیت خالص دی‌اکسید کربن در هر مترمربع برگ با تأمین ۱۴۰، ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز نیتروژن به ترتیب ۲۳، ۲۵/۵، ۲۳/۶ و ۱۸/۶ میکرومول در ثانیه بود (شکل ۶-ب). ریتا و همکاران (Retta et al., 2016) نیز تأثیر مثبت مصرف نیتروژن بر سرعت فتوسنتز را گزارش کردند.

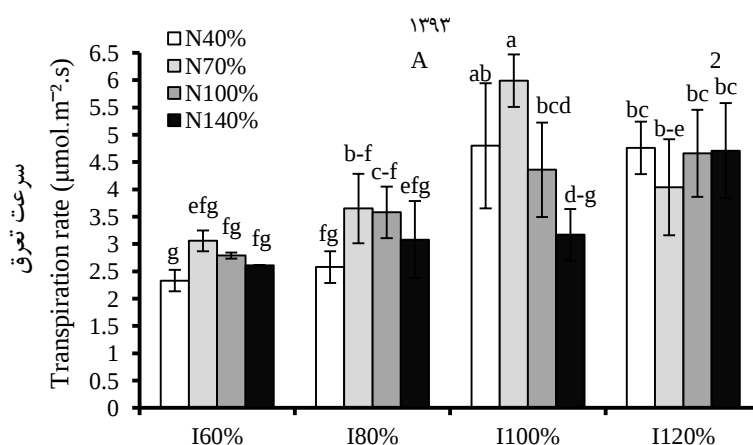
کاهش سرعت فتوسنتز در اثر کمبود آب و نیتروژن می‌تواند به دلیل کاهش محتوای رنگدانه‌های جذب‌کننده نور، کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، هدایت روزنه‌ای کمتر، کاهش جذب و متابولیسم کربن، کاهش مقدار آنزیم‌های فتوسنتزی یا ترکیبی از این عوامل باشد. به نظر می‌رسد دلیل اصلی کاهش سرعت فتوسنتز در شرایط کم آبی، کاهش ورود دی‌اکسید کربن در اثر بسته شدن روزنه‌ها است (Rezaii Rad et al., 2016). در آزمایش حاضر نیز در شرایط کم آبی، کاهش سرعت فتوسنتز همزمان با کاهش هدایت

در تنش شدید کم آبی نسبت به آبیاری مطلوب کمتر بود، اما تنش ملایم کم آبی سرعت تعرق را کاهش نداد.



شکل ۶- مقایسه میانگین سطوح آبیاری (الف) و سطوح نیتروژن (ب) در صفت سرعت فتوسنتز در سال ۱۳۹۳. در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 6- Mean comparison of irrigation levels (A) and nitrogen levels (B) for photosynthesis rate in 2014. In per column, vertical bars represent the standard error.



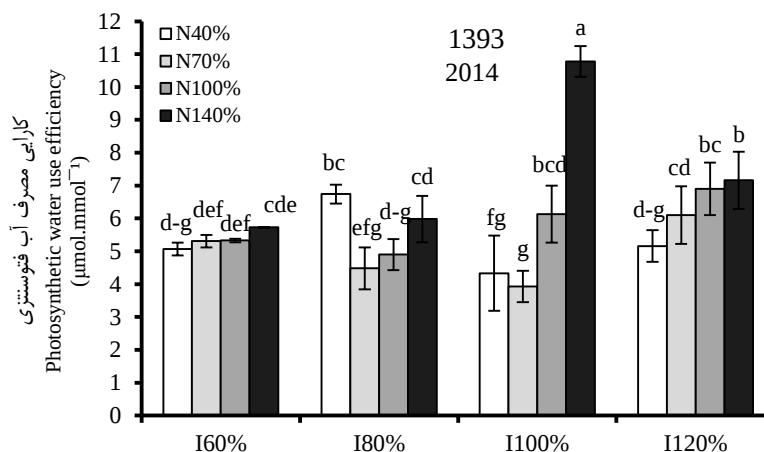
شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × نیتروژن در صفت سرعت تعرق در سال ۱۳۹۳. در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 7- Mean comparison of irrigation × nitrogen interaction for transpiration rate in 2014. In per column, vertical bars represent the standard error.

در این شرایط نیاز به باز بودن روزنه کمتر است، بنابراین با تعرق کمتر، دی‌اکسید کربن بیشتری تثبیت می‌شود. واکنش کارایی مصرف آب فتوسنتزی به مقادیر متفاوت نیتروژن با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی متغیر بود. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر کارایی مصرف آب فتوسنتزی معنی‌دار نبود (شکل ۸). امام و ضیایی (Emam and Zeiaie, 2010) تأثیر نیتروژن بر افزایش کارایی مصرف آب فتوسنتزی را گزارش کردند. در آزمایش گی و همکاران (Ge et al., 2012) و امام و ضیایی (Emam and Zeiaie, 2010) کاهش بیشتر سرعت فتوسنتز خالص نسبت به سرعت تعرق در تنش شدید کم آبی منجر به کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب فتوسنتزی شد، اما با اعمال تنش ملایم کم‌آبی، کارایی مصرف آب فتوسنتزی افزایش یافت.

کارایی مصرف آب فتوسنتزی

در این آزمایش میکرومول دی‌اکسید کربن تثبیت شده طی فتوسنتز به ازای یک میلی‌مول آب تعرق یافته، تحت عنوان کارایی مصرف آب فتوسنتزی در نظر گرفته شد. این صفت تحت تأثیر نیتروژن و اثر متقابل آبیاری در نیتروژن قرار گرفت (جدول ۴). با کاهش مقدار آب و با مصرف نیتروژن کمتر، میانگین کارایی مصرف آب فتوسنتزی کاهش یافت. اما واکنش کارایی مصرف آب فتوسنتزی به ترکیبات متفاوت آب و نیتروژن متغیر بود. کمبود نیتروژن در شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، کارایی مصرف آب فتوسنتزی را کاهش داد. تأمین نیتروژن کافی در شرایط آبیاری مطلوب، توان فتوسنتزی را بهبود می‌دهد. نیتروژن با تأثیر مثبت بر کاهش مقاومت مزوفیلی و مقاومت غلاف آوندی سرعت فتوسنتز را افزایش می‌دهد.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × نیتروژن در صفت کارایی مصرف آب فتوسنتزی در سال ۱۳۹۳. در هر ستون میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Figure 8- Mean comparison of irrigation × nitrogen interaction for photosynthetic water use efficiency in 2014. In per column, vertical bars represent the standard error.

فتوسنتزی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. اما در شرایط کم آبی تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر شدت تعرق و کارایی مصرف آب فتوسنتزی معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد اطلاع از وضعیت گیاه در واکنش به سطوح مختلف آب و نیتروژن نیاز به بررسی دقیق ویژگی‌های فیزیولوژیک دارد. صفات مورد بررسی بین سطوح نیتروژن معنی‌دار نبود. افزایش همزمان آب و نیتروژن موجب افزایش عملکرد دانه دانه گردید. در سال اول بیشترین و کمترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۹۸۰ و ۲۹۴ گرم در مترمربع) به‌ترتیب متعلق به تیمارهای $I_{120\%}N_{140\%}$ و $I_{60\%}N_{70\%}$ بود. در سال دوم نیز بیشترین و کمترین عملکرد دانه (۹۰۳ و ۲۷۷ گرم در مترمربع) در تیمارهای $I_{120\%}N_{100\%}$ و $I_{60\%}N_{40\%}$ مشاهده شد. در شرایط کم آبیاری، تفاوت عملکرد دانه بین سطوح نیتروژن معنی‌دار نبود (نتایج ارائه نشده است). این نتایج بر اثر نیتروژن روی افزایش رشد ذرت تأکید می‌کند، به علاوه اهمیت

نتیجه‌گیری

در سال دوم به دلیل دمای بالاتر هوا در طول دوره رشد، صفات‌های محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای برگ‌ها در مقایسه با سال اول به‌طور معنی‌داری کمتر، اما دمای برگ به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. همچنین تأثیر منفی کم آبی بر فعالیت فتوسیستم II در سال دوم مشاهده شد. در هر دو سال با افزایش شدت کم آبی، مقدار آب نگهداری شده در بافت‌های برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به دنبال آن، کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و سرعت تعرق تحت تأثیر کمبود آب رخ داد. افزایش مقدار نیتروژن تا حد تأمین نیاز گیاه منجر به افزایش معنی‌دار سرعت فتوسنتز شد. مصرف نیتروژن بیشتر در شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی از طریق بهبود توان فتوسنتزی و کاهش تعرق، کارایی مصرف آب

References

- Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P., and Jabbari, F. 2008. Introduction to plant physiology Vol. 2. University of Tehran press 3rd ed.
- Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P., and Jabbari, F. 2009. Introduction to plant physiology Vol. 1. University of Tehran press 3rd ed.
- Alizadeh, A., Vazifeh Doost, M., Kamali, Gh., Bastani, Kh., Mortazavi, A., and Izadi, A. 2002. Software for optimizing pattern of agriculture water use AWAT.
- 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. Birjand, Iran. (in Persian with English abstract).
- Ashraf, M., Nawazish, S., and UR-Rehman Athar, H. 2007. Are chlorophyll fluorescence and photosynthetic capacity potential physiological determinants of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). Pakistan Journal of Botany 39 (4): 1123-1131.
- Barrs, H. D. 1968. Determination of water deficits in plant tissue. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed) Water deficits and plant growth. New York, Academic Press 1: 235-368.
- Ding, L., Wang, K. J., Jang, G. M., Biswas, D. K., XU, H., Li, L. F., and Li, Y. H. 2005. Effect of nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. Annals of botany 96: 925-930.
- Dokoochaki, H., Gheysari, M., and Karimi Jafari, M. 2012. Applying the DSSAT model to determine the yield response factor under different growth stage. Proceeding of 3rd Water Resources Integrated Management Conference. September 10-11, Sari, Iran. (in Persian with English abstract).
- Emam, y., and Zeiaie, A. 2010. Study of relationship between water and nitrogen use efficiency on photosynthesis of two grainy maize hybrids. Iranian journal of Field Crop Science 3: 423-432. (in Persian with English abstract).
- English, M. J., Musick, J. T., and Murty, V.V. 1990. Deficit irrigation. In: G.J. Hoffman, T.A. Towell & K.H. Solomon, eds. Management of farm irrigation systems, St. Joseph, Michigan, United States of America, ASAE.
- Fazeli Rostampour, M., Seghatoleslami, M. J., and Mousavi, S. G. 2010. Effect of drought stress and superabsorbent on relative water content and leaf chlorophyll index and its relationship with grain yield in corn. Crop Physiology Journal 2 (1): 19-31. (in Persian with English abstract).
- Ge, T., Sui, F., Bai, L., Tong, C., and Sun, N. 2012. Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. Acta Physiologiae Plantarum 34: 1043-1053.
- Gheysari, M., Mirlatif, S. M., Homaei, M., Asadi, M. E., and Hoogenboom, G. 2009. Nitrate Leaching in a Silage Maize Field under Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Rates. Agricultural Water Management 96-6: 946-954.
- Ghobadi, R. 2017. Interaction of water and nitrogen on ecophysiological characteristics and yield gap of seedy corn. Ph. D. Dissertation, Razi University, Iran.
- Huseynova, I. M. 2012. Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves from wheat cultivars exposed to drought. Biochimica et Biophysica Acta 1817: 1516-1523.
- Kafi, M., and Kamkar, B., Mahdavi Damghani, A., Abbasi, F., and Sharifi, H. R. 2012. Plant physiology Vol. 1. Jahade-e- Daneshghahi Mashhad Press. 4th ed.
- Khaksar, A. M., Naderi, M., Ayeneband, A., and Lack, Sh. 2014. Evaluation effect of simultaneous deficit irrigation and water cut stress on effective physiological traits on grainy maize Sc 704 yield. Journal of Crop Production Research 6 (1): 63-79. (in Persian with English abstract).
- Malakooti, M. J., and Gheibi, M. N. 2000. Determining critical levels of effective nutrients in soil, Plant and Fruits. Amoozesh-e-Keshavarzi Pub. Pp: 92. (in Persian).
- Mulvaney, R. L., Khan, S. A., Hoest, R. G., and Brown, A. 2001. A soil organic nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. Soil Science Society of America Journal 65: 1164-1172.
- Olaniyan, A. B., Aintoye, H. A., and Balogun, M. A. 2004. Effect of different sources and rates of nitrogen fertilizer on growth and yield of sweet maize. Retrieved June 22, 2015, from <http://www.tropentary.de/2004/abstracts/full/146.pdf>.
- Retta, M., Yin, X., Putten, P. E. L., Cantre, D., Berghuijs, H. N. C., Ho, Q. T., and Struik, P.C. 2016. Impact of anatomical traits of maize (*Zea mays* L.) leaf as affected by nitrogen supply and leaf age on bundle sheath conductance. Plant Science 252: 205-214.
- Rezaii Rad, H., Hooshmand, A. R., Naseri, A. A., and Siahpoush, M. R. 2016. Effects of drought stress on physiological characteristics and yield of maize in the presence of a shallow water table in Ahvaz climatic conditions. Irrigation Science and Engineering 39 (1): 55-66. (in Persian with English abstract).

23. Sanchez-Rodreguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. M., Romero, L., and Ruiz, J. M. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science* 178: 30-40.
24. Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., and Majidi, E. 2008. Effect of deficit irrigation on yield, WUE and some morphological and phonological traits of three millet species. *Pakistan Journal of Botany* 40 (4): 1555-1560.
25. Sepaskhah, A. R., and Ahmadi, S. H. 2010. A review on partial root zone drying irrigation. *International Journal of Plants Production* 4 (4): 241-259.
26. Souza, T. C., Castro, E. M., Magalhaes, P. C., Lino, L. D. O., Alves, E. T., and Albuquerque, P. E. P. 2013. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 35: 3201-3211.
27. Stoyanova, D., Tchakalova, E., and Yordanov, I. 2002. Influence of different soil moisture on anatomy of maize leaves and ultra structure of chloroplasts. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 28 (1-2): 11-20.
28. Zeiaie, A. 2007. Effect of water stress and deficit nitrogen on two corn hybrids (*Zea mays* L.) photosynthesis. MSc. University of Shiraz, Iran.



Study the Responses of Some Leaf Physiologic Characteristics to Different Water and Nitrogen Levels in Grainy Maize (*Zea mays* L.)

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

Received: 02-11-2017

Accepted: 15-01-2018

Introduction

Changes in water and nitrogen amounts cause different physiological reactions in plants. These changes are created for respond to stress in order to reduce or eliminate the stress effects. Improper management of water and nitrogen are main growth limiting factors of maize. The proper reaction of maize to nitrogen which leads to higher yield, is reason of excessive amounts use of nitrogen fertilizers. Nitrogen losses are the results of high nitrogen usage. The new irrigation methods, such as deficit irrigation, play important roles in preventing leaching and nutrients maintenance in root zone. Under water deficit conditions, nutrients absorption decreases, therefore fertilizer recommendation should be done according to existing water conditions. The study of physiological reactions of maize to different amounts of water and nitrogen helps to estimate accurately the crop need for water and nitrogen. Therefore, this research was conducted to evaluate the role of different amount of water and nitrogen in causing physiological changes in maize leaves.

Materials and Methods

This experiment was done at Razi University, Kermanshah, Iran, during 2014 and 2015. The experiment was conducted as split plot with three replications. Main-plot was four irrigation levels included supplying 60, 80, 100 and 120% water requirement ($I_{60\%}$, $I_{80\%}$, $I_{100\%}$ and $I_{120\%}$, respectively), and sub-plot included four nitrogen levels 40, 70, 100 and 140% ($N_{40\%}$, $N_{70\%}$, $N_{100\%}$ and $N_{140\%}$, respectively) recommended amount based on the soil test. To calculate water requirement, Penman-Monteith-FAO equation was used. For each treatment the amount of water was measured. Partitioning of nitrogen at times the two-leaf stage, the six-leaf stage and before tassel emergence was equal. Leaf physiologic traits included relative water content, stomatal conductance, temperature, photochemical efficiency of PSII, SPAD, photosynthesis rate, transpiration rate and photosynthetic water use efficiency measured. Statistical analysis and mean comparisons were performed using SAS software and LSD method.

Results and Discussion

Air temperature during the crop growth in 2014 was less than 2015. Therefore relative water content (82.5 and 70.4% in 2014 and 2015, respectively) and stomatal conductance (47 and $23 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) in 2015 were less than 2014, but leaf temperature was higher (38.6 and 43.1°C). In 2014, PSII activity was not affected by irrigation treatment, but negative effect of deficit irrigation on PSII activity was observed in 2015. In 2014, there was no significant difference between stomatal conductance in $I_{120\%}$ and $I_{100\%}$ (60.8 and $57.3 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectively), but mild and severe deficit irrigation caused to significant reductions in stomatal conductance (43.5 and $26.5 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectively). In 2015, Stomatal conductance in $I_{100\%}$ was significantly less than from $I_{120\%}$. The lowest stomatal conductivity was recorded with mild and severe deficit irrigation in 2015 (14.9 and $15.8 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ respectively). In 2014, leaf temperature in $I_{100\%}$, $I_{80\%}$ and $I_{60\%}$ (0.78 , 1.70 , and 1.84°C respectively) was higher than $I_{120\%}$ and these values were obtained 2.66 , 3.66 and 4.60°C in 2015 respectively. In $I_{120\%}$, $I_{100\%}$, $I_{80\%}$ and $I_{60\%}$, CO_2 stabilization rate was 29 , 26.1 , 17.7 and $14.9 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectively. Nitrogen

1- PhD Graduate of Crop Physiology, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University

2 and 4- Associate Professor and Assistant Professor respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University

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

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

consumption up to crop requirement had a positive effect on photosynthesis rate. The photosynthesis rate in $N_{140\%}$, $N_{100\%}$, $N_{70\%}$ and $N_{40\%}$ was 25.5, 23, 20.6, and 18.6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively. Mild and severe deficit irrigation reduced transpiration rate. However, in $I_{100\%}$, using 70% nitrogen demand, transpiration rate was significantly higher than other nitrogen levels. By reducing water amount and less nitrogen consumption, photosynthetic water use efficiency was decreased. Nitrogen deficiency in $I_{120\%}$ and $I_{100\%}$ reduced photosynthetic water use efficiency. In $I_{80\%}$, photosynthetic water use efficiency reaction to different nitrogen levels was varied. In $I_{60\%}$, effect of different nitrogen levels was not significant.

Conclusions

Leaf area, relative water content, stomatal conductance, photosynthesis and transpiration rate were reduced with increasing water deficit. Increasing nitrogen up to the crop requirement led to increased leaf area and photosynthesis rate. Under adequate water condition, nitrogen consumption up to recommended amount led to increased photosynthesis rate, decreased transpiration rate and finally improved photosynthetic water use efficiency. However under deficit irrigation, there were no significant differences in traits among nitrogen levels. In the first year, the highest and lowest grain yield (980 and 294 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) belonged to $I_{120\%}N_{140\%}$ and $I_{60\%}N_{70\%}$ treatments, respectively. In the second year, the highest and lowest grain yield (903 and 277 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) was observed in $I_{120\%}N_{100\%}$ and $I_{60\%}N_{40\%}$ treatments, respectively.

Keywords: Photosynthesis, Stomatal conductance, Transpiration, Water deficit



اثر نظام‌های خاک‌ورزی و گیاه پوششی کلزا بر خصوصیات کیفی خاک، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان

شیلان فعله گری^۱ - جواد حمزه‌ئی^{۲*} - محسن نائل^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۲

چکیده

حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و کاربرد فن‌آوری‌های مناسب مانند استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند در افزایش عملکرد گیاهان زراعی تأثیرگذار باشد. این آزمایش، با هدف بررسی تأثیر چهار ساله‌ی روش‌های مختلف خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و مرسوم) در شرایط حضور و عدم حضور گیاه پوششی کلزا بر شاخص‌های کیفیت خاک (کربن آلی خاک و عناصر غذایی پرمصرف (NPK))، عملکرد دانه و بیولوژیک و اجزای عملکرد آفتابگردان اجرا شد. آزمایش با آرایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۳ و در منطقه دستجرد همدان انجام شد. تمامی ویژگی‌های مورد بررسی شامل کربن آلی، عناصر غذایی پرمصرف (NPK)، عملکرد بیولوژیک و اجزای عملکرد آفتابگردان به‌طور معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی و گیاه پوششی قرار گرفتند، برهمکنش خاک‌ورزی × گیاه پوششی برای کربن آلی، نیتروژن، تعداد دانه در طبق و قطر طبق در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، اما برای دیگر شاخص‌های مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بود. در تیمار خاک‌ورزی حداقل × گیاه پوششی میزان کربن آلی ۲/۵ برابر نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم × بدون گیاه پوششی (شاهد) افزایش داشت، این افزایش برای سایر شاخص‌ها نیز مشاهده شد (فسفر ۸۰ درصد، پتاسیم ۳۰ درصد، نیتروژن ۲۰/۵ درصد، قطر طبق ۶۷ درصد، تعداد دانه در طبق ۶۱ درصد، وزن صد دانه ۲۷ درصد، عملکرد دانه و بیولوژیک آفتابگردان به‌ترتیب ۳۴ و ۳۹/۵ درصد). درصد پوکی دانه در تیمار خاک‌ورزی حداقل × گیاه پوششی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم × بدون گیاه پوششی (شاهد) ۲/۵ برابر کم‌تر اندازه‌گیری شد. کلزا به دلیل تولید ماده خشک بیش‌تر در واحد سطح می‌تواند در افزایش ماده آلی خاک و بهبود شرایط فیزیکی آن مؤثر باشد. اعمال تیمارهای خاک‌ورزی حداقل و کشت گیاه پوششی کلزا موجب افزایش ذخایر مواد آلی، بهبود کیفیت خاک و عملکرد آفتابگردان گردید.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی حفاظتی، عملکرد زراعی، عناصر غذایی پرمصرف، ماده آلی خاک، مدیریت بقایا

مقدمه

روش‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل که معمولاً همراه با برجای‌ماندن مقداری بقایای گیاهی بر سطح خاک است، به‌منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک کاربرد دارد (Celik et al., 2011). بدون خاک‌ورزی یکی از مؤلفه‌های مهم کشاورزی حفاظتی است که در نتیجه اجرای آن حداقل ۳۰ درصد از سطح خاک توسط بقایای گیاهی پوشش داده می‌شود، در این روش هیچ نوع عملیات خاک‌ورزی صورت نمی‌پذیرد و تنها ماشین کاشت، کود و بذر را با حداقل برهم‌خوردگی در خاک قرار می‌دهد (Lugandu, 2013). روش خاک‌ورزی حداقل که معمولاً بیش از ۳۰ درصد بقایای گیاهی بر سطح خاک باقی می‌ماند، به‌منظور کاهش فرسایش خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی و زیستی خاک (Celik et al., 2011)، بهبود کارایی مصرف و افزایش نفوذ آب، کاهش نیروی کار، سوخت و استهلاک ماشین‌آلات کاربرد دارد (Gajri et al., 2004).

بقایای گیاهی که روی سطح خاک پخش می‌شوند، باعث کاهش دمای خاک و کاهش تبخیر آب می‌شود، زیرا بقایای گیاهی باعث

مدیریت خاک از اجزای اصلی کشاورزی پایدار و خاک‌ورزی از ضروری‌ترین بخش‌های این نوع مدیریت محسوب می‌شود (Ahmadvand & Hajinia, 2015). در این نوع کشاورزی علاوه بر منافع اقتصادی به حفظ و صیانت از منابع تولید از قبیل آب، خاک و محیط‌زیست توجه ویژه‌ای می‌شود (Hamzei and Borbor, 2014).

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته خاک‌شناسی، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
- ۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
- ۳- استادیار، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(*)- نویسنده مسئول:
(Email: j.hamzei@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i3.68952

(Raymer, 2002). این گیاه سومین گیاه روغنی مهم دنیا است که سطح زیر کشت آن در مناطق معتدل به سرعت در حال افزایش است (Basalma, 2008). کلزای زمستانه قابلیت بالایی در رقابت با علف‌های هرز پاییزه دارد (Kruidhof et al., 2008). در بهار، بقایای آمیخته با خاک گیاهان پوششی از طریق اثرات دگرآسیبی (Ohno et al., 2000)، تحریک پاتوژن‌های خاک، تغییر قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و بهبود رشد گیاه زراعی و افزایش قابلیت رقابت با علف‌های هرز از جوانه‌زنی علف‌های هرز جلوگیری کرده و رشد آنها را کاهش می‌دهند (Conklin et al., 2002).

گزینش و اجرای بهینه‌ی یک سامانه‌ی خاک‌ورزی مناسب می‌تواند بستر مناسبی برای بذر فراهم آورده و در نهایت منجر به ایجاد عملکرد مطلوب شود (Chaghazardi et al., 2015)، هرچند سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم با شکستن لایه‌های نفوذناپذیر خاک و قطع چرخه زندگی علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها بستر مناسبی برای رشد گیاه فراهم می‌کنند، ولی این سامانه‌ها هم به انرژی زیادی نیاز دارند و هم در دراز مدت ویژگی‌های فیزیکی خاک را تخریب می‌کنند (Sharma et al., 2011).

با توجه به گسترش نظام‌های خاک‌ورزی و استقبال کشاورزان از آن، این سوال مطرح است که کدام روش می‌تواند در دستیابی به عملکرد مطلوب مؤثر واقع شود. از این‌رو هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی مرسوم) و کاشت گیاه پوششی کلزا بر شاخص‌های کیفیت خاک و اجزای عملکرد آفتابگردان و تعیین مناسب‌ترین روش خاک‌ورزی و امکان کاربرد گیاهان پوششی در شرایط اقلیمی منطقه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا واقع در ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی واقع در پنج کیلومتری غرب روستای دستجرد در نزدیکی شهر همدان انجام شد. ارتفاع از سطح دریا ۱۶۹۰ متر بود. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای طرح در جدول ۱ نشان داده شده است. میزان بارندگی در طول اجرای آزمایش ۱۳۷ میلی‌متر بود که نحوه توزیع بارندگی و همچنین دیگر ویژگی‌های آب و هوایی محل اجرای آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

بازتاب نور خورشید می‌شود (Sohrabi et al., 2014). بقایای گیاهی می‌توانند منبع پایداری برای تولید سوخت زیستی و دیگر تولیدات صنعتی باشد (Shahpari et al., 2016). به هر حال، حذف آنها از سطح مزرعه ممکن است اثرات منفی روی تولید محصول و کیفیت محیط‌زیست داشته باشد. نتایج آزمایشی نشان داد که حذف بقایای گیاهی روی کربن آلی خاک اثر داشت و این اثرات در جایی بیش‌تر نمایان شد که میزان بالاتری از بقایا حذف شده بود (Singh, 2003). نتایج بررسی نجفی نژاد و همکاران (Najafinejad et al., 2009) نشان داد که در تیمارهای خاک‌ورزی کاهش یافته بیش‌ترین عملکرد دانه و ارتفاع بوته ذرت (*Zea mays* L.) به‌دست آمد و مقدار پروتئین دانه، مواد آلی و فسفر خاک پس از برداشت در تیمار حداقل خاک‌ورزی بیش از سایر تیمارها بود. در تیمار باقی‌گذارن بقایا، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، پروتئین دانه و مواد آلی خاک بیش‌تری حاصل شد (Mohammadi, 2012). همچنین مخلوط شدن بقایا با خاک در نظام‌های خاک‌ورزی حداقل و بدون خاک‌ورزی، سبب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، حفظ حاصلخیزی و رطوبت خاک، کاهش فرسایش و تبخیر بیش از اندازه می‌شود (All-Issa and Samarah, 2007). علاوه بر این، بقایای گیاهی می‌تواند سبب کاهش اثر تغییرات اقلیمی از طریق ترسیب کربن و تعادل انتشار دی اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای شود (Vokovic et al., 2008).

کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. و از تیره شب‌بو یا چلیپانیان (*Brassicaceae*) یک گونه آمفی دیپلوئید حاصل از تلاقی فرم‌هایی از گونه کلم (*Brassica olearacea*) با شلغم (*Brassica campestris*) در طبیعت می‌باشد. گیاهی است علفی با دوره رشد یک‌ساله که به دو تیپ بهار و پاییز تقسیم می‌شود. کلزا از جمله گیاهان زراعی است که علاوه بر استفاده‌های غذایی و دارویی، به‌عنوان تمیزکننده خاک و نیز کاهش‌دهنده بیماری‌های خاک‌زاد شناخته می‌شود که از طریق کاهش جمعیت حشرات و میکروارگانیسم‌های خاک و نیز کنترل علف‌های هرز، محیط مناسبی را جهت کشت گیاهان زراعی دیگر فراهم می‌کند. این گیاه دارای سیستم دفاعی با ارزشی تحت عنوان سیستم گلوکوزینولات-میروزیناز می‌باشد که یک نوع سیستم دگر آسینی فعال است (Potter, 1999). گونه‌های خانواده شب‌بو به‌خصوص جنس براسیکا توانایی جلوگیری از جوانه‌زنی و رشد سایر گیاهان را دارا هستند (Al-Khatib et al., 1997). کلزا با دارا بودن بیش از ۴۰ درصد روغن در دانه و ۴۴ - ۳۶ درصد پروتئین در کنجاله از معدود گیاهان روغنی است که قابلیت کشت در شرایط اقلیمی گوناگون را داراست.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک مزرعه مطالعاتی قبل از اجرای پژوهش (قبل از آغاز فصل زراعی سال ۹۳)

Table 1- Selected soil properties of the experimental field prior at the beginning of the study (before beginning of the 2015 growing season)

Total N (%)	Available K (ppm)	Available P (ppm)	بافت خاک Soil Textur	کربن آلی OC (%)	واکنش خاک pH	EC (dS m ⁻¹)	CEC mol (p ⁺) kg ⁻¹
0.13	220	8.2	Clay Loan	0.72	7.46	0.41	14

CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، EC: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، OC: کربن آلی

CEC: Cation Exchangeable Capacity, EC: Electrical Conductivity of soil saturation extract, OC: Organic Carbon

جدول ۲- خصوصیات آب و هوایی محل آزمایش در طول فصل رشد

Table 2- Weather patterns during the growing season

	اسفند ۹۲ Mar. 2014	فروردین ۹۳ Apr. 2014	اردیبهشت ۹۳ May 2014	خرداد ۹۳ Jun. 2014	تیر ۹۳ Jul. 2014	مرداد ۹۳ Aug. 2014	شهریور ۹۳ Sep. 2014
دمای کمینه Min. Temp. (°C)	-4.5	-6.1	3.7	7.4	11.7	11.2	6.9
دمای بیشینه Max. Temp. (°C)	19.7	25.3	30.4	36.9	38.8	39.1	34.6
بارندگی کل Total rainfall (mm)	46.3	13.9	27.3	0.4	0.3	0.2	0

سازمان هواشناسی ایران (۱۳۹۳-۱۳۹۲)

Iran Meteorological Organization (2013-2014)

گیاه پوششی کف برشده و با یک دیسک سطحی در سطح زمین رها شد و در کرت‌هایی که بدون گیاه پوششی بودند نیز علف‌های هرزی که رشد کرده بودند از سطح خاک جمع‌آوری و بیرون برده شد. بعد از گذشت یک هفته از زمان قطع گیاه پوششی کلزا، زمین با ادوات مخصوص برای هر نوع از نظام‌های خاک‌ورزی به شرح زیر تیمار شد. برای اجرای خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان‌دار + دیسک بهره‌گیری شد. عمق شخم گاوآهن برگردان‌دار ۱۵ سانتی‌متر بود و حدود ۵ درصد از بقایای کلزا در سطح خاک باقی ماند. برای انجام خاک‌ورزی حداقل از گاوآهن چیزل که شمع کوب نیز به آن وصل بود، بهره‌گیری شد. عمق برش خاک در این نوع خاک‌ورزی ۱۰ سانتی‌متر بود. در کرت‌های بدون خاک‌ورزی هیچ‌گونه عملیاتی انجام نشد و کلیه بقایای کلزا در سطح خاک به‌صورت پوشش باقی ماند.

درنهایت در اواسط خرداد و دو هفته بعد از قطع کردن کلزا و اجرای تیمارهای مختلف خاک‌ورزی، آفتابگردان آجیلی (گیاه اصلی) رقم کانفتا کشت گردید. کاشت آفتابگردان در سال چهارم زراعی با تراکم هشت بوته در مترمربع با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر انجام و در هر کرت شش ردیف به‌صورت دستی کشت شد. پس از کاشت آفتابگردان، بلافاصله آبیاری به‌صورت بارانی به فاصله زمانی هر ۶ روز یک‌بار انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار در سه مرحله (۵۰ درصد در زمان کاشت، ۲۵ درصد در زمان ظهور طبق‌ها و ۲۵ درصد در زمان گل‌دهی) به خاک اضافه گردید. همچنین، جهت کنترل علف‌های هرز از روش وجین دستی استفاده شد. نمونه‌برداری

قبل از اجرای پژوهش حاضر در زمین مورد نظر، به مدت ۳ سال متوالی (از سال ۹۰ تا سال ۹۲) از سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی (NT)، خاک‌ورزی حداقل (MT) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) و کشت (UC) و عدم کشت (NC) گیاه پوششی استفاده شده بود. در سه سال نخست ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) به‌عنوان گیاه پوششی و ذرت به‌عنوان گیاه اصلی کشت شده بود. مطالعه حاضر که در سال ۹۳ انجام گرفت، چهارمین سال اجرای این طرح بود. این آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل و در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای اعمال شده بر روی زمین، مشابه سه سال قبل بود. به این صورت که نظام‌های خاک‌ورزی متفاوت شامل بدون خاک‌ورزی (NT)، خاک‌ورزی حداقل (MT) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) و کشت (UC) و عدم کشت (NC) گیاه پوششی، در کرت‌ها اعمال شد و در سال چهارم اجرای طرح، کلزا به‌عنوان گیاه پوششی و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) به‌عنوان گیاه اصلی کشت شد. بذور کلزا و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) از مرکز تحقیقات شهرستان همدان تهیه شد.

در قسمتی از هر کرت اصلی (متعلق به یک تیمار خاک‌ورزی خاص) گیاه پوششی کلزا رقم هایلولا ۴۰۱ کشت گردید و قسمت باقی‌مانده به‌صورت آیش (بدون گیاه پوششی) در نظر گرفته شد. عملیات کاشت گیاه پوششی کلزا به‌صورت خشکه‌کاری، درهم و دستی به میزان ۶ کیلوگرم در هکتار در اسفند ۹۲ انجام گردید. در اردیبهشت ۹۳، زمانی که حدوداً ۳۰ تا ۴۰ درصد کلزا به گل رفته بود،

از گیاه آفتابگردان در شهریور ۱۳۹۳ پس از رسیدگی محصول و خشک شدن ساقه گیاه، یک هفته بعد از آخرین آبیاری انجام گردید به این صورت که دو ردیف کناری به عنوان حاشیه منظور شد و از چهار ردیف باقی مانده (سطحی معادل دو متر مربع) از هر کرت صفاتی نظیر درصد پوکی، وزن صد دانه، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و عملکرد زیست توده اندازه گیری شد.

وزن صد دانه آفتابگردان از میانگین ۴ نمونه ۱۰۰ تایی و از طریق توزین با ترازوی ۰/۰۱ اندازه گیری شد. تعداد پنج طبق از هر واحد آزمایشی انتخاب و قطر آن‌ها (فاصله بین لبه‌های خارجی طبق) با خط کش اندازه گیری شد و میانگین اعداد حاصل به عنوان قطر طبق منظور گردید. درصد پوکی دانه‌ها نیز از میانگین مجموع دانه‌های حاصل از پنج طبق محاسبه شد. همچنین، تعداد دانه در پنج طبق شمارش و میانگین آن‌ها به عنوان تعداد دانه در طبق ثبت گردید. برای تعیین عملکرد دانه، از هر واحد آزمایشی ۲ متر مربع برداشت شد و پس از خشک شدن ابتدا عملکرد بیولوژیک تعیین گردید و سپس دانه‌ها از طبق‌ها جدا و جهت تعیین عملکرد دانه با ترازوی ۰/۰۱ و با ۱۲ درصد رطوبت توزین شدند. پس از گذشت یک هفته از برداشت محصول، نمونه برداری از خاک در شهریور ماه ۱۳۹۳ (نشان دهنده تغییرات ناشی از چهار سال اعمال مدیریت‌ها) انجام گرفت. از هر قطعه زمین شش نمونه دست نخورده از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری خاک تهیه گردید، این شش نمونه پس از انتقال به آزمایشگاه دو به دو با هم ترکیب و در نهایت سه نمونه ترکیبی هوا خشک و از الک عبور داده شد. برای اندازه گیری کربن آلی خاک از روش والکی و بلک (Walkley and Black, 1934) استفاده شد. عناصر غذایی پرمصرف سفر به روش آلسن (Olsen et al., 1954)، پتاسیم به روش کلوت (Klut, 1986) و نیتروژن به روش برمنر (Bremner, 1970) اندازه گیری شد.

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم افزار آماری SAS 9.2 صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح آماری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورد بررسی کیفیت خاک

کربن آلی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تأثیر اعمال دو تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر کربن آلی در سطح ۱ درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به کربن آلی خاک (جدول ۴) نشان داد که مقدار کربن آلی در تیمار MT×UC با مقدار ۱۰/۴ گرم بر کیلوگرم به طور معنی داری نسبت به سایر تیمارها بیش تر بود. بعد از تیمار MT×UC بیش ترین مقدار کربن آلی را تیمار

NT×UC با مقدار ۸/۴ گرم بر کیلوگرم به خود اختصاص داد و کم ترین میزان کربن آلی در تیمار CT×NC با مقدار ۴/۵ گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد. تیمارهای CT×UC و NT×NC تفاوت معنی داری با هم نداشتند. اعمال تیمار MT×UC توانست میزان کربن آلی در این تیمار را نسبت به دو تیمار NT×UC و CT×UC به ترتیب ۱۹/۲۳ و ۴۳/۲۷ درصد افزایش دهد. این در حالی است که در تیمارهای اعمال خاک‌ورزی بدون گیاه پوششی، تیمار MT×NC تنها توانست به ترتیب ۱۱/۴۳ و ۳۴/۲۸ درصد کربن آلی را نسبت به دو تیمار NT×NC و CT×NC افزایش دهد. تأثیر توأم دو تیمار خاک‌ورزی حداقل و حضور گیاه پوششی منجر شد در این تیمار کربن آلی نسبت به تیمار خاک‌ورزی مشابه اما بدون حضور گیاه پوششی بیش تر اندازه گیری شود. همچنین، عدم حضور گیاه پوششی در تیمار خاک‌ورزی مرسوم منجر شد کربن آلی در این تیمار کم تر از تیمار خاک‌ورزی مرسوم با حضور گیاه پوششی گزارش شود.

لازم به ذکر است در این مطالعه مقدار اولیه بقایای گیاه پوششی اضافه شده به تیمارهای خاک‌ورزی مختلف مشابه بود، بنابراین تفاوت مشاهده شده در کربن آلی بین سیستم‌های خاک‌ورزی مختلف نتیجه‌ی سطوح مختلف اختلاط خاک و مخلوط شدن بقایای گیاه پوششی با خاک است. دو تیمار CT×UC و NT×NC از نظر میزان کربن آلی در یک گروه آماری قرار گرفتند، با این وجود کربن آلی در NT×NC کمی بیش تر از تیمار CT×UC اندازه گیری شد (۱۰ درصد). به نظر می‌رسد از یک طرف، در تیمار NT×NC عدم حضور گیاه پوششی، توسط بقایای گیاه اصلی که هر ساله در سطح خاک و بدون اختلاط با آن، باقی گذاشته می‌شود جبران شده باشد؛ بقایای ریشه گیاه اصلی نیز در ورود کربن آلی به خاک این تیمار نقش به سزایی دارد. از طرف دیگر، هرچند تیمار CT×UC هر ساله گیاه پوششی دریافت کرده است، ولی به دلیل اعمال شخم برگردان و اختلاط کامل آنها با خاک تجمع کربن آلی در خاک محدود بوده است، به طوری که مقدار کربن آلی در این تیمار به لحاظ آماری تفاوتی با کشت مرسوم منطقه (CT×NC) ندارد. این که اثر مثبت گیاه پوششی بر کربن آلی در تیمار MT بیش تر است، شاید به این دلیل است که اعمال مدیریت خاک‌ورزی حداقل به ایجاد شرایط مناسب در خاک برای افزایش میزان کربن کمک کرده و حضور گیاه پوششی توأم با خاک‌ورزی حداقل سبب مهیا شدن شرایطی ایده آل برای افزایش کربن آلی شده است. کیبیری و همکاران (Kabiri et al., 2016) در بررسی سیستم‌های خاک‌ورزی متفاوت بر ویژگی‌های زیستی خاک گزارش کردند میزان کربن بالا در زیست توده میکروبی خاک تحت تأثیر اعمال سیستم خاک‌ورزی MT نسبت به NT نشان دهنده این است که کربن آلی بیش تری در تیمار MT نسبت به تیمار NT وجود دارد، به این دلیل که در تیمار NT هیچ عملیات خاک‌ورزی بر روی خاک انجام نمی‌شود و شرایط برای تغییر ماهیت

خاک‌زی خواهند شد که همبستگی مثبتی با میزان کربن آلی خاک دارد (Kabiri et al., 2016). بازگشت بقایای گیاهی زنده به خاک تحت عنوان کود سبز منجر به افزایش ماده آلی و در نتیجه بهبود حاصلخیزی خاک خواهد شد که این پدیده در نتیجه افزایش فعالیت‌های میکروبیستی، بهبود ساختار بیوفیزیکی و جلوگیری از هدر رفت ماده آلی خاک در اثر فرسایش رخ خواهد داد (Algan and Celen, 2011). احمدوند و حاجی نیا (Ahmadvand and Hajinia, 2015) در بررسی تأثیر گیاه پوششی (ماشک و جو) و سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بر عملکرد سیب‌زمینی گزارش کردند میزان افزایش ماده آلی خاک در تیمار خاک‌ورزی حداقل با کاشت گیاهان ماشک و جو نسبت به خاک‌ورزی مرسوم و عدم کاشت گیاه پوششی به ترتیب ۵۵ و ۱۹ درصد افزایش داشت.

کربن به فرم فعال و مؤثر در واکنش‌های خاک مهیا نمی‌شود. خاک‌ورزی حداقل میزان خاکدانه‌های پایدار در خاک را افزایش داده و نتیجه آن افزایش کربن آلی نسبت به بدون خاک‌ورزی است (Hamzei and Borbor, 2014). کلاپ و همکاران (Clapp et al., 2000) نیز با بررسی محتوای کربن آلی خاک تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی گزارش نمودند که عدم اجرای خاک‌ورزی (به عنوان مهم‌ترین عامل مدیریتی مؤثر بر محتوای ذخیره کربن خاک) بهترین تأثیر را بر بهبود محتوای کربن آلی خاک داشتند. سطح کربن آلی خاک را می‌توان از طریق کاربرد برخی فن‌آوری‌های زراعی مانند کاشت ارقام پرمحصول (با تولید بقایای گیاهی زیاد و ریشه فعال)، عدم برداشت بقایای گیاهی و توجه به کیفیت و کمیت بقایای گیاهی افزایش داد (Ghaffari et al., 2012). انواع مختلف گیاهان پوششی یا گیاهان تقویت‌کننده سبب افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر ویژگی‌های خاکی

Table 3- Analysis of variance for the effect of tillage and cover crop on soil properties

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		کربن آلی Organic carbon	فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium	نیتروژن Nitrogen
بلوک Block	2	3.52**	8.40**	356.22**	0.0042**
خاک‌ورزی Tillage	2	18.82**	55.40**	23409.05**	0.1335**
گیاه پوششی Cover crop	1	8.41**	156.05**	747.55**	0.0117**
خاک‌ورزی×گیاه پوششی Tillage × Cover crop	2	1.68**	0.06 ^{ns}	137.72 ^{ns}	0.0007**
خطا Error	10	0.22	0.39	76.50	0.0001
ضریب تغییرات CV (%)	–	5.80	3.00	1.75	0.62

ns غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

(ns: non significant, ** significant at P <0.01)

نیتروژن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تأثیر برهم‌کنش دو تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقدار نیتروژن خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به نیتروژن خاک (جدول ۴) نشان داد مقدار نیتروژن در تیمار MT×UC با مقدار ۱/۷ گرم بر کیلوگرم به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بیش‌تر است. تیمار NT×UC با مقدار ۱/۶۴ گرم بر کیلوگرم در مرتبه دوم قرار گرفت. تیمارهای MT×NC و NT×NC با مقدار ۱/۵۶ و ۱/۵۱ گرم بر کیلوگرم بعد از تیمارهای خاک‌ورزی

حداقل و بدون خاک‌ورزی با کاشت گیاه پوششی بیش‌ترین مقدار نیتروژن را داشتند. کم‌ترین مقدار نیتروژن مربوط به تیمار CT×NC (با مقدار ۱/۳۵ گرم بر کیلوگرم) بود که در این تیمار نیتروژن نسبت به تیمار خاک‌ورزی حداقل×گیاه پوششی ۲۰/۵۹ درصد کاهش داشت (جدول ۴). نیتروژن اثر قابل توجهی بر شاخص‌های رشدی دارد به گونه‌ای که با تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه می‌توان به ترکیب متعادلی از شاخص‌های رشدی در گیاه دست یافت و عملکرد گیاه زراعی را بهبود بخشید (Mohammadi et al., 2015). گیاهان با دریافت نیتروژن مورد نیاز خود سطح برگ بیش‌تری تولید می‌کنند.

افزایش سطح برگ را می‌توان به دلیل افزایش سطح سبزینه‌ای گیاه دانست که این افزایش تعیین‌کننده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است (Yasari and Patwardhan, 2007). به‌طور کلی، با افزایش نیتروژن خاک گسترش سطح برگ به دلیل تحریک رشد رویشی افزایش می‌یابد و کارایی مصرف نور زیاد می‌شود، بنابراین سرعت رشد محصول افزایش و عملکرد گیاه بهبود می‌یابد (Mohammadi et al., 2015)، با توجه به یافته‌های این پژوهش بیش‌ترین مقدار نیتروژن (۱/۷ گرم بر کیلوگرم) در تیمار خاک‌ورزی حداقل $\times$ گیاه پوششی اندازه‌گیری شد (جدول ۴)، که در این تیمار نیز بالاترین عملکرد بیولوژیک آفتابگردان (۱۶۷۳ گرم بر مترمربع) گزارش شد (جدول ۶). به‌کارگیری خاک‌ورزی رایج با افزایش تردد ماشین‌آلات و شدت خاک‌ورزی باعث برهم زدن خاک و تجزیه ماده آلی و بقایای گیاهی شده و افزایش موقتی محتوای عناصر غذایی خاک را در پی دارد. با این حال هدرروی این عناصر به دلیل قابل دسترس بودن افزایش می‌یابد و در طولانی مدت سبب کاهش محتوای عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک می‌گردد که این امر می‌تواند به دلیل افزایش نیاز به عناصر غذایی جهت بهبود حاصلخیزی و باروری خاک، هزینه‌های تولید را به دلیل بالا رفتن میزان مصرف کودهای شیمیایی افزایش دهد و همچنین آلودگی‌های زیست‌محیطی را در درازمدت برای بوم نظام‌های زراعی به همراه داشته باشد (Copeland and Crookston, 1992). محتوای نیتروژن در نظام‌های دارای شخم حفاظتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از نظام‌های خاک‌ورزی مرسوم است (Jeffery et al., 2002). به نظر می‌رسد استفاده از بقایای گیاهانی که کیفیت مناسبی دارند اگر همراه با مدیریت خاک‌ورزی حفاظتی انجام گیرد، نتیجه مطلوبی در پی خواهد داشت. به‌خصوص اگر زمان آزادسازی عناصر غذایی از بقایای گیاهی در حال تجزیه، هم‌زمان با نیاز گیاه زراعی باشد. در چنین شرایطی شکاف زمانی بین آزادسازی عناصر از بقایای گیاهی و جذب عناصر توسط گیاه از محیط کم شده و با کاهش تلفات عناصر، راندمان جذب را افزایش خواهد داد (Blanco-Canqui and Lal, 2009). اما اگر این هم‌زمانی صورت نگیرد گیاه مجبور است از منابع کودی برای تأمین عناصر موردنیاز خود استفاده کند. در این حالت فرم معدنی نیتروژن تبدیل به فرم آلی می‌شود، با این حال نیتروژن اگرچه زیاد هم باشد اما برای گیاه قابل استفاده نیست، بنابراین در صورت استفاده از مقادیر اضافی کود نیتروژن، گیاه می‌تواند این کاهش را جبران کند (Shahpari et al., 2016).

فسفر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تأثیر اعمال دو تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقدار فسفر فراهم

خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود اما برهمکنش این دو تیمار برای فسفر فراهم غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به فسفر فراهم خاک (جدول ۶) نشان داد فسفر فراهم در تیمار MT به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای NT و CT بیش‌تر است، به طوری که بیش‌ترین مقدار فسفر فراهم در تیمار MT (۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و تیمار NT (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد؛ کم‌ترین مقدار فسفر فراهم معادل ۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار CT مشاهده شد. میزان فسفر فراهم در تیمار گیاه پوششی در مقایسه با تیمار بدون گیاه پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد، در تیمار NC مقدار فسفر اندازه‌گیری شده برابر با ۱۷/۷ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود در حالی که در تیمار UC میزان فسفر اندازه‌گیری شده با مقدار ۲۳/۶ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) ۳۳ درصد بیش‌تر نسبت به تیمار عدم حضور گیاه پوششی اندازه‌گیری شد (جدول ۶). در بین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، تیمار MT به‌طور مؤثرتری به افزایش فسفر فراهم کمک کرده است، به طوری که میزان فسفر در تیمار MT ۳۳/۳ درصد بیش‌تر نسبت به تیمار NT اندازه‌گیری شد. افزایش مواد آلی در تیمارهای تلفیقی خاک‌ورزی حفاظتی و گیاه پوششی سبب افزایش فسفر فراهم می‌گردد. با توجه به جدول ۴ میزان کربن آلی در تیمار MT نسبت به تیمار NT ۲۶ درصد بیش‌تر اندازه‌گیری شد. فانیک و همکاران (Fink et al., 2016) در بررسی اثر سه ساله خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بر جذب و رهاسازی فسفر در خاک‌های زراعی برزیل گزارش کردند که میزان رهاسازی فسفر در خاک‌ورزی مرسوم نسبت به خاک‌ورزی حفاظتی در پایان سال سوم ۶ درصد افزایش یافت. نامبردگان بیان نمودند اعمال خاک‌ورزی حفاظتی به غنی شدن مواد آلی خاک کمک می‌کند و ماده آلی با فسفر پیوند برقرار کرده و فراهمی زیستی فسفر در خاک را افزایش داده و از هدرروی فسفر جلوگیری می‌کند. در بررسی‌های جهان و همکاران (Jahan et al., 2010) افزودن بقایای گیاه پوششی شبدر به خاک موجب بالا رفتن درصد مواد آلی خاک، حفاظت و باز چرخش عناصر غذایی و نیز اصلاح باروری خاک شد. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که استفاده هم‌زمان از گیاهان پوششی شبدر و نخود سبز به علت دارا بودن قدرت رویشی بالا و ریشه‌های قوی، می‌تواند جذب مقدار زیادی از عناصر غذایی محلولی را که در شرایط عادی بر اثر شستشو به اعماق خاک نفوذ می‌کند، افزایش دهد.

پتاسیم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تأثیر اعمال دو تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقدار پتاسیم فراهم در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما برهم‌کنش این دو تیمار برای شاخص فوق غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به پتاسیم فراهم خاک (جدول ۶) نشان داد که هرچند دو تیمار NT و

MT تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند، اما پتاسیم فراهم در تیمار MT با مقدار ۵۴۰ میلی‌گرم بر

گرفتند، اما پتاسیم فراهم در تیمار NT ۲ درصد بیش‌تر گزارش شد.

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر کربن آلی خاک، نیتروژن خاک، قطر طبق و تعداد دانه در طبق آفتابگردان

Table 4- Mean comparisons for the effect of different tillage systems and cover crops on soil organic carbon, soil nitrogen and anthodium diameter and number of grain per anthodium of sunflower

خاک‌ورزی و گیاه پوششی Tillage and cover crop	کربن آلی Organic carbon (g.kg ⁻¹)	نیتروژن Nitrogen (g.kg ⁻¹)	قطر طبق Anthodium diameter (cm)	تعداد دانه در طبق Grain number anthodium ¹
بدون خاک‌ورزی بدون گیاه پوششی No-tillage without cover crop (NT×NC)	6.2 ^c	1.51 ^d	16.6 ^{cd}	527 ^e
بدون خاک‌ورزی با گیاه پوششی No-tillage with cover crop (NT×UC)	8.4 ^b	1.64 ^b	22.4 ^b	951 ^b
خاک‌ورزی حداقل بدون گیاه پوششی Minimum tillage without cover crop (MT×NC)	7 ^{ab}	1.56 ^c	15 ^d	602 ^d
خاک‌ورزی حداقل با گیاه پوششی Minimum tillage with cover crop (MT×UC)	10.4 ^a	1.72 ^a	27 ^a	1085 ^a
خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی Conventional tillage without cover crop (CT×NC)	4.6 ^d	1.35 ^f	12 ^e	420 ^f
خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی Conventional tillage with cover crop (CT×UC)	5.9 ^c	1.42 ^e	18 ^c	831 ^c

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترکند از نظر صفت مورد مطالعه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means within a column followed by the same letter are not significantly different according to LSD test (p<0.05).

کم‌ترین مقدار پتاسیم فراهم در تیمار CT با مقدار ۴۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. میزان پتاسیم فراهم در تیمار گیاه پوششی در مقایسه با تیمار بدون گیاه پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد، در تیمار NC مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده برابر با ۴۹۰ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود در حالی که در تیمار UC میزان پتاسیم اندازه‌گیری شده با مقدار ۵۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۳ درصد بیش‌تر نسبت به تیمار عدم حضور گیاه پوششی اندازه‌گیری شد (جدول ۴). در توجیه تغییرات اندک پتاسیم در بین تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش می‌توان گفت انتقال پتاسیم قابل دسترس در خاک (پتاسیم محلول) از خاک سطحی به اعماق در نتیجه آبیاری منجر به کاهش منبع پتاسیم خاک شده است. علاوه بر این، نباید از تأثیر عواملی مانند تثبیت پتاسیم در خاک بر منبع پتاسیم قابل دسترس خاک غافل شد. پتاسیم تثبیت شده در کوتاه مدت غیرقابل استفاده است اما با گذشت زمان و جذب پتاسیم محلول و تبدیلی خاک تعادل بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک فراهم می‌شود (Najafi-Ghiri et al., 2011).

الکساندرا و همکاران (Alexandra et al., 2013) در پژوهشی ۱۲ ساله بر تأثیر کودهای آلی و شخم کاهش یافته بر خصوصیات خاک و عملکرد زراعی نشان دادند اعمال خاک‌ورزی کاهش‌یافته ابزار مؤثری در افزایش عناصر غذایی خاک، بهبود حاصلخیزی خاک و در نتیجه تولید انبوه‌تر محصولات زراعی خواهد بود. گارسیا و همکاران (Garcia et al., 2008) در بررسی چرخه پتاسیم فراهم در زراعت ذرت عنوان کردند افزایش مقدار پتاسیم فراهم در سطح رویی خاک تحت تأثیر خاک‌ورزی کاهش یافته و حفظ بقایا را به توانایی بقایای گیاهی برای بازیافت مواد مغذی و تبدیل پتاسیم فراهم به فرم غیر قابل تبادل دانستند. شهپری و همکاران (Shahpari et al., 2016) در مقایسه دو تیمار برگرداندن بقایای گیاه کلزا و سوزاندن گندم گزارش کردند، تیمار برگرداندن بقایای کلزا به میزان ۱۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیش‌ترین و تیمار سوزاندن بقایای گندم به میزان ۱۲۰ میلی‌گرم به کیلوگرم کم‌ترین مقادیر پتاسیم خاک را نتیجه داد و در توجیه این نتایج بیان کردند به‌نظر می‌رسد برگرداندن بقایای کلزا و

آزاد شدن تدریجی عناصر باعث افزایش میزان آن عناصر در خاک می‌شود. افزودن گیاه پوششی به خاک موجب بالا رفتن درصد مواد آلی خاک، حفاظت و باز چرخش عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و نیز اصلاح باروری خاک می‌شود. گیاهان پوششی به علت دارا بودن قدرت رویشی بالا و ریشه‌های قوی، می‌توانند مقدار زیادی از عناصر غذایی محلولی را که در شرایط عادی بر اثر شستشو به اعماق خاک نفوذ کرده‌اند، جذب کنند (Martins et al., 2015). گیاهان پوششی با جذب عناصر غذایی که ممکن است از نیم‌رخ خاک شسته شوند، به چرخه عناصر غذایی در بخش زنده خاک کمک می‌کنند. باید توجه داشت که این مواد غذایی پتانسیل آلودگی آب‌های زیر زمینی را نیز دارند (Jahan et al., 2010).

شاخص‌های زراعی آفتابگردان

درصد پوکی دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) نشان داد تأثیر اعمال دو تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقدار درصد پوکی دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود اما برهم‌کنش این دو تیمار برای درصد پوکی دانه غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به درصد پوکی دانه نشان داد این شاخص در تیمار CT به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای NT و MT بیش‌تر است، به طوری که بیش‌ترین مقدار درصد پوکی دانه در تیمار CT (۱۷/۸ درصد) به‌دست آمد؛ کم‌ترین مقدار درصد پوکی دانه در تیمار MT (۸ درصد) با اختلاف ۵۵ درصد نسبت به تیمار CT گزارش شد (جدول ۶). میزان درصد پوکی دانه در تیمار گیاه پوششی در مقایسه با تیمار بدون گیاه پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد، در تیمار NC مقدار درصد پوکی دانه اندازه‌گیری شده برابر با ۱۳/۶ درصد بود در حالی که در تیمار UC مقدار درصد پوکی دانه ۱۰ درصد گزارش شد. در تیمار UC کاهش ۲۶ درصدی در صفت پوکی دانه در مقایسه با تیمار NC مشاهده شد (جدول ۶). به نظر می‌رسد که اجرای خاک‌ورزی حفاظتی با بهبود محتوای کربن آلی خاک و تا حدودی افزایش نسبی محتوای رطوبتی خاک موجب افزایش رشد فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکری شده که در نتیجه به دلیل چرخه مناسب‌تر عناصر غذایی و به تبع آن فراهمی آنها تحریک رشد بوته را سبب شده است (Shams abadi et al., 2014). اجرای خاک‌ورزی حداقل از طریق زیرو رو کردن بیش‌تر خاک نسبت به بدون خاک‌ورزی موجب افزایش خلل و فرج و نفوذپذیری بهتر ریشه شده که این امر تحت تأثیر افزایش جذب آب و مواد غذایی موجب بهبود رشد دانه و کاهش درصد پوکی دانه شد (Alvarez and Steinbach, 2009)، طوری که در تیمار MT نسبت به تیمار NT کاهش ۲۴ درصدی پوکی دانه گزارش شد (جدول ۶). زیرو رو شدن عمیق خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم احتمالاً به

نفوذپذیری بیش‌تر ریشه کمک کند اما در این تیمار مقدار کم ماده آلی اندازه‌گیری شده به دلیل مهیا شدن شرایط برای تبدیل کربن آلی به فرم فعال و قابل دسترس (Kabiri et al., 2016) و در نتیجه هدرروی منبع آلی مشاهده شد، هم‌چنین خاک‌ورزی رایج با برهم زدن خاک منجر به تجزیه بقایای گیاهی شده و افزایش موقتی عناصر غذایی در مدت زمان اولیه برگرداندن بقایا به خاک را در پی دارد و افزایش هدرروی این عناصر به دلیل قابل دسترس بودن افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که این عناصر غذایی در زمان نیاز گیاه در دسترس گیاه قرار نگیرد (Shahpari et al., 2016)، به همین دلیل بالاترین نرخ پوکی دانه با اختلاف ۵۵ درصدی نسبت به تیمار خاک‌ورزی حداقل در تیمار خاک‌ورزی مرسوم اندازه‌گیری شد. مدیریت بقایای گیاهی علاوه بر ذخیره و حفظ رطوبت و هم‌چنین کاهش تبخیر موجب کارایی بیش‌تر ذخیره آب می‌گردد و مواد غذایی نیز به نحو مؤثری حفظ می‌گردند که همین عوامل منجر به افزایش سهم مواد فتوسنتزی تخصیص‌یافته به سلول‌های تشکیل‌دهنده دانه‌ها در گیاهان می‌شود. افزایش سهم مواد پرورده در دانه‌ها نیز در نهایت باعث کاهش پوکی دانه‌ها خواهد شد (Mosavi et al., 2009).

وزن صد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) نشان داد تأثیر اعمال دو تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر مقدار وزن صد دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد اما برهم‌کنش این دو تیمار برای وزن صد دانه معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۶ نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین میزان وزن صد دانه آفتابگردان به‌ترتیب در تیمارهای MT و CT با مقادیر ۱۰ و ۶/۴ گرم مشاهده شد. تیمار MT توانست وزن صد دانه آفتابگردان را نسبت به تیمار CT در حدود ۳۶ درصد افزایش دهد. میزان وزن صد دانه در تیمار گیاه پوششی در مقایسه با تیمار بدون گیاه پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد، وزن صد دانه آفتابگردان در تیمار NC (۶/۳ گرم) کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار UC (۷/۸ گرم) نشان داد. کاهش ۱۹ درصدی در تیمار بدون پوشش گیاهی نسبت به تیمار با پوشش گیاهی مشاهده شد (جدول ۶). از آنجا که ماده آلی خاک به‌عنوان منبع و ذخیره‌کننده مواد غذایی مورد نیاز برای تحریک فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکری ضروری بوده و تأمین‌کننده رشد مطلوب گیاهان است و نقش کلیدی را در چرخه کربن بازی می‌کند (Rounsevell et al., 1999)، اجرای خاک‌ورزی حفاظتی با افزایش بیش‌تر محتوای ماده آلی خاک در مقایسه با سایر روش‌های خاک‌ورزی، از طریق افزایش فراهمی عناصر غذایی موجب بهبود رشد رویشی و فتوسنتز شده که این امر با بهبود سهم تخصیص این مواد به مخزن در نهایت، افزایش وزن دانه را به دنبال داشته است (Shamsabadi et al., 2014).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر ویژگی‌های زراعی آفتابگردان

Table 5- Analysis of variance for the effect of tillage and cover crop on sunflower agronomic properties

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		درصد پوکی دانه Unfilled grain	وزن صد دانه Grain weight	تعداد دانه در طبق Number of grain per anthododium	قطر طبق Anthodium diameter	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
تکرار Replication	2	5.7 ^{ns}	0.2 ^{**}	0.1 ^{**}	24.9 ^{**}	1241 ^{ns}	1284.7 ^{ns}
خاک‌ورزی Tillage	2	137.6 ^{**}	3.3 ^{**}	32.2 ^{**}	36.6 ^{**}	20031 ^{**}	184089.05 ^{**}
گیاه پوششی Cover crop	1	29.4 ^{**}	0.9 ^{**}	76.5 ^{**}	386.6 ^{**}	31250 ^{**}	46309.4 ^{**}
خاک‌ورزی × گیاه پوششی Tillage × Cover crop	2	5.6 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.5 ^{**}	6.9 ^{**}	1809 ^{ns}	3038.4 ^{ns}
خطا Error	10	1.5	0.02	0.7	0.7	821.1	1549.2
ضریب تغییرات (درصد) (%) CV	-	5.7	2.1	6.2	4.1	14.4	4.3

ns: not significant, **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد
ns: not significant, **: significant at 1% probability level

جدول ۶- مقایسه میانگین فسفر خاک، پتاسیم خاک، پوکی دانه، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک آفتابگردان تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی (تعداد نمونه=۱۸)

Table 6- Mean test on soil phosphorus, soil potassium, sunflower unfilled grain, weight of 100 grains, grain yield and biological yield in effect of tillage systems and cover crop (n=18)

	فسفر Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم Potassium (mg.kg ⁻¹)	درصد پوکی دانه Unfilled grain (%)	وزن صد دانه 100-Grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (g.m ⁻²)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m ⁻²)
خاک‌ورزی Tillage						
بدون خاک‌ورزی No-Tillage (NT)	20.16 ^b	531 ^a	10.5 ^b	8.0 ^b	192.0 ^b	986.8 ^b
خاک‌ورزی حداقل Minimum tillage (MT)	24.00 ^a	539 ^a	8.0 ^c	10.0 ^a	259.3 ^a	1043.3 ^a
خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage (CT)	18.00 ^c	427 ^b	17.8 ^a	7.3 ^c	144.3 ^c	715.6 ^c
گیاه پوششی Cover crop						
با گیاه پوششی With cover crop (UC)	23.6 ^a	506 ^a	10.0 ^b	7.8 ^a	240.2 ^a	966.0 ^a
بدون گیاه پوششی No cover crop (NC)	17.7 ^b	490 ^b	13.6 ^a	6.3 ^b	156.8 ^b	864.5 ^b

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترکند از نظر صفت مورد مطالعه بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means within a column followed by the same letter are not significantly different according to LSD test (p<0.05).

تیمار افزایش قطر طبق آفتابگردان را به دنبال داشته است (جدول ۴). اثرات باقی مانده‌های گیاهی سبب افزایش کربن آلی، حفظ رطوبت خاک و افزایش مواد غذایی قابل استفاده برای گیاه می‌باشد. چنین خصوصیات و ویژگی‌هایی تا حدود زیادی می‌تواند منجر به افزایش بیوماس گیاه زراعی گردد (Onemli, 2004). حضور گیاه پوششی تا حد قابل توجهی مانع از رشد علف‌های هرز می‌شود و به دلیل نبود رقابت برون گونه‌ای بر سر عواملی چون آب، مواد غذایی و نور بین علف‌های هرز و گیاه، بوته‌های آفتابگردان توانسته استفاده بهتری از منابع ببرد و قطر طبق افزایش یافته است (Ramrodi et al., 2010).

تعداد دانه در طبق

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) نشان داد تأثیر اعمال دو تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی و همچنین برهمکنش بین این دو تیمار بر تعداد دانه در طبق در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۴ نشان داد که تعداد دانه در طبق در تیمار MT×UC به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم و عدم کشت گیاه پوششی بیش‌تر است، به طوری که بیش‌ترین تعداد دانه در طبق در تیمار MT×UC با مقدار ۱۰۸۵ دانه و کم‌ترین میزان تعداد دانه در طبق به تیمار CT×NC با مقدار ۳۵۰ دانه اندازه‌گیری شد. بعد از تیمار MT×UC تیمار NT×UC (با مقدار ۹۵۰ دانه) با اختلاف ۱۲ درصدی نسبت به تیمار MT×UC بیش‌ترین تعداد دانه در طبق را به خود اختصاص داد. در تیمار CT×NC تعداد دانه در طبق نسبت به تیمار MT×UC حدود ۶۱ درصد کاهش داشت (جدول ۴). رطوبت، اکسیژن، درجه حرارت و مقاومت مکانیکی خاک از جمله عواملی هستند که به‌طور مستقیم بر رشد ریشه گیاه تأثیر می‌گذارند و این فاکتورها خود تحت تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی هستند (Asadi et al., 2010) به نظر می‌رسد در این آزمایش در تیمار خاک‌ورزی حداقل شرایط لازم برای رشد و نمو ریشه فراهم بود، بنابراین گزارش بیش‌ترین تعداد دانه در طبق آفتابگردان به دلیل استقرار بهتر ریشه در خاک و بالاترین مقدار ماده آلی و عناصر غذایی در تیمار خاک‌ورزی حداقل که به پرشدن طبق‌ها می‌انجامد دور از انتظار نیست. بررسی سه ساله در شمال غرب ایران و در شرایط کشت مداوم گندم دیم نشان داده است که روش‌های مختلف خاک‌ورزی از نظر تعداد دانه در سنبله، دارای اختلاف معنی‌داری هستند به طوری که از میان تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم (گاواهن برگردان‌دار)، خاک‌ورزی حداقل (گاواهن پنجه‌غازی) و بدون خاک‌ورزی، بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تیمار خاک‌ورزی حداقل بوده است (Peterson et al., 2002). حفظ بقایای گیاهی بر سطح خاک از طریق فراهمی بهتر رطوبت حاصل از بارندگی‌ها توانسته اثر مثبتی بر این جزء از عملکرد داشته باشد

میانگین کربن آلی در تیمار MT-UC با مقدار ۱۰/۴ گرم بر کیلوگرم به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بیش‌تر بود و در این تیمار نیز وزن صد دانه با مقدار ۸/۶ گرم بیش‌تر از سایر تیمارها بود (جدول ۴). احتمالاً حضور گیاه پوششی و اعمال خاک‌ورزی حفاظتی با حفظ رطوبت به افزایش طول دوره پر شدن دانه کمک می‌کند و سبب می‌گردد میزان بیش‌تری مواد فتوسنتزی به دانه‌ها منتقل شود، همین امر موجب افزایش وزن صد دانه می‌گردد (Burton et al., 2004). بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد کلزا نشان داد که بالاترین میزان وزن دانه به سیستم بدون خاک‌ورزی کلش‌دار (حفظ مانده‌های گیاهی) اختصاص داشت. می‌توان علت این امر را افزایش قدرت حفظ رطوبت خاک در این سیستم خاک‌ورزی دانست (Barzegar et al., 2004). امینی و همکاران (Amini et al., 2014) در بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر اجزای عملکرد گندم گزارش کردند وزن دانه در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی و حضور ۹۰ درصد بقایای گیاهی ۳ درصد بیش‌تر از تیمار خاک‌ورزی مرسوم و سوزاندن بقایای گیاهی بود. در توجیه این امر عنوان داشتند کاربرد بقایای گیاهی توأم با عملیات خاک‌ورزی مرسوم منجر به تغییر میزان C/N خاک می‌گردد و در نتیجه میزان نیتروژن موجود در خاک صرف میکروارگانیزم‌ها می‌گردد، بنابراین گیاه در طی فصل رشد با کمبود نیتروژن مواجه شده که بر میزان وزن‌گیری دانه تأثیر منفی خواهد داشت.

قطر طبق

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) نشان داد تأثیر اعمال دو تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی و همچنین برهمکنش بین این دو تیمار بر قطر طبق در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۴ نشان داد که میزان قطر طبق آفتابگردان در تیمار MT×UC به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم و عدم کشت گیاه پوششی بیش‌تر است، به طوری که بیش‌ترین مقدار قطر طبق در تیمار MT×UC با مقدار ۲۷ سانتی‌متر و کم‌ترین میزان قطر طبق به تیمار CT×NC با مقدار ۱۲ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. بعد از تیمار MT×UC تیمار NT×UC (با مقدار ۲۲/۴ سانتی‌متر) با اختلاف ۱۷ درصدی نسبت به تیمار MT×UC بیش‌ترین مقدار قطر طبق را به خود اختصاص داد تیمار MT×UC موجب افزایش ۵۵/۵ درصدی قطر طبق نسبت به تیمار CT×NC شد. به کارگیری خاک‌ورزی حداقل احتمالاً از طریق افزایش نیتروژن خاک موجب تحریک رشد رویشی گیاه می‌شود (Shamsabadi et al., 2014)، که در این پژوهش بیش‌ترین مقدار نیتروژن (۱/۷ گرم بر کیلوگرم) در تیمار خاک‌ورزی حداقل×گیاه پوششی اندازه‌گیری شد (شکل ۲) و بالا بودن مقدار نیتروژن در این

عملکرد دانه

اثر تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد، اما اثر متقابل خاک‌ورزی در گیاه پوششی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۵). عملکرد دانه در تیمار MT به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای NT و CT بیش‌تر است (جدول ۶). بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمار MT و CT با مقدار $259/3$ و $144/3$ گرم بر مترمربع به‌دست آمد؛ تیمار NT با کاهش ۳۵ درصد عملکرد دانه نسبت به تیمار MT در مرتبه دوم قرار گرفت. تیمار خاک‌ورزی حداقل توانست عملکرد دانه آفتابگردان را نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم در حدود ۷۹ درصد افزایش دهد. به‌علاوه عملکرد دانه در حضور گیاه پوششی در مقایسه با عدم حضور گیاه پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد به این‌صورت که در تیمار UC نسبت به تیمار NC افزایش ۵۳ درصد داشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر، افزایش عملکرد دانه آفتابگردان در تیمارهای خاک‌ورزی حداقل +کشت گیاه پوششی تحت تأثیر کشت چهار ساله گیاه پوششی زمستانه و مدیریت مناسب بقایای گیاهی، که از طریق اعمال مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی کاهش یافته اعمال شده است، قرار گرفته باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، بیش‌ترین مقادیر عملکرد دانه در تیمار خاک‌ورزی حداقل و بعد از آن در تیمار بدون خاک‌ورزی ثبت شد و تیمار خاک‌ورزی مرسوم کم‌ترین عملکرد دانه را داشت. عملکرد دانه در تیمار بدون خاک‌ورزی نسبت به تیمار خاک‌ورزی حداقل به میزان ۲۵ درصد کاهش یافت. علت این کاهش عملکرد می‌تواند فشردگی بیش‌تر خاک و فراهم نبودن شرایط مناسب برای رشد ریشه در تیمار بدون خاک‌ورزی باشد. این فشردگی به کاهش تراکم طول ریشه گیاه در تیمار بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی حداقل منجر می‌شود و گیاه توانایی کمتری در جذب آب و مواد غذایی مورد نیاز خود در مقایسه با خاک‌ورزی حداقل خواهد داشت. از دیگر عوامل مؤثر بر کاهش عملکرد دانه در تیمار بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی حداقل می‌توان به تأخیر در استقرار، افزایش تراکم علف‌های هرز و تغییر در خواص فیزیکی خاک اشاره کرد (Mohammadi et al., 2009). به طور کلی منابع نشان می‌دهند در خاک‌ورزی حفاظتی وجود بقایا در سطح خاک موجب کاهش سبز شدن و استقرار علف‌های هرز و در نتیجه کاهش رقابت آن‌ها با گیاه زراعی شده و عملکرد گیاه زراعی اغلب در چنین حالتی افزایش می‌یابد (Hamzei and Borbor, 2014). نتایج نشان داد که بالاترین مقدار نیتروژن در تیمار خاک‌ورزی حداقل و گیاه پوششی ($1/7$ گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد (جدول ۴)، به‌طوری که عملکرد دانه در تیمار خاک‌ورزی حداقل نسبت به تیمار خاک‌ورزی

مرسوم در حدود $44/35$ درصد و در تیمار کاشت گیاه پوششی نسبت به تیمار عدم کاشت گیاه پوششی $33/88$ درصد بیش‌تر به‌دست آمد. کود نیتروژنی موجب افزایش سطح برگ (Nematpour et al., 2015) و در نتیجه افزایش میزان دریافت نور، تولید ماده خشک و دانه می‌شود (Sepide dam and Ramroudi, 2016)، نتایج نشان داد در تیمار UC در مقایسه با تیمار NC و در تیمار MT در مقایسه با تیمار CT به‌طور معنی‌داری درصد پوکی دانه کاهش یافت. همچنین، تیمار MT توانست وزن صد دانه آفتابگردان را نسبت به تیمار CT 27 درصد افزایش دهد و کاهش ۱۹ درصدی در تیمار بدون پوشش گیاهی نسبت به تیمار با پوشش گیاهی اندازه‌گیری شد (جدول ۶). می‌توان اظهار داشت که افزایش دسترسی به نیتروژن در تیمارهای خاک‌ورزی حداقل و گیاه پوششی، منجر به رشد بهتر گیاه، افزایش ظرفیت فتوسنتزی و ذخیره فتوآسمیلات‌ها در دانه شده و افزایش وزن دانه افزایش عملکرد دانه را نیز به دنبال دارد. در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل بهبود پایداری خاکدانه‌ها، افزایش ماده آلی خاک، نفوذ پذیری بیش‌تر آب در خاک و کاهش فرسایش خاک، شرایط بهتری برای رشد گیاه زراعی فراهم می‌گردد (Smith et al., 2011). با این حال، با در نظر گرفتن اقلیم نیمه‌خشک منطقه مورد مطالعه و نیز طول مدت اعمال خاک‌ورزی حفاظتی در این پژوهش (۴ سال)، خاک‌ورزی حداقل از بین خاک‌ورزی‌های حفاظتی مورد بررسی، گزینه مناسب‌تری به لحاظ عملکرد دانه آفتابگردان است.

عملکرد بیولوژیک

اثر تیمار خاک‌ورزی و گیاه پوششی در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد، اما اثر متقابل خاک‌ورزی در گیاه پوششی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۵). عملکرد بیولوژیک در تیمار MT به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای NT و CT بیش‌تر است (جدول ۶). بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب در تیمار MT و CT با مقدار 1043 و $715/6$ گرم بر مترمربع به‌دست آمد؛ تیمار NT با کاهش $5/5$ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار MT در مرتبه دوم قرار گرفت. تیمار خاک‌ورزی حداقل توانست عملکرد بیولوژیک آفتابگردان را نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم در حدود $31/5$ درصد افزایش دهد. همچنین شاخص عملکرد بیولوژیک در حضور گیاه پوششی در مقایسه با عدم حضور گیاه پوششی اختلاف معنی‌داری نشان داد به این‌صورت که در تیمار UC نسبت به تیمار NC افزایش $10/5$ درصدی داشت (جدول ۶). با توجه به برتری تیمار خاک‌ورزی حداقل $\times$ گیاه پوششی نسبت به سایر تیمارها از نظر اجزای عملکرد برتری عملکرد بیولوژیک آفتابگردان در این تیمار نسبت به سایر تیمارها دور از انتظار نیست. عملیات خاک‌ورزی با اثر بر روی فعالیت‌های بیولوژیکی، دسترسی به منابع غذایی و همچنین از راه تأثیر

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت تأثیر مدیریت‌های اعمال شده خاک‌ورزی قرار گرفت و در بین مدیریت‌های اعمال شده تیمار خاک‌ورزی حداقل و حضور گیاه پوششی کلزا منجر به افزایش اجزای عملکرد آفتابگردان و تیمار خاک‌ورزی مرسوم و عدم حضور گیاه پوششی کلزا منجر به کاهش اجزای عملکرد آفتابگردان شد. کم‌ترین درصد پوکی دانه آفتابگردان در تیمار خاک‌ورزی حداقل و حضور گیاه پوششی و بیش‌ترین درصد پوکی دانه در تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بدون حضور گیاه پوششی گزارش شد، همچنین بیش‌ترین مقدار ماده آلی و عناصر غذایی پرمصرف در تیمار خاک‌ورزی حداقل با حضور گیاه پوششی کلزا اندازه‌گیری شد. پوشش گیاهی نیز از طریق چرخه بازگشت برگ‌های پوسیده، ریشه و دیگر اجزای گیاه به خاک به حفظ ذخیره ماده آلی و افزایش مقادیر عناصر غذایی پرمصرف کمک می‌کند. مجموعه این عوامل منجر شد که رشد گیاه زراعی بهبود یافته و بالاترین عملکرد را داشته باشد. گرچه این پژوهش به منظور پذیرش فعالیت‌های مبتنی بر اصول کشاورزی پایدار از قبیل مدیریت بقایای گیاهی و خاک‌ورزی حفاظتی صورت گرفت، ولی جهت برآورد تأثیر حقیقی این راهکارهای مدیریتی می‌بایست آزمایش‌های طولانی مدت را مدنظر قرار داد.

بر مقاومت مکانیکی خاک و انتشار عناصر غذایی بر رشد و تولید گیاه اثر می‌گذارد (Mikanva et al., 2009). افزایش عملکرد علاوه بر سایر عوامل به تهیه زمین، بستر بذر مناسب، حفاظت از حاصلخیزی خاک و جلوگیری از فشردگی خاک بستگی دارد، معمولاً سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل حفظ بقایای گیاهی سبب افزایش حاصلخیزی و ماده آلی بیش‌تر خاک شده، در نتیجه عملکرد اقتصادی نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم افزایش می‌یابد، اما روش بی‌خاک‌ورزی به دلیل مقادیر زیاد بقایای گیاهی، رشد و توسعه علف‌های هرز و آماده سازی بستر بذر عموماً پاسخگوی نیازهای گیاه نخواهد بود (Azimzadeh et al., 2003). بهبود وضعیت استقرار گیاه آفتابگردان در خاک‌ورزی حداقل و افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد در این تیمار نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی و افزایش عملکرد بیولوژیک آفتابگردان در تیمار خاک‌ورزی حداقل گردید، اما عدم خاک‌ورزی به دلیل فشردگی خاک و ضعیف بودن کلی آفتابگردان به دلیل کاهش فتوسنتز و رشد رویشی منجر به کاهش وزن خشک اندام هوایی گیاه (Ahmadvand and Hajinia, 2015) و کاهش ۱۲ درصدی عملکرد بیولوژیک آفتابگردان نسبت به خاک‌ورزی حداقل گردید. بقایای گیاه پوششی باعث افزایش ماده آلی، نیتروژن، بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود و از طریق بهبود حاصلخیزی خاک و کنترل علف‌های هرز در نهایت منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه آفتابگردان می‌شود (Campiglia et al., 2010).

References

- Alexandra, M. R., Charles, B., and Jeangros, S. 2013. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nitrogen response and crop yield: Results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland. *Soil and Tillage Research* 126: 11-18.
- Algan, N., and Celen, A. S. 2011. Evaluation of mung bean (*Vigna radiata* L.) as green manure in Aegean conditions in terms of soil nutrition under different sowing dates. *African Journal of Agricultural Research* 6 (7): 1744-1749.
- Al-Khatib, K., Libbey, C., and Boydston, R. 1997. Weed suppression with Brassica green manure crops in green manure crops in green pea. *Weed Sciences* 45: 439-445.
- All-Issa, T. A., and Samarah, N. H. 2007. The effect of tillage practices on barley production under rainfed conditions in Jordan. *Agricultural and Environmental Science* 2 (1): 75-79.
- Alvarez, R., and Steinbach, H. S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research* 104:1-15.
- Amini, A., Rajaie, M., and Farsinezhad, K. 2014. Effects of different plant residue under different tillage practices on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Ecophysiology* 16: 27-37. (in Persian with English abstract).
- Asadi, A., Yahyaabadi, M., and Taki, O. 2011. The Effect of Conventional and Conservation Tillage on Forage Corn Yield in a Barley-Corn Rotation. *Agricultural Engineering Research* 12 (1): 83-96.
- Azimzadeh, M., Koocheki, A. R., and Bala, M. 2003. Effect of different Tillage methods on bulk density, porosity, soil moisture content and yield of wheat under dryland condition. *Iranian Journal of Crop Sciences* 4 (93): 209-224. (in Persian with English abstract).
- Barzegar, A. R., Hashemi, A. M., Herbert, S. J., and Asoodar, M. 2004. Interactive effects of tillage system and soil water content aggregate size distribution for seedbed preparation in Fluvisols southwest Iran. *Soil and Tillage Research* 78: 45-52.

10. Basalma, D. 2008. The correlation and path analysis of yield and yield components of different winter rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 4: 120-125.
11. Blanco-canqui, H., and Lal, R. 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. Critical Review of Plant Science 28: 139-163.
12. Bremner, J. M. 1970. Nitrogen total, regular Kjeldahl method, In: Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties. Agronomy 9: 610-616.
13. Burton, W. A., Ripley, V. L., Potts, D. A., and Salisbury, P. A. 2004. Assessment of genetic diversity in selected breeding lines and cultivars of canola quality Brassica juncea and their implications for canola breeding. Euphytica 136: 181-192.
14. Campiglia, E., Caporali, F., Radicetti, E., and Mancinelli, R. 2010. Hairy Vetch (*Vicia villosa* Roth.) cover crop residue management for improving weed control and yield in no-tillage tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production. European Journal of Agronomy 33: 94-102.
15. Celik, I., Barut, Z. B., Ortas, I., Gok, M., Demirbas, A., Tulun, Y., and Akpinar, C. 2011. Impacts of different tillage practices on some soil microbiological properties and crop yield under semiarid Mediterranean conditions. International Plant Production 5 (3): 237-254.
16. Chaghazardi, H. R., Jahnsuz, M. R., Ahmadi, A., and Gorji, M. 2010. Effects of different tillage methods on bread wheat and chickpea yield, yield components and soil physical properties under rainfed conditions in Kermanshah. Iranian Journal of Filed Crop Science 46 (4): 687-699.
17. Clapp, C. E., Allmarasa, R. R., Layeseb, M. F., Lindena, D. R., and Dowdya, R. H. 2000. Soil organic carbon and ¹³C abundance as related to tillage, crop residue, and nitrogen fertilization under continuous corn management in Minnesota. Soil and Tillage Research 5: 127-142.
18. Conklin, A. E., Erich, M. S., and Liebman, M. 2002. Effects of red clover (*Trifolium pratense*) green manure and compost soil amendments on wild mustard (*Brassica kaber*) growth and incidence of disease. Plant and Soil 238: 245-25.
19. Copeland, P. J., and Crookston, P. K. 1992. Crop sequence affects nutrient composition of corn and soybean grown under high fertility. Agronomy 84: 503-509.
20. Fink, J., Inda, A., Bavaresco, J., Barrón, V., Torrent, J., and Bayer, C. 2016. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. Soil & Tillage Research 152: 62-68.
21. Gajri, P. R., Arora, V. K., and Prihar, S. S. 2004. Tillage for Sustainable Cropping. International Book Distributing Company.
22. Garcia, R. A., Crusciol, C. A. C., Calonego, J. C., and Rosolem, C. A. 2008. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. European Journal of Agronomy 28: 579-585.
23. Ghaffari, M., Ahmadvand, G., Ardakani, M. R., Mosaddeghi, M. R., Yeganehehpour, F., Gaffari, M., and Mirakhoori, M. 2012. Effect of Cover Crop Residues on Some Physicochemical Properties of Soil and Emergence Rate of Potato. Crop Ecophysiology 6 (1): 79-90.
24. Hamzei, J., and Borbor, A. 2014. Effect of different soil tillage methods and cover crops on yield and yield components of corn and some soil characteristics. Agricultural Science and Sustainable Production 24 (3): 35-45. (in Persian with English abstract).
25. Jahan, M., Solimani farzaghi, F., Ahmadi, F., Amiri, M. B., and Ehyaei, H. R. 2010. Interaction effects of green pea and Persian clover cover crop and biological fertilizers on yield and quality of sesame. The second National Conference on Agriculture and Sustainable Development. 11 and 12 March, Islamic Azad University of Shiraz.
26. Jeffery, L., Smith, N., and Jonathan, J. 2002. Soil properties and microbial activity across a 500 m elevation gradient in semi-arid environment. Soil Biology and Biochemistry 34: 1749-1757.
27. Kabiri, V., Raiesi, F., and Ghazavi, M. A. 2016. Tillage effects on soil microbial biomass, SOM mineralization and enzyme activity in a semi-arid Calcixerepts. Agriculture, Ecosystems and Environment. 232: 73-84.
28. Kruidhof, H., Bastiaans, M. L., and Kropff, M. J. 2008. Ecological weed management by cover cropping: effects on weedgrowth in autumn and weed establishment in spring, Weed Research 48: 492-502.
29. Klut, A. 1986. Method of Soil Analysis: Physical, Chemical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America 432-449.
30. Lugandu, S. 2013. Factors Influencing the Adoption off Conservation Agriculture by Smallholder Farmers in Karatu and Kongwa Districts of Tanzania. Presented at REPOA's 18th Annual Research Workshop held at the Kunduchi Beach Hotel, Dares Salaam, Tanzania.
31. Martins, B. H., Araujo-Junior, C. F., Miyazawa, M., Vieira, K. M., and Milori, M. B. P. 2015. Soil organic matter quality and weed diversity in coffee plantation area submitted to weed control and cover crops management. Soil and Tillage Research 153: 169-174.
32. Mikanova, O., Javurek, M., Simon, T., Friedlova, M., and Vach, M. 2009. The effect of tillage systems on some microbial characteristics. Soil and Tillage Research 105 (1): 72.
33. Mohammadi, G. R., Safari-Poor, M., Ghobadi, M. E., and Najaphy, A. 2015. The Effect of Green Manure and

- Nitrogen Fertilizer on Corn Yield and Growth Indices. Sustainable Agriculture and Production Science 25 (2): 105-124.
34. Mohammadi, Kh., Nabi Allahi, K., Aghaalikhani, M., and Khoormali, F. 2009. Study on the effect of different tillage methods on the soil physical properties, yield and yield components of rainfed wheat. Plant Production 16 (4): 77-91. (in Persian with English abstract).
 35. Mohammadi, M. 2012. Effects of canola and nitrogen fertilizer on some physical and chemical properties of soil and yield of the next crop. Soil and Water Research Institute.
 36. Mosavi, S. B., Jafarzadeh, A. A., Neishabouri, M. R., Ostan, S., and Feiziasl, V. 2009. Rye green manure along with nitrogen fertilizer application increase wheat (*Triticum aestivum* L.) production under dryland condition Agriculture Research 4: 204-212. (in Persian with English abstract).
 37. Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., and Jaberian, F. 2011. Factors affecting potassium release in calcareous soils of southern Iran. Soil Research 49 (6): 529-537.
 38. Najafinejad, H., Jewelry, M. A., Ravari, S. Z., and Azad shahraki, F. 2009. Effect of crop rotation and crop residue management on corn yield. SC 704 and some soil properties. Seed Plant 25 (3): 258-245.
 39. Nematpour, A., Kazemi, S. A. R., and Bahrani, M. 2015. The effect of seeding rate and nitrogen on yield and yield components of wheat grown canola residue. Iranian Journal of Field Crops Research 13 (1): 120-130.
 40. Ohno, T., Doolan, K., and Zibilske, L. M. 2000. Phytotoxic effects of red clover amended soils on wild mustard seedling growth, Agriculture, Ecosystems & Environment 78: 187-192.
 41. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., and Dean, L. A. 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. Department of Agriculture, Washington DC.
 42. Onemli, F. 2004. The effects of soil organic matter on seedling emergence in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Plant Soil Environment 50: 494-499.
 43. Peterson, E. H., Pannel, D. G., Nordblom, T. L., and Shomo, F. 2002. Potential benefit from alternative areas of agricultural research for dry farming in northern Syria. Agricultural System 11 (2): 93-108.
 44. Potter, M. 1999. Biochemical studies of tissue glucosinolates for improvement of canola (*Brassica napus*) as a disease break with in the southern Australian cereal rotation. Australasian Association of Nematologist. Canola, 1-3.
 45. Ramrodi, M., Mazaheri, D., Hoseini, N., Hosseinzadeh, A. H., and Hosseini, M. B. 2010. The impact of cover crops, tillage systems and nitrogen fertilization on yield of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Iranian Journal of Field Crop Science 41 (4): 763-769. (in Persian with English abstract).
 46. Raymer, P. L. 2002. Canola: an emerging oilseed crop. Trends in New Crops and New Uses 1: 122-126.
 47. Rounsevell, M. D. A., Evans, S. P., and Bullock, P. 1999. Climate change and agricultural soils: impacts and adaptation. Climate Change 43: 683-709.
 48. Sepide dam, S., and Ramroudi, M. 2016. Effects of tillage systems and nitrogen fertilizer on yield, yield components and seed protein of wheat. Applied Research of Plant Ecophysiology 2 (2): 33-49.
 49. Shahpary, Z., Fateh, E., and Ayneband, A. 2016. The effect of different residue type, management and nitrogen on yield, quality of durum wheat (*Triticum durum* L.) and soil macronutrients. Electronic Journal of Crop Production 9 (3): 87-104.
 50. Shams Abadi, H. A., Taherirad, A. R., Khorramdel, S., and Nikkhah, A. 2014. The effect of tillage methods, plant density and planting patterns on growth characteristics, yield components and gain yield of sweet corn under Malaysia climatic conditions. Electronic Journal of Crop Production 8 (1): 79-98. (in Persian with English abstract).
 51. Sharma, P., Abrol, V., and Sharma, R. K. 2011. Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop performance in maize-wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols, India. European Journal of Agronomy 34: 46-51.
 52. Simon, T., Javurek, M., Mikanová, O., and Vach, M. 2009. The influence of tillage systems on soil organic matter and soil hydrophobicity. Soil and Tillage Research 105: 44-48.
 53. Sohrabi, S. S., Fateh, E., Ayneband, A., and Rahnema, A. 2014. Effect of crop residue management and nitrogen fertilizer on accumulation and remobilization of wheat (*Triticum aestivum* L.) dry matter. Crop Production 7 (2): 113-134.
 54. Vokovic, I., Mesic, M., Zgorelec, Z., Jurisic, A., and Sajko, K. 2008. Nitrogen use efficiency in winter wheat. Cereal Research Communications 36: 1119-1202.
 55. Yasari, E., and Patwardhan, A. M. 2007. Effects of *Azotobacter* and *Azospirillum* inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of canola. Asian Journal of Plant Science 6 (1): 77-82.



Effect of Different Tillage Practices and Canola Cover Crop on Yield, Yield Components of Sunflower and Soil Quality Indicators in Dastjerd region (Hamedan)

Sh. Felegari¹- J. Hamzei^{2*}- M. Nael³

Received: 24-11-2017

Accepted: 13-03-2018

Introduction

Suitable tillage methods and planting cover crops are such factors in sustainable agricultural systems, which play an important role in the sustainability of agricultural production systems. The benefits cover crop can be referred improvement of soil fertility, chemical properties of soil, increasing of soil organic matter and biodiversity and finally increasing of crop yields.

Materials and Methods

This study was conducted at Agricultural Research Station of Bu-Ali Sina University in Dastjerd village near the city of Hamadan located in the west of Iran during 2015 growing season. A factorial layout based on a randomized complete block design with three levels of tillage practices (no-tillage (NT), minimum tillage (MT) and conventional tillage (CT)) and two levels of cover crops (with (UC) and without (NC) canola as a cover crop) was conducted. Treatments were replicated in three times. After harvesting main crop (sunflower), selected soil quality indicators including organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and available potassium were measured. In addition, yield components of sunflower including percentage of unfilled grain, grain weight, number of grain per anthodium, anthodium diameter, grain and biological yields were measured at the end of the season. The data were analyzed by SAS software. Means were compared using Duncan's Multiple Range test at $P \leq 0.05$.

Results and Discussion

The results indicated that organic carbon and macronutrients (NPK) of soil were the highest in MT $\times$ UC treatment. After the minimum tillage treatment, the highest amounts of soil quality indicators were measured in the treatment of non-tillage treatment and presence of cover crop. MT $\times$ UC treatment with 1.04% organic carbon was significantly higher than other treatments and the lowest organic carbon (0.56%) was measured in conventional tillage treatment without using cover crop. The highest amount of macro-nutrients (nitrogen (0.16%), phosphorus (24 mg kg⁻¹) and potassium 430 (mg kg⁻¹) were revealed at the MT $\times$ UC treatment. In comparison with the conventional tillage, the minimum tillage treatment increased sunflower grain weight by about 18%. NC treatment reduced sunflower grain weight by 19% compared to UC treatment (using cover crop). The maximum anthodium diameter (27 cm) was achieved at MT $\times$ UC treatment, while this treatment resulted in an increase of 55.5% in anthodium diameter compared to CT $\times$ NC treatment. The number of grain per anthodium was not significantly different between the two treatments of MT $\times$ UC and NT $\times$ UC. Minimum tillage compared to conventional tillage significantly increased sunflower grain yield. Sunflower grain yield was decreased by 53% in non-using cover crop treatment compared to UC treatment (using cover crop). The highest (1043.3 g m⁻²) and the lowest (715.6 g m⁻²) biological yield of sunflower were obtained in minimum tillage and conventional tillage treatments, respectively. Between cover crop treatments, sunflower biological yield in NC treatment was 10.5% lower than UC treatment. Minimum tillage with the conservation of residue helps to protect the soil surface and increases soil quality. Therefore, conservation tillage is one of the new methods for optimum soil use

1- Former MSc Student, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Associate Professors, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Assistant Professor of Soil Science, Soil Science Dept. Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

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

as the most important supply of food sources and can play an important role in increasing farm productivity.

Conclusions

In summary, the results suggested that the highest and the lowest sunflower yields were belonged to MT×UC and CT×NC treatments, respectively. In justifying these results, it can be said that planting cover crops, especially when combined with conservation tillage systems, improves soil organic matter and soil nutrient elements and increases sunflower yield.

Keywords: Conservation tillage, Crop yield, Macro nutrients, Residue management, Soil organic matter



بررسی تغییرات مرفولوژیک و عملکردی تیپ‌های مختلف پنبه در سیستم کاشت ردیف‌های بسیار باریک

حمید رضا مهرآبادی^{*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر فواصل ردیف کاشت بر واکنش‌های مرفولوژیکی و زراعی ارقام پنبه تیپ صفر (پنبه با شاخه‌های جانبی کوتاه)، پژوهشی با استفاده از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در محل ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کاشمر طی دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ انجام شد. در این آزمایش عامل رقم در چهار سطح شامل ارقام کاشمر و خورشید (تیپ صفر) به همراه ارقام خرداد و ورامین (شاهد) و عامل فاصله ردیف کاشت در سه سطح شامل ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر (با فاصله روی ردیف ثابت ۲۰ سانتی‌متر) استفاده شد. نتایج آزمایش نشان داد ارقام مورد بررسی از نظر صفات مورفولوژی با هم تفاوت معنی‌داری دارند. همچنین نتایج نشان داد با کاهش فواصل بین ردیف‌های کاشت، ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و تعداد غوزه در بوته به طور معنی‌داری کاهش یافت. ویژگی‌های مرفولوژیک گیاه چون تعداد شاخه‌های رویشی و زایشی و سطح برگ در کاشت در ردیف‌های باریک به میزان بیشتری در ارقام تیپ صفر تحت تأثیر قرار گرفتند. با افزایش تراکم بوته در کاشت در فواصل ردیف باریک، عملکرد در سال اول و دوم به ترتیب به میزان ۸۳/۲ و ۷۹/۷ درصد نسبت به کاشت در ردیف‌های پهن‌تر افزایش پیدا نمود. همچنین بیشترین کمترین افزایش عملکرد، از کاشت در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر به ترتیب متعلق به ارقام خورشید و خرداد بود.

واژه‌های کلیدی: تراکم بوته، سطح برگ، عملکرد وش، فاصله بوته

مقدمه

تراکم‌های بالا با کاشت در فواصل ردیف نزدیک‌تر برای حصول به عملکرد بیشتر فراهم است. Fowler and Ray, 1977 با بررسی تأثیر ۵ تراکم کاشت (از ۳۸۷۵۰ بوته تا ۶۲۰۰۰۰ بوته در هکتار) در فواصل مساوی روی ردیف دریافتند که افزایش تراکم موجب افزایش وزن خشک در واحد سطح زمین در هر یک از اجزای گیاهی به جز شاخه‌های رویشی گردید. آنها همچنین خاطر نشان کردند که افزایش تراکم (در فواصل مساوی) سبب افزایش شاخص سطح برگ و تعداد گره‌ها در اولین شاخه میوه‌دهنده و همچنین توسعه فشرده‌تر گیاهی از طریق کاهش ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد شاخه گردید. با این حال این محققین ابراز داشتند که اندازه غوزه، تعداد بذر در هر غوزه، شاخص الیاف کوتاه، با کاهش فاصله بین بوته‌ها کاهش نشان داد. بررسی‌ها نشان داده است که افزایش تراکم از طریق کاهش فاصله بین ردیف کاشت منجر به کاهش متوسط وزن غوزه‌ها می‌شود (Reddy et al., 2009).

نتایج یک تحقیق نشان داد کاشت در فواصل ردیف‌های باریک‌تر سبب افزایش عملکرد به میزان ۱۲ درصد نسبت به کاشت در فواصل ردیف پهن‌تر شد (Ray, 1971). در تحقیقی (Mehrabadi, 1999)

یکی از روش‌های افزایش عملکرد محصولات زراعی، افزایش متناسب تراکم بوته در واحد سطح می‌باشد. اخیراً زراعت پنبه در فاصله ردیف‌های بسیار باریک تحت عنوان Ultra Narrow Row (UNR) در کشورهای پنبه‌خیز و توسعه‌یافته، در حال گسترش می‌باشد. گرایش به کشت پنبه در ردیف‌های بسیار باریک به جای کشت در ردیف‌های پهن در دهه ۱۹۹۰ به وجود آمد. کشت پنبه در فاصله ردیف‌های بسیار باریک ۱۹ یا ۲۵ سانتی‌متر به وسیله محققان گزارش شده است (Culpepper and York, 2000; Roche and Bange, 2006). در ارقام با تیپ بسته پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) که از رشد جانبی کمتری برخوردارند، امکان استفاده از

۱- استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: hr.mehrabadi@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v16i3.64402

افزایش تراکم از طریق کاهش فاصله ردیف مورد ارزیابی قرار گیرد. این تحقیق با هدف تعیین مناسب‌ترین فاصله بین ردیف برای حصول به بالاترین عملکرد پنبه برای ارقام تیپ صفر همراه با کشت ارقام خرداد و ورامین (رقم شاهد با تیپ رشدی بازتر) طی دو سال انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با استفاده از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در محل ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کاشمر طی دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل رقم در چهار سطح (چهار رقم پنبه شامل دو رقم پنبه تیپ صفر به نام‌های کاشمر و خورشید، رقم خرداد با تیپ متوسط و رقم ورامین با تیپ رشدی باز به‌عنوان شاهد) و فاصله ردیف با سه سطح (۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر (شاهد) با فاصله چال کشت ثابت ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف) بودند. شهرستان کاشمر با ارتفاع ۱۲۱۵ از سطح دریا و میانگین بارندگی ۱۸۰ میلی‌متر جزء مناطق نیمه خشک تا خشک محسوب می‌گردد. خاک محل مورد آزمایش دارای بافت سیلتی لوم بود. میانگین رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به‌ترتیب حدود ۳۴ و ۱۸/۵ درصد حجمی و وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴۸ گرم در سانتی‌متر مکعب بود.

پس از آماده‌سازی زمین مورد نظر، بر اساس آزمون خاک مقادیر ۲۵۰ کیلوگرم اوره (یک سوم آن به هنگام کاشت و بقیه آن پس از تنک کردن بوته‌ها و نیز به هنگام شروع گلدی به صورت نواری در اختیار گیاه قرار گرفت) و ۲۵۰ کیلوگرم دی‌آمونوم فسفات به هنگام کاشت در نیمه دوم اردیبهشت به زمین اضافه شد. قبل از کشت به منظور جلوگیری از رشد عوامل قارچی، بذور با استفاده از سم کاربوکسین تیرام ضد عفونی شدند. هر تیمار در چهار ردیف ۸ متری کشت و برای آبیاری یکسان و دقیق تیمارها، از روش آبیاری قطره‌ای استفاده گردید. بدین منظور از لوله‌های آبیاری تیپ با خروجی‌هایی به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و آبدهی حدود چهار لیتر در ساعت در هر متر طولی و ضخامت ۳۰۰ میکرون استفاده و برای هر ردیف کاشت یک خط لوله تیپ در نظر گرفته شد و آبیاری‌ها برای تمام تیمارها به‌طور یکسان صورت گرفت. در طول دوره داشت، علف‌های هرز به‌صورت دستی حذف و مبارزه با آفات طی دو مرحله اوایل و اواخر غوزه‌بندی با سموم رایج شامل اکسی دیمتون متیل (۱لیتر در هکتار)، اندوسولفان (۲لیتر در هکتار) و پیری پروکسی فن (۰/۷۵ لیتر در هکتار) انجام شد. در مرحله حداکثر گلدی تعداد و سطح برگ (این صفت به دلیل چسبناکی زیاد ناشی از آفت سفید بالک در سال دوم، تنها در سال اول اجرا و در مرحله حداکثر غوزه‌بندی تعیین شد) اندازه‌گیری و تعیین

تأثیر سه فاصله بین ردیف ۵۰، ۶۰ و ۷۰ سانتی‌متر و سه فاصله روی ردیف ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر روی عملکرد و اجزای عملکرد پنبه رقم ورامین بررسی و خاطر نشان شد افزایش تراکم موجب کاهش غیر معنی‌دار ارتفاع بوته، کاهش معنی‌دار طول شاخه‌های رویشی و تعداد غوزه در بوته، همچنین افزایش معنی‌دار عملکرد در واحد سطح و زودرسی گردید. نتایج تحقیقات انجام شده توسط محققان نشان داده است که کاشت پنبه در ردیف‌های باریک ۳۸ سانتی‌متری در برخی از آزمایشات عملکردی مشابه (Nichols et al., 2004; Willcutt et al., 2006; Reddy et al., 2009; Buehring et al., 2005; Karnei, 2005) در مقایسه با کشت در ردیف‌های پهن ۹۷ تا ۱۰۲ سانتی‌متری داشت. ردیف‌های نزدیک به هم (۱۹ تا ۲۵ سانتی‌متر) منجر به بسته شدن سریع کانوپی در مقایسه با ردیف‌های پهن می‌گردد (Robinson, 1993)، این موضوع سبب می‌شود تا جذب نور افزایش یابد (Krieg, 1996). عملکرد بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) در کشت دو ردیفه با فاصله ردیف ۱۸ سانتی‌متر در روی پشته‌هایی با پهنای ۹۱ سانتی‌متر بیشتر از الگوی کشت تک ردیفه بود (Jordan et al., 2001; Lanier et al., 2004). در ذرت (*Zea mays* L.) کشت دو ردیفه با فاصله ۱۹ تا ۲۵ سانتی‌متر عملکردی کمتر (Nelson, 2007)، برابر (Sorensen et al., 2006)، یا بالاتر (Karlen and Camp, 1985) در مقایسه با الگوی کشت تک ردیفه داشت. همچنین در ارتباط با کشت سویا (*Glycine max* L.) گزارش شده است که کشت دو ردیفه با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر عملکردی بالاتر از کشت تک ردیفه حاصل نمود (Koger, 2007). افزایش عملکرد محصول به‌وسیله افزایش تراکم با کاشت در ردیف‌های باریک صرف‌نظر از شرایط آب و هوایی نیز در برخی گزارش‌ها آمده است (Jost, 2001). تحقیقات انجام شده نشان داد بسته شدن سریع‌تر کانوپی باعث کاهش رشد و تکثیر علف‌های هرز شده، همچنین منجر به کاهش تبخیر و صرفه‌جویی در مصرف آب و نیز افزایش جذب نور توسط برگ‌ها می‌گردد (Jost, 2000).

اصولاً کشت در ردیف‌های بسیار باریک مستلزم استفاده از ارقامی از پنبه است (ارقام تیپ صفر) که از حداقل رشد جانبی برخوردار باشند. استفاده از چنین ارقامی که از کمترین طول شاخه‌های جانبی و به‌ویژه شاخه‌های رویشی که در قسمت‌های تحتانی گیاه قرار دارند، امکان برداشت مکانیزه را نیز فراهم خواهد آورد. یکنواختی رسیدن و زودرسی از دیگر فاکتورهای مهمی است که در رابطه با برداشت مکانیزه اهمیت می‌یابد. واکنش گیاهان به افزایش تراکم در رابطه با میانگین تولید در واحد سطح متفاوت است. این واکنش در بین گونه‌ها و حتی ارقام یک گونه نیز متفاوت می‌باشد. افزایش تراکم در برخی ارقام منجر به افزایش و در برخی دیگر سبب کاهش عملکرد در واحد سطح می‌گردد. لذا ضرورت می‌یابد تا عکس‌العمل ارقام مختلف پنبه به

بوته بیشتر و شاخه‌های رویشی و زایشی طولی‌تری در گیاه به وجود آیند. به‌طور کلی عادت رشد رویشی و توسعه افقی بیشتر ارقام ورامین و خرداد و نیز تعداد بالاتر شاخه‌های رویشی در این دو رقم نسبت به ارقام تیپ بسته، دلیل رشد طولی کمتر این ارقام در مقایسه با ارقام تیپ بسته می‌باشد. لذا کاهش فضای رشد منجر به افزایش بیشتر ارتفاع بوته در این ارقام نسبت به ارقام با تیپ رشدی صفر (تیپ بسته) شد. افزایش ارتفاع در گیاه ناشی از رقابت گیاهان برای دریافت نور بوده و از این حیث در شرایط تراکم بیشتر ارتفاع بوته افزایش می‌یابد (Stewart et al., 2010).

تعداد شاخه‌های رویشی و زایشی در بوته

ارقام پنبه از نظر تعداد شاخه رویشی در بوته تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۱ و ۲). در این خصوص در هر دو سال مورد بررسی ارقام با تیپ رویشی بازتر نسبت به ارقام با تیپ رشدی بسته از تعداد شاخه رویشی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۴ و ۵). به‌طور کلی بالاترین تعداد شاخه رویشی متعلق به رقم ورامین و کمترین آن مربوط به رقم خورشید بود. در سال نخست کاهش فاصله ردیف از ۶۰ به ۴۰ سانتی‌متر، موجب شد تا تعداد شاخه‌های رویشی، در رقم کاشمر به‌طور معنی‌داری (۸۵/۵ درصد) افزایش و در رقم خورشید (۵۷/۳ درصد) نسبت به شاهد کاهش یابد (جدول ۱ و ۴). کاهش بیشتر فاصله ردیف تا ۲۰ سانتی‌متر سبب افزایش ۸۵/۵ درصدی شاخه‌های رویشی رقم خورشید شد (جدول ۴). در سال دوم بیشترین واکنش به تغییر فاصله ردیف مربوط به رقم خورشید بود.

در سال‌های مورد آزمایش ارقام پنبه از حیث تعداد شاخه زایشی در بوته اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۱ و ۲). به‌طور کلی ارقام تیپ بسته (صفر) نسبت به ارقام با تیپ رشدی بازتر دارای تعداد شاخه زایشی بالاتری بودند (جدول ۴ و ۵). میانگین تعداد شاخه زایشی در ارقام کاشمر، خورشید، خرداد و ورامین به‌ترتیب برابر با ۱۶/۲، ۱۳/۵، ۱۴/۱ و ۱۳/۶ بود. تأثیر فاصله ردیف بر تعداد شاخه زایشی در بوته تنها در سال دوم از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج، ارقام پنبه از نظر تعداد شاخه زایشی در بوته از واکنش متفاوت و معنی‌داری در فواصل مختلف بین ردیف برخوردار بودند (جدول ۱ و ۲). در سال نخست، با افزایش فاصله ردیف از ۲۰ به ۴۰ سانتی‌متر تعداد شاخه زایشی در ارقام کاشمر و خورشید در مقایسه با ارقام خرداد و ورامین با افزایش بیشتری همراه بود (جدول ۴). بازتر شدن فاصله ردیف‌های کاشت (تا ۶۰ سانتی‌متر) منجر به افزایش بیشتر تعداد شاخه زایشی در بوته در ارقام با تیپ رشدی بازتر در مقایسه با ارقام کاشمر و خورشید شد (جدول ۶). در سال دوم اجرای طرح نیز واکنش ارقام به فاصله ردیف کاشت از نظر آماری متفاوت و معنی‌دار بوده و رقم کاشمر در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر با ۲۳/۱ از بالاترین و رقم خورشید در فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر با ۱۳/۶ از

شدند. همچنین در پایان دوره رشد گیاه تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات: ارتفاع بوته، تعداد غوزه در بوته، تعداد شاخه‌های رویشی و زایشی در بوته تعیین و متوسط وزن وش از انتخاب تصادفی ۲۰ غوزه از قسمت‌های مختلف گیاه پنبه انجام شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ^۱ (مدل LI 3100C ساخت آمریکا) اندازه‌گیری شد. عملکرد وش در پایان فصل، با برداشت تمامی بوته‌ها از ۲ خط وسط و پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت انجام شد. درصد زودرسی طی دو چین و از حاصل تقسیم وزن وش چین اول به وزن وش کل ضرب در ۱۰۰ به‌دست آمد.

آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC و Excel و مقایسه بین میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. علاوه بر این به منظور آزمون فرض تجانس واریانس تیمارها در سال‌های انجام پژوهش از آزمون بارتلت^۲ استفاده شد. در این ارتباط تنها داده‌های صفات ارتفاع بوته، تعداد و وزن غوزه و عملکرد وش مجاز به ادغام بوده و مورد تجزیه مرکب قرار گرفتند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تفاوت معنی‌داری بین ارقام پنبه از نظر صفت ارتفاع بوته در هر دو سال اجرا مشاهده شد (جدول ۱ و ۲). نتایج تجزیه مرکب نیز حاکی از تفاوت معنی‌دار ارقام در رابطه با صفت ارتفاع بوته بود (جدول ۳) و از این نظر بیشترین (۱۰۷/۵ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع بوته (۸۵/۸ سانتی‌متر) به‌ترتیب متعلق به ارقام کاشمر و ورامین بود (جدول ۸). کاهش فاصله ردیف تنها در سال اول موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته (۸/۹ درصد) در مقایسه با فواصل ردیف ۶۰ سانتی‌متر شد (جدول ۴). نتایج تجزیه مرکب حاکی از معنی‌داری تأثیر شرایط متفاوت محیطی بر رشد گیاه پنبه (ارتفاع بوته) بود. میانگین ارتفاع بوته در سال اول و دوم اجرا به‌ترتیب برابر با ۸۴/۴ و ۱۰۳/۲ سانتی‌متر بود. نتایج برهمکنش رقم در فاصله ردیف در سال نخست اجرا، نشان از واکنش متفاوت و معنی‌دار ارتفاع بوته ارقام پنبه در فواصل مختلف بین ردیف داشت (جدول ۱). بیشترین واکنش ارتفاع بوته به تغییر تراکم مربوط به رقم ورامین و کمترین آن مربوط به رقم کاشمر بود. با توجه به تفاوت‌های آب و هوایی در دو سال اجرا (شکل ۱)، میانگین دما به‌طور نسبی به‌ویژه در ماه‌های ابتدایی رشد در سال دوم اجرا در مقایسه با سال اول کمتر بود که این موضوع تأثیر به‌سزایی در افزایش رشد رویشی اولیه گیاه داشته و سبب شد تا گیاه با دریافت درجه روز رشد کمتر، در یک مدت مشابه زمانی، دیرتر وارد مرحله زایشی شده و با امکان رشد بیشتر رویشی، سبب شود تا ارتفاع

1- Leaf Area Meter

2- Bartlett

کمترین تعداد شاخه زایشی در بوته بر خوردار بودند (جدول ۷).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزای عملکرد و عملکرد پنبه (۱۳۹۴) (2015) Analysis of variance (mean of squares) of yield components and yield of cotton

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه رویشی No of monopodia branch	تعداد شاخه زایشی No of sympodia branch	تعداد گره Node-plant ⁻¹	تعداد غوزه در شاخه رویشی No of boll.monopodia branch ⁻¹	تعداد غوزه در شاخه زایشی No of boll.sympodia branch ⁻¹	تعداد غوزه در بوته No of boll,plant ⁻¹	وزن غوزه Boll weight	عملکرد Yield
تکرار Replication	2	364.769 ^{n.s}	0.163 ^{n.s}	1.734 ^{n.s}	9.738 ^{n.s}	0.698 ^{n.s}	20.491 ^{n.s}	17.035 ^{n.s}	0.437 ^{n.s}	7662053.861 ^{n.s}
رقم Cultivar	3	911.147 ^{**}	4.502 ^{**}	42.858 ^{**}	38.977 [*]	11.425 ^{**}	6.652 ^{n.s}	29.26 ^{**}	2.101 ^{**}	966047.556 ^{n.s}
فاصله ردیف Row Space (RS)	2	144.810 ^{n.s}	0.097 ^{n.s}	16.275 ^{**}	6.177 ^{n.s}	20.956 ^{**}	8.873 ^{n.s}	54.934 ^{**}	0.025 ^{n.s}	67788233.694 ^{**}
رقم × فاصله ردیف C × RS	6	47.781 ^{n.s}	1.003 ^{**}	15.019 ^{**}	4.251 ^{n.s}	8.391 ^{**}	0.613 ^{n.s}	7.930 ^{n.s}	0.229 ^{n.s}	1862345.250 [*]
خطا Error	22	145.78	0.095	2.362	10.054	0.248	5.264	5.448	0.16	601933.861
ضرب تغییرات C.V (%)	-	11.7	15.2	8.3	14.2	18.3	12.8	11.9	7.2	12.0

^{n.s}, ^{*} and ^{**} are non-significant and significant at 5% and 1% respectively. و ^{**} به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزای عملکرد و عملکرد پنبه (۱۳۹۳) (2014) Analysis of variance (mean of squares) of yield components and yield of cotton

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه رویشی No of monopodia branch	تعداد شاخه زایشی No of sympodia branch	تعداد گره Node-plant ⁻¹	تعداد غوزه در بوته No of boll,plant ⁻¹	سطح کل برگ Leaf area,plant ⁻¹	تعداد غوزه در بوته No of boll,plant ⁻¹	وزن غوزه Boll weight	عملکرد Yield
تکرار Replication	2	143.583 ^{n.s}	1.622 ^{n.s}	3.922 ^{n.s}	82.583 ^{n.s}	25.000 ^{n.s}	78653.028 ^{n.s}	25.000 ^{n.s}	0.035 ^{n.s}	387238.000 ^{n.s}
رقم Cultivar (C)	3	884.843 ^{**}	16.864 ^{**}	6.495 [*]	2604.225 ^{**}	1.877 ^{n.s}	3801090.296 ^{**}	1.877 ^{n.s}	0.474 ^{n.s}	1795516.102 ^{**}
فاصله ردیف Row Space(RS)	2	196.896 ^{**}	0.874 ^{n.s}	1.562 ^{n.s}	213.250 ^{n.s}	10.563 ^{n.s}	512563.528 ^{n.s}	10.563 ^{n.s}	0.179 ^{n.s}	54578199.000 ^{**}
رقم × فاصله ردیف C × RS	6	194.044 ^{**}	1.816 [*]	7.268 ^{**}	137.472 ^{n.s}	24.738 ^{**}	1593771.491 ^{**}	24.738 ^{**}	0.578 ^{n.s}	1896235.407 ^{**}
خطا Error	22	37.523	0.624	1.595	89.977	5.955	413147.758	5.955	0.253	2177588.636
ضرب تغییرات C.V (%)	-	7.3	0.32	12.4	18.7	15.9	18.7	9.3	8.7	8.7

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزای عملکرد و عملکرد پنبه (۱۳۹۳-۱۳۹۴)

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of yield components and yield of cotton (2014-2015)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غوزه در بوته No of boll.plant ¹	وزن وش غوزه Boll weight	عملکرد Yield
Year (Y) سال	1	6348.767**	348.920**	0.405 ^{ns}	22080891.932**
Year×Replication (R) سال×تکرار	4	255.940*	18.643*	0.258 ^{ns}	574932.849 ^{ns}
Cultivar (C) رقم	3	1618.009**	17.075*	0.406 ^{ns}	1810970.771**
Y × C سال×رقم	3	169.323 ^{ns}	14.362 ^{ns}	2.285**	950415.473 ^{ns}
Row Space (RS) فاصله ردیف	2	210.170 ^{ns}	42.317**	0.053 ^{ns}	121048147.729**
Y × RS سال×فاصله ردیف	2	133.001 ^{ns}	23.201**	0.161 ^{ns}	1318970.268*
C × RS رقم×فاصله ردیف	6	49.963 ^{ns}	11.754 ^{ns}	0.311 ^{ns}	2774694.166**
Y×C×RS سال×رقم×فاصله ردیف	6	191.809 ^{ns}	21.908**	0.469 ^{ns}	983803.411*
Error خطا	44	91.734	5.546	0.212	409769.545
C.V (%) ضریب تغییرات	-	10.2	13.5	8.4	10.9

^{ns} و * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد. ^{ns}, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% respectively.

و خورشید نسبت به ارقام ورامین و خرداد کمتر بود (جدول ۴). همچنین تفاوت معنی‌داری در ارتباط با سطح برگ در ارقام پنبه مشاهده شد (جدول ۱). از این حیث رقم ورامین از بالاترین سطح برگ در بوته نسبت به سایر ارقام برخوردار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج به دست آمده سطح برگ تک بوته در رقم ورامین ۰/۴۱ متر مربع، در حالی که این مقدار برای ارقام کاشمر و خورشید به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۲۶ متر مربع بود که حاکی از اختلاف معنی‌دار بین ارقام از حیث این صفت بود. بیشترین تعداد و سطح برگ در ردیف‌های پهن تر به دست آمد (جدول ۴).

اثر متقابل رقم و فاصله بین ردیف در ارتباط با صفت تعداد برگ در بوته غیر معنی‌دار و در ارتباط با صفت سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین تعداد برگ در بوته متعلق به رقم خرداد در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر و کمترین آن مربوط به رقم کاشمر در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود (جدول ۶). در اکثر ارقام پنبه مورد بررسی پایین‌ترین تعداد برگ در بوته، در کمترین فاصله ردیف کاشت مشاهده شد. اثر متقابل رقم و فاصله ردیف در رابطه با صفت سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۶). تغییر فاصله ردیف از ۲۰ به ۴۰ سانتی‌متر در رقم ورامین سبب کاهش ۱۳/۲ درصدی سطح برگ و در ارقام خرداد، کاشمر و خورشید به ترتیب سبب افزایش ۳۴، ۳۲/۳ و ۳۱ درصدی سطح برگ گیاه شد. تعداد و سطح برگ فاکتوری با اهمیت در سنتز اسمیلات‌ها برای رشد و تولید محصول است. از این نظر تعداد و سطح بالاتر برگ در بوته و در واحد سطح زمین در ارقام ورامین و خرداد می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در محصول بالاتر این ارقام باشد. غیر معنی‌دار بودن اثر متقابل رقم و فاصله بین ردیف در ارتباط با صفت تعداد برگ در بوته حاکی از این موضوع است که تنها طول شاخه‌های رویشی و یا زایشی تغییر نموده است و تأثیری بر تعداد گره نداشته است.

به طور کلی اهمیت نسبی شاخه‌های رویشی در ارقام تیپ صفر کمتر از ارقامی چون ورامین و خرداد است زیرا اولاً تعداد آنها به مراتب کمتر از ارقام با تیپ رشدی بازتر است، ثانیاً تعداد غوزه ایجاد شده در این شاخه‌ها در مقایسه با رقم ورامین کمتر است. بر عکس در رقم ورامین که تیپ رشدی بازتری دارد، در فاصله ردیف‌های بازتر، شاخه‌های رویشی امکان رشد یافته و ممکن است تا ۱۵ درصد از کل غوزه تولیدی در بوته مربوط به این شاخه‌ها باشد. لذا کاهش فاصله ردیف به ویژه در ارقامی چون ورامین منجر به کاهش طولی شاخه‌های رویشی و کاهش قابل ملاحظه تعداد غوزه در آنها می‌گردد که با نتایج Mehrabadi (1999) همخوانی داشت. از نظر خصوصیات مورفولوژیک، جمعیت‌های گیاهی متراکم‌تر در گیاه پنبه، منجر به تولید گیاهان فشرده‌تری می‌شود. به عبارت دیگر این روش کاشت باعث ایجاد ارتفاع بیشتر، شاخه‌های رویشی و زایشی کوتاه‌تر و حضور غوزه‌ها در قسمت بیرونی گیاه می‌گردد. علاوه بر این با توجه به سهم بالای شاخه‌های زایشی نسبت به شاخه‌های رویشی در گیاه پنبه، در نتیجه عملکرد محصول غوزه‌های رشد یافته در شاخه‌های زایشی است. از این رو شاخه‌های زایشی بیشترین سهم (بین ۷۵ تا ۹۵ درصد) از غوزه‌های ایجاد شده در بوته را دارند. Mehrabadi and Afshar (2005) همبستگی معنی‌دار بین تعداد شاخه‌های زایشی و عملکرد ($r=0.69^*$) را گزارش کردند. آنها همچنین خاطر نشان نمودند گیاهانی که ارتفاع بیشتری داشتند، تعداد شاخه زایشی در آنها بیشتر ($r=0.82^{**}$) و بوته‌های با تعداد شاخه زایشی بیشتر، غوزه بیشتری را به وجود آوردند ($r=0.59^*$).

تعداد و سطح کل برگ در بوته

ارقام پنبه از نظر تعداد کل برگ در بوته از اختلاف معنی‌داری برخوردار بوده (جدول ۱) و تعداد برگ در بوته ارقام تیپ صفر کاشمر

جدول ۴- میانگین صفات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام پنبه و فاصله ردیفهای کاشت (۱۳۹۳)

Table 4- Mean of vegetative traits, yield and yield components in cotton cultivars and planting rows spacing (2014)

تیمار Treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه رویشی No of monopodia branch	تعداد شاخه زایشی No of sympodia branch	تعداد برگ در بوته No of leaf.plant ⁻¹	سطح کل برگ در بوته Leaf area.plant ⁻¹ (cm ²)	تعداد غوزه در بوته No of boll.plant ⁻¹	وزن وزن غوزه Boll weight (g)	عملکرد (kg.ha ⁻¹)
Varamin	73.4	4.3	8.9	57.2	4068.4	15.9	5.1	5353.0
Khordad	82.2	2.8	10.5	71.6	3824.2	14.9	5.5	5352.4
Kashmar	97.4	1.5	10.8	35.6	3215.7	15.6	5.4	5875.6
Khorshid	84.6	1.3	10.6	38.0	2618.8	15.1	5.7	4782.0
LSD _(5%)	6.0	0.8	1.2	9.3	628.4	2.4	0.7	456.0
فاصله ردیف								
20	87.3	2.8	9.8	45.8	3197.8	15.9	5.5	7659.3
40	86.1	2.3	10.3	53.5	3589.3	14.3	5.5	4900.3
60	79.8	2.3	10.5	52.5	3508.3	15.9	5.3	3462.8
LSD _(5%)	5.2	0.7	1.1	8.0	544.2	0.4	0.4	394.9

جدول ۵- میانگین صفات رویشی، عملکرد و اجزاء عملکرد در ارقام پنبه و فاصله ردیفهای کاشت (۱۳۹۴)

Table 5- Mean of vegetative traits, yield and yield components in cotton cultivars and planting rows spacing (2015)

تیمار Treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه رویشی No of monopodia branch	تعداد شاخه زایشی No of sympodia branch	تعداد گره در بوته No node.plant ⁻¹	تعداد غوزه در شاخه رویشی No boll.monopodia branch	تعداد غوزه در شاخه زایشی No boll.sympodia branch	تعداد غوزه در بوته No boll.plant ⁻¹	وزن وزن غوزه Boll weight (g)	عملکرد (kg.ha ⁻¹)
Varamin	98.2	2.0	18.3	21.9	2.8	18.6	21.4	6.3	6689.2
Khordad	102.1	3.0	17.6	21.9	2.6	18.4	21.0	5.4	6747.4
Kashmar	117.6	1.7	21.5	25.2	0.4	17.8	18.2	5.3	6297.4
Khorshid	94.8	1.4	16.4	20.2	1.2	16.7	18.0	5.3	6058.8
LSD _(5%)	11.8	0.3	1.5	3.1	0.5	2.2	2.3	0.4	758.5
20	100.7	2.1	17.8	21.5	1.0	17.1	18.1	5.6	9155.1
40	107.1	2.1	19.8	22.9	1.0	17.7	18.8	5.5	5486.8
60	101.7	1.9	17.8	22.4	3.3	18.8	22.1	5.6	4702.8
LSD _(5%)	10.2	0.3	1.3	2.7	0.4	1.9	2.0	0.3	656.9

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل فواصل ردیف بر صفات رویشی و عملکرد و اجزای عملکرد ارقام پنبه (۱۳۹۳)
Table 6- Interaction of mean comparison of rows spacing on vegetative traits, yield and yield components of cotton cultivars (2014)

تیپ‌ها	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه رویشی No of monopodia branch	تعداد شاخه زایشی No of sympodia branch	تعداد برگ در بوته No of leaf, plant ⁻¹	سطح کل برگ در بوته Leaf area, plant ⁻¹ (cm ²)	تعداد غوزه در بوته No of boll, plant ⁻¹	وزن ویش غوزه Boll weight (g)	عملکرد (kg, ha ⁻¹)
20 × Varamin	86.3	5.3	9.9	63.0	5038.3	18.8	5.2	8599.0
40 × Varamin	70.3	3.5	6.8	63.0	3510.7	13.2	5.1	4291.3
60 × Varamin	63.7	4.0	10.0	54.7	3656.3	15.7	5.1	3168.7
20 × Khordad	73.3	2.3	10.2	58.7	2948.7	15.5	5.5	6506.3
40 × Khordad	92.3	3.2	10.3	78.7	4190.3	14.3	5.1	5538.0
60 × Khordad	81.3	2.8	11.0	77.3	4333.7	14.8	5.8	4013.0
20 × Kashmar	100.0	1.3	10.2	30.0	2624.3	11.5	5.7	8003.0
40 × Kashmar	97.2	2.2	12.3	39.7	3764.3	17.0	5.5	5453.7
60 × Kashmar	95.2	1.2	9.8	37.0	3258.3	18.3	5.0	4170.0
20 × Khorshid	89.7	2.2	8.8	31.3	2179.7	17.8	5.5	7228.7
40 × Khorshid	84.7	0.5	11.8	41.0	2891.7	12.7	6.4	4318.0
60 × Khorshid	79.3	1.2	11.0	41.7	2785.0	14.8	5.2	2499.3
LSD _(5%)	10.4	1.3	2.1	16.1	1088.0	4.1	0.9	789.9

تعداد غوزه در بوته

تأثیر فاصله بین ردیف بر تعداد غوزه ارقام پنبه معنی‌دار بود

(جدول ۱ و ۴). بیشترین (۱۸/۸) و کمترین (۱۱/۵) تعداد غوزه در

بوته به ترتیب در ارقام ورامین و کاشمر در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر

عملکرد و ش

در سال نخست، ارقام از حیث عملکرد و ش تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۱). در مجموع، عملکرد ارقام تیپ بسته کاشمر و خورشید کمتر از ارقام با تیپ رشدی بازتر ورامین و خرداد بود (جدول ۴). نتایج سال دوم نشان داد علی‌رغم برتری ۹ درصدی عملکرد ارقام ورامین و خرداد نسبت به ارقام تیپ بسته با این وجود تفاوت معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد. در سال نخست با کاهش فاصله ردیف، عملکرد به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا نمود. این افزایش برای فاصله ردیف‌های ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب برابر ۵۶/۳ و ۱۲۱/۲ درصد نسبت به شاهد بود (جدول ۴). میزان افزایش عملکرد در سال دوم در فاصله ردیف‌های ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب برابر ۶۶/۹ و ۹۴/۷ درصد نسبت به شاهد بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد بالاتر بودن بیشینه دما در ماه‌های مرداد تا اواسط آبان (به‌ویژه مرداد تا اواخر شهریور) سبب شد تا مقدار تبخیر و تعرق در فاصله ردیف‌های پهن‌تر افزایش پیدا نموده و گیاه در معرض تنش جزئی خشکی و گرمایی قرار گیرد. این تنش تأثیر به‌سزایی در میزان خشکیدگی و یا ریزش غنچه و غوزه‌های جوان داشته و منجر به کاهش تعداد غوزه در بوته در این تیمارها در مقایسه با فاصله ردیف‌های باریک‌تر شد. در سال نخست وجود دمای بالاتر در زمان جوانه‌زنی سبب خروج سریع‌تر گیاهچه از خاک شده و پس از آن تداوم دماهای کمتر در طی دوره رشد رویشی منجر به ایجاد ساختارهای بیشتر مولد گل و غوزه شد. عوض در طول دوره رسیدگی غوزه‌ها، بیشینه دمای پایین‌تر در سال دوم در مقایسه با سال اول سبب شد تا غوزه فرصت بیشتری برای پر شدن پیدا نموده و وزن غوزه افزایش یابد. ضمن این که پایین بودن دماهای حداکثر در فاصله شهریور تا اواخر آبان منجر به کاهش تنش وارده به گیاه و در نتیجه کاهش ریزش غوزه‌ها در گیاه شد. مجموعه عوامل یاد شده سبب شد تا میانگین عملکرد در سال دوم بالاتر از سال نخست اجرای طرح باشد.

واکنش عملکرد ارقام در فواصل مختلف ردیف در سال نخست معنی‌داری بوده (جدول ۴) و کمترین (۳۱٪) و بیشترین (۲۰۱٪) تغییرات عملکرد، به‌ترتیب در ارقام کاشمر در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر و خورشید در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۶). بالاترین عملکرد و ش (۸۵۹۹ کیلوگرم در هکتار) متعلق به رقم ورامین در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و کمترین آن (۳۴۹۹ کیلوگرم در هکتار) مربوط به رقم خورشید و در فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر بود (جدول ۶). در سال دوم عملکرد ارقام پنبه در فواصل مختلف ردیف از تفاوت معنی‌داری برخوردار بودند (جدول ۴). میزان افزایش عملکرد در این رقم (خورشید) در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر ۵/۷ درصد و در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر ۱۴۵/۷ درصد بود. درصد افزایش عملکرد و ش در بالاترین تراکم برای ارقام ورامین، خرداد و

مشاهده شد. همچنین کمترین و بیشترین واکنش در رابطه با تغییر تعداد غوزه در بوته در فواصل مختلف بین ردیف در ارقام خرداد و کاشمر مشاهده شد. در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین ارقام در رابطه با تعداد غوزه در بوته مشاهده شد (جدول ۲ و ۵). بر اساس نتایج، کاشت در ردیف‌های پهن‌تر منجر به افزایش معنی‌دار تعداد غوزه تولید شده در بوته شد. نتایج نشان داد افزایش تعداد غوزه در بوته بیشتر در رابطه با افزایش تعداد غوزه در شاخه‌های رویشی است تا شاخه‌های زایشی (جدول ۲ و ۵). نتایج تجزیه مرکب نشان داد ارقام مورد بررسی از حیث تعداد غوزه در بوته از اختلاف معنی‌داری برخوردار بوده (جدول ۳) و از این نظر ارقام ورامین و رقم خورشید بیشترین و کمترین تعداد غوزه در بوته را تولید نمودند (جدول ۸). به‌طور کلی تعداد غوزه در بوته ارقام تیپ صفر در این پژوهش حدود ۹ درصد کمتر از ارقام با تیپ رشدی بازتر بود. تأثیر فاصله ردیف بر صفت تعداد غوزه معنی‌دار بود، به‌طوری‌که با پهن‌تر شدن ردیف‌های کاشت، تعداد غوزه در گیاه افزایش پیدا کرد (جدول ۳ و ۸). علی‌رغم برتری ارقام تیپ صفر در رابطه با شاخه‌های زایشی با این وجود تعداد بیشتر غوزه در شاخه‌های زایشی ارقام ورامین و خرداد، تعداد کمتر شاخه‌های زایشی را در این ارقام در مقایسه با ارقام تیپ صفر جبران کرد (داده‌ها گزارش نشده‌اند). افزایش تعداد شاخه‌های زایشی در فاصله ردیف‌های بازتر از یک طرف نتیجه افزایش نفوذ نور مؤثر در فتوسنتز و در نهایت افزایش رشد طولی میانگره‌ها و نیز تعداد گره در بوته (داده‌های گزارش نشده) و از طرف دیگر به دلیل رقابت کمتر گیاه در رابطه با جذب آب و عناصر غذایی می‌باشد. با افزایش فضای بین گیاهان، شاخه‌های رویشی فرصت رشد بیشتری یافته و موجب شد تا جوانه‌های گل رشد یافته روی آنها امکان تلقیح و غوزه‌بندی را پیدا نمایند. با این وجود با توجه به کوتاه بودن ذاتی شاخه‌های رویشی و زایشی در ارقام تیپ صفر، این ارقام در مقایسه با ارقام ورامین و خرداد واکنش کمتری به تغییر فاصله بین ردیف در ارتباط با صفت تعداد غوزه در بوته نشان دادند.

وزن غوزه

وزن و ش غوزه ارقام مورد بررسی تنها در سال دوم اجرای طرح تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۲). نتایج میانگین دوساله نیز تفاوت معنی‌داری را در رابطه با اختلاف موجود بین ارقام نشان نداد. همچنین تغییر فاصله ردیف تأثیر معنی‌داری بر وزن و ش نداشت (جدول ۳ و ۸). در سال اول اجرا با توجه به بالا بودن نسبی دمای بیشینه در طول دوره غوزه‌بندی و رسیدگی (اواخر مرداد تا آبان ماه) وزن و ش غوزه در مقایسه با سال دوم کمتر بود که البته از نظر آماری معنی‌دار نبود.

همبستگی معنی‌داری بین عملکرد با تعداد شاخه زایشی وجود دارد ($r=0.4^*$)، لذا عملکرد بالاتر رقم کاشمر می‌تواند نتیجه تعداد بیشتر شاخه زایشی در بوته این رقم باشد. علاوه بر این همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد نتایج تحقیقات گذشته (Mehrabadi, 1999) نشان داده است که ارتفاع بیشتر بوته عملکرد بالاتر محصول را به دنبال دارد. از این نظر ارتفاع بالاتر رقم کاشمر در مقایسه با دیگر ارقام مورد بررسی می‌تواند دلیل دیگر برتری عملکرد در این رقم باشد.

کاشمر به‌ترتیب: ۱۱۱/۵، ۵۶/۱ و ۸۱/۲ درصد بود. همچنین کمترین (۴۰۲۷ کیلو گرم در هکتار) و بالاترین عملکرد (۹۸۹۳ کیلوگرم در هکتار) از کاشت در فاصله ردیف‌های ۶۰ و ۲۰ سانتی‌متر و در رقم خورشید به‌دست آمد (جدول ۷). به‌طور کلی میزان افزایش عملکرد وش در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر در ارقام تیپ صفر بیشتر از ارقام ورامین و خرداد بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که ارقام مورد بررسی از تفاوت محسوسی در رابطه با عملکرد برخوردارند. در مرحله نخست، این اختلاف ناشی از تفاوت‌های ساختاری، مرفولوژیک و فیزیولوژیک موجود بین ارقام بود. نتایج سال نخست مشخص کرد که

جدول ۷- اثر فواصل ردیف بر صفات رویشی و عملکرد و اجزای عملکرد ارقام پنبه (۱۳۹۴)

Table 7-The effect of rows spacing on vegetative traits, yield and yield components of cotton cultivars (2015)

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه رویشی No of monopodia branch	تعداد شاخه زایشی No of sympodia branch	تعداد غوزه		تعداد غوزه در بوته No boll.plant ⁻¹	وزن وش غوزه Boll weight (g)	عملکرد (kg.ha ⁻¹)
				تعداد غوزه در شاخه رویشی No boll. monopodia branch ⁻¹	در شاخه زایشی No boll .sympodia branch ⁻¹			
20 × Varamin	91.4	2.0	18.1	0.6	18.0	18.6	6.1	9369.0
40 × Varamin	103.3	2.1	20.3	0.7	18.6	19.3	6.4	6299.0
60 × Varamin	99.9	1.9	16.5	7.1	19.2	26.3	6.3	4429.7
20 × Khordad	102.6	2.8	18.1	1.5	17.4	18.9	5.4	8717.3
40 × Khordad	101.0	3.1	15.9	2.5	18.0	20.5	5.4	5939.0
60 × Khordad	102.7	3.2	18.9	3.8	19.9	23.7	5.4	5585.0
20 × Kashmar	115.7	1.5	19.2	0.4	17.4	18.0	5.2	8640.0
40 × Kashmar	122.5	1.5	23.1	0.3	17.6	17.9	5.1	5483.0
60 × Kashmar	114.5	2.2	22.2	0.6	18.3	18.9	5.6	4769.3
20 × Khorshid	93.1	2.0	15.7	1.3	15.6	16.9	5.7	9893.0
40 × Khorshid	101.7	1.7	19.9	0.7	16.7	17.5	5.2	4256.3
60 × Khorshid	89.5	0.3	13.6	1.7	17.9	19.5	5.0	4027.0
LSD _(5%)	20.4	0.5	2.6	0.8	3.9	4.0	0.9	1314.0

عملکرد وش متعلق به ارقام خورشید و خرداد بود (جدول ۸). همچنین بیشترین عملکرد وش (۸۹۸۴ کیلوگرم در هکتار) متعلق به رقم ورامین در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و کمترین آن (۳۲۶۳ کیلوگرم در هکتار) در فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر و در رقم خورشید حاصل آمد (جدول ۸). بیشترین افزایش عملکرد حاصل از کشت متراکم با ۱۶۷، ۱۳۶، ۸۶ و ۵۹ درصد به‌ترتیب متعلق به ارقام کاشمر، ورامین، خورشید و خرداد بود. به‌طور کلی در بیشتر حالات افزایش تراکم بوته تا تراکم بهینه موجب افزایش عملکرد محصول می‌شود. در این پژوهش نیز افزایش تراکم از ۸۳۰۰۰ بوته در فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر به ۱۲۵۰۰۰ و ۲۵۰۰۰۰ بوته به‌ترتیب در فاصله‌های بین ردیف ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متر موجب افزایش معنی‌دار عملکرد شد. افزایش عملکرد پنبه در نتیجه افزایش تراکم حاصل از کشت در ردیف‌های باریک و بسیار باریک در تحقیقات انجام شده (Galanopoulou-Sendouka et al., 1980) گزارش شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که افزایش عملکرد در ارقام

نتایج تجزیه مرکب حاکی از تفاوت معنی‌دار عملکرد وش در سال‌های مورد بررسی بود. عملکرد وش در سال دوم حدود ۲۰/۷ درصد بیشتر از سال نخست اجرا بود. بر اساس نتایج دو ساله تفاوت بین ارقام از نظر عملکرد وش معنی‌دار و رقم کاشمر در مجموع با ۶۰۸۶ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر ارقام پنبه به‌ویژه رقم خورشید برتری داشت (جداول ۵ و ۸). تفاوت بین عملکرد وش در فواصل مختلف بین ردیف از نظر آماری معنی‌دار بوده (جدول ۵) و از این حیث بالاترین عملکرد در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ۸). درصد افزایش عملکرد در فواصل ردیف ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۲۷/۲ و ۱۰۶ درصد نسبت به فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر بود.

اثر متقابل رقم و فاصله ردیف از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین درصد افزایش عملکرد وش در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر به‌ترتیب متعلق به ارقام ورامین و خورشید بود. در حالی که در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر، بیشترین و کمترین افزایش

نسبت به ارقام با تیپ رشدی بازتر چون ورامین و خرداد که طول شاخه‌های رویشی و زایشی در آنها بسته به فضای موجود تغییر می‌یابد بسیار بیشتر است. این موضوع در سال اول و دوم اجرا به‌ویژه در بالاترین تراکم ایجاد شده مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

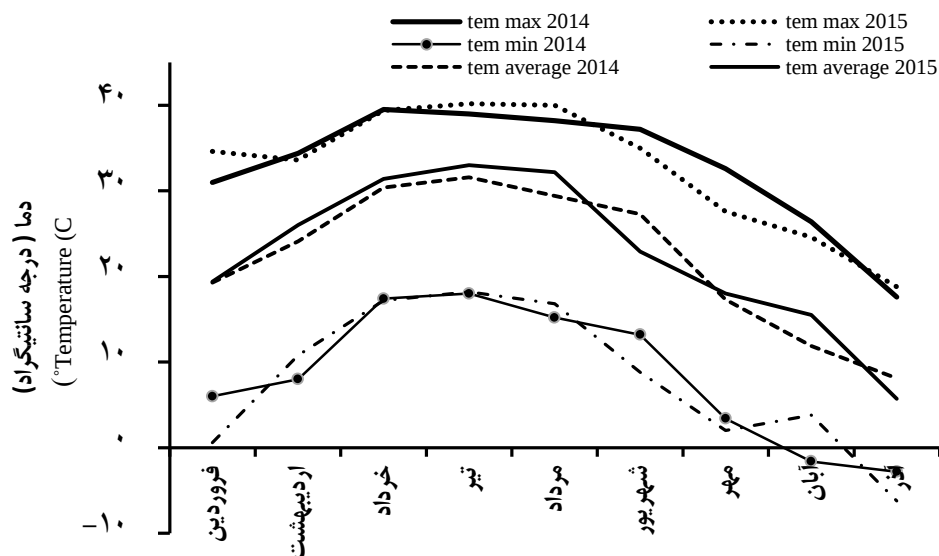
ارقام تیپ صفر پنبه از نظر عملکرد مطلوب بوده و کاشت آنها در ردیف‌های بسیار باریک، اقتصادی‌تر است. از آنجایی که ارقام تیپ صفر دارای رشد و توسعه شاخ و برگ زیادی نمی‌باشند لذا کاشت آنها در فاصله ردیف‌های بازتر (۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر) منجر به از دست رفتن مقادیر متناهی از انرژی تشعشعی و تلفات آب به صورت تبخیر سطحی از خاک می‌گردد. از مزایای این ارقام برداشت مکانیزه آنها می‌باشد.

پنبه در تراکم بالا نتیجه افزایش تعداد غوزه در واحد سطح بوده است. هرچند که تعداد شاخه‌های بارور رویشی و زایشی در هر بوته کاهش نشان داده بود (جدول ۴). همچنین در سال دوم اجرا به‌طور مشخص، علی‌رغم کاهش تعداد غوزه در شاخه‌های رویشی و زایشی، افزایش تعداد غوزه در واحد سطح منجر به افزایش عملکرد پنبه شد (جدول ۵). نتایج همچنین نشان داد که روند تغییر عملکرد در تمامی ارقام با کاهش فاصله بین ردیف (افزایش تراکم)، افزایشی است. با این وجود واکنش برخی از ارقام چون کاشمر به افزایش تراکم، بیشتر از سایر ارقام بود. در این خصوص می‌توان چنین استنباط نمود، از آنجایی که در ارقام تیپ صفر شاخه‌های رویشی و زایشی رشد جانبی چندانی ندارند، لذا این ارقام اولاً به دلیل رشد کم شاخه‌های جانبی توان استفاده بهینه را از فضای به‌وجود آمده نداشته و ثانیاً به دلیل کوتاهی ذاتی، شاخه‌ها توانایی تولید بیشتر اندام‌های بارور چون گل و غوزه را ندارند. لذا در اثر تغییر تراکم بوته میزان واکنش عملکرد در این ارقام

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام پنبه و فواصل ردیف کاشت (۱۳۹۳-۱۳۹۴)

Table 8-Mean comparison of vegetative traits, yield and yield components in cotton cultivars and planting rows spacing (2014-2015)

عملکرد (kg.ha ⁻¹)	وزن وش غوزه Boll weight (g)	تعداد غوزه در بوته No boll.plant ⁻¹	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تیمار Treatment
6021.1	5.7	18.6	85.8	ورامین Varamin
6049.9	5.4	17.9	92.2	خرداد Khordad
6086.4	5.4	16.9	107.5	کاشمر Kashmar
5420.3	5.5	16.4	89.7	خورشید Khorshid
430.0	0.4	1.6	6.4	LSD (5%)
847.1	5.5	16.9	94.0	20
5193.5	5.5	16.5	96.6	40
4082.7	5.5	19.0	90.7	60
372.4	0.3	1.4	6.7	LSD (5%)
8984.0	5.6	18.7	88.9	20 × Varamin
5280.1	5.8	16.1	86.8	40 × Varamin
3799.2	5.8	21.0	81.8	60 × Varamin
7612.3	5.5	17.1	88.0	20 × Khordad
5738.4	5.3	17.4	96.7	40 × Khordad
4789.9	5.6	19.2	91.8	60 × Khordad
8321.5	5.5	14.7	107.8	20 × Kashmar
5468.2	5.3	17.4	109.8	40 × Kashmar
4469.6	5.3	18.6	104.8	60 × Kashmar
8710.8	5.6	17.3	91.4	20 × Khorshid
4287.2	5.8	14.9	93.2	40 × Khorshid
3263.1	5.1	17.1	84.4	60 × Khorshid
744.8	0.5	2.7	11.1	LSD (5%)



شکل ۱- کمینه، بیشینه و متوسط دما در دوره رشد پنبه در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

Figure 1- Minimum, maximum and average temperature during cotton growth in 2014 and 2015

References

- Buehring, N. W., Willcutt, M. H., Columbus, E. P., Phelps, J. B., and Ruscoe, A. F. 2006. Yield and plant characteristics as influenced by spindle picker narrow and wide row patterns; three years progress report. p. 1864-1870. In Proc. Belt wide Cotton Conf., San Antonio, TX. 3-6 Jan. 2006. Natl. Cotton. Counc. Am., Memphis, TN.
- Culpepper, A. S., and York, A. C. 2000. Weed management in Ultra narrow row cotton (*Gossypium hirsutum*). Weed Technology 14: 19-29.
- Fowler, J., and Ray, L. L. 1977. Response of two cotton genotypes to five equidistance patterns. Agronomy Journal 69: 733-738.
- Galanopoulou-Sendouka, S., Sfican, A. G., Fotiadis, N. A., Gagianas, A. A., and Gerakis, P. A. 1980. Effect of population density, planting date, and genotype on plant growth and development of cotton. Agronomy Journal 72: 347-352.
- Jordan, D. L., Beam, J. B., Johnson, P. D., and Spears, J. F. 2001. Peanut response to prohexadione calcium in three seeding rate-row pattern planting systems. Agronomy Journal 93: 232-236.
- Jost, P. H. 2000. Growth and yield comparisons of cotton planted in conventional and ultra-narrow row spacing. Crop Science 40: 430-435.
- Jost, P. H. 2001. Phenotypic alternations and crop maturity differences in ultra-narrow and conventional spaced cotton. Crop Science 41: 1150-1159.
- Karlen, D. L., and Camp, C. R. 1985. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic coastal plain. Agronomy Journal 77: 393-398.
- Karnei, J. R. 2005. The agronomics and economics of 15-inch cotton. p. 601. In Proc. Beltwide Cotton Conf., New Orleans, LA. 4-7 Jan. 2005. Natl. Cotton Counc. Am., Memphis, TN.
- Koger, C. 2007. Effect of soybean row spacing on yield: twin-row vs. narrow- and wide-rows. p. 61. In Proc. 10th Annual National Conservation Systems Cotton and Rice Conf. Houston, TX. 29-30 Jan. 2007. Mid America Farm Publications, Perryville, MO.
- Krieg, D. R. 1996. Physiological aspects of ultra-narrow row cotton production. p. 66. In Proc. Belt wide Cotton Conf., Nashville, TN. 9-12 Jan. 1996. Natl. Cotton Counc. Am., Memphis, TN.
- Lanier, J. E., Jordan, D. L., Spears, J. F., Wells, R., Johnson, P. D., Barnes, J. S., Hurt, C. A., Brandenburg, R. L., and Bailey, J. E. 2004. Peanut response to planting pattern, row spacing and irrigation. Agronomy Journal 96: 1066-1072.
- Mehrabadi, H. R. 1999. Survey of the effect of between and on row space in two irrigation methods on quantitative and qualitative traits of Varamin cotton cultivar. Report final of Agricultural and National Resource Research of Khorasan Razavi.
- Mehrabadi, H. R., and Afshar, H. 2005. Effects of different methods of irrigation of furrows on water use, yield and yield components of cotton. Journal of Agricultural Research, Seed and Plant 21: 269-285. (in Persian with English abstract).

15. Nelson, K. A. 2007. Glyphosate application timings in twin- and single-row corn and soybean spacing. *Weed Technol.* 21:186-190.
16. Nichols, S. P., Snipes, C. E., and Jones, M. A. 2004. Cotton growth, lint yield, and fiber quality as affected by row spacing and cultivar. *J. Cotton Sci.* 8: 1-12 [Online]. Available at: <http://www.cotton.org/journal/2004-08/1/> (verified 15 May 2009).
17. Ray, L. L. 1971. Narrow row-high population cotton, Research results in plains area. 1971. Belt wide production-Mechanization conference. P: 54-56.
18. Reddy, K. N., Burke, I. J., Boykin, J. C., and Williford, J. R. 2009. Narrow-Row Cotton Production under Irrigated and Non-irrigated Environment: Plant Population and Lint Yield. *The Journal of Cotton Science* 13: 48-55.
19. Roche, R., and Bange, M. 2006. Do Ultra-Narrow Row Cotton Systems Offer Any Benefit to Australian Farmers? CSIRO Plant Industry, Cotton Catchment Communities Cooperative Research Centre: http://www.regional.org.au/au/asa/2006/concurrent/systems/4568_rocher.htm?
20. Robinson, J. R. C. 1993. Narrow row cotton: economics and history. p. 133-137. In *Proc. Belt wide Cotton Conf.*, New Orleans, LA. 10-14 Jan. 1993. Natl. Cotton Counc. Am., Memphis, TN.
21. Sorensen, R. B., Lamb, M. C., and Butts, C. L. 2006. Row pattern, plant density, and nitrogen rate effects on corn yield in the southeastern US. *Crop Manage.* [Online]. Available at: http://www.Plant_management_network.org/sub/cm/research/2006/corn/sorensen.pdf (verified 20 June 2008).
22. Stewart, J. Mc D., Oosterhuis, D., Heitholt, J. J., and Mauney, J. 2010. *Physiology of Cotton*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
23. Willcutt, M. H., Columbus, E. P., Buehring, N. W., Dobbs, R. R., and Harrison, M. P. 2006. Evaluation of a 15-inch spindle harvester in various row patterns; three years progress. p. 531-547. In *Proc. Beltwide Cotton Conf.*, San Antonio, TX. 5-9 Jan. 2006. Natl. Cotton Counc. Am., Memphis, TN.



Investigation of Agronomic and Morphologic Responses of Different Cotton Types in Ultra Narrow Row System

H. R. Mehrabadi^{1*}

Received: 13-05-2017

Accepted: 21-07-2018

Introduction

Plant density is one of methods for increasing yield in ground unit. Recently cotton cropping in high density under ultra narrow row (UNR) were extended in cotton producer countries. Increasing plant density by planting in narrow row increases seed cotton yield. Cotton cropping in narrow row or UNR (row space is 20 to 30 cm) reduces evaporation at between two rows, therefore, it reduces water consumption and weed growth and also increases radiation use efficiency. In these systems (UNR), zero type cultivars are more effective and their efficiency is higher than common cultivars, due to lower growth of monopodia and sympodia branches. Therefore, survey of growth reaction, yield and morphologic variations of these cultivars in ultra narrow row is necessary. Hence, this project was carried out to determination of optimum plant density by planting at different row spacing in zero type and common cotton cultivars.

Materials and Methods

After soil preparation, two cotton cultivars (zero type cultivars) including Kashmar and Khorshid with Khordad and Varamin cotton cultivars (as control) were planted in rows space 20, 40 and 60 cm and 20 cm on row. This experiment was carried out as factorial layout base on randomized complete block design with three replications at Agriculture and Natural Resource Research Station of Kashmar during 2014-2015. Irrigation was carried out by using of tape (under pressure irrigation system) with 20 cm dripper distance and 4 liters per hour discharge.

The measured parameters were plant height, leaf number and area, number of monopodia and sympodia branches per plant, number of boll per each of monopodia and sympodia branches, boll weight and seed cotton yield. Analysis of variance and correlation between traits were carried out using MSTATC and Excel and means were compared with least significant difference (LSD) test.

Results and Discussion

The results showed that, a significant different was observed between cultivars in related with plant height in two years. So that Kashmar cultivar had the highest plant height in two years. Reduction of row spacing, increased significantly plant height only in first year. The highest and the lowest plant height belonged to Varamin and Kashmar cultivars, respectively. Number of monopodia and sympodia branches were different among cultivars and this variation was significant. In each year, zero type (cluster) cultivars (Kashmar and Khorshid) had more monopodia and sympodia branches than common cultivars (Khordad and Varamin). With increasing row spacing, number of sympodia branches increased in zero type cultivars rather than Varamin and Khordad cultivars. Results also showed that there was significant different among cultivars relevant to leaf number and area per plant. So that these traits were less in cluster cultivars than common cultivars. The highest and lowest leaf number per plant belonged to Khordad and Kashmar cultivars, respectively. Row space had no significant effect on leaf number and area per plant. However, the leaf number and area were more in 40 cm treatment. In the first year, there was no significant different among cultivars in related with boll number per plant, but the effect of row space on this trait was significant. In the second year, a significant different was observed among cultivars and also row spacing relevant to this traits. The number of boll per plant were more in common cultivars than cluster cultivars. Also increasing row space increased boll number per plant. A significant different was observed among cultivars only in the first year. The highest and lowest yield belonged to Kashmar and Khorshid cultivars, respectively. In both years, planting in narrow rows (20 cm treatment) significantly increased seed cotton yield. For instance, the mean of yields were about 7660 kg ha⁻¹ and 9155 kg ha⁻¹ in the first and second year, respectively. Seed cotton yields were 3462 kg ha⁻¹ and 4702 kg ha⁻¹ in the first

1- Assistant Professor of Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Mashad, Iran
(Corresponding Author Email: hr.mehrabadi@yahoo.com)

and the second years, respectively. The highest increasing yield of planting at the highest density with 167%, 86% 136% and 59% were observed in Kashmar, Varamin, Khorshid and Khordad cultivars, respectively.

Conclusions

In the intensive agricultural systems, we need to use of favorable cotton cultivars that are proper especially for machinery harvest. These cultivars must to be with the lowest lateral growth of vegetative and reproductive branches. In this study, Kashmar and Khorshid cultivars were as a zero type cotton cultivars that are suitable for mechanization harvest. Results showed that these cultivars had better reaction to high plant density rather than common cultivars (Varamin and Khordad). In the ultra narrow row system, yield of zero type cultivars was higher than common cultivars.

Keywords: Leaf area, Row distance, Yield and yield components, Zero type cotton cultivars



اثر محلول پاشی متانول بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط دیم

کامران احمدی^۱ - مجید رستمی^{۲*} - سعید رضا حسین زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۵

چکیده

کمبود آب یکی از عوامل اصلی محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک محسوب می‌شود. شواهد متعددی در زمینه اثر مثبت متانول بر خصوصیات رشدی گیاهان سه کربنه در شرایط تنش خشکی وجود دارد. به منظور بررسی اثر محلول پاشی متانول بر صفات مورفولوژیک و عملکرد دو رقم کلزا در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در شهرستان لالی استان خوزستان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو رقم کلزا (هایولا ۴۰۱ و دلگان) و چهار سطح محلول پاشی متانول (شاهد، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی) بودند. هم‌زمان با مرحله ساقه رفتن محلول پاشی در دو نوبت و با فاصله ۱۰ روز روی قسمت‌های هوایی بوته‌های کلزا انجام شد. بر اساس نتایج اثر تیمار محلول پاشی متانول و همچنین اثر رقم بر ارتفاع بوته کلزا، تعداد شاخه جانبی، تعداد دانه در خورجین معنی دار بود. رقم هایولا ۴۰۱ از نظر کلیه صفات مورد بررسی به غیر از وزن هزار دانه نسبت به رقم دلگان برتری داشت. بیشترین تعداد خورجین در گیاه، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی در تیمار محلول پاشی متانول با غلظت ۱۰ درصد مشاهده شد که به ترتیب ۸، ۱۲، ۱۹ و ۲۸ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. برهمکنش تیمارهای آزمایشی بر عملکرد دانه کلزا، عملکرد زیستی و شاخص برداشت دانه در سطح یک درصد معنی دار بود. بیشترین عملکرد دانه کلزا (۱۱۱۴ کیلوگرم در هکتار) در رقم هایولا ۴۰۱ و در شرایط محلول پاشی متانول با غلظت ۱۰ درصد حجمی مشاهده شد و کمترین عملکرد دانه (۷۸۵ کیلوگرم در هکتار) در رقم دلگان و در تیمار شاهد مشاهده شد. محلول پاشی متانول در هر دو رقم باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شد، با این حال بیشترین اثرات مثبت در تیمار محلول پاشی با غلظت ۱۰ درصد مشاهده شد و در غلظت بالاتر به دلیل اثرات سمیت احتمالی تا حدودی از اثرات مثبت محلول پاشی متانول کاسته شد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص برداشت، عملکرد زیستی، گیاهان زراعی

مقدمه

مثبت کاربرد متانول بیشتر در گیاهانی که مسیر فتوسنتزی سه کربنه دارند مشاهده شده است و محلول پاشی متانول در این گیاهان می‌تواند سبب افزایش عملکرد به‌ویژه در شرایط تنش شود (Hanson and Roje, 2001). از آنجا که در شرایط مزرعه با افزایش دمای هوا و شدت نور تنفس نوری افزایش می‌یابد، محلول پاشی متانول می‌تواند با کاهش تنفس نوری زمینه‌ی رشد گیاه را فراهم نماید. با توجه به اینکه ۲۵ درصد از کربن گیاه صرف تنفس نوری می‌شود با استفاده از محلول پاشی متانول می‌توان مقدار تنفس نوری را به حداقل رساند. علت این امر جذب متانول در گیاه و متابولیزه شدن سریع آن به دی‌اکسید کربن در بافت‌های گیاهی بوده است که ناشی از کوچکی مولکول‌های متانول نسبت به دی‌اکسید کربن است (Galbally and KIRSTTINE, 2002).

محققان برای کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان زراعی به دنبال اتخاذ راهکارهایی مناسب می‌باشند. بیشتر راهکارها در جهت کاهش تعرق و کاهش تنفس نوری و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در گیاه است که در نهایت موجب تثبیت عملکرد گیاهان در شرایط خشکی می‌شود. تحقیقات متعددی در زمینه اثرات مفید کاربرد متانول به عنوان یک منبع کربن برای گیاهان زراعی انجام شده است

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه ملایر

۲- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

۳- مدرس، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم‌النبا

(*)- نویسنده مسئول: (Email: majidrostami7@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v16i3.69265

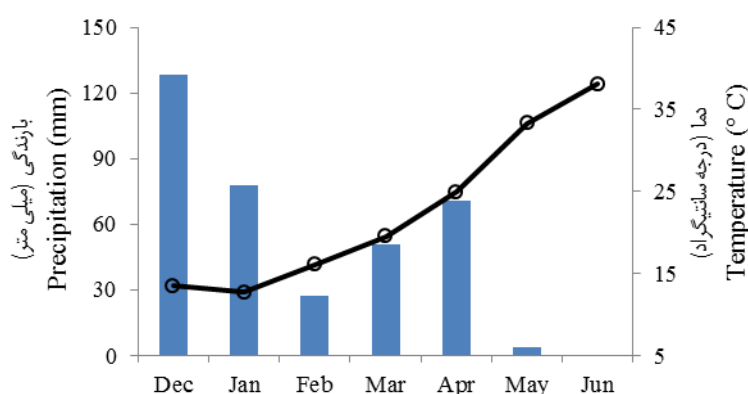
باکتری‌های متیلوتروف زندگی می‌کنند. این باکتری‌ها در ازای دریافت متانول که از برگ گیاه خارج می‌شود، پیش ماده ساخت بعضی از هورمون‌ها مانند اکسین و سیتوکینین که در رشد و توسعه برگ‌ها نقش بسیار مهمی دارند را در اختیار گیاه قرار می‌دهد و این باکتری‌ها بر متابولیسم نیتروژن در گیاهان نیز از طریق تولید اوره‌آز باکتریایی در ارتباط می‌باشند، بنابراین در گیاهان محلول‌پاشی شده با متانول آسیمیلایون نیتروژن افزایش می‌یابد (Abanda-Nkpwatt et al., 2006). کلزا یکی از گیاهان دانه روغنی سه کربنه است که در مناطق مختلف کشور کاشت می‌شود. از آنجا که در بسیاری از مناطق کاشت کلزا در استان خوزستان عملکرد این گیاه به دلیل تنش‌های گرما و خشکی کاهش می‌یابد، آزمایش حاضر با هدف مطالعه اثر غلظت‌های مختلف متانول بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی از صفات مورفولوژیک دو رقم کلزا تحت شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در یکی از مزارع کلزای شهرستان لالی واقع در شمال غربی استان خوزستان (عرض جغرافیایی $33^{\circ} 20'$ شمالی، طول جغرافیایی $49^{\circ} 6'$ شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۳۵۰ متر و متوسط بارندگی سالیانه ۳۵۰ میلی‌متر) به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ اجرا شد. وضعیت بارندگی و همچنین میانگین دمای ماهانه در طول دوره انجام آزمایش در شکل ۱ نمایش داده شده است.

محلول‌پاشی با متانول همچنین می‌تواند سبب افزایش آسیمیلایون نیتروژن شود (Abanda-Nkpwatt et al., 2006). افزایش میزان نیتروژن می‌تواند زمینه‌ساز افزایش اندازه و تعداد برگ و تا حدود زیادی افزایش مقدار نور جذب‌شده شود (Muchow, 1990). گزارش شده است که محلول‌پاشی متانول باعث افزایش قابل‌توجه فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در بعضی از گیاهان شده است (Ivanova et al., 2001). محلول‌پاشی متانول همچنین با تأثیر روی اتیلن باعث تأخیر پیری در برگ‌ها می‌شود که این امر می‌تواند طول دوره‌ی فتوسنتز فعال گیاه را افزایش دهد (Ramírez et al., 2006). نتایج برخی از پژوهش‌هایی که در ارتباط با اثر مثبت محلول‌پاشی متانول بر رشد و عملکرد گیاهان صورت گرفته است، نشان داده که استفاده از متانول روی بوته‌هایی که تحت شرایط کمبود آب هستند، باعث افزایش زیست‌توده آن‌ها می‌گردد، در حالی‌که کاربرد متانول برای گیاهان زراعی در شرایط عدم تنش حتی ممکن است اثرات منفی داشته باشد (Zbieć and Podsiad, 2003).

گزارش شده است که محلول‌پاشی متانول باعث افزایش میزان تثبیت دی‌اکسید کربن و به دنبال آن افزایش تعداد برگ، تعداد نیم در ساقه اصلی، وزن صد دانه و عملکرد دانه گیاه لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) هم در شرایط طبیعی و هم در شرایط تنش خشکی می‌شود (Emartpardaz et al., 2015). بنابراین نظر برخی از پژوهشگران مهم‌ترین ویژگی و مزیت کاربرد متانول، جلوگیری و کاهش اثر تنش‌های القاء شده به گیاهان زراعی در اثر انجام تنفس نوری در آن‌ها است (Nonomura and Benson, 1992). بر روی برگ بسیاری از گیاهان باکتری‌هایی همزیست به نام



شکل ۱- بارش ماهانه و میانگین دمای منطقه در طول فصل رشد

Figure 1- Monthly precipitation and average temperature of region during the growth season

دستگاه عمیق‌کار در ۲۰ آذرماه صورت گرفت. میزان بذر استفاده‌شده در زمان کاشت ۱۰ کیلوگرم در هکتار و بذور در عمق دو تا سه سانتی‌متری خاک قرار داده شدند و به‌عنوان کود پایه از کودهای اوره،

تیمارهای آزمایشی شامل دو رقم هایولا ۴۰۱ و دلگان و چهار سطح محلول‌پاشی متانول (شاهد، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی) بودند. کشت پس از آماده‌سازی زمین توسط گاوآهن قلمی و دیسک توسط

Excel رسم شدند. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده اثر تیمارهای آزمایشی بر ارتفاع بوته کلزا در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کمترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد و بیشترین ارتفاع بوته در تیمار محلول پاشی ۱۰ درصد متانول مشاهده شد که حدود ۱۹ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. از لحاظ ارتفاع بوته بین تیمار محلول پاشی ۵ و ۱۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). ارقام مورد مطالعه از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ولی ارتفاع بوته در رقم هایولا ۴۰۱ به میزان اندکی بیشتر از رقم دلگان بود.

با افزایش غلظت متانول تا سطح ۱۰ درصد حجمی ارتفاع بوته به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. پژوهشگران دیگر نیز گزارش کردند که متانول می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان مختلف شود. با توجه به اینکه آزمایش در شرایط دیم اجرا شده است تنش خشکی باعث آسیب به گیاه شده است، ولی محلول پاشی باعث مقابله با این اثرات منفی شده است. گزارش شده است که محلول پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد روی بوته‌های گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) باعث شد که ارتفاع بوته به بیشترین میزان برسد (Rowe et al., 1994). به نظر می‌رسد که واکنش گیاه به کاربرد متانول به عوامل متعدد از جمله نوع گیاه بستگی دارد زیرا در شرایطی که در آزمایش حاضر در غلظت بالاتر از ۱۰ درصد به تدریج میزان واکنش مثبت ارتفاع گیاه کاهش یافت در صورتی که پژوهشگران دیگر بیشترین ارتفاع بوته در گیاه پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) را در شرایط کاربرد متانول با غلظت ۳۰ درصد حجمی مشاهده کردند و علت این موضوع را آسیمیلاسیون بیشتر کربن در رقابت بیشتر گیاهان برای دریافت نور بیان کردند (Makhdom et al., 2002). نتایج این آزمایش با نتایج میرآخوری و همکاران (Mirakhori et al., 2011) مطابقت داشت. این پژوهشگران با بررسی اثر محلول پاشی متانول روی گیاه سویا (*Glycine max* L.) به این نتیجه رسیدند محلول پاشی متانول تا سطح ۲۸ درصد حجمی باعث افزایش ارتفاع گیاه گردید ولی افزایش مقدار کاربرد متانول تا سطح ۳۵ درصد حجمی بر بسیاری از صفات مورد مطالعه گیاه از جمله ارتفاع بوته تأثیر منفی داشت و باعث شد ارتفاع بوته حتی در مقایسه با شاهد نیز کاهش یابد. به عقیده این محققان غلظت‌های بالای متانول به دلیل اثرات سمیت موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Mirakhori et al., 2011).

فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم هر کدام به ترتیب ۵۰، ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. پس از سبز شدن بوته‌ها و در طول فصل رشد دو مرتبه از کود سرک اوره به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. خلاصه مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. در هر کرت آزمایشی ۸ ردیف کاشت با فاصله ۲۵ سانتی متر و طول ۶ متر در نظر گرفته شد. بین کرت‌های مجاور یک متر و بین بلوک‌ها دو متر فاصله در نظر گرفته شد.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Selected physico-chemical characteristics of soil				
pH	EC هدایت الکتریکی	K پتاسیم	P فسفر	N نیتروژن
اسیدیته	(dS m ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(%)	بافت خاک
7.7	2.1	279	21	0.12
				لوم شنی Sandy-loam

محلول پاشی بوته‌های کلزا دو بار در مرحله ساقه رفتن و به فاصله ده روز نسبت به یکدیگر انجام گرفت. برای انجام محلول پاشی از سم پاش موتوری پستی استفاده شد که دارای حجمی معادل ده لیتر بود و سعی شد تا نازل سم پاش در ارتفاع ۴۰ سانتی متری بالای بوته‌های قرار داده شود. محلول پاشی در ساعات خنک بعد از ظهر در روزهای تعیین شده انجام شد. قبل از برداشت بوته‌ها از هر کرت تعداد سه بوته برای تعیین ارتفاع و تعداد شاخه جانبی برداشت شد. برای اندازه‌گیری تعداد خورجین در بوته، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی به‌صورت تصادفی انتخاب و تعداد خورجین‌های هر بوته را شمارش کرده و میانگین به‌دست آمده به‌عنوان تعداد خورجین در بوته گزارش شد و سپس از هر بوته ۲۰ خورجین برداشت شد و پس از شمارش تعداد دانه‌های موجود در خورجین‌ها میانگین به‌دست آمده به‌عنوان تعداد دانه در هر خورجین در نظر گرفته شد. در پایان فصل و هم‌زمان با رسیدگی محصول با رعایت اثر حاشیه‌ای از مساحت یک متر در وسط هر کرت بوته‌های کلزا به‌صورت کامل برداشت شدند و وزن خشک کل به‌عنوان عملکرد زیستی ثبت شد. در مرحله بعد تعدادی از بوته‌ها برای تعیین اجزای عملکرد استفاده شد و در پایان نیز با جداسازی کامل دانه‌ها عملکرد دانه مشخص شد. در هر کرت یک نمونه بذر گرفته شد و پس از جداسازی بقایا و پوسته‌های بذر، ۱۰۰۰ عدد بذر به‌صورت تصادفی انتخاب و وزن آن‌ها تعیین شد. شاخص برداشت دانه که بیانگر سهم انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه است نیز با تقسیم عملکرد دانه به عملکرد زیستی محاسبه و برحسب درصد گزارش شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و شکل‌های مربوطه با استفاده از نرم‌افزار

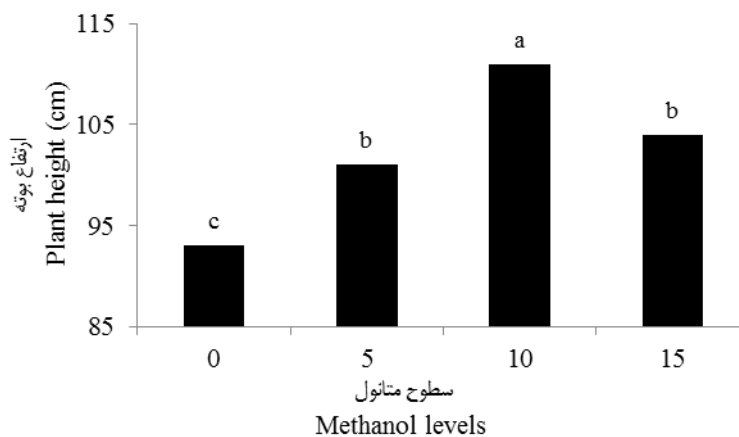
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مختلف کلزا تحت تأثیر رقم، محلول پاشی متانول و برهمکنش آنها

Table 2- Analysis of variance (mean square values) of investigated traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Lateral branches	تعداد دانه در خورجین Seeds in pod	تعداد خورجین در بوته Pods in plant	وزن هزار دانه 1000 seeds weight	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	3	27.12 ^{ns}	0.0204 ^{ns}	0.167 ^{ns}	1.125 ^{ns}	0.032 ^{ns}	10179 ^{ns}	0.151 ^{ns}	13 ^{ns}
رقم Cultivar	1	228.1 ^{ns}	0.735 [*]	3.3 ^{**}	160.1 ^{**}	0.0204 ^{ns}	495938 ^{**}	9.68 ^{**}	80620 ^{**}
خطای Error a	3	26.54	0.048	0.04	1.792	0.012	33025	0.24	113
متانول Methanol	3	323.3 [*]	0.651 ^{**}	0.588 ^{**}	9.056 ^{**}	0.193 ^{**}	203615 ^{**}	19.8 ^{**}	71031 ^{**}
رقم × متانول Cultivar × Methanol	3	23.28 ^{ns}	0.045 ^{ns}	0.0059 ^{ns}	0.167 ^{ns}	0.0159 ^{ns}	91560 ^{**}	4.36 ^{**}	6520 ^{**}
خطای Error b	18	9.44	0.0229	0.0075	0.736	0.009	13596	0.51	75
ضریب تغییرات (CV%)		7.87	12.1	6.18	7.46	5.83	6.08	9.21	12.6

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

*، **: significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; ns: means non-significant



شکل ۲- اثر سطوح مختلف متانول بر ارتفاع بوته کلزا

Figure 2- Effect of methanol levels on plant height

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Column with same letter are not significantly different.

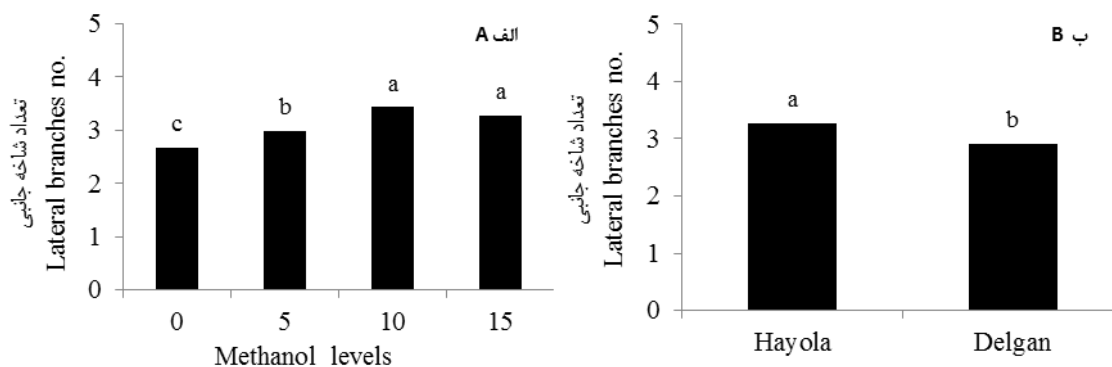
تعداد شاخه جانبی

بر اساس نتایج به دست آمده اثر محلول پاشی متانول و همچنین رقم بر تعداد شاخه جانبی کلزا در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). کمترین تعداد شاخه جانبی در تیمار شاهد مشاهده شد و با محلول پاشی ۱۰ درصد متانول تعداد شاخه جانبی حدود ۲۸ درصد افزایش یافت و به بیشترین میزان رسید، با این وجود از نظر تعداد شاخه جانبی بین تیمار محلول پاشی ۱۰ و ۱۵ درصد اختلاف

معنی داری مشاهده نشد (شکل ۳- الف). ارقام مورد مطالعه نیز از نظر تعداد شاخه جانبی اختلاف معنی داری با یکدیگر داشتند و بیشترین تعداد شاخه جانبی در رقم هایولا ۴۰۱ مشاهده شد که تقریباً ۱۲ درصد بیشتر از رقم دلگان بود (شکل ۳- ب). با افزایش غلظت متانول تا سطح ۱۰ درصد حجمی تعداد شاخه جانبی به صورت معنی داری افزایش و پس از آن کاهش یافت. پژوهشگران دیگر نیز گزارش کردند که متانول می تواند باعث بهبود ویژگی های رشدی

درصد باعث افزایش معنی دار تعداد شاخه های جانبی در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) شد.

گیاهان مختلف شود. نتایج حسین زاده و همکاران (Hoseinzadeh *et al.*, 2011) نیز نشان داد که محلول پاشی متانول با غلظت ۳۰

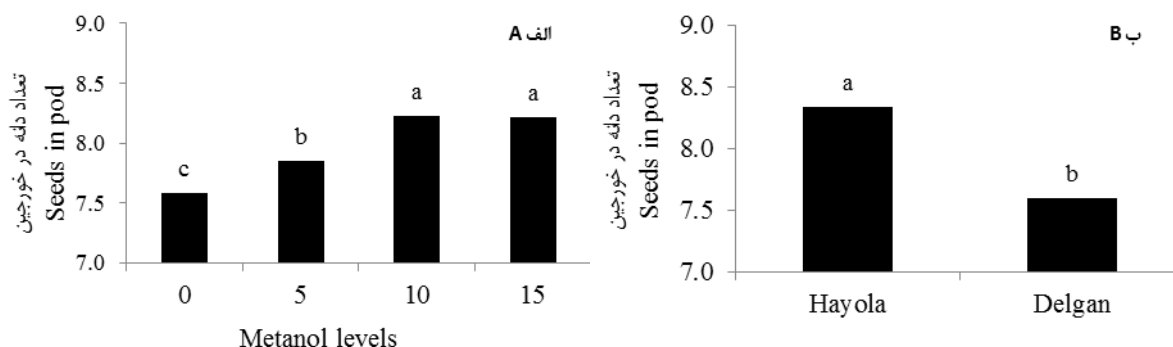


شکل ۳- اثر سطوح مختلف متانول (الف) و ارقام مختلف کلزا (ب) بر تعداد شاخه جانبی در بوته
Figure 3- Effect of methanol application (a) and canola cultivars (b) on number of lateral branches
ستون های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Column with same letter are not significantly different.

افزایش غلظت متانول تا سطح ۱۰ درصد حجمی تعداد دانه در خورجین به صورت معنی داری افزایش و پس از آن ثابت ماند. پژوهشگران دیگر نیز گزارش کردند که متانول می تواند باعث افزایش تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته گیاه نخود شود (Ehyae *et al.*, 2011). نتایج مطالعه ای که روی گیاه ماش (*Vigna radiate* L.) انجام شد نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف و بیشترین شاخص برداشت در شرایط محلول پاشی متانول با غلظت ۳۰ درصد حجمی و بیشترین عملکرد دانه در تیمار محلول پاشی متانول با غلظت ۲۰ درصد مشاهده شد (Aslani *et al.*, 2011).

تعداد دانه در خورجین

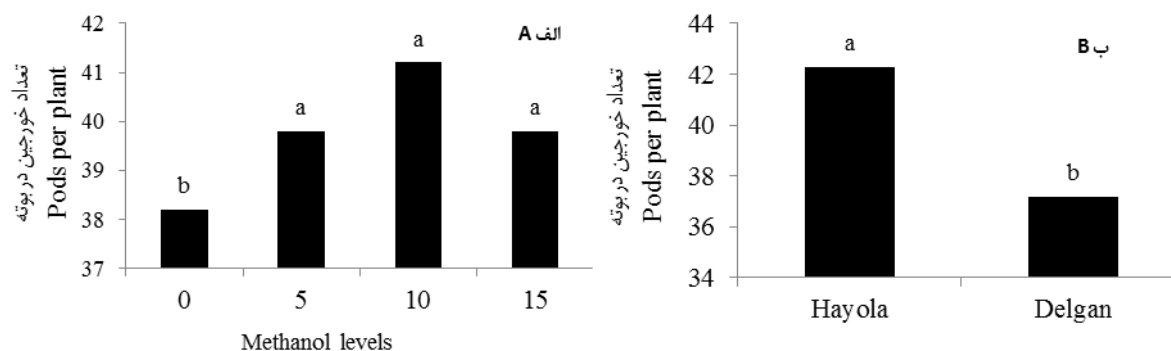
بر اساس نتایج به دست آمده اثر تیمار محلول پاشی متانول و همچنین رقم بر تعداد دانه در خورجین کلزا در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). کمترین تعداد دانه در خورجین در تیمار شاهد و بیشترین تعداد دانه در خورجین در تیمار محلول پاشی ۱۰ درصد متانول اندازه گیری شد که تقریباً ۸ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. از نظر تعداد دانه در خورجین بین تیمار محلول پاشی ۱۰ و ۱۵ درصد اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل ۴-الف). ارقام مورد مطالعه از نظر تعداد دانه در خورجین اختلاف معنی داری با هم داشتند و بیشترین تعداد دانه در خورجین در رقم هایولا ۴۰۱ مشاهده شد که تقریباً ۹ درصد بیشتر از رقم دلگان بود (شکل ۴-ب). با



شکل ۴- اثر سطوح مختلف متانول (الف) و ارقام مختلف کلزا (ب) بر میانگین تعداد دانه در خورجین
Figure 4- Effect of methanol application (a) and canola cultivars (b) on number of seed per pod
ستون های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Column with same letter are not significantly different.

تعداد خورجین در بوته

بر اساس نتایج به دست آمده اثر تیمارهای آزمایشی و همچنین رقم بر تعداد خورجین در بوته کلزا در سطح پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد خورجین در بوته در تیمار محلول پاشی ۱۰ درصد متانول و کمترین تعداد خورجین در بوته در تیمار شاهد مشاهده شد. از نظر تعداد خورجین در بوته بین تیمارهای محلول پاشی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد اختلاف معنی داری مشاهده نشد ولی هر سه تیمار مورد اشاره با تیمار شاهد تفاوت معنی داری داشتند و در بهترین تیمار تعداد بوته در خورجین در مقایسه با شاهد حدود ۸ درصد افزایش یافت (شکل ۵- الف). ارقام مورد مطالعه از نظر تعداد خورجین در بوته



شکل ۵- اثر سطوح مختلف متانول (الف) و ارقام مختلف کلزا (ب) بر میانگین تعداد خورجین در بوته

Figure 5- Effect of methanol application (a) and canola cultivars (b) on produced pods in plant

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Column with same letter are not significantly different.

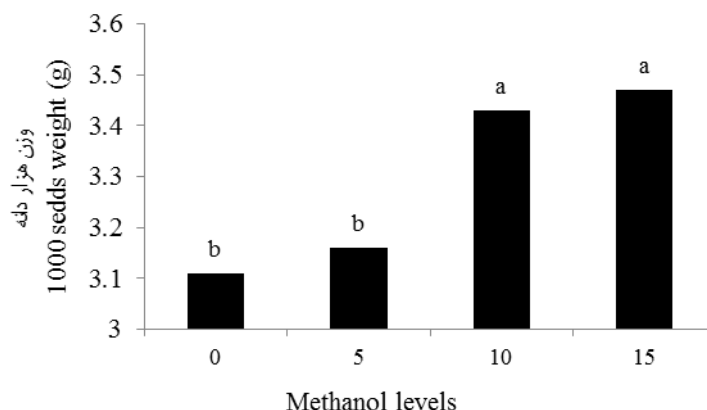
وزن هزار دانه

بر اساس نتایج به دست آمده فقط اثر تیمار محلول پاشی متانول بر وزن هزار دانه در سطح پنج درصد معنی دار بود و ارقام مورد مطالعه از نظر وزن هزار دانه تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه در تیمار محلول پاشی ۱۵ درصد متانول و کمترین وزن هزار دانه در تیمار شاهد مشاهده شد که بیانگر اختلاف ۱۲ درصدی بین دو تیمار است (شکل ۶). محلول پاشی متانول با غلظت ۵ درصد فقط باعث افزایش اندک وزن هزار دانه شد و در این تیمار وزن هزار دانه با تیمار شاهد تفاوت معنی داری نداشت. با وجود این که ارقام مورد مطالعه از نظر وزن هزار دانه اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند ولی وزن هزار دانه در رقم هایولا ۴۰۱ بیشتر بود.

نتایج مطالعه پژوهشگران دیگر نیز نشان داد که محلول پاشی متانول باعث افزایش وزن صد دانه لوبیاچیتی در شرایط تنش متوسط

اختلاف معنی داری با یکدیگر داشتند و بیشترین تعداد خورجین در بوته در رقم هایولا ۴۰۱ مشاهده شد که تقریباً ۱۴ درصد بیشتر از رقم دلگان بود (شکل ۵- ب). با افزایش غلظت متانول تا سطح ۱۰ درصد تعداد خورجین در بوته به صورت معنی داری افزایش و پس از آن روند کاهشی مشاهده شد. در این راستا میرآخوری و همکاران (Mirakhori et al., 2011) گزارش کردند که محلول پاشی متانول اثر معنی داری بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد شاخه در بوته و درصد پروتئین لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) داشت.

خشکی شد ولی در شرایط تنش شدید خشکی محلول پاشی تأثیر معنی داری بر وزن دانه نداشت (Emartpardaz et al., 2015). تنش خشکی از طریق تأثیر بر صفات فیزیولوژیک گیاه همچون سطح برگ، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مختلف و از جمله کلزا می‌شود و هر عاملی که اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد می‌تواند باعث جلوگیری از افت عملکرد شود. به نظر می‌رسد که کاربرد متانول از طریق تأثیر بر ویژگی‌های متفاوت گیاه همچون بهبود فرآیند جذب عناصر، ظرفیت فتوسنتزی گیاه باعث می‌شود که تولید ماده خشک در گیاه و به دنبال آن اجزای عملکرد از جمله وزن دانه بهبود یابد. گزارش شده است که کاربرد متانول میزان جذب عناصر نیتروژن و فسفر در گیاه تنوتون (*Nicotiana tabacum* L.) افزایش یابد (Sabokrow, 2011).



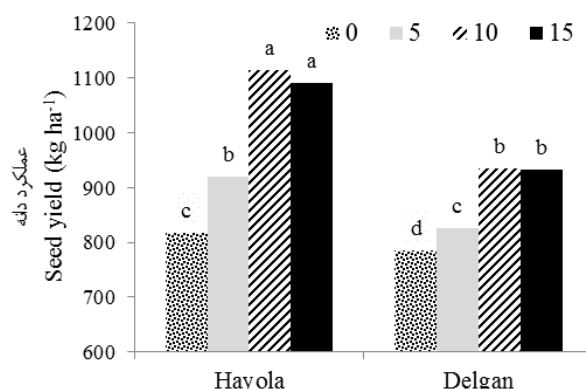
شکل ۶- اثر سطوح مختلف محلول پاشی متانول بر وزن هزار دانه کلزا
Figure 6- Effects of methanol application on 1000 seeds weight
ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Column with same letter are not significantly different.

عملکرد دانه

درصد به ۳۵ درصد حجمی کاهش پیدا کرده است به طوری که حتی از عملکرد دانه تیمار شاهد هم کمتر شد که دلیل این کاهش به اثر سمی متانول در غلظت‌های بالا نسبت داده می‌شود (Mirakhori et al., 2011). نتایج این پژوهشگران با یافته‌های تحقیق حاضر همخوانی دارد زیرا با افزایش محلول پاشی متانول از ۱۰ به ۱۵ درصد عملکرد دانه کلزا کاهش پیدا کرد.

در آزمایشی با مطالعه تأثیر متانول بر گیاه سویا مشخص شد که محلول پاشی متانول با ۲۵ درصد حجمی بیشترین اثر را در رشد و افزایش عملکرد سویا داشت (Li et al., 1995). عملکرد دانه، وزن دانه‌ها و تعداد غلاف در بوته‌هایی از کلزا که با متانول تیمار شده بودند، به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت، نتایج این تحقیق نشان داد که محلول پاشی متانول ۲۰ درصد حجمی، بیشترین اثر مثبت را بر رشد و افزایش عملکرد کلزا داشت (Zbiec et al., 2003).

بر اساس نتایج به دست آمده اثر تیمارهای محلول پاشی متانول، رقم و همچنین برهمکنش آن‌ها بر عملکرد دانه کلزا در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه در رقم هایولا ۴۰۱ و در شرایط محلول پاشی متانول با غلظت ۱۰ درصد مشاهده شد. در حالی که کمترین عملکرد دانه در رقم دلگان و در شرایط عدم محلول پاشی (شاهد) مشاهده شد (شکل ۷). اگرچه در هر دو رقم مورد مطالعه بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار محلول پاشی متانول ۱۰ درصد و کمترین میزان عملکرد دانه در تیمار شاهد دیده شد، با این حال در رقم هایولا ۴۰۱ حداکثر افزایش عملکرد در مقایسه با تیمار شاهد ۳۶ درصد بود در حالی که در رقم دلگان حداکثر افزایش عملکرد در مقایسه با شاهد حدود ۲۴ درصد بود. میرآخوری و همکاران در نتیجه پژوهش خود بیان کردند عملکرد دانه لوبیا قرمز در تیمار ۲۰ درصد متانول دارای بیشترین مقدار بوده ولی با افزایش مقدار متانول از ۳۰

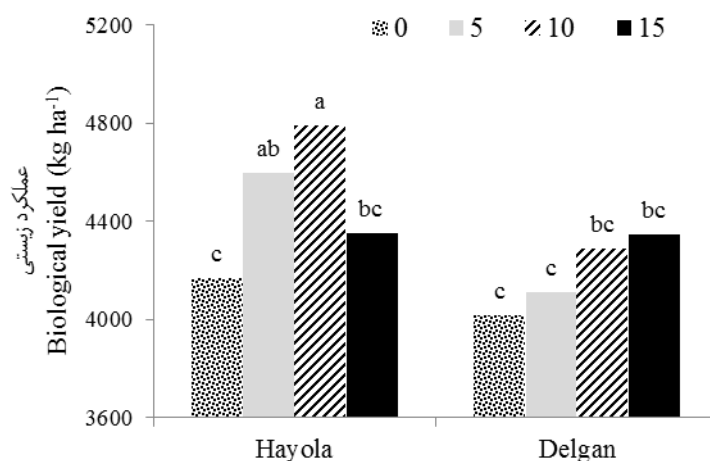


شکل ۷- اثر متقابل ارقام کلزا و سطوح مختلف محلول پاشی متانول بر عملکرد دانه
Figure 7- Interaction of methanol application and canola cultivars on seed yield
ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Column with same letter are not significantly different.

عملکرد زیستی

بر اساس نتایج به دست آمده اثر تیمارهای آزمایشی، رقم و همچنین برهمکنش آن‌ها بر عملکرد زیستی کلزا در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد زیستی در رقم هایولا ۴۰۱ و در شرایط محلول‌پاشی متانول با غلظت ۱۰ درصد مشاهده شد در حالی که کمترین عملکرد زیستی در رقم دلگان و در شرایط عدم محلول‌پاشی (شاهد) اندازه‌گیری شد (شکل ۸). در رقم هایولا بیشترین میزان عملکرد زیستی در شرایط کاربرد ۱۰ درصد متانول مشاهده شد که حدود ۱۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود در حالی که رقم دلگان واکنش کمتری به کاربرد متانول نشان داد و حداکثر افزایش عملکرد زیستی در این رقم (در اثر کاربرد متانول) حدود ۸ درصد بود. نادعلی و همکاران (Nadali et al., 2016) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی با متانول باعث افزایش وزن برگ و ریشه‌های تولیدی در چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) شد با این حال بیشترین میزان وزن برگ و ریشه در تیمار محلول‌پاشی با غلظت هفت درصد مشاهده شد و در سطوح بالاتر به تدریج عملکرد برگ و ریشه چغندر قند کاهش یافت که با نتایج به دست آمده در آزمایش حاضر مشابه است.

طبق گزارش (Nonomura and Benson, 1992) متانول باعث افزایش مقاومت گیاهان سه‌کربنه مختلف در مقابل تنش خشکی



شکل ۸- اثر متقابل ارقام کلزا و سطوح مختلف محلول‌پاشی متانول بر عملکرد زیستی

Figure 8- Interaction of methanol application and canola cultivars on biological yield

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Column with same letter are not significantly different.

می‌شود. علاوه بر این متانول در گیاهان محلول‌پاشی شده خاصیت خنک‌کنندگی داشته و گیاه را در مقابل افزایش درجه حرارت محافظت می‌کند. افزایش مقدار کلروفیل در برگ گیاه با اکسیداسیون متانول در ارتباط است. وقتی بوته‌ها در شرایط کمبود آب و افزایش درجه حرارت قرار گیرند با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش درون برگ‌ها روبه‌رو می‌شوند در این صورت متانول به عنوان یک منبع کربنی می‌تواند باعث افزایش کلروفیل و در نهایت وزن خشک گیاه شود (Ramberg et al., 2002). با این وجود نتایج برخی از پژوهش‌ها هنوز دلیل قطعی برای اثرات مثبت متانول پیدا نکرده‌اند و گزارش کرده‌اند که محلول‌پاشی متانول تأثیری بر میزان کلروفیل گیاه و یا میزان فتوسنتز ندارد (Li et al., 1995). گزارش شده است که محلول‌پاشی متانول در شرایط کمبود آب باعث شد تولید و زیست‌توده گیاه توتون به دلیل کاهش نیاز آبی گیاه بهبود یابد (Sabokrow Foomany, et al., 2011). افزایش عملکرد زیستی کلزای دیم در شرایط کاربرد متانول بیانگر این است که بخشی از اثرات منفی ناشی از کمبود آب در شرایط دیم توسط محلول‌پاشی متانول جبران شده است. با این حال همانند سایر صفات مورد بررسی، بین عملکرد زیستی و غلظت متانول محلول‌پاشی شده رابطه خطی وجود نداشت و با افزایش غلظت متانول به تدریج اثرات مثبت کمتری مشاهده شد.

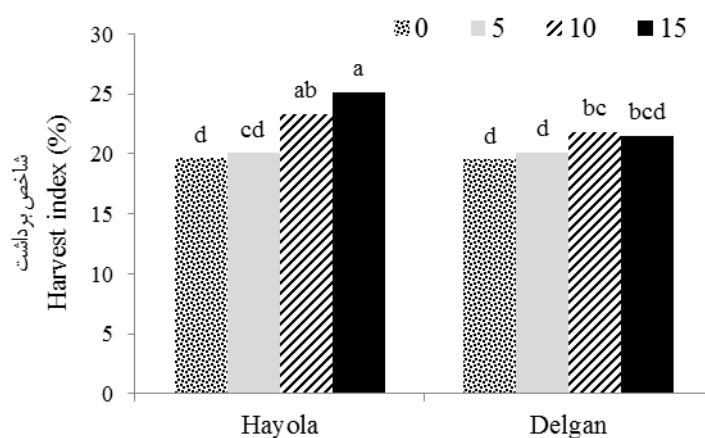
شاخص برداشت

رقم هایولا ۴۰۱ و در شرایط محلول‌پاشی متانول با غلظت ۱۵ درصد مشاهده شد. در حالی که کمترین شاخص برداشت (۱۹/۵ درصد) در رقم دلگان و در شرایط عدم محلول‌پاشی (شاهد) مشاهده شد که با شاخص برداشت همین رقم در تیمار محلول‌پاشی ۵ و ۱۵ درصد و

بر اساس نتایج به دست آمده اثر تیمارهای آزمایشی، رقم و همچنین برهمکنش آن‌ها بر شاخص برداشت کلزا، در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین شاخص برداشت (۲۵/۱ درصد) در

فاریاب در مناطق خشک می شود (Nonomura and Benson, 1992). با این وجود از آنجا که شاخص برداشت معیاری از نسبت وزن دانه به کل گیاه است، افزایش شاخص برداشت لزوماً امری مثبت نیست بلکه در برخی موارد افزایش شاخص برداشت به دلیل کاهش عملکرد زیستی است. ارقامی که شاخص برداشت بالاتری دارند سهم بیشتری از فرآورده های فتوسنتزی را به دانه ها اختصاص داده و چنانچه شاخص برداشت بالاتر ناشی از افزایش عملکرد دانه باشد تغییرات مثبت آن حائز اهمیت بیشتری خواهد بود.

همچنین شاخص برداشت رقم هایولا ۴۰۱ در تیمار محلول پاشی ۵ درصد و شاهد در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۹). اصلانی و همکاران (Aslani et al., 2011) نیز با بررسی اثر متانول بر روی گیاه ماش به اثرات مثبت کاربرد متانول بر میزان شاخص برداشت اشاره کردند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت. باین حال این پژوهشگران بیشترین شاخص برداشت را در شرایط محلول پاشی متانول با غلظت ۳۰ درصد مشاهده کردند. گزارش شده است که محلول پاشی متانول در برخی از گیاهان سه کربنه موجب افزایش سرعت رشد و شاخص برداشت گیاهان زراعی



شکل ۹- اثر متقابل ارقام کلزا و سطوح مختلف محلول پاشی متانول بر شاخص برداشت دانه
Figure 9- Interaction of methanol application and canola cultivars on seed harvest index

ستون های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Column with same letter are not significantly different.

مقایسه با رقم دلگان در شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه در کلیه صفات بررسی شده برتری داشت و با توجه به عملکرد بیشتر دانه اولویت کاشت با این رقم است. عملکرد هر دو رقم مورد مطالعه در اثر محلول پاشی ۱۰ درصد متانول به صورت معنی داری افزایش یافت با این وجود اثرات مثبت کاربرد متانول در رقم هایولا ۴۰۱ به میزان قابل توجهی بیشتر از رقم دلگان بود.

نتیجه گیری

هرچند هر سه سطح استفاده از متانول باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در مقایسه با تیمار شاهد شد باین حال بیشترین اثرات مثبت در تیمار محلول پاشی با غلظت ۱۰ درصد مشاهده شد و در غلظت بالاتر به دلیل اثرات سمیت احتمالی تا حدودی از اثرات مثبت محلول پاشی متانول کاسته شد؛ بنابراین حداکثر غلظت قابل توصیه برای کاربرد متانول ۱۰ درصد حجمی است. رقم هایولا ۴۰۱ در

References

1. Abanda-Nkpwatt, D., Müsch, M., Tschiersch, J., Boettner, M., and Schwab, W. 2006. Molecular interaction between *Methylobacterium extorquens* and seedlings: growth promotion, methanol consumption, and localization of the methanol emission site. *Journal of Experimental Botany* 57 (15): 4025-4032.
2. Aslani, A., Vishekaei, M. N. S., Farzi, M., Niyaki, S. A. N., and Paskiabi, M. J. 2011. Effects of foliar application of methanol on growth and yield of mungbean (*Vigna radiata* L.) in Rasht, Iran. *African Journal of Agricultural Research* 6 (15): 3603-3608.
3. Emartpardaz, J., Hami, A., and Kazemnia, H. 2015. Effect of foliar application of methanol in water stress condition on yield components of *Phaseolus vulgaris* L. *Agricultural Science and Sustainable Production Science* 25: 125-137. (in Persian with English abstract).
4. Galbally, I. E., and Kirstine, W. 2002. The production of methanol by flowering plants and the global cycle of

- methanol. Journal of Atmospheric Chemistry 43 (3): 195-229.
5. Hanson, A. D., and Roje, S. 2001. One-carbon metabolism in higher plants. Annual Review of Plant Biology 52 (1): 119-137.
 6. Hosseinzadeh, S. R., Salimi, A., and Ganjeali, A. 2011. Effects of foliar application of methanol on morphological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Environmental Stresses in Crop Science 4: 139-150. (in Persian with English abstract).
 7. Ivanova, E. G., Doronina, N. V., and Trotsenko, Y. A. 2001. Aerobic methylobacteria are capable of synthesizing auxins. Microbiology 70 (4): 392-397.
 8. Li, Y., Gupta, G., Joshi, J. M., and Siyumbano, A. K. 1995. Effect of methanol on soybean photosynthesis and chlorophyll. Journal of Plant Nutrition 18 (9): 1875-1880.
 9. Makhdum, I. M., Nawaz, A., Shabab, M., Ahmad, F., and Illahi, F. 2002. Physiological response of cotton to methanol foliar application. Journal of Research (Science) 13: 37-43.
 10. Mirakhori, M., Paknejad, F., Ardakani, M., Moradi, F., Nazeri, P., and Nasri, M. 2011. Effect of methanol spraying on yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.). Agroecology 2 (2): 236-244. (in Persian with English abstract).
 11. Mirakhori, M., Paknejad, F., Vazan, S., Nazeri, P., Reihani, Y., and Mortezaipoor, H. 2010. Effect of methanol foliar application on yield and yield components of red bean. 11th Iranian Crop Science Congress. Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (in Persian).
 12. Muchow, R. C., Sinclair, T. R. and Bennett, J. M. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. Agronomy Journal 82 (2): 338-343.
 13. Nadali, I., Yarnia, M., Paknezhad, F., and Farahvash, F. 2016. Study of some qualitative and quantitative traits of sugar beet in response to foliar application of methanol and drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 8 (2): 169-187. (in Persian with English abstract).
 14. Nonomura, A. M., and Benson, A. A. 1992. The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. Proceedings of the National Academy of Sciences 89 (20): 9794-9798.
 15. Ramberg, H., and Bradley, J. 2002. The role of methanol in promoting plant growth: an update. Plant Biochemistry and Biotechnology 1: 113-126.
 16. Ramírez, I., Dorta, F., Espinoza, V., Jiménez, E., Mercado, A., and Peña-Cortés, H. 2006. Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of arabidopsis, tobacco, and tomato plants. Journal of Plant Growth Regulation 25 (1): 30-44.
 17. Rowe, R. N., Farr, D. J., and Richards, B. A. J. 1994. Effects of foliar and root applications of methanol or ethanol on the growth of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill). New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 22 (3): 335-337.
 18. Sabokrow Foomany, K., Safarzadeh, M. N., Daneshian, J., Ranjbar Choobeh, N., and Sabokrow Foomany, K. 2011. Studing the effect of time and values of methanol foliation on quality and quantity yield flue-cured tobacco of cocker 347 type in Ahmadgurab region of Rasht. Journal of Plan Production 18 (3): 17-30. (in Persian with English abstract).
 19. Taherabadi, S., Parsa, M., and Nezami, A. 2015. Effects of irrigation and foliar application of methanol on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences 7 (2): 273-276. (in Persian with English abstract).
 20. Zbieć, I., Karczmarczyk, S., and Podsiadło, C. 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities 6 (1): 1-7.



Effects of Foliar Application of Methanol on Yield and Yield Components of Two Cultivars of Canola (*Brassica napus* L.) under Rainfed Conditions

K. Ahmadi¹- M. Rostami^{2*} - S. R. Hosseinzadeh³

Received: 08-12-2017

Accepted: 26-06-2018

Introduction

Canola (*Brassica napus* L.) is an annual plant of the Brassicaceae or Cruciferae family and is regarded as an important oil seed crop in the world. Water deficiency is one of the most limiting factors for plant growth and production in dry regions. The positive effects of methanol application on growth and yield of C₃ plants under drought stress are well documented. Methanol can rapidly metabolize to water and CO₂ in plant tissues and can affect dry matter accumulation by decreasing photorespiration. The foliar application of methanol also can stimulate the methyltrophic bacteria, indirectly. Methyltrophic bacteria usually live on plant leaves and consume some of the methanol on the leaves and affect plant growth via the production of different plant growth regulators such as auxin and cytokine.

Materials and Methods

To evaluate the effects of foliar application of methanol on yield and morpho-physiological characteristics of rapeseed cultivars under rainfed conditions a split plot experiment was conducted based on randomized complete block design (RCBD) with four replications. Experimental treatments were two cultivars of canola (Hayola 401 and Delgan) and four levels of methanol foliar application (control, 5, 10 and 15% of volume), respectively. In the stage of stem elongation, foliar application of methanol repeated 2 times with 10 days interval. At maturity, the plant height and number of lateral branches were measured. At the end of growth season, the plants were harvested by hand-cutting at the soil surface and subsequently, the number of pod per plant, number of seed per pod, 1000 seed weight, seed yield and aboveground biological yield of canola were determined.

Results and Discussion

The results showed that the effects of experimental treatments on plant height and numbers of lateral branches were significant. There was no significant difference between cultivars for 1000 seed weight. For all of the studied traits Hayola 401 was better than Delgan cultivar. The highest amounts of 1000 seed weight, pod number per plant, seed number per pod, number of lateral branches and plant height were observed in treatment with 10% methanol. According to the results, the effect of experimental treatments and also the interaction of these treatments on the seed yield, biological yield and also harvest index were significant. The highest and lowest seed yield were observed in Hayola 401 cultivar treated with 10% methanol (1114 kg ha⁻¹) and Delgan cultivar in the control condition (785 kg ha⁻¹), respectively.

1- Former MSc. Student of Plant Physiology, Department of Biology, Faculty of Science, Malayer University, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Malayer University, Iran

3- Lecturer, Department of Biology, Faculty of Sciences, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Iran

(*- Corresponding Author Email: Majidrostami7@yahoo.com)

Conclusions

For all of the studied traits, the performance of Hayola 401 cultivar was better than Delgan cultivar. Although foliar application of methanol has positive effects on studied traits but the relationship between the dose of application and observed response was not linear and the highest amounts of seed yield, number of pod per plant, number of seed per pod, number of produced lateral branches and plant height were obtained in 10% (V/V) methanol. Therefore, application of methanol in concentrations higher than 10% is not recommendable.

Keywords: Biological yield, Crops, Drought stress, Harvest index



پاسخ مورفولوژیک، عملکرد دانه و اسانس سه بوم‌گونه‌ی رازیانه به زمان‌های مختلف کاشت

سمانه کیانی^{۱*} - سید عطاءاله سیادت^۲ - محمدرضا مرادی تلاوت^۳ - عادل پشتدار^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۸

چکیده

با هدف ارزیابی اثر تاریخ کاشت بر سه بوم‌گونه‌ی رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.)، آزمایشی به صورت اسپلوت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا گردید. تاریخ کاشت در هفت سطح (۳۰ مهر، ۱۵ آبان، ۳۰ آبان، ۱۵ آذر، ۳۰ آذر، ۱۵ دی، ۳۰ دی) در کرت‌های اصلی و بوم‌گونه در سه سطح (بوشهر، همدان، اصفهان) در کرت‌های فرعی بررسی شدند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد گره، قطر ساقه، طول میانگره دوم، تعداد چتر در ساقه اصلی، تعداد چتر در شاخه‌های فرعی، عملکرد دانه، درصد اسانس، عملکرد اسانس و عملکرد بیولوژیک بود. نتایج نشان داد که بیشترین طول میانگره (۱۴/۸۹ سانتی‌متر) و تعداد چتر شاخه فرعی (۶۶/۱۷) در بوم‌گونه‌ی بوشهر از تاریخ کاشت اول به‌دست آمد. تأخیر در تاریخ کاشت اثر کاهشی بر صفات مورفولوژیک داشت به‌طوری‌که بیشترین تعداد گره در ساقه اصلی (۶/۷ عدد)، قطر ساقه (۱/۹۷ سانتی‌متر)، تعداد چتر در ساقه اصلی (۴/۵۵ عدد) در تاریخ کاشت ۳۰ مهر مشاهده شد. بالاترین عملکرد دانه (۲۰۲۶/۵ کیلوگرم در هکتار) از تاریخ کاشت ۳۰ مهرماه و بوم‌گونه‌ی بوشهر (۱۷۷۴/۱۲ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. بیشترین درصد اسانس از تاریخ کاشت ۳۰ دی ماه (۴/۴۶ درصد) و بوم‌گونه‌ی اصفهان (۴/۲۷ درصد) به‌دست آمد. به نظر می‌رسد که بوم‌گونه‌ی بوشهر با کشت در تاریخ ۳۰ مهرماه مطلوب‌ترین تیمار در تولید دانه جهت کاشت در منطقه مورد مطالعه بود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، تعداد چتر، درصد اسانس، عملکرد دانه، قطر ساقه

مقدمه

محیطی نظیر درجه حرارت و نور قرار داشته که می‌تواند توسط تاریخ‌های مختلف کاشت، متفاوت باشند. رشد و عملکرد گیاهان دارویی تحت تأثیر تاریخ کاشت، به‌عنوان یک عامل مدیریتی مهم، قرار می‌گیرد. عملکرد بیوماس و دانه به‌عنوان یک صفت مهم اقتصادی، دارای توارث کمی است و توسط ژن‌های متعددی کنترل می‌شود که می‌تواند تحت تأثیر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها قرار گیرد (Adugna and Labuschagne, 2003). شرایط محیط و تاریخ کاشت مناسب از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تولید عملکرد مطلوب می‌باشند. تاریخ‌های کشت مختلف سبب انطباق دوران رشد رویشی و زایشی گیاه با دماها، طول روز و تشعشعات خورشیدی متفاوت می‌شود. بدین سان بر نمو، تولید زیست‌توده و در نهایت عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارد. تسریع در نمو گیاهان نیز غالباً سبب کاهش دوره رشد و تولید زیست‌توده شده و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Tomar, 1995). تأثیر عوامل محیطی بر مراحل فنولوژیکی گیاه باعث می‌شود که تاریخ کاشت از منطقه‌ای به منطقه دیگر و حتی در یک منطقه بین ژنوتیپ‌ها متفاوت باشد.

توده‌های بومی به جهت حفظ بقا و سازگاری خود با شرایط

ایران به دلیل موقعیت مناسب از نظر ذخائر فیلولوژنیک و آب و هوایی قادر است به جایگاه مهمی در صنعت گیاهان دارویی دست یابد. رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) گیاهی است علفی، معطر و چندساله از تیرهٔ چتریان، گیاهی گرمسیری بوده و غالباً در مناطق گرم کشور کشت می‌شود (Omid Beigi, 2000). رشد، عملکرد و خصوصیات غذایی گیاهان دارویی زراعی تحت تأثیر فاکتورهای

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

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

۳- دانشیار، فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

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

(*) نویسنده مسئول: (Email: Kiani_sama@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v16i3.69515

تاریخ کاشت ۲۰ اسفند بهترین تاریخ کاشت بابونه (*Matricaria chamomilla*) نسبت به سایر تاریخ‌های مورد بررسی در شرایط آب و هوایی گرگان بوده است (Fargang Mehr et al., 2014). چوپان و همکاران (Choupan et al., 2014) در ارزیابی تأثیر تاریخ کاشت گیاه دارویی کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo*) در شرایط مشهد دریافتند که نتایج حاصل، بهینه بودن تاریخ کاشت دوم (۲۲ اردیبهشت) را در بین تیمارهای تاریخ کاشت، در تمامی صفات کمی مورد بررسی نشان داد. در دشت خوزستان به دلیل عدم وجود تاریخ کاشت مناسب و توصیه شده جهت کاشت گیاه رازیانه، تصمیم‌گیری در مورد زمان کاشت مطلوب بسیار مهم بوده و از عوامل مهم جهت کسب حداکثر عملکرد در گیاه می‌باشد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی سه بوم‌گونه‌ی رازیانه در تاریخ‌های مختلف کاشت و تعیین مناسب‌ترین زمان کاشت برای این گیاه در شرایط آب و هوایی اهواز انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۹۵ در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۲۱ تیمار انجام گردید. فاکتور اصلی شامل هفت تاریخ کاشت (۳۰ مهر، ۱۵ آبان، ۳۰ آبان، ۱۵ آذر، ۳۰ آذر، ۱۵ دی و ۳۰ دی) و فاکتور فرعی نیز شامل سه بوم‌گونه رازیانه (بوشهر، همدان و اصفهان) بود. خصوصیات خاک مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

اقلیمی منطقه بسیار حائز اهمیت هستند. خصوصیات رشدی و عملکرد بوم‌گونه‌ها از منطقه‌ای به منطقه‌ای دیگر تغییر می‌کند و این نشان‌دهنده‌ی اثر متقابل بوم‌گونه با مناطق و محیط است. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (به عبارت دیگر یکنواخت نبودن عملکرد نسبی ژنوتیپ در محیط) ایجاد می‌کند که انتخاب ارقام فقط براساس عملکرد یک محیط، معیار مناسبی نباشد. بهتر است ژنوتیپ‌ها در دامنه‌ی وسیعی از تغییرات محیطی در مکان‌ها و سال‌های مختلف (تاریخ‌های مختلف کاشت) مورد ارزیابی قرار گیرند. بدین منظور که اطلاعات حاصل از تخمین میزان سازگاری و ثبات عملکرد ژنوتیپ‌ها، معیار مطمئن‌تری برای توسعه‌ی ارقام و کشت آن‌ها باشد و کارایی‌گزينش و معرفی ارقام را افزایش دهد. در این زمینه، ارزیابی واکنش بوم‌گونه‌های کوشیا (*Kochia scoparia*) به تاریخ کاشت نشان داد که ارتفاع بوته، عملکرد شاخساره و عملکرد بیولوژیک با تأخیر کاشت از اسفند ماه کاهش یافتند و عملکرد بیولوژیک در بوم‌گونه‌ی سبزوار بیشتر از سایر بوم‌گونه‌ها بود (Kamandi et al., 2013). اثر تاریخ کاشت بر تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، عملکرد زیستی و عملکرد دانه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) معنی‌دار بود و در تاریخ کاشت تأخیری بیشترین عملکرد دانه متعلق به بوم‌گونه‌ی بیرجند بود (Javadi Hedayat Abadi et al., 2015). نتایج بررسی رسام و همکاران (Rassam et al., 2007) بر گیاه انیسون (*Pimpinella anisum* L.) نشان داد که تأخیر در کاشت، موجب کاهش تعداد دانه در چتر گردید. همچنین تاریخ کاشت بر عملکرد گل خشک و تازه، تعداد ساقه‌های اصلی گل‌دهنده، تعداد و وزن خشک برگ و ارتفاع بوته بابونه آلمانی اثر معنی‌داری داشت. در این بین

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه پژوهشی در زمان شروع آزمایش (۹۶-۱۳۹۵)

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil field at the start of the experiment (2016- 2017)

عمق نمونه‌برداری Sampling depth (cm)	نیترژن N (%)	فسفر (ppm) P	پتاسیم K (ppm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC($\mu\text{mhos.cm}^{-1}$)	ماده آلی Organic matter (%)	بافت خاک soil texture
0-30	0.07	7.2	214	7.4	3.6	0.76	رسی-سیلتی clay-silt

منطقه به‌طور کامل انجام گردید. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و در چندین مرحله صورت گرفت. با رسیدگی دانه، برداشت (بسته به زمان‌های کاشت متفاوت، زمان برداشت هر کدام از تاریخ‌ها نیز متفاوت بود) و نمونه‌برداری جهت ارزیابی صفاتی نظیر تعداد گره، قطر ساقه، طول میانگره دوم، تعداد چتر در ساقه اصلی، تعداد چتر در شاخه‌های فرعی، عملکرد دانه، درصد اسانس دانه، عملکرد اسانس و عملکرد بیولوژیک انجام شد. جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک ۵ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری‌های مذکور انجام شد. به منظور تعیین مقدار اسانس با

هر واحد آزمایش شامل ۶ خط کاشت به طول ۳ متر، فاصله بین دو خط کشت ۴۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر و بین دو بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. تراکم گیاهی اعمال شده برای رازیانه ۱۳ بوته در متر مربع بود. تاریخ کاشت بسته به زمان هر تیمار، به‌صورت دستی و بذور هر بوم‌گونه در عمق یک سانتی‌متری خاک کشت شدند. نیترژن مورد نیاز از منبع اوره به میزان ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار استفاده گردید. یک سوم از سطوح کود اوره در ابتدای کاشت و باقی‌مانده نیز در مرحله‌ی ساقه‌رفتن نیز اعمال گردید. آبیاری در طول دوره رشد بر اساس مشاهدات مزرعه و شرایط جوی

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تاریخ کاشت بر صفات مورفولوژی، عملکرد دانه و بیولوژیک، درصد و عملکرد اسانس سه بوم‌گونه‌ی رازیانه

منابع تغییرات	S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد گره Number of nodes	قطر ساقه Stem diameter	دوم Second internode length	طول میانگره	تعداد چتر در ساقه اصلی Number of umbrellas in main stem	عملکرد دانه Grain yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
بلوک	Replication	2	0.246 ^{ns}	0.03 ^{ns}	1.03 ^{ns}	64.04 ^{ns}	0.05 ^{ns}	7528.3 ^{ns}	0.02 ^{ns}	31.15 ^{ns}	1029.7 ^{ns}
تاریخ کاشت D	Planting Date	6	5.66 ^{**}	1.02 ^{**}	56.78 ^{**}	1474.1 ^{**}	2.27 ^{**}	1108080.5 ^{**}	3.07 [*]	434.7 ^{ns}	2818001 ^{**}
اشباه اصلی	Main plot error	12	0.23	0.05	1.37	43.66	0.31	8150.4	0.67	200.9	77122
بوم‌گونه Ecotype	Ecotype	2	3.22 ^{**}	0.006 ^{ns}	5.24 [*]	346.8 ^{**}	1.74 [*]	387200.3 ^{**}	2.4 ^{**}	1541.95 ^{**}	1067510.4 ^{**}
ExD	ExD	12	0.48 ^{ns}	0.02 ^{ns}	2.49 [*]	108.5 [*]	0.09 ^{ns}	12318.9 ^{ns}	0.253 ^{ns}	109.8 ^{ns}	25292.9 [*]
اشباه فرعی	Sub plot error	28	0.54	0.03	1.17	46.5	0.39	16887.6	0.24	113.11	88637.1
ضریب تغییرات (%)	(%) C.V		13.1	12.4	10.7	17.5	15.7	7.9	12.72	17.02	5.2

* و ** significant at the level 5% and 1% respectively, ns not significant

*** و **** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد، ns عدم معنی‌داری

استفاده از روش تقطیر با آب (طرح دستگاه کلونجر)، به میزان ۵۰ گرم ماده خشک با یک لیتر آب مقطر اسانس‌گیری انجام شد (Sefeidkon, 2002). عملکرد اسانس نیز از حاصل‌ضرب مقدار اسانس در عملکرد دانه به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل تجزیه‌ی واریانس و مقایسه میانگین‌ها، با استفاده از نرم‌افزار سیستم SAS نسخه‌ی ۹/۲ صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

تعداد گره در ساقه: نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت و بوم‌گونه ($P < 0.01$) بر تعداد گره معنی‌دار بود ولی اثر متقابل این دو تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). بیشترین تعداد گره (۶/۷) (گره) از تاریخ کاشت اول (۳۰ مهر)، به‌دست آمد که نسبت به تاریخ کاشت آخر یعنی ۳۰ دی (با ۴/۷ گره)، ۲۹ درصد تعداد گره بیشتری داشت (جدول ۳). یافته‌ها نشان داد که با تأخیر در کاشت، از مهرماه به سمت دی ماه، به دلیل کاهش رشد رویشی، تعداد گره در ساقه‌ی اصلی کاهش می‌یابد. از جمله دلایل افزایش تعداد گره در ساقه‌ی اصلی برای تاریخ‌های کاشت زودتر، دوره‌ی رشد رویشی و شاخه‌دهی طولانی‌تر بود که موجب افزایش ارتفاع بوته و در نتیجه افزایش تعداد گره شد (Rabiei, 2011). در گزارشی دیگر سیاه‌مرگویی و همکاران (Siahmargoui et al., 2011) دریافتند که تاریخ کاشت اثر معنی‌داری بر تعداد گره رازیانه داشت به‌طوری‌که تاریخ کاشت آبان ماه نسبت به مهر ماه برتری داشت. در این پژوهش، بوم‌گونه‌ی اصفهان با ۶/۸۸ عدد گره بیشترین و بوم‌گونه‌ی همدان با ۵/۳۵ عدد گره کمترین تعداد گره در ساقه‌ی اصلی را داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که تعداد گره در ساقه‌ی اصلی تحت تأثیر ژنتیک بوده و شرایط محیطی نیز در بروز این خصوصیت ژنتیکی مؤثر است. در این میان، بوم‌گونه‌ی اصفهان دارای تعداد گره بیشتر از دو بوم‌گونه‌ی بوشهر و همدان بود. گلدانی (Goldani, 2010) در ارزیابی دو بوم‌گونه‌ی کنجد دریافت که ارتفاع بوته و تعداد گره در بوم‌گونه‌ی سه قلعه بیشتر از بوم‌گونه‌ی کلات بود. همچنین دو بوم‌گونه‌ی رازیانه خراسان و کرمان با یکدیگر از نظر تعداد گره اختلاف معنی‌داری نداشتند (Siahmargoui et al., 2011).

قطر ساقه: قطر ساقه تنها تحت تأثیر تاریخ کاشت تفاوت معنی‌داری ($P < 0.01$) را نشان داد. درحالی‌که بین بوم‌گونه‌ها و اثر متقابل آن‌ها با تاریخ کاشت تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین قطر ساقه از تاریخ کاشت ۳۰ مهر و کمترین آن نیز از تاریخ ۳۰ دی ماه حاصل شد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژی، عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس بوم گونه‌های رازیانه

Table 3- Mean comparison of morphological characteristics, grain yield, percentage and Essential oil yield of fennel ecotypes

تیمار	Treatment	تعداد گره Number of nodes	قطر ساقه Stem diameter (cm)	تعداد چتر در ساقه اصلی Number of umbrellas in main stem	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha ⁻¹)
تاریخ کاشت Planting Date	۳۰ مهر ۲۲ October	6.7 a	1.97 a	4.55 a	2026.5 a	3.18 c	65.35 a
	۱۵ آبان ۶ November	6.5 a	1.68 b	4.5 ab	1954.45 a	3.32 c	65.28 a
	۳۰ آبان ۲۱ November	5.7 b	1.56 bc	4.21 abc	1793.6 b	3.62 bc	65.17 a
	۱۵ آذر ۶ December	5.61 bc	1.38 cd	3.94 bc	1670.39 c	3.81 abc	63.56 a
	۳۰ آذر ۲۱ December	5.16 cd	1.23 de	3.83 cd	1596.10 c	4.22 ab	67.41 a
	۱۵ دی ۵ January	4.88 d	1.08 e	3.33 d	1375.58 d	4.59 a	63.47 a
	۳۰ دی ۲۰ January	4.7 d	1.05 e	3.33 d	1011.96 e	4.64 a	46.98 b
	بوشهر Bushehr	5.47 ab	1.41 a	4.17 a	1774.12 a	3.87 ab	67.15 a
	همدان Hamedan	5.35 b	1.44 a	3.63 b	1503.37 c	3.59 b	52.57 b
بوم گونه Ecotype	اصفهان Esfahan	6.08 a	1.42 a	4.07 ab	1620.51 b	4.27 a	67.66 a

۲). به‌طور کلی تاریخ کاشت اول موجب تولید گیاهانی با تعداد گره و طول میانگره بیشتر شد. احتمالاً این افزایش به دلیل طولانی شدن دوره رشد گیاه است و با تأخیر در کاشت از میزان طول میانگره هر سه بوم گونه کاسته می‌شود. تحقیقات نشان داده است که کاشت زودتر موجب تولید گیاهانی با تعداد گره و طول میانگره بیشتر می‌شود (Behdani and AL- Ahmadi, 2008). بر اساس تحقیقات، اندازه میان گره‌ها و تعداد گره‌ی بوم گونه‌های رازیانه تحت تأثیر بوم گونه قرار دارد (Ahmadi Khandangholi et al., 2014).

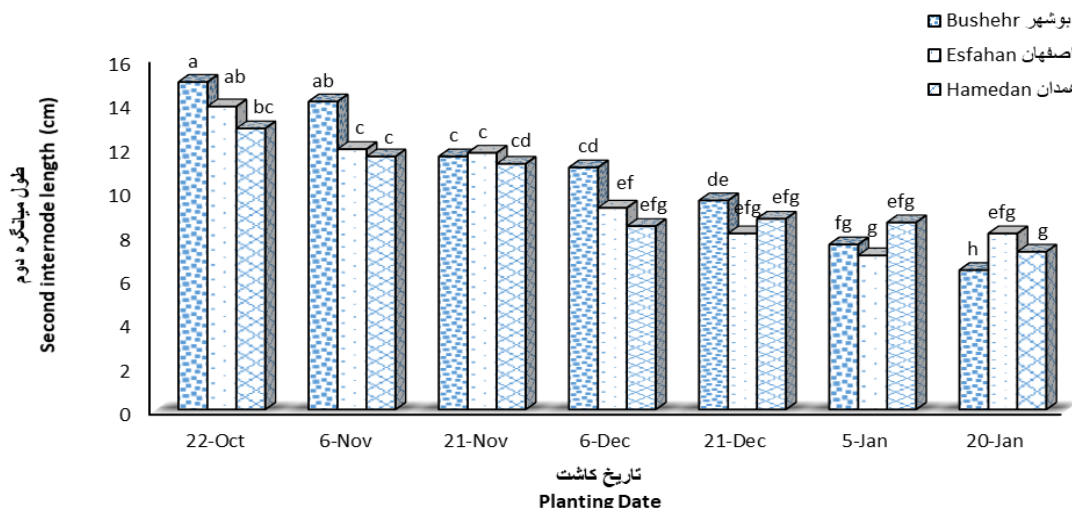
تعداد چتر در شاخه فرعی: تاریخ کاشت و بوم گونه ($P < 0.01$) و همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت در بوم گونه ($P < 0.05$) اثر معنی‌داری بر تعداد چتر در شاخه‌های فرعی داشتند (جدول ۲). اثر تاریخ کاشت و بوم گونه نشان داد که بیشترین تعداد چتر در شاخه فرعی (۶۶ عدد) در بوم گونه ی بوشهر در تاریخ کاشت ۳۰ مهر حاصل شد. در حالی که کمترین آن (۱۸ عدد) از تیمار بوم گونه‌ی اصفهان در تاریخ کاشت ۳۰ دی ماه به‌دست آمد (شکل ۲). با تأخیر در کاشت تعداد چتر در شاخه فرعی کاهش یافت و بوم گونه‌ی بوشهر بیشترین کاهش را نشان داد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بوم گونه‌های مختلف در زمان‌های کاشت متفاوت به دلیل شرایط محیطی متفاوت

به نظر می‌رسد که مساعد بودن شرایط محیطی در تاریخ کاشت اول موجب بهبود رشد و نمو بهتر گیاه گردیده که این امر در نهایت منجر به افزایش قطر ساقه شد. برتری معنی‌دار قطر ساقه در کاشت زودتر نیز می‌تواند در اثر رشد رویشی طولانی تر و در نتیجه حجم بیشتر مواد فتوسنتزی مازاد بر نیاز گیاه باشد که در ساقه ذخیره شده‌اند و موجب افزایش قطر ساقه و رشد گیاه شده‌اند. محمدپور و همکاران (Mohammad Pour et al., 2013) نیز در ارزیابی اثر تاریخ کاشت بر مرزه‌ی تابستانه دریافتند که با تأخیر در کاشت قطر ساقه کاهش یافته و بیشترین قطر در تاریخ کاشت اول (۲۲ فروردین) حاصل شد.

طول میانگره دوم: نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت ($P < 0.01$) و بوم گونه ($P < 0.05$) و اثر متقابل تاریخ کاشت و بوم گونه ($P < 0.05$) بر طول میانگره دوم معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی برهمکنش تاریخ کاشت در بوم گونه نشان داد که بیشترین طول میانگره دوم (۱۴/۸۹ سانتی‌متر) در تیمار بوم گونه‌ی بوشهر در تاریخ کاشت ۳۰ مهر حاصل شد در حالی که کمترین آن (۶/۳۳ سانتی‌متر) نیز از همان بوم گونه در تاریخ کاشت ۳۰ دی ماه به‌دست آمد (شکل

بوم‌گونه‌های زیره سبز نیز تأیید شده است (Ghanbari and Khajavi Nejad, 2014).

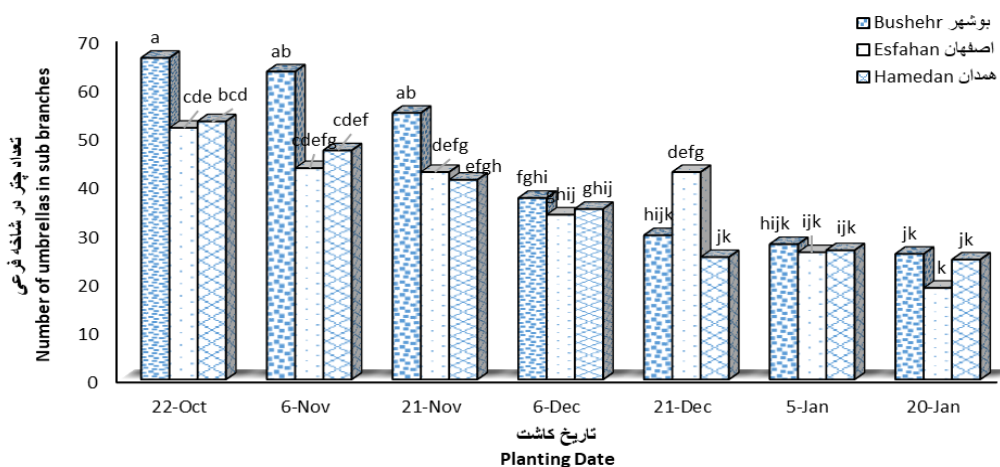
در زمان تطابق مراحل فنولوژی با محیط، پتانسیل تولید چتر متفاوتی دارند. در تحقیقی اثر متقابل بین بوم‌گونه و تاریخ کاشت بر



شکل ۱- اثر تاریخ کاشت و بوم‌گونه بر طول میانگره دوم

Figure 1- Effect of planting date and ecotype on the length of the second internode

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Column with same letter are not significantly different.



شکل ۲- اثر تاریخ کاشت و بوم‌گونه بر تعداد چتر در شاخه فرعی

Figure 2- The effect of planting date and ecotype on the number of umbrellas in the sub branch

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Column with same letter are not significantly different.

شرایط محیطی و تاریخ کشت مناسب نیز وابسته است. احتمالاً در تاریخ کاشت ۳۰ مهر، به دلیل افزایش طول دوره رشد، رشد رویشی و زایشی به خوبی انجام شد و تعداد چتر در ساقه اصلی را افزایش داد. همچنین در میان بوم‌گونه‌ها نیز بوم‌گونه‌ی بوشهر با ۴/۱۷ عدد بیشترین و بوم‌گونه‌ی همدان با ۳/۶۳ عدد کمترین تعداد چتر در ساقه‌ی اصلی را داشت (جدول ۳). تعداد چتر در ساقه‌ی اصلی در

تعداد چتر در ساقه‌ی اصلی: نتایج نشان داد تاریخ کاشت و بوم‌گونه ($P < 0.01$) و بوم‌گونه ($P < 0.05$) اثر معنی‌داری بر تعداد چتر در ساقه‌ی اصلی دارند. اما اثر متقابل تاریخ کاشت و بوم‌گونه معنی‌دار نبود (جدول ۲). میانگین تعداد چتر در ساقه‌ی اصلی در تاریخ ۳۰ مهر بیشترین (۴/۵۵ عدد) و در تاریخ ۳۰ دی ماه کمترین (۳/۳۳ عدد) تعداد را نشان داد (جدول ۳). بنابراین تعداد چتر علاوه بر ژنوتیپ به

بوم‌گونه‌ی بوشهر بیشتر از سایر بوم‌گونه‌ها بود که نشان از پتانسیل ژنتیکی بوم‌گونه است. نوروزی شهری و همکاران (Norouzi et al., 2015) دریافتند که توده‌های رازیانه از نظر تعداد چترهای اصلی تفاوت معنی‌دار داشته به‌طوری‌که توده‌ی زنجان دارای بیشترین و اصفهان و همدان کمترین تعداد چتر در ساقه‌های اصلی را داشتند.

عملکرد دانه: تاریخ کاشت و بوم‌گونه تفاوت معنی‌داری ($P < 0.01$) را بر عملکرد دانه نشان دادند و اثر متقابل این دو در این مورد معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت اول (۳۰ مهر) به میزان ۲۰۲۶/۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که با عملکرد حاصل از تاریخ کاشت دوم (۱۵ آبان) با تولید ۱۹۵۴/۴۵ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌دار نداشت. همچنین عملکرد دانه در تاریخ ۳۰ مهر نسبت به کمترین عملکرد (حاصل از تاریخ کاشت ۳۰ دی) با تولید ۱۰۱۱/۹۶ کیلوگرم در هکتار به میزان ۵۰ درصد عملکرد محصول را افزایش داده است (جدول ۳). بر اساس نتایج، برتری عملکرد در تاریخ کاشت اول مشاهده گشت و با تأخیر در کاشت از این برتری کاسته شد. در مجموع با تأخیر در کاشت به دلیل کاهش طول دوره رشد، رشد رویشی و کاهش در اجزای عملکرد گیاه، عملکرد دانه نیز کاهش یافت. جوادی هدایت آبادی و همکاران (Javadi Hedayat Abadi et al., 2015) دریافتند که گیاهان کشت شده در تاریخ کاشت اسفندماه و فروردین ماه عملکرد بیشتری از گیاهان کشت شده در اردیبهشت ماه در شرایط مشهد داشتند. همچنین بیشترین عملکرد دانه را بوم‌گونه‌ی بوشهر با ۱۷۷۴/۱۲ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد درحالی‌که بوم‌گونه‌ی همدان با ۱۵ درصد کاهش نسبت به بوشهر کمترین عملکرد دانه را داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که بوم‌گونه‌ی بوشهر به دلیل داشتن بیشترین تعداد چتر در بوته (که از مهمترین اجزای عملکرد با ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار $r = 0.81$ است) قابلیت تولید بالاتری از سایر بوم‌گونه‌ها را دارد که در نتیجه از عملکرد بالاتری برخوردار شد. همچنین احتمالاً تکامل در طول سالیان متمادی در شرایط آب و هوایی گرم، سبب بهبود تحمل و تطابق بوم‌گونه‌ی بوشهر نسبت به گرما شده است. همین امر سبب برتری قابل توجه بوم‌گونه بوشهر نسبت به سایر بوم‌گونه‌ها در شرایط آب و هوایی در منطقه مورد مطالعه گردید. رضایی‌چیان و همکاران (Rezaei chianeh et al., 2012) تفاوت عملکرد بوم‌گونه‌ی رازیانه از میر را با دو بوم‌گونه‌ی همدان و گازی آنتپ تأیید کردند.

درصد اسانس: این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تاریخ کاشت و بوم‌گونه ($P < 0.01$) قرار گرفت. در حالی‌که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج نشان داد که با تأخیر در کاشت افزایش ۳۱ درصدی در درصد اسانس رازیانه حاصل می‌شود به گونه‌ای که

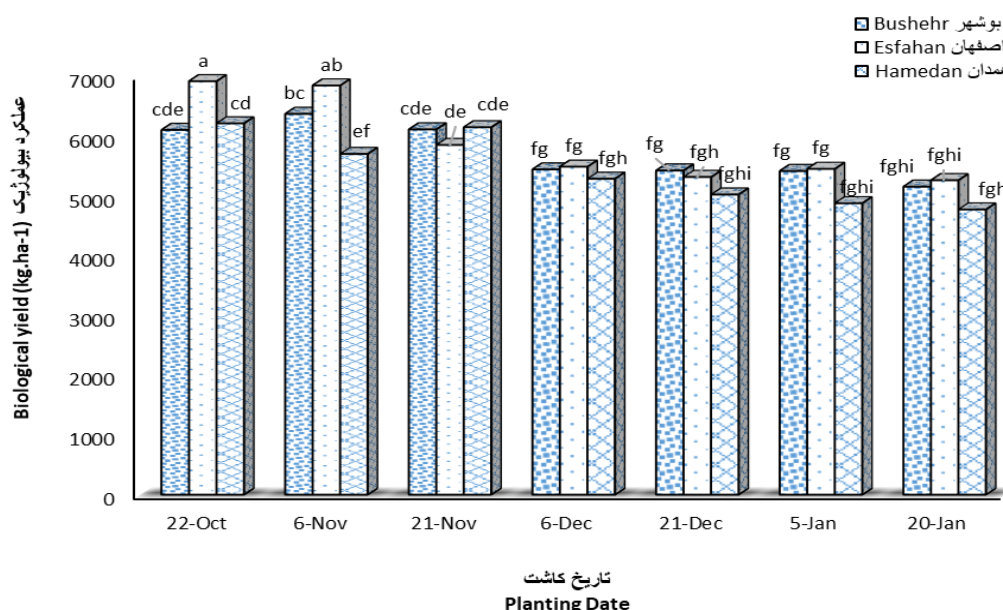
بیشترین درصد اسانس (۴/۶۴ درصد) از تاریخ کاشت هفتم (۳۰ دی) حاصل شد که با تاریخ کاشت ششم (۱۵ دی) با ۴/۵۹ درصد، تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین درصد اسانس نیز از تاریخ کاشت اول (۳۰ مهر) به میزان ۳/۱۸ درصد حاصل شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که با کاشت دیر هنگام رازیانه به دلیل دوره‌ی رشد رویشی کوتاه و بالا رفتن دمای هوا و مصادف شدن فاز زایشی گیاه با گرما، میزان اسانس افزایش یافت. عادل و همکاران (Adeli et al., 2013) در پژوهش خود بر روی بوم‌گونه‌های بابونه اظهار داشتند که همبستگی منفی و معنی‌داری میان درصد اسانس و وزن خشک سرشاخه وجود داشت. جبارپور و همکاران (Jabar Pour et al., 2014) دریافتند که اثر تاریخ کاشت بر درصد اسانس نعنای فلفلی معنی‌دار بود و بیشترین درصد اسانس مربوط به گیاهان کاشته شده در تاریخ کاشت دوم، اواسط خرداد به میزان ۴/۴۷ درصد بود. از میان بوم‌گونه‌ها نیز بوم‌گونه‌ی اصفهان با ۴/۲۷ درصد اسانس بیشترین و بوم‌گونه‌ی همدان با ۳/۵۹ درصد کمترین درصد اسانس را داشت (جدول ۳). بالا بودن درصد اسانس در بوم‌گونه‌ی اصفهان نشان از بالاتر بودن منبع ذخیره اسانس در بوم‌گونه مذکور نسبت به سایر بوم‌گونه‌ها است. در شرایط تأخیر در کاشت رشد گیاه کاهش یافته و احتمالاً گیاه کربن در دسترس را به جای افزایش رشد، صرف تولید متابولیت‌های ثانویه می‌کند. بنابراین تشکیل و تجمع اسانس در گیاهان تحت شرایط تنش، تمایل به افزایش دارد (Banayan et al., 2008).

عملکرد اسانس: تنها اثر بوم‌گونه بر عملکرد اسانس معنی‌دار بود و اثر تاریخ کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و بوم‌گونه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد اسانس از بوم‌گونه‌ی اصفهان به میزان ۶۷/۶۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که با بوم‌گونه‌ی بوشهر به میزان ۶۷/۱۵ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۳). بوم‌گونه‌های رویش یافته در مناطق مختلف جغرافیایی، به جهت ژنتیک مختلف دارای درصد و عملکرد اسانس متفاوت نیز خواهند بود. در این پژوهش با وجود عملکرد کمتر بوم‌گونه‌ی اصفهان نسبت به بوم‌گونه‌ی بوشهر، درصد اسانس بالاتری داشته و عملکرد اسانس (که حاصل ضرب مقدار اسانس در عملکرد دانه است) نیز بیشتر از بوم‌گونه بوشهر بود. در واقع بالاتر بودن عملکرد اسانس بوم‌گونه اصفهان نسبت به دو بوم‌گونه دیگر را می‌توان به درصد اسانس بالای آن نسبت داد (جدول ۳). میزان اسانس به شدت تحت تأثیر ژنتیک قرار دارد.

عملکرد بیولوژیک: نتایج اثر معنی‌دار تاریخ کاشت، بوم‌گونه ($P < 0.01$) و اثر متقابل تاریخ کاشت و بوم‌گونه ($P < 0.05$) را تأیید کرد (جدول ۲). بررسی اثر متقابل تاریخ کاشت و بوم‌گونه نشان داد

کاشت و اکوتیپ‌های مختلف نیز بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بوم‌گونه‌ی کرمان در تاریخ کاشت ۵ اسفند بیشترین عملکرد بیولوژیک و دانه را تولید کرد و بوم‌گونه‌ی یزد در تاریخ کاشت ۵ دی ماه کمترین مقدار را برای این دو صفت دارا بود (Ghanbari and Khajavi Nejad, 2014).

که بوم‌گونه‌ی اصفهان در تاریخ کاشت اول (۳۰ مهر ماه) با ۶۹۱۴/۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد بیولوژیک و بوم‌گونه‌ی همدان در تاریخ کاشت آخر (۳۰ دی ماه) با ۴۷۶۹/۴ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد بیولوژیک را داشت. به عبارت دیگر تأخیر در کاشت به ۳۰ دی، ۳۱ درصد از عملکرد بیولوژیک را نسبت به کاشت ۳۰ مهر کاهش داد (شکل ۳). در پژوهشی اثر متقابل تاریخ‌های مختلف



شکل ۳- اثر تاریخ کاشت و بوم‌گونه بر عملکرد بیولوژیک

Figure 3- Effect of planting date and ecotypes on biological yield

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Column with same letter are not significantly different.

جهت افزایش در اجزای آن شد. همچنین با تأخیر در کاشت از ۳۰ مهر به ۳۰ دی ماه، درصد اسانس به بیشترین مقدار رسید. احتمالاً این امر به دلیل کاهش طول دوره‌ی زایشی و مواجه شدن این دوره با افزایش گرمای انتهای فصل باشد. در بین بوم‌گونه‌ها نیز بوم‌گونه‌ی بوشهر به دلیل داشتن تطابق پذیری بیشتر به منطقه و همچنین بیشترین عملکرد دانه و تعداد چتر در تاریخ کاشت ۳۰ مهر ماه، به‌عنوان مناسب‌ترین بوم‌گونه و مطلوب برای کشت از نظر تولید دانه در منطقه‌ی مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد و چنانچه هدف تولید اسانس باشد بوم‌گونه اصفهان جهت کشت در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد.

نتیجه‌گیری

یکی از اهداف تعیین تاریخ کاشت مناسب برای یک گیاه این است که گیاه ضمن بهره‌وری حداکثری از عوامل محیطی در طول فصل رشد، به تنش‌های زنده و غیرزنده مثل آفات، بیماری‌ها، سرما و گرما نیز برخورد نکند. به عبارت دیگر گیاه بتواند طول دوره رشد خود را در محیطی نسبتاً ایده‌آل سپری کند. با توجه به یافته‌های این پژوهش و در راستای تعیین سهم ژنوتیپی نسبت به تاریخ کاشت، به‌کارگیری بوم‌گونه‌های مختلف در تاریخ‌های متفاوت کاشت نشان داد که تاریخ کاشت اول با مساعد کردن عوامل محیطی در بروز پتانسیل ژنتیکی بوم‌گونه‌ها (به دلیل طولانی بودن طول دوره رشد نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت)، منجر به افزایش عملکرد به

References

- Adeli, N., Alizadeh, M. A., Mohammadi, A., and Jafari, A. A. 2013. Anthemis of populations Chamomile some in

- yield oil essential and traits physiological, Morphological of Evaluation hussknetii species. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi) 104: 185-192.
2. Adugna, W., and Labuschagne, M. T. 2003. Parametric and nonparametric measures of phenotypic stability in linseed (*Linum usitatissimum* L.). Euphytica. 129: 211-218.
 3. Ahmadi Khandanagoli, Y., Akbari, Gh. AS., and Allah Dadi, A. 2014. Effect of drought stress on some growth indices of fennel aphid. Second National Conference on Applied Research in Agricultural Sciences. (In Persian).
 4. Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L., and Rastgoo, M. 2008. Yield and seed quality of plantago ovata *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Industrial Crops and products 27: 11-16.
 5. Behdani, M. A., and Jami AL-Ahahmadi, M. 2008. Evaluation of growth and yield of safflower cultivars in different planting dates. Iranian Journal of Field Crops Research 6 (2): 245-254. (in Persian with English abstract).
 6. Choupan, F., Banayan, M., Asadi, Gh., and Shabahang, J. 2014. Effect of Planting Date and Density on Yield and Yield Components of Pumpkin Skin Paper (*Cucurbita pepo* L.) in Mashhad. Journal of Agroecology 6 (2): 383-392. (In Persian).
 7. Farhang Mehr, S., Akbari, Sh., and Rezvan Bidakhti, Sh. 2014. Effect of planting date and plant density on flower yield and some morphological characteristics of matricaria (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of plant Ecophysiology 6 (16): 79-87. (in Persian with English abstract).
 8. Ghanbari, J., and Khajavi Nejad, Gh. 2014. Evaluation of yield and agronomic traits of cumin ecotypes in different planting dates in Kerman region. Journal of Agroecology 6 (1): 142- 151. (In Persian).
 9. Goldani, M. 2010. Effect of irrigation regimes on morpho-physiological Sesame ecotypes (*Sesamum indicum* L.) under greenhouse conditions. Journal of Agricultural Ecology 2 (4): 658- 666. (In Persian).
 10. Jabar Pour, S., Zehtab Salmasi, S., Alyari, H., Javanshir, A., and Shakiba, M. R. 2014. Effect of date and planting density on yield and essential oil content of peppermint. Agroecology 5 (4): 416- 423. (In Persian).
 11. Javadi Hedayat Abad, F., Nezami, A., Kafi, M., and Shabahang, J. 2015. The reaction of black seeds (*Nigella sativa* L.) ecotypes to planting times in Mashhad conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (4): 632-640. (In Persian).
 12. Kamandi, A., Nezami, A., Kafi, M., and Javadian, S. A. 2013. Response of Ecotypes of Kochia (*Scoparia Kochia*) to Sowing Date under Mashhad Climate. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (3): 437- 445. (In Persian).
 13. Kiyabakht, M., Zeinali, E., Siahmarguee, A., Sheikh, F., and Mohammadi Pouri, G. 2014. Effect of sowing date on grain yield and yield components and green pod yield of three faba bean cultivars in Gorgan climatic conditions. Electronic Journal of Crop Production 8 (1): 99-119. (In Persian with English abstract).
 14. Mohammadpour, M., Ghasemnejad, A., Lebaschy, M. H., Abbaszadeh, B., and Azadbakht, M. 2013. Effects of sowing date and plant density on morphological characteristics and yield of Summer savory (*Satureja hortensis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29 (3): 621- 634. (In Persian with English abstract).
 15. Norouzi Shahri, F., Puriyosf, M., Tavakoli, A., Saba, J., and Yazdinejad, A. 2015. Evaluation of the function of some fennel ecotypes (*Foeniculum vulgare* Mill.) native to Iran under drought conditions. Iranian Crop Science 46 (1): 49-56. (In Persian).
 16. Omid Beigi, R. 2000. Approaches to the production and processing of medicinal plants (2). the Phoenix. Pp. 70-78.
 17. Rabeie, M. 2011. Determination of the best sowing date, amount of seed and planting space of faba bean Barkat variety as second cultivation in Guilan. Rice Research Institute Publications. 33p.
 18. Rassam, Gh., Naddaf, M., and Sefidkon, F. 2007 . Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of Anise (*Pimpinella anisum* L.). Pajouhesh & Sazandeg 75 pp: 127-133. (in Persian with English abstract).
 19. Rezaei Chianeh, A., Zahtab Salmasi, S., Ghasemi Golazani, K., and Del Azar, A. S. 2012. Effect of irrigation treatments on yield and yield components of three fennel populations. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 22 (4): 57-70. (In Persian).
 20. Sefeidkon, F. 2002. Quality and quantity evaluation the essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) In different growth stages. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 7: 85-104. (in Persian with English abstract).
 21. Siahmargoui, A., Azizi, K., Nezami, A., and Jahani Kondori, M. 2011. Investigation of frost tolerance of fennel ecotypes grown under field under controlled conditions. Journal of Horticultural Science 25: 64-72.
 22. Tomar, S. S. 1995. Effect of soil hydrothermal regimes on the performance of safflower planted on different dates. Journal of Agronomy and. Crop Science 165: 141-152.



Morphological Response, Grain Yield and Essential Oil of Three Fennel Ecotypes to Different Times of Planting

S. Kiani^{1*} - S. A. Siadat² - M. R. Moradi Telavat³ - A. Poshtdar⁴

Received: 18-12-2017

Accepted: 17-04-2018

Introduction

Environment condition and appropriate planting date are the most important factors in producing optimal yield. Different planting dates lead to adaptation of plant vegetative growth period to different temperatures, daytime, and solar radiation. Therefore, it affects the development, production of biomass and ultimately plant yield. The effect of environmental factors on phenological stages of the plant makes the planting date differ from region to region and between genotypes in one region. The characteristics of the growth and performance of ecotypes vary from region to region that indicates interaction among ecotype, regions and environment. The interaction between genotype and environment indicates that selection of cultivars based on the performance of an environment is not suitable standard. It is better to evaluate genotypes in a wide range of environmental changes in different locations and times. For this purpose, the information obtained from the estimation of compatibility and stability of genotypes performance is a more reliable criterion for the development of cultivars and their cultivation and will increase the efficiency of selection and introduction of cultivars. In Khuzestan, due to the lack of suitable and recommended planting dates for fennel plants, decision making about optimal planting time is very important and it is one of the important factors for achieving maximum plant yield. Therefore, the present study aimed at evaluating three fennel ecotypes in different planting dates and determining the best planting time for this plant under Ahwaz climatic conditions.

Materials and Methods

This experiment was carried out as split plot based on randomized complete block design with three replications at research farm of Agriculture and Natural Resources Science University of Khuzestan in 2016-2017. Seven planting date (22-Oct, 6-Nov, 21-Nov, 6-Dec, 21-Dec, 5-Jan, 20-Jan) were assigned as main plots and three ecotypes (Bushehr, Hamedan, Esfahan) were assigned made up of sub plots. Number of nodes, stem diameter, second internode length, umbrella number per main stem, umbrella number per sub branch, seed yield, essential oil percentage, essential oil yield and biological yield were evaluated after harvesting. The data were analyzed by the SAS statistical package (Ver.9.2) and means were compared with LSD test at the 5% level of probability.

Results and Discussion

The results showed that different planting dates had significant effect on fennel ecotypes. The maximum internode length and umbrella number per branch were obtained from the first planting date in the Bushehr ecotype. The delayed sowing date had a decreasing effect on morphological traits, so that the highest number of nodes in the main stem (6.7), stem diameter (1.97 cm), umbrella number per main stem (4.55) were observed at sowing date October 22. By delaying planting to January, the amount of traits decreased. The highest grain yield ($2026.5 \text{ kg ha}^{-1}$) was obtained from the sowing date of October 22 and Bushehr ecotype ($1774.12 \text{ kg ha}^{-1}$). The highest percentage of essential oil was obtained from sowing date of January 20 (46.4%) and Isfahan ecotype (4.27%). The highest essential oil yield of Isfahan ecotype was 67.66 kg ha^{-1} , which had no significant difference with Bushehr ecotype (67.15 kg ha^{-1}) and were in a group.

1- Ph.D. student, Physiology of Crop Plants, Agriculture and Natural Resources Science University of Khuzestan

2- Professor, Agronomy, Department of Plant Production and Genetic, Agriculture and Natural Resources Science University of Khuzestan

3- Associate Professor, Physiology of Crop Plants, Department of Plant Production and Genetic, Agriculture and Natural Resources Science University of Khuzestan

4- Agronomy Ph.D., Department of Plant Production and Genetic, Agriculture and Natural Resources Science University of Khuzestan

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

Conclusions

According to the results, the first planting date had the highest yield and components yield, due to the favorable environmental factors in the occurrence of the genetic potential of ecotypes. Also, with delaying planting date from October 22 to January 20, the percentage of essential oil reached the highest. This is probably due to the reduction of reproduction period and the occurrence of this period with increasing heat at the end of the season. Among ecotypes, Bushehr ecotype due to more adaptation to the region, as well as the highest grain yield and number of umbrellas is proposed as the most suitable ecotype for cultivation in the study area and if the objective is the production of essential oils, Isfahan ecotype is recommended for cultivation in the study area.

Keywords: Essential oil percentage, Grain yield, Planting date, Stem diameter, Umbrella number



تأثیر کودهای نانو کلات آهن و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت شرایط تنش کمبود آب

یزدان ایزدی^{۱*} - سید علی محمد مدرس ثانوی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی نانو کود کلاته آهن و منگنز در کاهش اثرات کمبود آب بر عملکرد دانه، عملکرد پروتئین و برخی خصوصیات کمی گیاه ماش رقم پرتو، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده بر اساس طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. در این تحقیق تنش کم‌آبی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل بدون قطع آبیاری (آبیاری مطلوب)، قطع آبیاری در مرحله زایشی (تشکیل پنجمین برگ سه برچه‌ای، گل‌دهی) تا وقتی که ۷۰٪ ظرفیت زراعی تخلیه گردد، قطع آبیاری در مرحله رویشی (ارتفاع ۱۶-۱۲ سانتی‌متری، رشد اولیه) تا وقتی که ۷۰٪ ظرفیت زراعی تخلیه گردد و محلول پاشی به‌عنوان عامل فرعی در ۱۰ سطح شامل تیمار بدون محلول پاشی، محلول پاشی آب خالص (مقطر)، محلول پاشی کودهای نانو کلات شامل: آهن یک در هزار، آهن سه در هزار، منگنز ۱/۵ در هزار، منگنز سه در هزار، آهن یک در هزار + منگنز ۱/۵ در هزار، آهن سه در هزار + منگنز سه در هزار، آهن یک در هزار + منگنز سه در هزار + منگنز ۱/۵ در هزار و آهن سه در هزار + منگنز سه در هزار در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اثر کمبود آب و محلول پاشی نانو کلات آهن و منگنز بر اکثر صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در میان سطوح تنش کم‌آبی، کم‌ترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد برای اکثر صفات مورد مطالعه، اعمال تنش در مرحله زایشی و بیش‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد (آبیاری مطلوب) مشاهده شد. نتایج نشان داد که محلول پاشی سطوح مختلف نانو کلات آهن و منگنز در مراحل رویشی و زایشی موجب افزایش میزان عملکرد و اجزای عملکرد خصوصاً در مرحله‌ی رشد رویشی شد حال آن‌که تیمار شاهد محلول پاشی (بدون محلول پاشی) کم‌ترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد را داشت. همچنین، اثرات متقابل نانو کلات آهن و منگنز و سطوح مختلف تنش کمبود آب بر همه‌ی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. قطع آبیاری در مرحله زایشی موجب کاهش و استفاده از نانو ذرات به‌ویژه تیمار نانو کلات ۱ در هزار آهن + ۳ در هزار منگنز موجب افزایش میزان عملکرد دانه (۱۷۶۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پروتئین (۵۱۹/۲ کیلوگرم در هکتار) گردید. بنابراین، به‌نظر می‌رسد عوارض جانبی ناشی از کمبود آب می‌تواند با محلول پاشی نانو کلات آهن و منگنز کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، حبوبات، عملکرد پروتئین، عملکرد دانه

مقدمه

را در دنیا به خود اختصاص داده‌اند. ماش با نام علمی *Vigna radiata* L. Wilczek گیاهی از خانواده بقولات می‌باشد که نسبت به سایر حبوبات از لحاظ سطح زیر کشت و تولید در برخی کشورها و نیز در مقیاس جهانی از درجه‌ی اهمیت بالاتری برخوردار است. در ایران نیز کشت حبوباتی چون ماش به‌واسطه‌ی داشتن ۲۲ تا ۲۸ درصد پروتئین از منبع گیاهی اهمیت بیشتری نسبت به سایر حبوبات دارد (Khodabakhsh et al., 2011). سطح زیر کشت ماش در دنیا حدود ۵/۳ میلیون هکتار و تولید سالانه‌ی آن ۲/۳ میلیون تن است. در ایران نیز سطح زیر کشت این گیاه حدود ۲۶/۳۰۰ هکتار و تولید سالانه‌ی آن ۲۶/۶۰۰ تن می‌باشد (Firouzabadi and Farahani, 2018).

حبوبات سومین خانواده از گیاهان گل‌دار پس از خانواده کاسنی و ثعلبیان است (Smartt, 1990) که شامل بیش از ۷۳۰ جنس و ۱۹۰۰۰ گونه با توزیع گسترده در جهان می‌باشد (Graham and Carroll, 2003). از لحاظ اقتصادی، حبوبات پس از غلات در رده‌ی دوم تولید محصولات زراعی هستند و ۲۷٪ از تولید محصولات غذایی

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

(Email: izady.nike70@gmail.com)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v16i3.70133

قسمت اعظم ماش در کشورهای در حال توسعه یعنی مناطقی که کم و بیش با تنش خشکی مواجه هستند تولید می‌شود. تولید قابل اطمینان در اکثر این مناطق وابسته به حداقل آبیاری است با این وجود، منابع آبی محدود هستند (Rhode, 1999).

کشور ایران با متوسط بارش ۲۴۰ میلی‌متر در زمهره مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه‌بندی می‌گردد (Cakmak, 2000). به دلیل ویژگی‌های خاص مناطق نیمه‌خشک از جمله میزان کم بارندگی، پراکنش نامنظم آن و دمای بالا سبب شده است تا آب به‌عنوان اولین عامل محدودکننده تولید ماش در این مناطق معرفی گردد. بنابراین، در مناطق کم‌باران مانند ایران، در برنامه‌ریزی آبیاری بایستی به بازدهی آب مصرف‌شده برای آبیاری به‌طور جدی توجه شود (El Hafid et al., 1998).

تغذیه‌ی مناسب گیاهان در مقاومت آن‌ها به انواع تنش‌های زنده و غیرزنده نقش بسیار مؤثری دارد. گیاهی که خوب تغذیه شده و به مقدار کافی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف را دریافت کرده باشد، مقاومت بهتری به خشکی خواهد داشت و در این راستا کمیت و کیفیت محصول نیز تحت‌تأثیر قرار خواهد گرفت (Taiz and Zeiger, 2002). عنصر آهن به‌عنوان عامل اکسایش و کاهش در بخشی از ساختمان ناقلائی که در ترافرستی الکترون دخالت دارند نظیر سیتوکروم‌ها و پروتئین‌های غیر هم که در فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن نقش دارند، وجود دارد (Taiz and Zeiger, 2002). نقش این عنصر در تثبیت نیتروژن به‌خوبی مورد بررسی قرار گرفته است (Balakrishnan, 2000; Ruiz et al., 2000; Welch et al., 1991). منگنز در فعال‌سازی واکنش‌های متابولیکی مهم در گیاهان، تسریع در جوانه‌زنی و رسیدگی گیاه، افزایش قابلیت دسترسی به فسفر و کلسیم، شرکت در واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء و سیستم‌های انتقال الکترون، جزء ساختمانی متالوپروتئین‌ها، کمک به متابولیسم آهن و آسمیلاسیون نیترات، افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیر زنده و تثبیت نیتروژن در بقولات نقش مهمی را برعهده دارد (Fageria and Baligar, 2001).

استفاده از فناوری نانو در کلیه عرصه‌ها از جمله کشاورزی در حال گسترش می‌باشد. فرآورده‌های نانو شامل مخلوطی از ذره‌های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند خصوصیات فیزیکوشیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (Monica and Cremonini, 2009). گزارش‌های پراکنده‌ای در مورد اثر عناصر آهن و منگنز در افزایش عملکرد ماش وجود دارد و نتایج مطالعات موجود بیانگر واکنش متفاوت گونه‌های مختلف گیاهان به مواد غذایی تهیه شده به شکل نانو می‌باشد (Zhu et al., 2008). اما مطالعه‌ای در مورد اثر این عناصر هنگام بروز تنش کم‌آبی و نقش آن‌ها روی عملکرد کمی و کیفی گیاه ماش صورت نگرفته است. با توجه به این‌که اثر محلول‌پاشی این عناصر در شرایط تنش کم‌آبی روی ماش مطالعه نشده‌است، این تحقیق برای درک جنبه‌های مختلف اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و منگنز بر کمیت و کیفیت ماش تحت تنش کم‌آبی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت‌مدرس تهران با موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۸ دقیقه شرقی و ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ انجام شد. به‌منظور تعیین بافت خاک، میزان عناصر معدنی (نیتروژن، آهن و منگنز) درصد کربن آلی و pH خاک از عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک به روش زیگزاگ نمونه‌برداری شد. نتایج آزمایش خاک نشان‌دهنده آن بود که خاک مزرعه بافتی شنی-لومی داشت و میزان ماده آلی، نقطه پژمردگی و درصد نیتروژن کل خاک به‌ترتیب برابر ۲/۳۲، ۶/۷۸ و ۰/۱۳۴ درصد و همچنین غلظت عناصر آهن و منگنز برابر با ۴/۶۷ و ۶/۴ پی‌پی‌ام بود. همچنین، آمار و اطلاعات هواشناسی منطقه آزمایشی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- متوسط دمای ماهانه، میانگین سرعت باد ماهانه و میزان بارندگی در طی فصل رشد گیاه ماش در سال ۱۳۹۳

Table 1- The average of monthly temperature, monthly mean wind speed and precipitation during the growing season mung bean plant in 2013

ماه Month	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	تیر June	مرداد July	شهریور August	مهر September
میانگین دمای ماهانه (°C) Average monthly temperatures	14.2	15.9	21.5	27.7	31.7	30.8	29.6
میانگین سرعت باد ماهانه (m s ⁻¹) Average monthly wind speed	2.7	2.3	2.9	2.5	3.0	2.3	3.2
میزان بارندگی ماهانه (mm) Monthly rainfall	6.0	6.4	7.5	0	0	0	0

آزمایش خاک و غنی بودن خاک مزرعه از نظر فسفر و پتاسیم (به ترتیب ۳۲ و ۳۱۴ پی پی ام)، نیازی به کودپاشی زمین در زمان تهیه بستر نبود. کود نیتروژنی به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار به فرم اوره (استارتر) هنگام کاشت، قبل از آبیاری داده شد. مبارزه با علفهای هرز نیز به صورت وجین دستی در طول دوره رشد انجام شد. در تیمار آبیاری مطلوب (عدم اعمال تنش کم آبی) آبیاری کرتها به میزان لازم و با توجه به توصیههای موجود مبنی بر وجود حداقل دو مرتبه آبیاری در هفته برای ماش، دور آبیاری سه روز در نظر گرفته شد (Uddin and Parvin, 2013). تیمار تنش کم آبی در دو مرحله ی تنش، مرحله رشد رویشی، ابتدای ظهور برگ چهارم (استقرار کامل گیاه) تا هنگام ظهور اولین گل بر روی گیاه ادامه داشت و با ظهور گلدهی این تیمار همزمان با تیمار شاهد آبیاری شد، همچنین تیمار اعمال تنش در مرحله رشد زایشی از ابتدای گلدهی تا رسیدگی ۹۵ درصد غلافها اعمال شد (Uddin and Parvin, 2013). میزان پتانسیل رطوبتی خاک با توجه به درصد رطوبت حجمی (اعداد به دست آمده از TDR) در زمان تنش که با دستگاه TDR اندازه گیری شده بود، محاسبه شد. برای کالیبره کردن دستگاه TDR بدین ترتیب عمل شد که قبل از کار گذاشتن لوله های TDR مزرعه آبیاری گردید. این رطوبتسنجها در یک نقطه برای هر کرت، به فواصل عرضی ۳/۶ متر (با توجه به فاصله ی کرتها از یکدیگر) در نظر گرفته شدند. در هر نقطه یک رطوبتسنج، در عمق ۲۴ تا ۳۰ سانتی متر، نصب شد. برای نصب رطوبتسنجها ابتدا به وسیله اگر، حفره هایی با ابعاد متناسب با اندازه رطوبتسنج در زمین حفر و بعد از قرار دادن رطوبتسنجها در عمقهای مشخص، نسبت به پر کردن و متراکم کردن خاک حفره ها تا حصول تراکم زمین در حالت اولیه اقدام شد. در این مرحله، برای ارزیابی دقت حسگرها، اقدام به نمونه برداری از خاک و تعیین رطوبت آن شد. این آزمایش در خاکی با بافت لومی شنی انجام گرفت. همزمان با داده برداری از رطوبت خاک با استفاده از TDR اقدام به ثبت داده ها (هر ۲۴ ساعت یکبار به مدت ۱۵ روز) گردید. نمونه خاک از عمق معادل طول میله (۲۴ تا ۳۰ سانتی متر) هریک از حسگرها با استفاده از مته خاک صورت گرفت و مقدار رطوبت با روش توزین اندازه گیری شد. این کار با ۱۵ نوبت داده برداری ادامه یافت. چگالی ظاهری هر یک از نمونه های خاک، بعد از پایان این مرحله هر یک با سه تکرار از روش sand bottle و در همان عمق اندازه گیری شد تا برای تبدیل رطوبت وزنی به رطوبت حجمی مورد استفاده قرار گیرد. در آزمایشگاه میزان رطوبت وزنی، درصد رطوبت حجمی (حاصل ضرب درصد رطوبت وزنی در وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴۱ گرم بر سانتی متر مکعب بر اساس آزمون خاک) اندازه گیری و درصد آب قابل استفاده (D) بر اساس معادله ۱ (Martin et al., 1991) تعیین و سپس با استفاده از معادله ۲ درصد تخلیه آب قابل استفاده محاسبه شد.

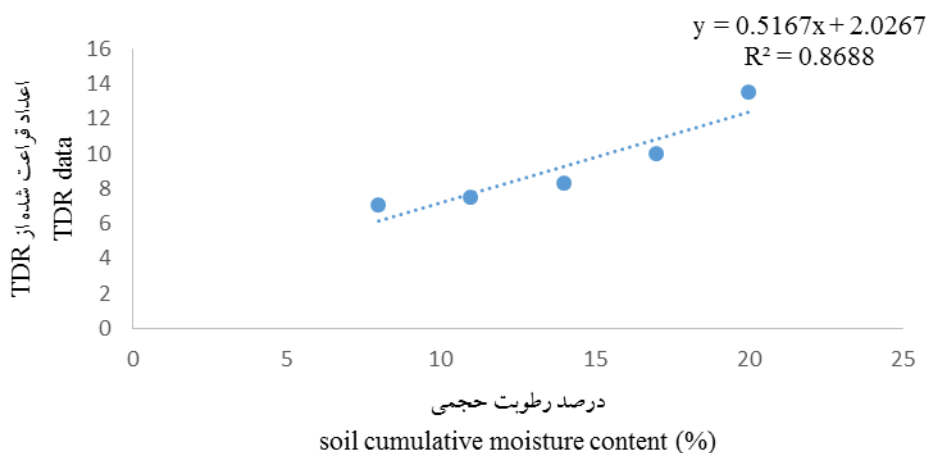
آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با عامل تنش کم آبی در کرت های اصلی با سه سطح شامل بدون قطع آبیاری (آبیاری مطلوب)، قطع آبیاری در مرحله زایشی (تشکیل پنجمین برگ سه برچه ای، گل دهی) تا وقتی که ۷۰٪ ظرفیت زراعی تخلیه گردد، قطع آبیاری در مرحله رویشی (ارتفاع ۱۲-۱۶ سانتی متری، رشد اولیه) تا وقتی که ۷۰٪ ظرفیت زراعی تخلیه گردد (Uddin and Parvin, 2013) و عامل محلول پاشی در کرت های فرعی با ۱۰ سطح شامل تیمار بدون محلول پاشی، محلول پاشی آب خالص (مقطر)، محلول پاشی کودهای نانو کلات شامل: آهن ۱ در هزار، آهن سه در هزار، منگنز ۱/۵ در هزار، منگنز سه در هزار، آهن ۱ در هزار + منگنز ۱/۵ در هزار، آهن سه در هزار + منگنز ۱/۵ در هزار و آهن سه در هزار + منگنز ۱/۵ در هزار و آهن سه در هزار و منگنز ۱/۵ در هزار و منگنز سه در هزار و منگنز سه در هزار ایزات و همکاران (Ezzat et al., 2012)، در دو مرحله به فاصله ی دو هفته از هم به دلیل اجتناب از اثر سمیت احتمالی غلظت بالای آن ها (قبل و بعد از اعمال تنش در هر مرحله رشد رویشی و رشد زایشی) انجام شد. محلول پاشی کرت بدون تنش کم آبی همزمان با کرت های دارای تنش رویشی انجام شد (Maleki Farahani et al., 2015). با این غلظت هیچ گونه علائم سمیت آهن و منگنز در گیاه مشاهده نشد. نانو کلات آهن و منگنز حلالیت بسیار بالایی در آب دارند و به راحتی از برگها جذب می شوند. کود نانو کلات آهن ۹ درصد و منگنز ۱۲ درصد نیز پس از بررسی و تأیید مقیاس آن توسط شرکت کارآفرینی و فناوری ایران (کارگزار ستاد ویژه توسعه فناوری نانو) از شرکت خضراء خریداری شد. بر اساس درصد آهن موجود در کودها، نتایج آنالیز خاک و نیاز گیاه ماش (Ezzat et al., 2012) تیمارهای محلول پاشی طراحی گشت. برای محلول پاشی از سمپاش بادی پستی با فشار دائم به حجم ۱۲ لیتر استفاده شد. نوع نازل سمپاش از نوع ماریچی با طرح پاشش مخروط توپر و میزان پاشش ۰/۱ لیتر در مترمربع (۱۰۰۰ لیتر در هکتار) بود. عملیات آماده سازی زمین به وسیله ی شخم، دیسک و ایجاد کرت انجام شد. ابتدا زمین مورد نظر توسط گاوا آهن برگردان دار به عمق ۱۵ سانتی متر شخم زده شد و سپس به منظور خرد کردن کلوخه ها و نرم کردن زمین، عملیات دیسک زنی دوبار و به صورت عمود برهم انجام شد. بذور مورد استفاده در این تحقیق ماش رقم پرتو بوده که از موسسه پاکان بذر اصفهان تهیه و در تاریخ ۲۳ اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس کشت شد. در هر تکرار سه کرت اصلی به فاصله ی دو متر از هم و ۳۰×۳۰ کرت فرعی ایجاد شد. هر کرت شامل پنج ردیف کشت به فاصله ۶۰ سانتی متر بود. طول هر ردیف سه متر و بین هر دو کرت نیز یک ردیف نکاشت (به فاصله ۶۰ سانتی متر) در نظر گرفته شد. فاصله بوته ها روی ردیف های کشت، ۱۰ سانتی متر بود. با توجه به

خاک در نقطه پژمردگی دائم (پتانسیل رطوبتی معادل ۶/۷۸ درصد وزنی و ۹/۵۶ درصد حجمی قرائت شده توسط دستگاه TDR) می‌باشد. از مقایسه رطوبت‌های اندازه‌گیری شده به وسیله حسگرها با روش نمونه‌برداری و توزین، اعتبارسنجی صورت گرفت (Vanclooster *et al.*, 1994). سپس بر اساس داده‌های حاصل از رطوبت حجمی خاک و اعداد قرائت شده TDR، منحنی رطوبت خاک رسم گردید.

$$D(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{FC_i - \theta_i}{FC_i - W_p} \times 100 \quad (1)$$

$$100-D = \text{تخلیه آب قابل استفاده} (\%) \quad (2)$$

که در آن n تعداد نمونه خاک گرفته شده از عمق مؤثر توسعه ریشه، FC_i رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه (پتانسیل رطوبتی معادل ۱۶ درصد وزنی و ۲۲/۵۶ درصد حجمی قرائت شده توسط دستگاه TDR) در نمونه i ام، θ_i رطوبت خاک در نمونه i ام و W_p رطوبت



شکل ۱- منحنی رطوبت خاک به دست آمده از اعداد قرائت شده به وسیله دستگاه TDR و درصد رطوبت حجمی نمونه‌برداری. محور عمودی چپ اعداد قرائت شده به وسیله دستگاه TDR و محور افقی درصد رطوبت حجمی نمونه به دست آمده توسط آون نشان می‌دهد. رگرسیون خطی نقاط که با خطوط بریده آبی نشان داده شده است روی دو محور قابل استناد می‌باشد.

Figure 1- Soil moisture curve from TDR data and soil cumulative moisture content (%). Vertical axis: TDR data, Horizontal axis: Volumetric Soil water content (%) using oven. Blue colored regression line of the three axis is the reference of the graph

اندازه‌گیری شد (Torabian and Zahedi, 2013).

برای تعیین درصد پروتئین دانه، ابتدا با روش اندوفنل آبی (Novozamsky *et al.*, 1974) میزان نیتروژن موجود در بذر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل GBC-Cintra 6، ساخت کشور Australia) اندازه‌گیری شد. سپس میزان پروتئین با ضرب میزان نیتروژن در عدد ۶/۲۵ محاسبه گردید و عدد به دست آمده در عملکرد دانه در هکتار ضرب شده و عملکرد پروتئین به دست آمد (Novozamsky *et al.*, 1974).

تجزیه‌ی آماری

تجزیه واریانس داده‌ها به وسیله نرم‌افزار (SAS 9.4) و دستور ANOVA به صورت آزمایش کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. همچنین رسم شکل‌ها با کمک نرم‌افزار Excel

همچنین در پایان دوره‌ی رشد از هر کرت تعداد پنج بوته (۳/۰ متر مربع) به صورت تصادفی و با در نظر گرفتن اثر حاشیه و به هنگام رسیدگی فیزیولوژیک دانه برای محاسبه عملکرد و اجزای عملکرد برداشت گردید.

تجزیه‌های بیوشیمیایی

جهت اندازه‌گیری میزان آهن و منگنز دانه‌ها، ابتدا از نمونه‌ها آرد تهیه کرده، سپس مقدار یک گرم از آرد خشک‌شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خاکستر تهیه شد (دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت). نمونه خاکسترها در ۱۰ سی‌سی اسید کلریدریک ۲ نرمال حل شده و به مدت ۳۰ دقیقه روی هات‌پلات در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها را با آب مقطر به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده و با کاغذ صافی، صاف شدند. از نمونه‌های صاف شده به مقدار لازم برداشته و میزان آهن و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل (Perkin-Elmer, 3030)

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد تحت تأثیر تنش کم آبی و محلول پاشی نانو آهن و منگنز
Table 2- Analysis variance (mean squares) of yield and yield components under water deficit stress and spraying iron and manganese

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی (d.f)	تعداد برگ در بوته Number of leaf (per Plant ⁻¹)	وزن خشک برگ در بوته Leaf dry weight (per Plant ⁻¹)	وزن خشک ساقه در بوته Stem dry weight (per Plant ⁻¹)	وزن خشک غلاف با دانه Dry weight of pods with seeds	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	درصد پروتئین Protein percent
تکرار × تنش کم آبی (Replication × Water deficit stress)	2	147.47	2.39	1.56	261.94	0.43	0.45
تنش کم آبی (Water deficit stress)	2	42147.37**	42866.57**	50922.74**	239253.37**	13.90**	0.61
تکرار × تنش کم آبی (Replication × Water deficit stress)	4	466.74	880.17	130.44	4744.63	0.87	0.14
محلول پاشی (Foliar application)	9	1430.39**	9793.88**	24284.31**	62127.15**	5.60**	40.03**
تنش کم آبی × محلول پاشی (Water deficit stress × Foliar application)	18	15297.20**	8773.96**	16327.81**	41273.16**	3.10**	0.08**
خطای آزمایشی (Error)	54	1288.91	483.73	312.93	3349.30	0.51	0.34
ضرب تغییرات (%Coefficient of variation)		19.75	20.72	16.60	21.24	6.50	2.17
منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی (d.f)	تعداد دانه در متر مربع Number of seeds (m ²)	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-Seed weight	عملکرد دانه Yield	عملکرد پروتئین Protein yield	میزان آهن دانه Fe	میزان منگنز دانه Mn
تکرار × تنش کم آبی (Replication × Water deficit stress)	2	5373632.2	2.39	2413.33	330.46	3.5372	0.180
تنش کم آبی (Water deficit stress)	2	184619000.7**	18.93	1679002.13**	123301.65**	989.89**	143.56**
تکرار × تنش کم آبی (Replication × Water deficit stress)	4	5284397.0	14.95	98930.86	870.29	14.42	1.007
محلول پاشی (Foliar application)	9	37638683.6**	336.74**	242063.41**	32179.89**	280.809**	9.166**
تنش کم آبی × محلول پاشی (Water deficit stress × Foliar application)	18	23928754.4**	140.36**	391925.39**	28733.40**	39.52**	0.5064
خطای آزمایشی (Error)	54	2725466.0	32.72	21908.40	1654.16	13.41	0.4042
ضرب تغییرات (%Coefficient of variation)		22.49	17.14	15.20	15.22	5.13	4.52

** و *: به ترتیب به وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می باشد.

* and **: significant at the 5 and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش
Table 3- Mean comparison of Interaction effects of measured traits in experiment

تنش کم‌آبی	محل‌پاشی	تعداد برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک غلاف با بذر	وزن خشک غلاف در	تعداد دانه در غلاف	تعداد دانه	وزن هزار دانه	Seed Weight (gr)	Yield (kg.ha ⁻¹)	Seed Protein (%)	عملکرد پروتئین	عملکرد پروتئین	میزان آهن دانه (mg.kg ⁻¹)
(Water deficit stress)	(Foliar application)	Number of leaf per m ²	Leaf dry weight (g.m ⁻²)	Stem dry weight (g.m ⁻²)	Dry weight of pods with seeds (g.m ⁻²)	Number of seeds per pod	Number of seeds (m ²)	1000 Weight (gr)	Yield (kg.ha ⁻¹)	Seed Protein (%)	Protein yield (kg.ha ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	عملکرد پروتئین	میزان آهن دانه	عملکرد پروتئین
	(Without foliar application)	168.0 ^{cj}	86.66 ^{d-i}	60.0 ^{b-o}	270.67 ^{d-h}	10.33 ^{ef}	7264 ^{e-h}	27.86 ^{e-l}	1125.33 ^{efg}	23.75 ^{de}	267.30 ^{c-i}	59.35 ^{hi}			
	(Foliar application pure water)	154.66 ^{g-k}	101.33 ^{c-f}	84.0 ^{b-k}	358.67 ^{cd}	9.0 ^{gh}	6395 ^{f-k}	55.46 ^a	1218.67 ^{efg}	24.03 ^d	291.96 ^{def}	76.48 ^{gbc}			
	(1 in 1000 a nano-Fe chelate)	437.33 ^a	268.53 ^a	427.5 ^a	338.80 ^{def}	12.33 ^{ab}	10104 ^{cd}	28.30 ^{e-l}	1092.0 ^{gh}	26.73 ^{bc}	291.93 ^{def}	80.61 ^a			
	(3 in 1000 a nano-Fe chelate)	172.0 ^{c-j}	136.13 ^{bc}	122.67 ^{efg}	439.6 ^{bc}	12.66 ^a	13999 ^{ab}	26.90 ^{f-l}	1657.33 ^{ab}	26.0 ^e	430.93 ^b	78.44 ^{ab}			
	(1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	216.0 ^{def}	96.0 ^{d-f}	100.40 ^{ghi}	358.26 ^{cd}	11.66 ^{a-d}	11107 ^{cd}	24.06 ^{kl}	1224.0 ^{def}	27.30 ^b	334.30 ^{cd}	76.27 ^{a-d}			
	(3 in 1000 a nano-Mn chelate)	153.33 ^{g-k}	136.0 ^{bc}	66.66 ^{j-n}	208.0 ^{e-m}	10.66 ^{def}	5955 ^{g-k}	35.43 ^{c-g}	1146.67 ^{efg}	28.71 ^a	329.26 ^{cde}	77.67 ^{abc}			
	(1 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	302.66 ^e	260.0 ^a	308.6 ^b	529.73 ^b	12.66 ^a	16545 ^a	24.20 ^{kl}	1346.67 ^{cde}	29.15 ^a	392.63 ^{bc}	78.13 ^{ab}			
	(1 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	169.33 ^{c-j}	106.66 ^{cde}	90.66 ^{hij}	350.67 ^{cde}	11.33 ^{b-e}	9237 ^{de}	38.33 ^{cd}	1765.33 ^a	29.41 ^a	519.16 ^a	77.53 ^{abc}			
	(3 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	178.66 ^{d-i}	104.0 ^{cde}	84.93 ^{h-k}	354.8 ^{cd}	11.0 ^{e-f}	8603 ^{d-g}	36.46 ^{cde}	1122.67 ^{efg}	29.40 ^a	330.20 ^{cde}	77.59 ^{abc}			
Water deficit at Reproductive stage	(3 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	233.33 ^d	153.20 ^b	146.67 ^{de}	174.8 ^{e-m}	11.33 ^{b-e}	4023 ^{kl}	41.70 ^{bc}	672.0 ^{lmn}	23.15 ^e	154.66 ^{k-p}	71.84 ^{e-f}			
	(Without foliar application)	108.0 ^k	54.80 ^{h-k}	37.46 ^o	153.73 ^{lm}	11.66 ^{d-d}	3965 ^{kl}	38.43 ^{cd}	376.0 ^o	24.12 ^f	90.76 ^p	58.33 ^{ij}			
	(Foliar application pure water)	156.0 ^{g-k}	46.56 ^{jk}	49.86 ^{mno}	186.13 ^{g-m}	8.66 ^h	4913 ^{h-l}	35.66 ^{e-g}	442.67 ^{no}	25.11 ^e	111.03 ^{op}	77.29 ^{abc}			
	(1 in 1000 a nano-Fe chelate)	124.0 ^{ijk}	88.66 ^{d-h}	109.46 ^{ghi}	279.60 ^{d-g}	11.66 ^{a-d}	8575 ^{d-g}	26.66 ^{e-l}	513.33 ^{no}	26.26 ^d	134.73 ^{nop}	73.83 ^{b-e}			
	(3 in 1000 a nano-Fe chelate)	220.0 ^{de}	92.66 ^{d-g}	96.0 ^{ghi}	156.53 ^{h-m}	11.33 ^{b-e}	6759 ^{e-j}	25.70 ^{i-l}	846.67 ^{i-m}	26.01 ^d	220.23 ^{g-k}	79.38 ^{ab}			
	(1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	157.33 ^{f-k}	84.20 ^{d-i}	78.53 ^{i-m}	274.0 ^{d-h}	8.0 ^b	9028 ^{def}	21.36 ^{kl}	772.0 ^{klm}	27.53 ^e	212.23 ^{h-l}	78.09 ^{ab}			
	(3 in 1000 a nano-Mn chelate)	122.66 ^{ijk}	72.80 ^{e-k}	80.67 ^{h-l}	256.0 ^{e-i}	10.0 ^{fg}	6993 ^{e-i}	33.16 ^{e-j}	953.33 ^{g-k}	28.56 ^b	272.26 ^{d-h}	77.29 ^{abc}			
	(1 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	222.66 ^{de}	133.60 ^{bc}	136.0 ^{def}	484.80 ^b	8.66 ^h	12125 ^{bc}	42.06 ^{bc}	1474.67 ^{bc}	28.45 ^b	419.20 ^b	79.09 ^{ab}			

Water deficit at Vegetative stage	(1 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	373.33 ^b	269.60 ^a	229.33 ^c	782.53 ^a	10.0 ^{fg}	16156 ^a	39.33 ^{bcd}	1437.33 ^{bcd}	29.50 ^a	424.16 ^b	70.38 ^{d-g}
	(3 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	146.66 ^{g-k}	65.46 ^{fk}	64.53 ^{io}	252.0 ^{fk}	11.66 ^{u-d}	6557 ^{c-k}	39.26 ^{bcd}	1086.67 ^{fi}	29.51 ^a	320.66 ^{de}	78.21 ^{ab}
	(3 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	198.66 ^{d-g}	133.46 ^{bc}	154.26 ^d	254.13 ^{fj}	11.33 ^{b-e}	6316 ^{g-k}	36.06 ^{c-f}	1610.67 ^{ab}	25.13 ^e	405.0 ^b	65.10 ^{gh}
	(Without foliar application)	157.33 ^{fk}	72.93 ^{e-k}	55.33 ^{io}	166.67 ^{im}	11.0 ^{c-f}	6004 ^{g-k}	26.03 ^{b-l}	870.67 ^{h-l}	23.81 ^d	207.33 ^{h-l}	52.81 ^j
	(Foliar application pure water)	108.0 ⁱ	53.86 ^{h-k}	46.13 ^{no}	160.4 ^{im}	11.33 ^{b-e}	4203 ^{jkl}	37.96 ^{cd}	773.33 ^{klm}	24.63 ^{cd}	190.40 ^{im}	68.07 ^{efg}
	(1 in 1000 a nano-Fe chelate)	170.66 ^{ej}	81.06 ^{ej}	82.40 ^{h-l}	236.93 ^{g-l}	12.0 ^{abc}	6224 ^{g-k}	27.20 ^{o-l}	776.0 ^{klm}	25.76 ^c	201.16 ^{im}	66.85 ^{fg}
	(3 in 1000 a nano-Fe chelate)	173.33 ^{ej}	76.0 ^{e-k}	62.26 ^{io}	184.67 ^{lm}	12.33 ^{ab}	4355 ^{i-l}	20.20 ^l	837.33 ^{j-m}	27.15 ^b	227.46 ^{fj}	55.31 ^{ij}
	(1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	184.0 ^{d-h}	119.86 ^{bcd}	145.46 ^{de}	173.47 ^{im}	11.33 ^{b-e}	4123 ^{jkl}	38.40 ^{cd}	1042.67 ^{fj}	27.13 ^b	282.96 ^{d-g}	69.36 ^{efg}
	(3 in 1000 a nano-Mn chelate)	117.33 ^{jk}	51.86 ^{ijk}	46.0 ^{no}	158.0 ^{lm}	12.33 ^{ab}	4141 ^{jkl}	30.0 ^{d-k}	1154.67 ^{efg}	28.79 ^a	332.53 ^{cde}	66.54 ^{fg}
	(1 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	165.33 ^{ek}	78.93 ^{ej}	83.86 ^{h-l}	192.53 ^{g-m}	11.0 ^{c-f}	4291 ^{jkl}	35.06 ^{c-h}	504.0 ^{no}	29.05 ^a	146.46 ^{l-p}	66.89 ^{fg}
LSD (0.05)	(1 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	114.66 ^{jk}	57.86 ^{g-k}	45.73 ^{no}	158.0 ^{lm}	11.0 ^{c-f}	3225 ^l	47.96 ^{ab}	628.0 ^{nm}	28.77 ^a	181.86 ^{im}	66.90 ^{fg}
	(3 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	129.33 ^{h-k}	58.20 ^{g-k}	42.0 ^{no}	163.60 ^{im}	12.33 ^{ab}	5072 ^{h-l}	27.96 ^{c-l}	449.33 ^{no}	29.54 ^a	132.76 ^{nop}	69.24 ^{efg}
	(3 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	116.0 ^{lk}	42.66 ^k	60.53 ^{k-o}	113.33 ^m	11.33 ^{b-e}	3947 ^{kl}	33.70 ^{c-i}	640.0 ^{lm}	25.33 ^c	161.73 ^{io}	65.07 ^{gh}
		58.7	36.0	28.9	94.7	1.17	2702.5	9.36	242.3	0.96	66.57	5.64

در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهایی که با حرف یکسان نشان داده شده‌اند دارای اختلاف معنی‌دار نیستند

Means in each column and for each treatment, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using LSD Test.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تنش کم‌آبی برای همه‌ی صفات مورد مطالعه به‌جز درصد پروتئین و وزن ۱۰۰۰ دانه، اثر محلول‌پاشی برای تمام صفات مورد بررسی و نیز اثر متقابل تنش کم‌آبی $\times$ محلول‌پاشی در مورد تمام صفات به‌جز صفت منگنز دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی $\times$ محلول‌پاشی نشان داد که بیش‌ترین تعداد برگ مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن با $437/3$ برگ در مترمربع بود. ۱۵ تیمار (دارای حرف k) کم‌ترین تعداد برگ در مترمربع را داشتند. وزن خشک برگ در تیمارهای آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن ($437/3$ برگ در مترمربع)، یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن و یک و نیم در ۱۰۰۰ نانوکلات منگنز و قطع آبیاری در مرحله زایشی و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانوکلات منگنز بیش از تیمارهای دیگر بود. کم‌ترین وزن خشک برگ مربوط به ۱۱ تیمار بود که هیچ‌کدام مربوط به آبیاری مطلوب نبود (جدول ۴).

به‌طور کلی، صرف نظر از سطوح مختلف تنش کم‌آبی، در اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و منگنز مقادیر مربوط به تمام صفات مورد بررسی از جمله تعداد و وزن خشک برگ افزایش یافت (جدول ۳). نتایج دیگر محققان نیز حاکی از افزایش وزن خشک برگ و اندام هوایی در نتیجه‌ی استفاده از عناصر آهن و منگنز می‌باشد (Jabeen and Rafiq, 2011; Zayed et al., 2011).

با توجه به نقش ساختاری عناصر آهن و منگنز در سنتز پروتئین‌ها، با مصرف این عناصر، مقاومت گیاهان تحت تنش‌های محیطی مورد انتظار است (Cakmak, 2000). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بالاترین مقدار وزن خشک ساقه مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن ($437/5$ گرم در مترمربع) و کم‌ترین مقدار این صفت نیز مربوط به تیمار اعمال تنش در مرحله رشد زایشی و بدون محلول‌پاشی ($37/46$ گرم در مترمربع) و ۱۰ تیمار دیگر بود (جدول ۳). اعمال تنش کمبود آب در مرحله رشد زایشی $37/56$ درصد و در مرحله رشد رویشی $7/78$ درصد نسبت به آبیاری مطلوب موجب کاهش وزن خشک ساقه گردید. محققان در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که مصرف یک و نیم کیلوگرم در هکتار کلات آهن به‌شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن به نسبت بیش‌تری وزن خشک اندام هوایی، ریشه، برگ، ساقه و طول ریشه گیاه ریحان را افزایش داد (Parande and Mirza, 2011). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تنش کم‌آبی در محلول‌پاشی نشان داد که کم‌ترین مقدار پروتئین دانه

($23/15\%$) در شرایط عدم اعمال تنش و محلول‌پاشی توأم سه در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز و بیش‌ترین مقدار پروتئین دانه ($29/54\%$) نیز در شرایط اعمال تنش کم‌آبی در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی توأم یک در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز مشاهده گردید. محلول‌پاشی توأم نانوکلات آهن و منگنز می‌تواند اثرات مخرب ناشی از تنش کم‌آبی را بر میزان پروتئین دانه تعدیل کند. افزایش پروتئین دانه با کاربرد عناصر آهن، روی و منگنز توسط برخی محققین گزارش شده است (Patel et al., 2002; Navaei and Malakouti, 1993).

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۳، اعمال تنش در مراحل رشد رویشی و زایشی به‌ترتیب $43/20$ و $38/42$ درصد وزن خشک غلاف با دانه را نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داد. بیش‌ترین میزان این صفت مربوط به تیمار تلفیقی تنش در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانوکلات منگنز ($782/5$ گرم در مترمربع) و کم‌ترین میزان آن مربوط به تیمار تلفیقی اعمال تنش در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی سه در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانوکلات منگنز ($111/3$ گرم در مترمربع) و ۱۳ تیمار دیگر بود. گزارش کیمنتی و همکاران (2002) (Chimenti et al.) تأییدکننده نتایج ذکر شده است.

بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف از تیمارهای تلفیقی آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی سه در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن و آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن و یک و نیم در ۱۰۰۰ نانوکلات منگنز ($12/66$) و ۹ تیمار دیگر به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار این صفت نیز در تیمار تلفیقی اعمال تنش در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی یک و نیم در ۱۰۰۰ نانوکلات منگنز ($8/0$) و سه تیمار دیگر مشاهده شد (جدول ۳). محلول‌پاشی نانو کلات آهن در شرایط اعمال تنش در مرحله رشد رویشی موجب افزایش تعداد دانه در غلاف شد که احتمالاً به‌دلیل تأثیر این عنصر در افزایش توان مقاومت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه در برابر اثرات مخرب ناشی کمبود آب در مرحله رشد رویشی می‌باشد. محققان گزارش‌های مشابهی را اعلام کردند (Morrison and Stewart, 2002; Champolivier and Merrien, 1996).

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه بیش‌ترین تعداد دانه در مترمربع از تیمار تلفیقی آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن و یک و نیم در ۱۰۰۰ نانوکلات منگنز (16545) حاصل شد که با تیمار تنش در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانوکلات منگنز (16156) و تیمار تنش در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی سه در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن (13999) دارای اختلاف معنی‌داری نبود. کم‌ترین مقدار این صفت مربوط به تیمار تنش در

شدن دانه‌ها اجتناب نمود (Göksoy et al., 2004).

تنش کم‌آبی در مرحله رشد زایشی در شرایط عدم محلول‌پاشی با کاهش عملکرد دانه، باعث کاهش عملکرد پروتئین شد. محققان گزارش کردند که عدم محلول‌پاشی محتوای پروتئین کل را در شرایط تنش رطوبتی کاهش می‌دهد (Fathi amirkhiz et al., 2011). عنصر آهن برای ساخت پروتئین ضروری است؛ به‌طوری که تعداد ریبوزوم سلول‌های برگ با کمبود این عنصر کاهش می‌یابد (Rhode, 1999). ترکیب عناصر آهن و منگنز با افزایش سنتز پروتئین‌های محلول و افزایش فتوسنتز در تغییر و تبدیل کرین فتوسنتزی در شرایط تنش مؤثر است (Jafar dokht et Savithri et al., 1984; al., 2015). کم‌ترین مقدار عملکرد پروتئین دانه (۹۰/۷۶) کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی و عدم اعمال محلول‌پاشی و بیش‌ترین مقدار عملکرد پروتئین دانه (۵۱۹/۲) کیلوگرم در هکتار) نیز در شرایط عدم اعمال تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز مشاهده گردید (جدول ۳). تنش در مرحله رشد زایشی به علت کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها و نیز عدم جذب کافی عناصر کم‌مصرف موجب کاهش عملکرد پروتئین در این تیمار شد که با نتایج محققان دیگر مبنی بر کاهش عملکرد پروتئین در شرایط تنش کم‌آبی و عدم کاربرد محلول‌پاشی مطابقت داشت (Jafar dokht et al., 2015).

بیشترین مقدار آهن دانه در تیمار عدم اعمال تنش و محلول‌پاشی یک در هزار نانو کلات آهن (۸۰/۶۱) میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار آن در تیمار اعمال تنش در مرحله رشد زایشی و عدم اعمال محلول‌پاشی (۵۲/۸۱) میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۳). نتایج مطالعه‌ی حاضر با (Jabbari et al., 2014) در مورد محلول‌پاشی آهن هم‌خوانی داشت. بر اساس نتایج حاصل از جدول ۴ تنش در دوره رشد زایشی (۲۶/۲۳٪) بیشتر از تنش در دوره رشد رویشی (۱۷/۱۹٪) باعث کاهش غلظت منگنز در دانه نسبت به شاهد آبیاری شد. نتایج حاصل از جدول ۴ نیز مشخص کرد که محلول‌پاشی توأم یک در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز منجر به افزایش این عنصر به میزان (۲۲/۸۶٪) نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شد. با توجه به کاهش جذب عناصر توسط دانه به نظر می‌رسد که علت این امر کاهش شدید عملکرد دانه با افزایش شدت تنش کم‌آبی است که موجب کوچک شدن مخزن فیزیولوژیک عناصر (دانه) و در نتیجه کاهش کل جذب عناصر در دانه گردیده است. همچنین براساس نظر پژوهشگران تنش خشکی در مرحله زایشی انتقال عناصر آهن و منگنز را به دانه محدود می‌کند (Heidari and Jahantighi, 2013).

مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز (۳۲۲۵) بود (جدول ۳). وقتی گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، برای این‌که از اثرات تنش خشکی فرار کند اقدام به کوتاه کردن دوره رشد خود می‌کند بنابراین، به‌دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها و تعداد دانه کم می‌شود. ساویتری و همکاران (Savithri et al., 1984) دریافتند که مصرف ۲۵ یا ۵۰ کیلوگرم سولفات منگنز، ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات آهن در هکتار موجب افزایش تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه سویا می‌گردد.

مقایسه میانگین‌های وزن ۱۰۰۰ دانه نشان می‌دهد که بیش‌ترین وزن ۱۰۰۰ دانه با ۵۵/۴۶ گرم از ترکیب تیماری محلول‌پاشی آب خالص و آبیاری کامل و همچنین تنش در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز به‌دست آمد. کم‌ترین وزن ۱۰۰۰ دانه با ۲۰/۲ گرم از اعمال تنش کمبود آب در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی سه در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و ۱۱ تیمار دیگر حاصل شد (جدول ۳).

با اعمال تنش کمبود آب، در هر مرحله از رشد گیاه که باشد، عملکرد دانه همیشه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Bouchereau et al., 1996) بنابراین، محلول‌پاشی یک راهکار مناسب برای کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی محسوب می‌شود. نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی × تنش کم‌آبی نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز (۱۷۶۵) کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار تنش در مرحله رشد زایشی و عدم اعمال محلول‌پاشی (با ۳۷۶ کیلوگرم در هکتار) و چهار تیمار دیگر بود (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد در این آزمایش، علت افزایش عملکرد دانه تأثیر عناصر آهن و منگنز بر کاهش ریزش گل و غلاف ناشی از تنش بوده است. بنابراین، با توجه به آثار ناشی از تنش کم‌آبی چنین احتمالی وجود دارد که انجام محلول‌پاشی نانو کلات آهن و منگنز، می‌تواند با تحریک رشد و تقسیم سلولی، دانه را به یک مخزن قوی مبدل ساخته و در نتیجه با پذیرفتن مواد فتوسنتزی بیش‌تر، مقادیر ماده خشک بیش‌تری در دانه ذخیره گردد. همچنین، کاهش عملکرد در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی متأثر از کاهش تعداد دانه در غلاف بوده است. اغلب نتایج محققین نیز حاکی از تأثیر منفی و معنی‌دار تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان به‌خصوص در دوره رشد زایشی گیاه می‌باشد و قاعدتاً برای دستیابی به حداکثر عملکرد می‌بایست از برخورد گیاه با تنش خشکی به‌خصوص در سه مرحله ظهور غلاف‌ها، گلدهی و شیری

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی برای صفت منگنز دانه

Table 4- Mean comparison effects of water deficit and foliar application for seed manganese content

تنش کم‌آبی (Water deficit)	Optimum irrigation	16.41 ^a
	Water deficit at Reproductive stage	13.59 ^b
	Water deficit at Vegetative stage	12.10 ^c
	LSD (0.05)	0.719
محلول‌پاشی (Foliar application)	(Without foliar application)	12.09 ^e
	(Foliar application pure water)	13.52 ^d
	(1 in 1000 a nano-Fe chelate)	14.83 ^{ab}
	(3 in 1000 a nano-Fe chelate)	13.96 ^{cd}
	(1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	14.23 ^{bc}
	(3 in 1000 a nano-Mn chelate)	14.8 ^{ab}
	(1 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	14.8 ^{ab}
	(1 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	14.86 ^a
	(3 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	14.67 ^{ab}
	(3 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	12.55 ^e
	LSD (0.05)	0.600

میانگین‌هایی که در ردیف تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی، حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Similar letters in each column and each level water deficit indicate no significant difference according to LSD 5% Test

نتیجه‌گیری

عملکرد دانه و سایر صفات مورد ارزیابی در این آزمایش دارا بود. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای نانو کلات آهن و منگنز در تغذیه گیاه ماش تحت شرایط مناطق خشک و کم آب نقش قابل ملاحظه‌ای در کاهش اثرات سوء تنش کمبود آب و بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه داشته باشد، البته استفاده از ترکیب تیمار عناصر نانو کلات بستگی به شدت تنش کمبود آب خواهد داشت.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی در هر دو مرحله رویشی و زایشی اثر معنی‌داری بر کاهش عملکرد دانه ماش دارد. اما اعمال تنش در مرحله زایشی بیشترین تأثیر را بر کاهش عملکرد دانه و سایر صفات مورد ارزیابی در این تحقیق داشت. همچنین مشاهده شد که مرحله زایشی حساس‌ترین مرحله گیاه به تنش کم‌آبی می‌باشد. در بین عناصر نانو کلات، عنصر آهن به‌صورت منفرد و همچنین در ترکیب با عنصر منگنز، بیشترین تأثیر را بر

References

- Balakrishnan, K. 2000. Peroxidase activity as an indicator of the iron deficiency in banana. *Indian Journal of Plant Physiology* 5 (4): 389-391.
- Bouchereau, A., Clossais-Besnard, N., Bensaoud, A., Leport, L., and Renard, A. M. 1996. Water stress effects on rapeseed quality. *European Journal of Agronomy* 5 (1-2): 19-30.
- Cakmak, I. 2000. Tansley Review No. 111 Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *The New Phytologist* 146 (2): 185-205.
- Champolivier, L., and Merrien, A. 1996. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. oleifera on yield, yield components and seed quality. *European Journal of Agronomy* 5 (3-4): 153-160.
- Chimenti, C. A., Pearson, J., and Hall, A. J. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crops Research* 75 (2-3): 235-246.
- El Hafid, R., Smith, D. H., Karrou, M., and Samir, K. 1998. Physiological responses of spring durum wheat cultivars to early-season drought in a Mediterranean environment. *Annals of Botany* 81 (2): 363-370.
- Ezzat, M., Abd El Lateef, M. M., Tawfik, M., Hozyin, B. A., Bakry, T. A., Elewa, A. A., Farrag, and Amany, A. Bahr. 2012. Soil and foliar fertilization of mungbean (*Vigna radiata* (L) wilczek) under Egyptian conditions. *Elixir Agriculture* 47: 8622-8628.
- Fageria, N. K., and Baligar, V. C. 2001. Lowland rice response to nitrogen fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32 (9-10): 1405-1429.
- Fathi amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., Modarres Sanavi, S. A. M., and Heshmati, S. 2011. The Effects of Soil and Foliar Application of Fe on some Biochemical Characteristics of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Two Irrigation Regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42 (3): 509-518. (in Persian with English abstract).
- Firouzabadi, B., and Farahani, I. 2013. Effect of Planting Date on Seed Yield and Its Components of Mungbean

- (*Vigna radiata* L.) Genotypes in Varamin Region in Iran. Seed and Plant Production 29 (3): 387-401. (in Persian with English abstract).
11. Göksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M., and Dağüstü, N. 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research 87 (2-3): 167-178.
 12. Graham, P. H., and Vance, C. P. 2003. Legumes: importance and constraints to greater use. Plant physiology 131 (3): 872-877.
 13. Heidari, M., and Jahantighi, H. 2013. Evaluate Effect of Water Stress and Different Amounts of Nitrogen Fertilizer on Seed Quality of Black Cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11 (4): 640-647. (in Persian with English abstract).
 14. Jabbari, H., Akbari, A., Khosh kholgh Sima, N., Alahdadi, I. Shirani rad, A., Tabatabaee, S., and Hamed, S. 2014. Comparison of antioxidant enzymes and proline roles in drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Oil Plant Prudaction 3 (1):15-31. (in Persian with English abstract).
 15. Jabeen, N., and Ahmad, R. 2011. Effect of foliar-applied boron and manganese on growth and biochemical activities in sunflower under saline conditions. Pakistan Journal of Botany 43 (2): 1271-1282.
 16. Jafar dokht, R., Mosavi Nik, S. M., Mehraban, A., and Basiri, M. 2015. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological cahacteristics and nutrient uptake in mung bean. Electronic Journal of Crop Production 8 (1): 121-141. (in Persian with English abstract).
 17. Khodabakhsh, F., Amooaghaie, A., Mostajeran, A., and Emtiazi, G. 2011. Effect of hydro and osmopriming in two commercial chickpea cultivars on germination, growth parameters and nodules number in salt stress condition. Iranian Journal of Plant Biology 2 (6): 71-86. (in Persian with English abstract).
 18. Maleki Farahani, S., Khalesi, A., and Sharghi, Y. 2015. Effect of Nano Iron Chelate Fertilizer on Iron Absorption and Saffron (*Crocus sativus* L.) Quantitative and Qualitative Characteristics. Asian Journal of Biological Sciences 8: 72-82.
 19. Martin, D. L., Stegman, E. C., and Fereres, E. 1990. Irrigation scheduling principles. IN: Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 1990. p 155-203, 19 fig, 9 tab, 81 ref.
 20. Martt, J. 1990. Grain Legumes: Evolution and Genetic Resources. Cambridge University Press.
 21. Monica, R. C., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and Higher Plants. Caryologia 62 (2): 161-65.
 22. Morrison, M. J., and Stewart, D. W. 2002. Heat stress during flowering in summer Brassica. Crop science 42 (3): 797-803.
 23. Navaei, F., and Malakouti, M. J. 2002. Study of effect of balance nourishment of elements on quantitaive and quality of corn. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 16: 161-168. (in Persian with English abstract).
 24. Novozamsky, I., Van Eck, R., Van Schouwenburg, J. Ch., and Walinga, I. 1974. Total Nitrogen Determination in Plant Material by Means of the Indophenol-Blue Method. Netherlands Journal of Agricultural Science.
 25. Parande, H., and Mirza, M. 2011. Comparison of Nano Fe Chelate with Fe Chelate Effect on Growth Parameters and Antioxidant Enzymes Activity of *Ocimum Basilicum*. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal 1 (4): 89-98.
 26. Patel, M. S., Sutar, D. M., and Kanizaria, M. V. 1993. Effect of foliar application of iron and sulfur in curing chlorosis in groundnut. Journal of the Indian Society of Soil Science 41: 103-105.
 27. Rhode, T. E. 1999. Integrating Urban and Agriculture Water Management in Southern Morocco. Arid Lands News Letter 45.
 28. Ruiz, J. A., Perez-Vendrell, A. M., and Esteve-Garcia, E. 2000. Effect of dietary iron and copper on performance and oxidative stability in broiler leg meat. British Poultry Science 41 (2): 163-167.
 29. Ruiz, J. M., Baghour, M., and Romero, L. 2000. Efficiency of the Different genotypes of tomato in relation to foliar content of Fe and the response of some Bioindicators. Journal of Plant Nutrition 23 (11-12): 1777-86.
 30. SAS Institute. 1985. SAS user's guide: statistics, SAS Institute (2).
 31. Savithri, P., Boshani, N. K., Manickam, T. S., and Kothandaraman, G. V. 1984. Response of soybean to micronutrient application. Madras agricultural journal.
 32. Taiz, L., and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology, 3rd. edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts. USA.
 33. Torabian, S., and Zahedi, M. 2013. Effects of Foliar Application of Common and Nano-sized of Iron Sulphate on the Growth of Sunflower Cultivars under Salinity. Iranian Journal of Field Crop Science 44 (1): 109-118. (in Persian with English abstract).
 34. Uddin, S., and Parvin, S. 2013. Yield Performance of Mungbean (*Vigna radiata* L.) as Influenced by Irrigation. International Journal of Agronomy and Plant Production 4 (1): 3659-3667.
 35. Vanclooster, M., Gonzalez, C., Vanderborgh, J., Mallants, D., and Diels, J. 1994. An indirect calibration procedure for using TDR in solute transport studies. Soil Science Society of American Journal 3: 107-127.
 36. Welch, R. M., Allaway, W. H., House, W. A., and Kubota, J. 1991. Geographic Distribution of Trace Element

Problems. Micronutrients in agriculture micronutrientsi 2: 31-57.

37. Zayed, B. A., Salem, A. K. M., and Sharkawy, H. M. El., 2011. Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oriza Sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. World Journal of Agricultural Sciences 7 (2): 179-84.
38. Zhu, H., Han, J., Xiao, J. Q., and Jin, Y. 2008. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nano particles by pumpkin plants. Journal of Environmental monitoring 10 (6): 713-17.



Effect of Nano Iron and Manganese Fertilizers on Mung Bean Growth and Yield in Water Deficit Stress Condition

Y. Izadi^{1*} - S. A. M. Modares Sanavey²

Received: 10-06-2018

Accepted: 11-01-2018

Introduction

Pulse crops have a huge role in Agriculture and daily life. The mung bean (*Vigna radiate* L. Wilczek) is one of the most important pulse crops in the world. It is a protein rich staple food and contains about 25 percent protein. Producing higher potential yield in comparison with other crops, is one of the greatest feature of the mung bean crop. Also, it improves the soil fertility by fixing the atmospheric nitrogen. Water deficit affects different growth and development stages of mung bean. In this regard, choosing the landraces and suitable cultivars and nutrition and irrigation management, play an important role in increasing of quantity and quality of pulses and reduce of negative effects of various environmental stresses on plants. The present research aimed to study the effect of water deficit stress on quantity and quality mung bean traits, Parto variety under applied and non-applied of foliar application of nano-iron and manganese chelates.

Materials and Methods

In order to study the effects of water deficit stress on reduction of quality traits of *Vigna Radiata* (Parto variety) under iron and manganese nano-chelate foliar application, an experiment was conducted as split-plot management in randomized complete block design with three replications during 2013-2014 in the research farm of agricultural college, Tarbiat Modares University. To determine the nature of soil, the amount of mineral elements (nitrogen, iron and manganese), the percent of organic carbon and soil acidity were sampled from zero depth to 30 centimeter and from 30 to 60 centimeters of soil in the zigzag pattern. Experimental treatments in main plots were three levels of irrigation regime (optimum irrigation, water deficit at reproductive stage and water deficit at vegetative stage) and in subplots were 10 levels of foliar application (without foliar application, foliar application pure water, one in a thousand a nano-Fe chelate, three in thousand a nano-Fe chelate, 1.5 in thousand a nano-Mn chelate, three in thousand a nano-Mn chelate, one in thousand a nano-Fe + 1.5 in thousand a nano-Mn chelate, one in thousand a nano-Fe + three in thousand a nano-Mn chelate, three in thousand a nano-Fe + 1.5 in thousand a nano-Mn chelate, three in thousand a nano-Fe + three in thousand a nano-Mn chelate) at withholding irrigation stage. SAS software has been used to analysis data, the analyses parameters were including variance and means comparison have been compared by using the LSD Test at probability level of 5%.

Results and Discussion

The results showed that water deficit stress and iron and manganese nano-chelate foliar application were significant for the most of plant traits at 1% probability level. Among of water deficit stress levels, the lowest yield and yield components for most traits, stress at reproductive stage and the highest amount in control (optimum irrigation). Also, the highest yield and yield component was achieved from different levels of iron and manganese nano-chelate spraying at the vegetative and reproductive stage, especially in the vegetative growth stage, while control spraying (no spray) led to decreasing yield and yield components in plant. Also, interaction between two main treatments were significant for the most of the traits at 1% probability level.

Conclusions

It can be concluded that water deficit stress at the reproductive stage had the most effect on reducing grain yield, protein yield and yield components, and using nanoparticles had the highest rates of grain yield, yield component and protein yield. The effects of water deficit can be reduced by spraying of nano-Fe and nano-Mn

1- Ph. D. Student, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University of Tehran, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: izady.nike70@gmail.com)

chelated. Also, it was observed that reproductive stage is the most vulnerable stage of the plant to the water deficit stress. Stress in this stage causes protein reduction by the plant and seed filling period. Regarding the effects resulted from water deficit stress, it is possible that spraying nano-chelated iron and manganese can make the seed a rich source by stimulating growth and cell division and as a result, more amount of dry material is preserved within the seed by adopting more photosynthetic materials. Among nano-chelated elements, iron and also mixed with manganese had the most effect on the seed yield and other studied traits in this test. Thus, it is suggested that these elements can be utilized as a factor for removing or decreasing stress and also increasing the production efficiency in the plants.

Keywords: Pulses, Protein yield, Seed yield, Water stress



مطالعه اثرات زیست محیطی محصولات عمده زراعی استان خراسان رضوی با استفاده از ارزیابی چرخه حیات

علیرضا کوچکی^{۱*} - جواد وفابخش^۲ - سرور خرم دل^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۲۶

چکیده

تجزیه و تحلیل نظام‌های کشاورزی به منظور بررسی اثرات زیست محیطی موجب ارتقاء کیفی مدیریت و توسعه پایدار کشاورزی می‌شود. این مطالعه با هدف بررسی اثرات زیست محیطی نظام‌های عمده تولیدات زراعی در استان خراسان رضوی شامل گندم، ذرت، چغندر قند، کلزا، گوجه فرنگی، سیب زمینی، خربزه، هندوانه و خیار با استفاده از ارزیابی چرخه حیات (LCA) انجام شد. بدین منظور، میانگین نهاده‌های مصرفی طی سال‌های ۹۵-۱۳۸۵ با استفاده از پرسشنامه و آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی جمع‌آوری و بر اساس روش ISO 14044، LCA در چهار گام شامل مشخص‌سازی اهداف و حوزه عمل، ممیزی چرخه حیات، ارزیابی تأثیر چرخه حیات و تلفیق، نتیجه‌گیری و تفسیر نتایج انجام شد. در این مورد، واحد کارکردی معادل یک تن محصول اقتصادی از هر گیاه در نظر گرفته شد. گروه‌های تأثیر مورد مطالعه شامل گرمایش جهانی، اسیدی شدن و سرشار سازی بود. در آخرین مرحله، شاخص بوم‌شناخت (EcoX) محاسبه شد. برای سنجش قابلیت روایی پرسشنامه، ضریب آلفای کرونباخ محاسبه گردید. نتایج نشان داد که ضریب آلفای کرونباخ $\alpha = 0.82$ نشان‌دهنده قابلیت اعتماد بالای پرسشنامه بوده است. بیشترین سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای در گروه تأثیر گرمایش جهانی مربوط به دی اکسید کربن بود. بیشترین و کمترین پتانسیل گرمایش جهانی به ترتیب برای کلزا (۱۳۴۲/۰۱) واحد معادل کیلوگرم CO₂ به‌ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی و چغندر قند (۲۷/۲۵) واحد معادل کیلوگرم CO₂ به‌ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی) به‌دست آمد. بیشترین پتانسیل سرشار سازی نظام‌های آبی مربوط به کلزا با ۰/۵۹ واحد معادل کیلوگرم PO₄ به‌ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی بود و کمترین میزان برای چغندر قند با ۰/۰۱ واحد معادل کیلوگرم PO₄ به‌ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی حاصل شد. بیشترین مجموع شاخص بوم‌شناخت مربوط به کلزا با ۰/۶۷ EcoX به‌ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی بود و کمترین میزان برای چغندر قند با ۰/۰۱ EcoX به‌ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی حاصل شد. مجموع شاخص بوم‌شناخت در نظام تولید کلزا در مقایسه با نظام‌های تولید گندم، ذرت، هندوانه، خیار، خربزه، گوجه فرنگی و سیب زمینی به ترتیب برابر با ۴۶، ۴۹، ۵۹، ۷۷، ۸۰ و ۹۴ درصد بالاتر به‌دست آمد. بیشترین سهم در مقایسه گروه‌های تأثیر مربوط به سرشار سازی آبی (با میانگین ۵۶ درصد) بود. بر این اساس، به منظور کاهش اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید توصیه می‌شود از مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک، جایگزینی نهاده‌های شیمیایی، افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها، خاکورزی کاهش یافته، تناوب زراعی، کشت مخلوط با گیاهان تثبیت کننده نیتروژن و انتخاب گیاهان با هزینه‌های زیست محیطی کمتر در الگوی کاشت بهره‌گیری شود.

واژه‌های کلیدی: انتشار آلاینده، سرشار سازی آبی، گرمایش جهانی، مدیریت نظام کشاورزی

مقدمه

رشد جمعیت همراه با توسعه فناوری و افزایش مصرف نهاده‌های شیمیایی در بوم‌نظام‌های زراعی باعث افزایش بروز اثرات

زیست محیطی شده است (Skowrońska and Filipek, 2014). اسکورونسکا و فلیپک (Skowrońska and Filipek, 2014) میزان انتشار آلاینده‌ها برای تولید کودهای شیمیایی را ۱/۶ تن CO₂ به‌ازای تولید یک تن NH₃ و ۲-۲/۵ تن N₂O به‌ازای هر یک تن HNO₃ برآورد نمودند. علاوه بر این، ۱۰-۳ درصد N₂ مولکولی و ۳-۰/۳ درصد NH₄ در هنگام تولید کودهای شیمیایی به محیط انتشار می‌یابد. برخی تحقیقات نشان داده است که ۳۰-۴۰ درصد نیتروژن مورد استفاده در مزرعه به محیط به شکل NH₃، اکسیدهای نیتروژن

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

۲- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

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

(Email: akooch@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

(NO ، NO_2 و N_2O)، نیتروژن مولکولی و آبشویی به فرم نیترات، آمونیوم به محیط منتشر می‌شود (Brentrup and Palliere, 2008; Lammel, 2000). بالا بودن محتوی رطوبتی خاک در بوم‌نظام‌های مختلف زراعی افزایش انتشار N_2O و آبشویی نیترات را نیز به همراه دارد (Brentrup and Palliere, 2008; Lammel, 2000). با وجودی که در اکثر منابع، انتشار N_2O بین ۱ تا ۲ درصد از نیتروژن کودی مصرف شده ذکر شده است، ولی این مقدار ممکن است تا ۵ درصد هم برسد (Crutzen et al., 2008)، زیرا N_2O در اثر دینتریفیکاسیون تولید می‌شود و از مقدار کل نیتروژن در معرض این فرآیند، ۳/۵ درصد آن به N_2O تبدیل می‌شود. البته در خاک‌هایی که ماده آلی آنها زیاد باشد این مقدار ممکن است به ۷ درصد نیز برسد (De Vries et al., 2003). در همین راستا، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) طی مطالعه‌ای روی تعیین پیامدهای زیست‌محیطی بوم‌نظام‌های زراعی تحت مدیریت رایج و فشرده در استان خراسان نتیجه گرفتند که اگرچه تولید و عملکرد محصولات کشاورزی در قرن اخیر بهبود یافته که در نتیجه این امر موجب افزایش تولید مواد غذایی شده است، ولی این دستاوردها مشکلات اجتماعی و زیست‌محیطی نظیر شور شدن و اسیدی شدن، آبشویی نیترات و تولید گازهای گلخانه‌ای به همراه داشته است. بر این اساس، این محققان توصیه نمودند از راهکارهای مناسب برای ارزیابی تأثیر مدیریت نظام‌های زراعی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و دستیابی به توسعه پایدار بهره‌گیری شود (Koocheki et al., 2014).

تجزیه و تحلیل مدیریت نظام‌های کشاورزی به منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی موجب بهبود کیفی تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مدیریت و توسعه پایدار کشاورزی می‌شود (Rathke and Diepenbrock, 2006). اکرت و همکاران (Eckert et al., 1999) بیان داشتند که بررسی عملکرد زیست‌محیطی نظام‌های تولید برای ارزیابی وضعیت پایداری امری ضروری می‌باشد. در همین راستا برخی از محققان بر این باورند که با توجه به دامنه کارکردهای رهیافت ارزیابی چرخه حیات (LCA)، این روش مناسب‌ترین رویکرد برای ارزیابی درجه پایداری فعالیت‌های مختلف کشاورزی می‌باشد (Brentrup et al., 2001; Brentrup et al., 2004a, b; Finkbeiner et al., 2006; Roy et al., 2005; Roy et al., 2009).

LCA ابزاری برای شناسایی، کمی‌سازی و ارزیابی پتانسیل اثرات زیست‌محیطی فرآیند تولید محصولات کشاورزی از مرحله تولید تا مصرف است که بر اساس دو مؤلفه میزان مصرف منابع و انتشار انواع آلاینده‌ها به محیط‌زیست تعیین می‌شود (Brentrup and Palliere, 2008; Kopyński, 2012; Brentrup et al., 2004a; Roy et al., 2009). در مطالعات LCA، «واحد کارکردی

(FU)^۱» که نشان‌دهنده معیار کمی از کارکرد بوم‌نظام می‌باشد (Charles et al., 2006; Brentrup et al., 2004a) اغلب وزن ماده خام یا محصول در نظر گرفته می‌شود (Brentrup et al., 2004a; Charles et al., 2006; Hayashi, 2013). برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2004a) بیان داشتند که ارزیابی پایداری نظام‌های تولید امری ضروری بوده و بدین منظور می‌توان از شاخص‌های مختلف استفاده کرد، ولی در مجموع با توجه به کارکردها و دامنه استفاده از LCA، بهره‌گیری از این رویکرد را رهیافتی مناسب برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در فعالیت‌های کشاورزی توصیه کردند. برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2001) معتقدند که با محاسبه LCA می‌توان مشکلات نظام تولیدی از قبیل میزان مصرف منابع و تغییر کاربری اراضی را مشخص نمود. برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2004b) با بررسی اثرات زیست‌محیطی مقادیر مختلف کود نیتروژن در تولید گندم زمستانه در آلمان با استفاده از LCA گزارش نمودند که مقدار این شاخص، در شرایط مصرف کمتر از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در حدود ۰/۲۲ تا ۰/۲۶ به‌ازای هر تن دانه بود و با افزایش مقدار مصرف نیتروژن، شاخص نهایی LCA افزایش یافت. همچنین در سطوح پایین مصرف کود، تغییر کاربری اراضی و در سطوح بالای مصرف، سرشارسازی مهمترین گروه‌های تأثیر LCA بودند. مسترلینگ و همکاران (Meisterling et al., 2009) با مقایسه تولید گندم در سیستم‌های ارگانیک و رایج در آمریکا از نظر پتانسیل گرمایش جهانی با محاسبه LCA نشان دادند که تولید یک کیلوگرم نان در سیستم ارگانیک نسبت به سیستم رایج، ۳۰ کیلوگرم معادل CO_2 کمتری تولید می‌کند. مونت و همکاران (Monti et al., 2009) با بررسی اثرات زیست‌محیطی تناوب رایج ذرت (*Zea mays* L.) - گندم (*Triticum aestivum* L.) با کشت مخلوط کنگر فرنگی (*Cynara scolymus* L.) و گونه‌های علف‌های چمنی چندساله با استفاده از LCA نشان دادند که به‌طور آشکارا با جایگزین کردن گیاهان چندساله در نظام‌های زراعی رایج می‌توان اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید CO_2 و آبشویی نیترات را تا بیش از ۵۰ درصد کاهش داد.

نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2017a) با ارزیابی اثرات زیست‌محیطی بوم‌نظام‌های تولید گندم در سه گروه کم‌نهاد، متوسط نهاد و پر نهاد در کشور با استفاده از LCA بیان داشتند که با افزایش میزان مصرف نهاده‌ها به‌ازای واحد کارکردی هکتار کلیه اثرات زیست‌محیطی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. شدت تخلیه منابع غیرقابل تجدید (سوخت‌های فسیلی و منابع P و K) در نظام‌های پر نهاد معادل GJ ha^{-1} و تقریباً ۱/۸ برابر نظام‌های کم‌نهاد بود. در بوم‌نظام‌هایی

درصدی پتانسیل سرشارسازی را به ترتیب برای محیط‌های خشکی و آبی به دنبال داشت.

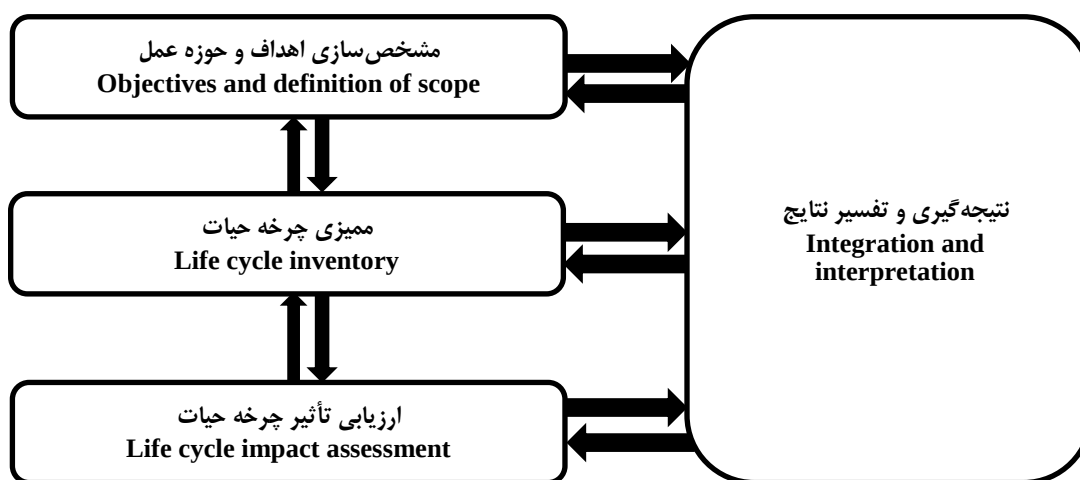
بدین ترتیب، با وجودی که آمار و اطلاعات نشان‌دهنده مصرف نهاده‌های شیمیایی و اجرای عملیات خاکورزی فشرده در نظام‌های تولید محصولات زراعی در استان خراسان رضوی می‌باشد (Koocheki et al., 2014)، اطلاعات دقیقی در مورد پی‌آمدهای مصرف این نهاده‌ها در اختیار نیست. علاوه بر این، مشخص نیست که کدام بخش نهاده‌های ورودی بیشترین تأثیر منفی را بر آلودگی محیط‌زیست اعمال می‌کنند. هدف از این تحقیق، ارزیابی اثرات زیست محیطی نظام‌های عمده تولیدات زراعی در استان خراسان رضوی با استفاده از LCA بود.

مواد و روش‌ها

به منظور جمع‌آوری اطلاعات، میانگین نهاده‌های مصرفی در محصولات عمده استان خراسان رضوی شامل گندم (*Triticum aestivum* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، چغندر قند (*Beta vulgaris* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، خربزه (*Cucumis melo* L.)، هندوانه (*Citrullus lanatus* L.) و خیار (*Cucumis sativus* L.) طی سال‌های ۹۵-۱۳۸۵ با استفاده از پرسشنامه (۱۷ مزرعه از هر محصول) و آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی و سایر آمارنامه‌ها تعیین و از روش ISO₁₄₀₄₄ (ISO, 2004a; Brentrop et al., 2006) برای ارزیابی اثرات زیست محیطی بوم‌نظام‌های تولید محصولات استفاده شد. LCA از جمله روش‌های مورد تأیید ISO می‌باشد و این سازمان در سری انتشارات ۱۴۰۴۰ خود نحوه انجام این روش‌ها را شامل نشریه‌های ۱۴۰۴۰، ۱۴۰۴۱، ۱۴۰۴۲ و ۱۴۰۴۳ به ترتیب به صورت اصول و چارچوب LCA، هدف، حوزه و صورت‌برداری (ممیزی)، ارزیابی اثرات زیست محیطی و تفسیر نتایج مشخص نموده است (ISO, 1997). بر اساس این روش، LCA در چهار گام شامل مشخص‌سازی اهداف و حوزه عمل^۱، ممیزی چرخه حیات^۲، ارزیابی تأثیر چرخه حیات^۳ و تلفیق، نتیجه‌گیری و تفسیر نتایج^۴ محاسبه شد (شکل ۱).

که مصرف نهاده‌ها زیاد است، افزایش عملکرد به بالاتر از ۴ تن در هکتار باعث افزایش اثرات محیطی در هکتار شد، ولی عملکرد اضافی ناشی از مصرف نهاده‌ها به اندازه‌ای نیست که این اثرات را به‌ازای هر تن دانه کاهش دهد. بنابراین با وضعیت فعلی کارایی استفاده از نهاده‌ها افزایش عملکرد از طریق فشرده‌سازی راه‌حل مطمئنی نبوده و پی‌آمدهای محیطی جدی به همراه خواهد داشت (Nassiri, 2017b; Mahallati and Koocheki, 2017b). خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2014) با بررسی اثرات زیست محیطی نظام‌های تولید گندم آبی و دیم کشور بیان داشتند که با افزایش میزان مصرف نهاده‌ها اثرات زیست محیطی آن افزایش یافت؛ به طوری که بیشترین سهم از شاخص بوم‌شناخت در هر دو نظام مربوط به گروه تأثیر گرمایش جهانی بود. نتایج مطالعه سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2010) روی ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید گندم در گرگان و مقایسه با اروپا نشان داد که تولید گندم دارای اثرات زیست محیطی قابل توجهی از نظر تخلیه انرژی‌های غیر تجدیدشونده، گرمایش جهانی، سرشارسازی، اکسیداسیون فتوشیمیایی، اسیدی شدن و تخلیه ازن می‌باشد و از این نظر فاصله معنی‌داری با کشورهای اروپایی (حدمطلوب) دارد. فلاح‌پور و همکاران (Fallahpour et al., 2012) با ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید غلات در شرایط مدیریت فاریاب و آبی در شمال شرق کشور با استفاده از LCA دریافتند که در مقادیر کم مصرف کود نیتروژن، اثرات زیست محیطی به مراتب کمتر بود و با افزایش مصرف کود نیتروژن، این اثرات زیست محیطی افزایش یافت. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2015) با ارزیابی زیست محیطی سیستم‌های مختلف چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) به عنوان یک محصول استراتژیک در استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی و مقایسه آن با الگوهای تولید مکانیزه، نیمه‌مکانیزه و سنتی، پتانسیل گروه‌های تأثیر شامل گرمایش جهانی، یوتروفیکاسیون، اکسیداسیون فتوشیمیایی، تخلیه ازن و اسیدی چغندر قند را به ترتیب ۴۸۸/۸ کیلوگرم معادل CO₂ به‌ازای هر تن محصول، ۰/۶۴ کیلوگرم معادل PO₄ به‌ازای هر تن محصول، ۰/۳ کیلوگرم معادل C₂H₄ به‌ازای هر تن محصول، ۸۲/۹ کیلوگرم معادل CFC-11 به‌ازای هر تن محصول و ۲/۲ کیلوگرم معادل SO₂ به‌ازای هر تن محصول گزارش کردند که در مقایسه با شرایط سوئیس به عنوان حد مطلوب در برخی گروه‌های تأثیر تا ۴۰ برابر بالاتر بود. همچنین آبیاری بیشترین سهم را در تشدید اثرات زیست محیطی داشت که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و وجود خشکسالی‌ها، نتیجه‌گیری شد که تأمین این انرژی به علت وابستگی به سوخت‌های فسیلی موجب تشدید بیشتر اثرات زیست محیطی خواهد شد. اسماعیل‌پور و همکاران (Esmailpour et al., 2015) گزارش نمودند که افزایش مصرف کود نیتروژن از ۲۵۰ به بیش از ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در نظام‌های تولید سیب‌زمینی، افزایش ۶۵ و ۵۶

- 1- Objectives and definition of scope
- 2- Life cycle inventory
- 3- Life cycle impact assessment
- 4- Integration and interpretation



شکل ۱- چهارچوب روش ارزیابی چرخه حیات (ISO 14040, 1997)
Figure 1- Life cycle assessment framework (ISO 14040, 1997)

(et al., 2004a)

گرمایش جهانی: این گروه تأثیر از طریق برآورد تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل CO_2 ، CH_4 و N_2O محاسبه و بر اساس معادل کیلوگرم CO_2 یکسان‌سازی شد (جدول ۱) (ISO, 2006).

اسیدی شدن: شاخص مربوط به این گروه تأثیر که بر اساس معادل کیلوگرم SO_2 یکسان‌سازی می‌شود، بر اساس میزان ورود املاح و ترکیبات معدنی به خاک برآورد شد (جدول ۱) (Brenttrup et al., 2004a; Biswas et al., 2008).

سرشارسازی: از آنجا که منبع تشدیدکننده سرشارسازی در نظام‌های خشکی ورود NH_3 و NO_x و برای محیط‌های آبی ورود ترکیبات N و P می‌باشد (Brenttrup et al., 2004a; Biswas et al., 2008)، لذا این گروه تأثیر در دو زیرگروه محیط‌های آبی و خشکی به‌طور جداگانه برآورد شد (جدول ۱).

تأثیر این سه گروه که بسته به ماهیت ممکن است منبع R یا عوامل انتشار یافته E باشند به‌ازای واحد کارکردی با استفاده از معادله (۱) تعیین شد.

$$I_i = \sum (R_j, E_j) \times CF_{ij} \quad (1)$$

پس از آن، نرمال‌سازی شاخص‌ها بر اساس دستورالعمل ISO و با استفاده از معادله (۲) انجام شد (Guinée, 1999; Guinée, 2001):

$$N_i = \frac{I_i}{I_{i,ref}} \quad (2)$$

الف- مشخص‌سازی اهداف و حوزه عمل: در این مرحله ابتدا

نهادها و خروجی‌ها تعیین شدند. مهمترین عامل در تعیین اهداف مطالعه، مشخص نمودن مرزهای سیستم و واحد کارکردی می‌باشد (Brenttrup et al., 2004a; Kowalski et al., 2007). واحد کارکردی معادل یک تن محصول اقتصادی از هر محصول در نظر گرفته شد. بر این اساس، واحد کارکردی گندم، ذرت و کلزا یک تن دانه برای سیب‌زمینی یک تن ساقه زیرزمینی، در مورد چغندر قند یک تن غده یا ریشه و برای گوجه‌فرنگی، خیار، خربزه و هندوانه معادل یک تن میوه در نظر گرفته شد.

ب- ممیزی چرخه حیات (LCI): این مرحله شامل جمع‌آوری،

تجزیه و تحلیل و ممیزی نهادها و خروجی‌ها (شامل انتشار مواد به اتمسفر، آب، زمین، پسماندها و فرآورده‌های جانبی) برای هر نظام تولید است (Skowrońska and Filipek, 2014). در این مرحله، کلیه نهادهای لازم و پسماندها و آلاینده‌های انتشار یافته تعیین و بر حسب واحد کارکردی محاسبه شد (Brenttrup et al., 2001). بر اساس دستورالعمل ISO این اثرات زیست‌محیطی شامل انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای، فلزات سنگین و آفت‌کش‌ها به اتمسفر، خاک و آب بود (Finkbeiner et al., 2006).

ج- ارزیابی تأثیر چرخه حیات: هدف از این مرحله، تجزیه

و تحلیل کمی نتایج مرحله ممیزی می‌باشد. به این منظور، برای هر یک از گروه‌های تأثیر، ضریب ویژه^۱ (CF) تعریف شد. گروه‌های تأثیر مورد مطالعه شامل گرمایش جهانی، اسیدی شدن و سرشارسازی در نظام‌های خشکی و آبی بود (Finkbeiner et al., 2006; Brenttrup

2- Resource

3- Emission

1- Characteristic factor

د- تلفیق، نتیجه گیری و تفسیر نتایج^۱: در آخرین مرحله، شاخص بوم شناخت^۲ که معیار نهایی LCA می باشد، با استفاده از معادله (۴) محاسبه شد (Brentrup et al., 2004a):

$$EcoX = \sum Ni \times W_i \quad (4)$$

که در آن، EcoX: شاخص محیطی بوم شناخت به ازای واحد کارکردی، Ni: مقدار نرمال شده مربوط به هر گروه تأثیر و Wi: وزن مربوط به هر یک از مقادیر Ni می باشد. برای سنجش قابلیت روایی^۳ پرسشنامه، ضریب آلفای کرونباخ^۴ محاسبه گردید (Cronbach, 1951). پس از جمع آوری پرسشنامه ها، دسته بندی اطلاعات و محاسبات مربوطه با استفاده از نرم افزار Excel انجام گردید. شکل ها با استفاده از نرم افزار Microsoft Excel 2013 رسم شدند.

نتایج و بحث

میزان نهاده های مصرفی و عملکرد اقتصادی: میانگین میزان نهاده های مورد استفاده به ازای هر یک هکتار و عملکرد محصول اقتصادی در نظام های تولید محصولات عمده در استان خراسان رضوی در جدول ۲ نشان داده شده است.

آلفای کرونباخ: ضریب آلفای کرونباخ برابر با ۰.۸۲٪ α= محاسبه شد که نشان دهنده قابلیت اعتماد بالای پرسشنامه بوده است.

گرمایش جهانی: بیشترین و کمترین پتانسیل گرمایش جهانی در مقایسه محصولات عمده استان خراسان رضوی به ترتیب برای کلزا (۱۳۴۲/۰۱) واحد معادل کیلوگرم CO₂ به ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی و چغندر قند (۲۷/۲۵) واحد معادل کیلوگرم CO₂ به ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی (به دست آمد. پتانسیل گرمایش جهانی بوم نظام های تولید کلزا نسبت به گندم، ذرت، هندوانه، خیار، خربزه، گوجه فرنگی و سیب زمینی به ترتیب برابر با ۵۰، ۶۹، ۸۲، ۸۸، ۹۰، ۹۴ و ۹۵ درصد بالاتر محاسبه شد (شکل ۲). بیشترین سهم انتشار گازهای گلخانه ای در گروه تأثیر گرمایش جهانی در مقایسه گازهای مختلف، مربوط به دی اکسید کربن بود و کمترین سهم به متان اختصاص داشت. دامنه انتشار انواع گازهای گلخانه ای شامل متان، اکسید نیترو و دی اکسید کربن از مجموع پتانسیل این گروه تأثیر به ترتیب برابر با ۳/۴-۳/۳، ۳۹/۱-۴۷/۳ و ۵۷/۱-۶۲/۱ درصد محاسبه شد (شکل ۲).

جدول ۱- فاکتور مشخص سازی گروه های تأثیر (Brentrup et al., 2004a)

Table 1- Characterization factors for impact categories

پتانسیل گرمایش جهانی	
Climate change potential	
ماده	فاکتور مشخص سازی
Material (kg)	Characterization factor
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
پتانسیل اسیدی شدن	
Acidification potential	
ماده	فاکتور مشخص سازی
Material (kg)	Characterization factor
SO ₂	1
NO _x	0.28
NH ₃	1.30
پتانسیل اوتروفیکاسیون در بوم نظام های خشکی	
Terrestrial eutrophication potential	
ماده	فاکتور مشخص سازی
Material (kg)	Characterization factor
NO _x	1
NH ₃	5
پتانسیل اوتروفیکاسیون در بوم نظام های آبی	
Terrestrial eutrophication potential	
ماده	فاکتور مشخص سازی
Material (kg)	Characterization factor
P	1
NO ₃	0.1
NO _x	0.13
NH ₄	0.33
PO ₄	0.0048
NH ₃	0.35
N	0.42
NO ₃ -N	0.42

که در این معادله، Ni: مقدار نرمال شده شاخص مربوط به گروه تأثیر i به ازای واحد کارکردی، I_i: مقدار محاسبه شده (غیر نرمال) شاخص مربوط به گروه تأثیر i (به ازای هر یک واحد کارکردی) و I_{i,ref}: مقدار شاخص مربوط به هر گروه تأثیر در شرایط مرجع می باشد. سپس، شاخص های نرمال شده با استفاده از معادله (۳) موزون شدند تا شدت تأثیر آنها بر حسب وزن (W) مربوط به هر گروه تأثیر لحاظ گردد (Brentrup et al., 2004a):

$$W_{ijk} = \frac{C_{ijk}}{T_{ijk}} \quad (3)$$

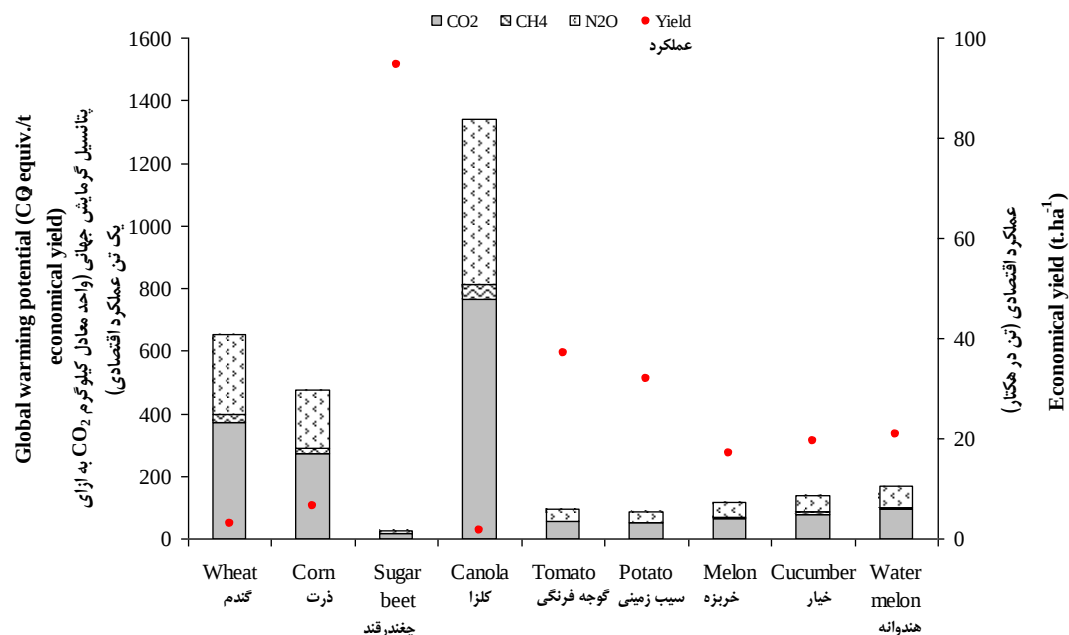
که در آن، W_{ijk}: وزن مربوط به شاخص i در منطقه j در سال k، C_{ijk}: مقدار فعلی شاخص i در منطقه j در سال k و T_{ijk}: مقدار هدف برای شاخص i در منطقه j در سال k می باشد.

- 1- Integration and interpretation
- 2- Eco-Index
- 3- Reliability
- 4- Cronbach's Alfa

جدول ۲- مقدار نهاده‌ها و ستانده‌های محصولات عمده در استان خراسان رضوی به‌ازای هر یک هکتار

Table 2- Input and output of important crops in Khorasan-e Razavi Province per one ha

الف) نهاده‌ها A) Inputs	گندم Wheat	ذرت Corn	چغندر قند Sugar beet	کلزا Canola	گوجه‌فرنگی Tomato	سیب‌زمینی Potato	خربزه Melon	خیار Cucumber	هندوانه Water melon
سوخت (لیتر) Fuel (l)	128.5	185.70	498.60	144.60	155.90	568.20	96.40	78.60	68.20
کود دامی (تن) Cow manure (ton)	-	-	-	-	4.1	4.01	4.15	4.38	4.14
کودهای شیمیایی (کیلوگرم) Chemical fertilizers (kg)									
الف) نیتروژن A) Nitrogen	250	400	300	300	300	250	100	200	300
ب) پتاسیم B) Potassium	75	100	150	100	100	100	100	100	250
ج) فسفر C) Phosphorus	150	200	150	150	150	100	200	100	200
آب (متر مکعب) Water m ³	5700	14500	14500	6000	12700	12500	12500	12226	12500
بذر (کیلوگرم) Seed (kg)	220	35	3.75	6.4	2.1	3575	3.5	3.6	4.5
ب) ستانده B) Outputs									
عملکرد اقتصادی (تن) Economical yield (t)	2.91	6.39	94.47	1.69	37.12	31.79	16.95	19.49	20.77



شکل ۲- پتانسیل گرمایش جهانی به‌ازای هر یک واحد کارکردی محصولات عمده استان خراسان رضوی

Figure 2- Global warming potential of important crops as a functional unit in Khorasan-e Razavi Province

همکاران (Barton *et al.*, 2008) گزارش نمودند اگرچه انتشار گازهای گلخانه‌ای بین نظام‌های مختلف گیاهی بسته به شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت می‌باشد، ولی نوع مدیریت تأثیر به‌سزایی بر میزان انتشار این گازها و در نتیجه پتانسیل گرمایش جهانی دارد. بر این اساس، مشخص است که اجرای مدیریت فشرده‌تر در نظام‌های تولید محصولات مختلف در استان خراسان رضوی به‌ویژه مصرف کودهای شیمیایی و خاکورزی فشرده باعث تشدید پتانسیل گرمایش جهانی شده است.

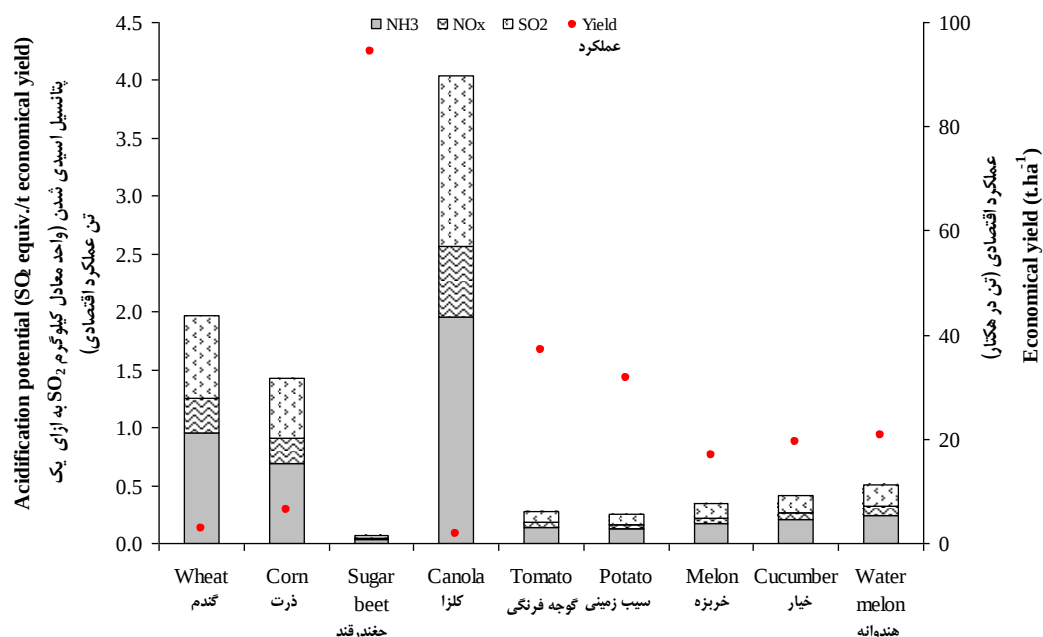
نتایج مطالعات موجود مؤید آن است که دلیل اصلی تشدید پتانسیل گرمایش جهانی در بوم‌نظام‌های کشاورزی مربوط به احتراق سوخت‌های فسیلی می‌باشد (Mila i Canals *et al.*, 2006). بنابراین، با توجه به سهم بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای توصیه می‌شود از تنوع بخشیدن به الگوهای کشت و ورود گیاهان چندساله مانند گیاهان علوفه‌ای، دارویی و در مواردی کشت مخلوط گیاهان یکساله با گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، نظام‌های خاکورزی کاهش یافته و مصرف مقادیر مناسب کودهای آلی به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی با در نظر گرفتن نیاز گیاه و خصوصیات خاک به‌عنوان راهکارهایی پایدار برای تخفیف اثرات این گروه تأثیر در نظام‌های تولید محصولات مختلف در استان خراسان رضوی بهره‌گیری شود. روش‌های نوین از جمله کم‌خاکورزی نه تنها از نظر مصرف انرژی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی اقتصادی‌تر هستند، بلکه از فرسایش خاک نیز جلوگیری کرده و موجب حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک شده که علاوه بر جلوگیری از تبخیر آب در بوم‌نظام‌های خشک و نیمه‌خشک استان و خنک شدن سطح خاک در نهایت، باعث بهبود ترسیب کربن خواهد شد. البته اجرای این راهکارها بهبود تنوع کارکردی و در نتیجه پایداری نظام‌های تولید محصولات مختلف را نیز موجب خواهد شد.

اسیدی شدن: بیشترین و کمترین پتانسیل اسیدی شدن به‌ترتیب مربوط به کلزا (۰/۰۷) واحد معادل کیلوگرم SO₂ به‌ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی) و چغندر (۰/۰۴) واحد معادل کیلوگرم SO₂ به‌ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی) بود. پتانسیل اسیدی شدن نظام‌های تولید کلزا در مقایسه با گندم، ذرت، هندوانه، خیار، خربزه، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی به‌ترتیب برابر با ۴۸، ۵۹، ۷۸، ۸۲، ۸۹، ۹۱ و ۹۲ درصد بالاتر بود (شکل ۳). بیشترین سهم انتشار آلاینده‌های مختلف در گروه تأثیر اسیدی شدن برای NH₃ به‌دست آمد. دامنه انتشار آلاینده‌ها شامل SO₂، NO_x و NH₃ از مجموع پتانسیل این گروه تأثیر به‌ترتیب ۱۵/۲-۱۰/۰۱، ۳۶/۶-۲۱/۶ و ۴۸/۵-۳۶/۸ درصد محاسبه شد (شکل ۳).

اگرچه پتانسیل گرمایش متان ۲۱ برابر دی اکسید کربن می‌باشد (IPCC, 2006)، ولی میزان انتشار آن در مقایسه با دو گاز دیگر ناچیز بود. در شرایط غیرغرقابی (غیرهوازی) کودهای دامی مهم‌ترین منشأ انتشار متان در مزرعه می‌باشند (Van der Hoek and Van Schijndel, 2006) و کاربرد محدود این نوع کود در بوم‌نظام‌های تولید محصولات عمده در استان خراسان رضوی (جدول ۱) باعث کاهش سهم این گاز از مجموع GWP شده است.

غلظت کنونی دی‌اکسید کربن در اتمسفر به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین گازهای گلخانه‌ای برابر با ۴۰۵/۱۴ پی‌پی‌ام می‌باشد (https://www.CO2.earth). دلیل عمده تولید و انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه CO₂ و N₂O در بوم‌نظام‌های زراعی فشرده نظیر کلزا و غلات (شکل ۲) مربوط به مصرف سوخت‌های فسیلی، به‌کارگیری ماشین‌آلات برای عملیات مختلف زراعی و همچنین فرآیند تولید و مصرف کودهای شیمیایی است (Brenttrup *et al.*, 2004a; Dyer and Desjardins, 2003; Moudry *et al.*, 2013). وست و مارلند (West and Marland, 2002) گزارش نمودند که شخم با گاواهن برگردان‌دار باعث انتشار ۲۶/۷۵ کیلوگرم کربن در هکتار به اتمسفر شده که برابر ۹۸ کیلوگرم معادل CO₂ می‌باشد. لال (Lal, 2004) کربن انتشار یافته به اتمسفر تحت تأثیر عملیات خاکورزی را ۱۵/۲ کیلوگرم در هکتار (۵۵/۷ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار) گزارش کرد. بومن (Bouwman, 1990) دلیل عمده انتشار گازهای گلخانه‌ای از بوم‌نظام‌های زراعی را مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنه معرفی نمود.

علاوه بر افزایش غلظت CO₂، برخی بررسی‌ها نشان داده است که غلظت N₂O در اتمسفر از ۲۷۵ پی‌پی‌بی (در دوره قبل از صنعتی شدن) به ۳۱۹ پی‌پی‌بی (در سال ۲۰۰۵ میلادی) افزایش یافته (IPCC, 2007) که این امر موجب تخریب لایه ازن شده است. پتانسیل گرمایش این گاز گلخانه‌ای ۳۱۰ برابر CO₂ است (Crutzen, 1981). کروتزن و همکاران (Crutzen *et al.*, 2008) نشان دادند که با افزایش میزان مصرف کودهای نیتروژنه سهم N₂O افزایش می‌یابد، در صورتی که با کاهش مصرف این کودها نقش CO₂ در پتانسیل گرمایش تشدید خواهد شد. خوشنویسان و همکاران (Khoshnevisan *et al.*, 2013) خاطر نشان ساختند که مهم‌ترین آلاینده انتشار یافته از کودهای شیمیایی نیتروژنه که بیشترین تأثیر (با سهم ۹۷ درصد) را در تشدید پتانسیل گرمایش جهانی دارد، N₂O است. میودری و همکاران (Moudry *et al.*, 2013) بیان داشتند که انتشار N₂O به دلیل بالاتر بودن مصرف کودهای نیتروژن در بوم‌نظام‌های رایج به مراتب بالاتر از نظام‌های ارگانیک بود. بارتون و



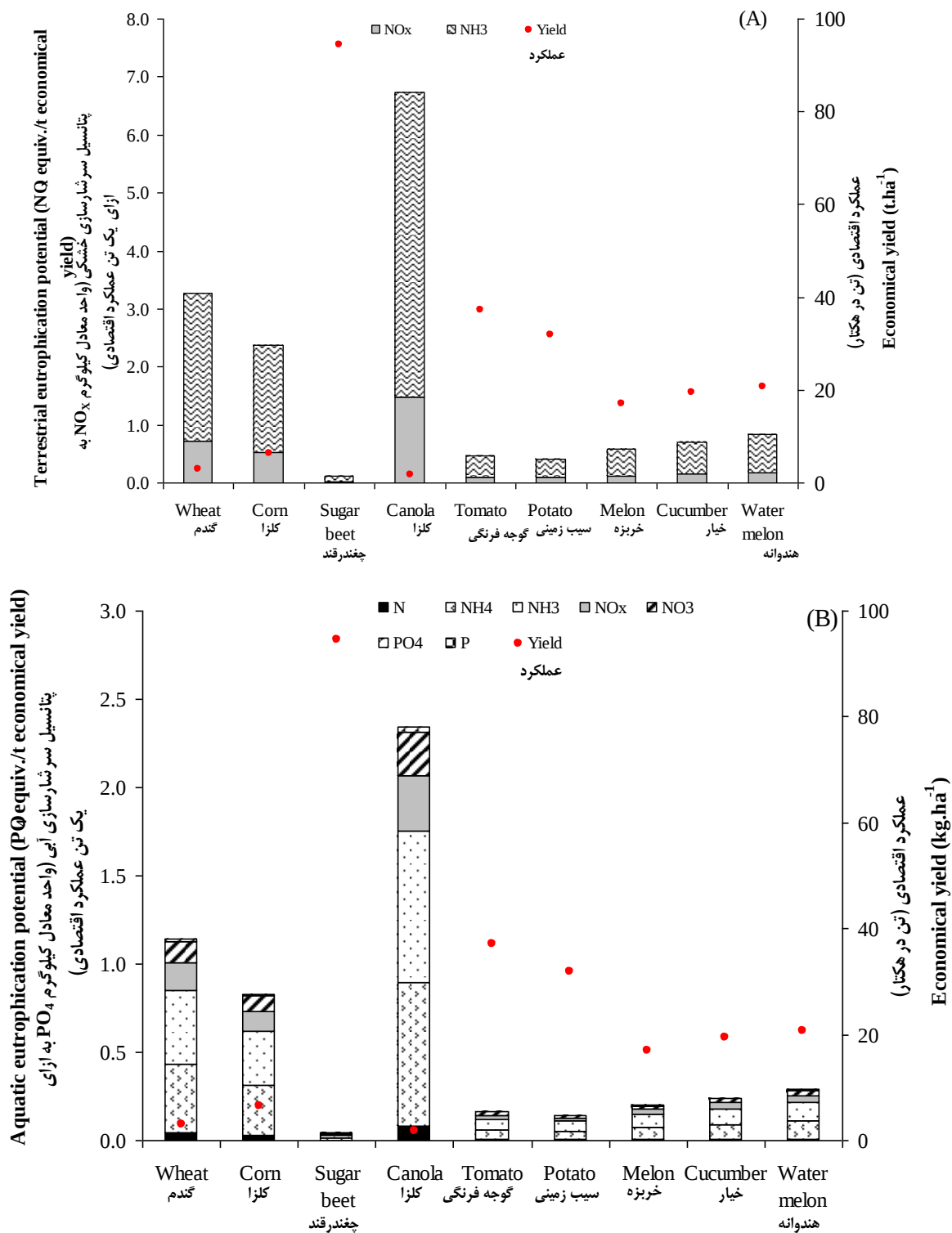
شکل ۳- پتانسیل اسیدی شدن به ازای هر یک واحد کارکردی محصولات عمده استان خراسان رضوی
Figure 3- Acidification potential of important crops as a functional unit in Khorasan-e Razavi Province

مناسب کاشت، تناوب زراعی مناسب، کاهش کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن و افزایش مصرف نهاده‌های آلی و جایگزین شدن آنها با کودهای شیمیایی در مزارع تولید محصولات مختلف در این استان به عنوان راهکارهایی بوم‌شناختی برای بهبود کارایی مصرف عناصر و تخفیف پتانسیل اسیدی شدن بهره‌گیری شود. نمک و همکاران (Nemecek et al., 2011) نیز بهره‌گیری از مدیریت ارگانیک را به عنوان راهکاری برای تخفیف اثرات زیست‌محیطی معرفی نمودند. توصیه نظام‌های مبتنی بر تناوب زراعی مناسب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، علاوه بر ایجاد ثبات تولید، مشکلات ناشی از الگوهای کشت نادرست، افزایش مصرف آب و مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژن را نیز به حداقل می‌رساند.

سرشارسازی خشکی و آبی: بیشترین پتانسیل سرشارسازی نظام‌های خشکی در مقایسه محصولات مختلف استان خراسان رضوی مربوط به کلزا (۶/۷۴) واحد معادل کیلوگرم NO_x به ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی) بود و کمترین میزان برای چغندر (۰/۱۲) واحد معادل کیلوگرم NO_x به ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی) حاصل شد. پتانسیل سرشارسازی خشکی نظام‌های تولید کلزا در مقایسه با گندم، ذرت، هندوانه، خیار، خربزه، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی به ترتیب برابر با ۳۲، ۳۹، ۵۰، ۶۹، ۷۹ و ۸۸ درصد بالاتر محاسبه گردید (شکل ۴- الف). بیشترین سهم آلاینده‌های مختلف در گروه تأثیر سرشارسازی خشکی مربوط به NH_3 بود. دامنه انتشار آلاینده‌ها شامل NH_3 و NO_x از مجموع پتانسیل این گروه

مهمترین مواد دارای پتانسیل اسیدی شدن دی‌اکسید سولفور و اکسیدهای نیتروژن هستند که در بوم‌نظام‌های کشاورزی از مصرف سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی تولید می‌شوند (ECETOC, 1994; Engström et al., 2009) که این انتشار به وسیله مجموعه فرآیندهای پیچیده انتقال اتمسفری و شیمیایی اسیدی شدن را تشدید نموده که اثرات زیان‌باری بر اجزای بوم‌نظام، جمعیت‌های گیاهی و جانوری دارد (Bare et al., 2003). اندازه‌گیری‌ها نشان داده است که هرچه سیستم تولید فشرده‌تر باشد، سهم NH_3 ناشی از تصعید کودها در اسیدی شدن تشدید شده و از سهم NO_x و SO_2 کاسته می‌شود (Brenttrup et al., 2004). افزایش مصرف کودهای نیتروژن در نظام‌های فشرده تولید محصولات مختلف در استان خراسان رضوی همچون کلزا و غلات (شامل گندم و ذرت) از طریق انتشار آلاینده‌های NH_3 و NO_x باعث تشدید پتانسیل گروه تأثیر اسیدی شدن در مقایسه با سایر محصولات به‌ویژه چغندر می‌گردد. برخی محققان دلیل این انتشار را به تبخیر نیتروژن به فرم‌های آمونیاک و اکسیدهای نیتروژن نسبت دادند (Fallahpour et al., 2012). بنا بر عقیده ماهر و همکاران (Mahler et al., 1994) با توجه به هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بوم‌نظام‌های زراعی رایج، به منظور توسعه پایدار لازم است تحقیقات گسترده‌تری جهت افزایش کارایی و بهره‌وری نیتروژن به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون استان خراسان رضوی انجام شود. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که از اعمال مدیریت‌های کم‌نهاده با تأکید بر انتخاب الگوی

تأثیر به ترتیب برابر با ۲۱/۸-۱۱/۰۱ و ۶۰/۸-۷۸/۲ درصد حاصل شد (شکل ۴- الف).



شکل ۴- پتانسیل سرشارسازی (الف) خشکی و (ب) آبی به ازای هر یک واحد کارکردی محصولات عمده استان خراسان رضوی

Figure 4- (A) Terrestrial and (B) aquatic eutrophication potential of important crops as a functional unit in Khorasan-e Razavi Province

۵/۳ و ۶۳ کیلوگرم در هکتار رسید.

مصرف بی‌رویه فسفر و به تبع آن جذب بالای این عنصر توسط گیاه اثرات سوئی بر جذب سایر عناصر نیز می‌گذارد. در همین راستا، بوان و لگت (Boan and Legget, 2001) نتیجه گرفتند که غلظت بالای فسفر باعث کاهش جذب روی و کاهش انتقال آن به اندام‌های هوایی و تجمع در ریشه، ساقه و گره‌های سیب‌زمینی می‌شود. از طرف دیگر، از آنجا که ماده آلی قابلیت فراهمی فسفر را در خاک افزایش می‌دهد (Afif et al., 1993; Delgado et al., 2002)، می‌توان به‌عنوان جایگزین مصرف کودهای فسفره شیمیایی در نظام‌های فشرده تولید محصولات در استان خراسان رضوی نظیر کلزا و غلات، مصرف کودهای آلی را مدنظر قرار داد که این امر علاوه بر بهبود تدریجی قابلیت فراهمی این عنصر در خاک و جلوگیری از هدرروی آن، افزایش کارایی مصرف عناصر و کاهش بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی را به‌ویژه در گروه تأثیر سرشارسازی موجب می‌گردد. مواد آلی می‌توانند به‌صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود، به‌عنوان پیونددهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر، موجب تشکیل ترکیبات فسفات آلی شده و با آزادسازی تدریجی فسفر در محلول خاک قابلیت استفاده از این عنصر را برای گیاه افزایش دهند. والن و چانگ (Whalen and Chang, 2002) بیان داشتند که استفاده درازمدت از مواد آلی باعث نگهداری فسفر با پیوندهای کم‌انرژی‌تر شده و قابلیت فراهمی این عنصر را در نیم‌رخ خاک افزایش می‌دهد. ریوسو و دی‌لوسیا (Russo and De Lucia, 2008) اظهار داشتند که برای کاهش اثرات زیست-محیطی کودهای شیمیایی در خاک، پیش از استفاده، بایستی میزان ماده آلی خاک تعیین گردد تا با توجه به خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، میزان و نوع کود مصرفی انتخاب شود.

فسفر اصلی‌ترین عامل تشدیدکننده گروه تأثیر سرشارسازی می‌باشد (Charles et al., 2006). خوشنویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2013) بیان داشتند که مهم‌ترین عامل تشدیدکننده پتانسیل گروه تأثیر سرشارسازی به فسفات با سهم ۶۸ درصد اختصاص دارد. فسفر محلول مورد نیاز برای اکثر محصولات کشاورزی ۰/۳-۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (Riemersma et al., 2006; Fageria, 2009). لذا با توجه به پتانسیل بالای خاک‌های کشور در تأمین نیاز گیاهان از نظر فسفر (Mirbagheri et al., 2012) و آستانه سرشارسازی (۰/۱-۰/۲ میلی‌گرم در لیتر) (Kronvang et al., 2009)، مشخص است که احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی در استان خراسان رضوی به فسفر و تشدید پتانسیل این گروه تأثیر به‌ویژه در نظام‌های فشرده تولید محصولات مختلف نظیر کلزا و غلات بسیار زیاد است.

بیشترین پتانسیل سرشارسازی نظام‌های آبی مربوط به کلزا با ۰/۵۹ واحد معادل کیلوگرم PO_4 به‌ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی بود و کمترین میزان برای چغندرکند با ۰/۰۱ واحد معادل کیلوگرم PO_4 به‌ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی حاصل شد. پتانسیل سرشارسازی آبی نظام‌های تولید کلزا در مقایسه با گندم، ذرت، هندوانه، خیار، خربزه، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی به‌ترتیب برابر با ۴۰، ۵۱، ۶۶، ۷۹، ۸۵، ۹۱ و ۹۲ درصد بالاتر بود (شکل ۴-ب). در مقایسه آلاینده‌های مختلف این گروه تأثیر شامل P ، PO_4 ، N ، NO_3 ، NO_x و NH_3 بیشترین سهم مربوط به NH_4 بود. دامنه انتشار انواع آلاینده‌ها شامل P ، PO_4 ، N ، NO_3 ، NO_x و NH_3 از مجموع پتانسیل این گروه تأثیر به‌ترتیب برابر با ۰/۲۳-۰/۰۸، ۰/۰۸-۰/۱۶، ۰/۱۶-۰/۲۶، ۰/۲۶-۰/۵۸، ۰/۵۸-۱/۰۳، ۱/۰۳-۱/۱۷، ۱/۱۷-۳/۴ و ۳/۴-۳۲/۶ درصد محاسبه شد (شکل ۴-ب).

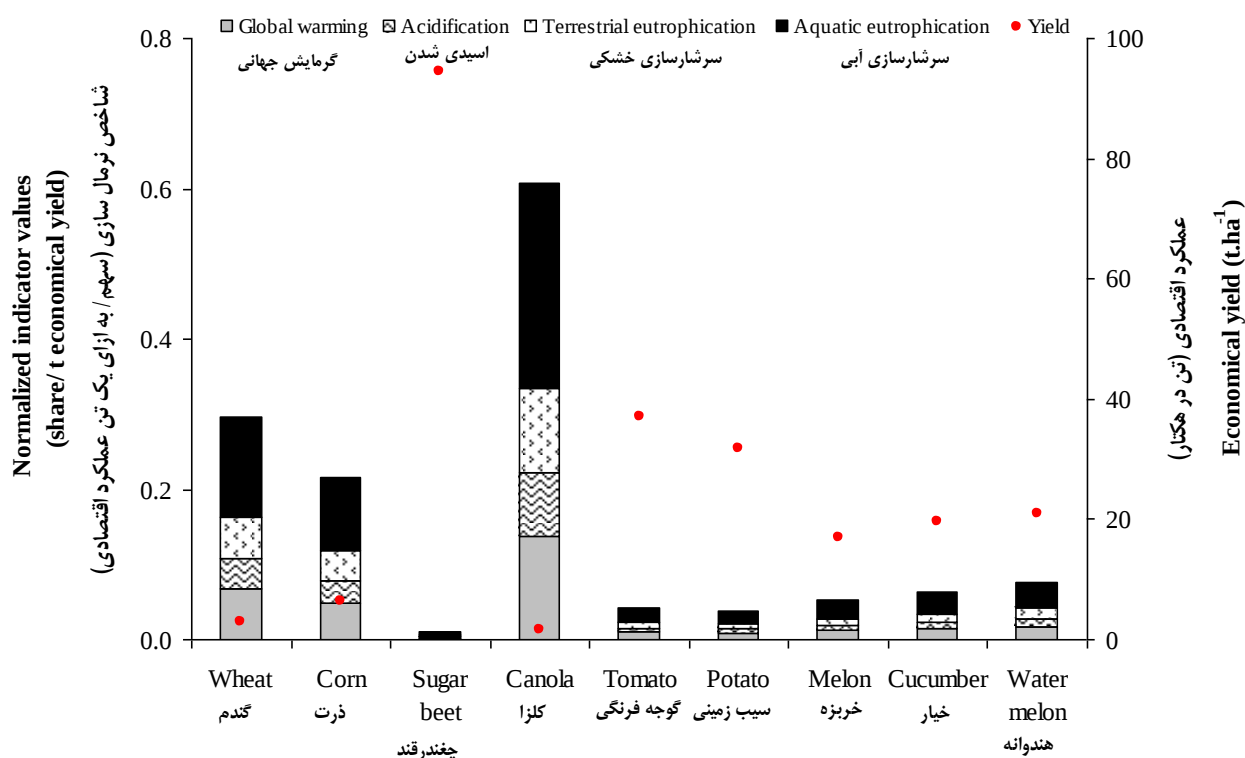
در نظام‌های مختلف تولید در استان خراسان رضوی، انتشار آلاینده‌های مختلف به‌ویژه NH_3 ، NH_4 ، NO_3 و NO_x و تلفات P به محیط باعث تشدید پتانسیل این گروه تأثیر در محیط‌های خشکی و آبی شده است. از آنجا که انتشار عمدتاً وابسته به نقل و انتقال و استفاده از ماشین‌آلات است (Brenttrup et al., 2004a)، لذا میزان انتشار این آلاینده برای محیط خشکی به مراتب بالاتر از آبی بود. سرشارسازی سبب تغییر در ترکیب گونه‌ای بوم‌نظام شده و میزان تولید بیوماس را افزایش می‌دهد که موجب زنجیره‌ای از پیامدهای زیان‌بار شامل کاهش تنوع زیستی و تولید ترکیبات شیمیایی برای انسان، دام و سایر پستانداران می‌شود که این انتشار به‌وسیله مجموعه فرآیندهای پیچیده انتقال اتمسفری و شیمیایی اسیدی شدن را تشدید نموده که اثرات زیان‌باری بر اجزای بوم‌نظام، جمعیت‌های گیاهی و جانوری دارد (Bare et al., 2003).

انتشار نیترات به‌عنوان یکی دیگر از آلاینده‌های گروه تأثیر سرشارسازی، به‌طور معنی‌داری به شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک وابسته بوده و در شرایط ثابت محیطی تابع میزان مصرف نیتروژن است. برای مثال، در مطالعه‌ای بر روی گندم مشخص شد که با تغییر میزان مصرف نیتروژن از ۱۰۰ به ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار پتانسیل سرشارسازی در واحد سطح بیش از ۵۰ درصد افزایش یافت (Charles et al., 2006). با افزایش مصرف کودهای نیتروژنی سهم NO_3^- در پتانسیل سرشارسازی از سایر عوامل مؤثر بر این گروه تأثیر بیشتر می‌شود. برنتراپ و همکاران (Brenttrup et al., 2004b) با بررسی میزان انتشار NO_3^- در سطوح مختلف مصرف نیتروژن کودی نشان دادند که انتشار NO_3^- در مقادیر کم مصرف نیتروژن اندک بود، ولی با افزایش مصرف کود به‌طور نمایی افزایش یافت؛ به‌طوری‌که با کاربرد ۴۸، ۱۴۴ و ۲۸۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب به ۱/۷،

شده به سرشارسازی آبی اختصاص داشت. رتبه های بعدی به ترتیب مربوط به گرمایش جهانی، سرشارسازی خشکی و اسیدی شدن بود (شکل ۵).

شاخص نرمال سازی: بیشترین و کمترین شاخص

نرمال سازی به ترتیب برای کلزا و چغندر قند با ۰/۶۱ و ۰/۰۱ به ازای هریک تن عملکرد اقتصادی محاسبه شد (شکل ۵). در مقایسه گروه های تأثیر مورد مطالعه، بیشترین سهم از مجموع شاخص نرمال



شکل ۵- شاخص نرمال شده به ازای هر یک واحد کارکردی محصولات عمده استان خراسان رضوی

Figure 5- Normalized indicator values of important crops as a functional unit in Khorasan-e Razavi Province

به منظور کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، بایستی عملکرد افزایش یابد تا شدت انتشار آلاینده ها به سبب استفاده بیشتر از کودهای شیمیایی توجیه پذیر باشد. در این راستا، نتایج این مطالعه نیز نشان داد که صرف نظر از میزان مصرف نهاده ها در بوم نظام های زراعی استان خراسان رضوی، عملکرد بالای غده چغندر قند در مقایسه با عملکرد اقتصادی سایر محصولات مورد مطالعه همچون دانه کلزا و غلات کاهش اثرات زیست محیطی و به تبع آن کاهش شاخص بوم شناخت را به دنبال داشت. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن از ۱۴۰ به ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار مسمومیت آبی، کاربری زمین و سرشارسازی به ازای هر تن دانه گندم کاهش یافت، ولی پتانسیل گرمایش، مسمومیت انسان و مسمومیت خشکی به ازای هر یک تن دانه در سطوح بالای مصرف نیتروژن نیز بیشتر از سطوح پایین آن بود (Charles et al., 2006). بنابراین، عملکرد بیشتر در صورتی اثرات محیطی حاصل از

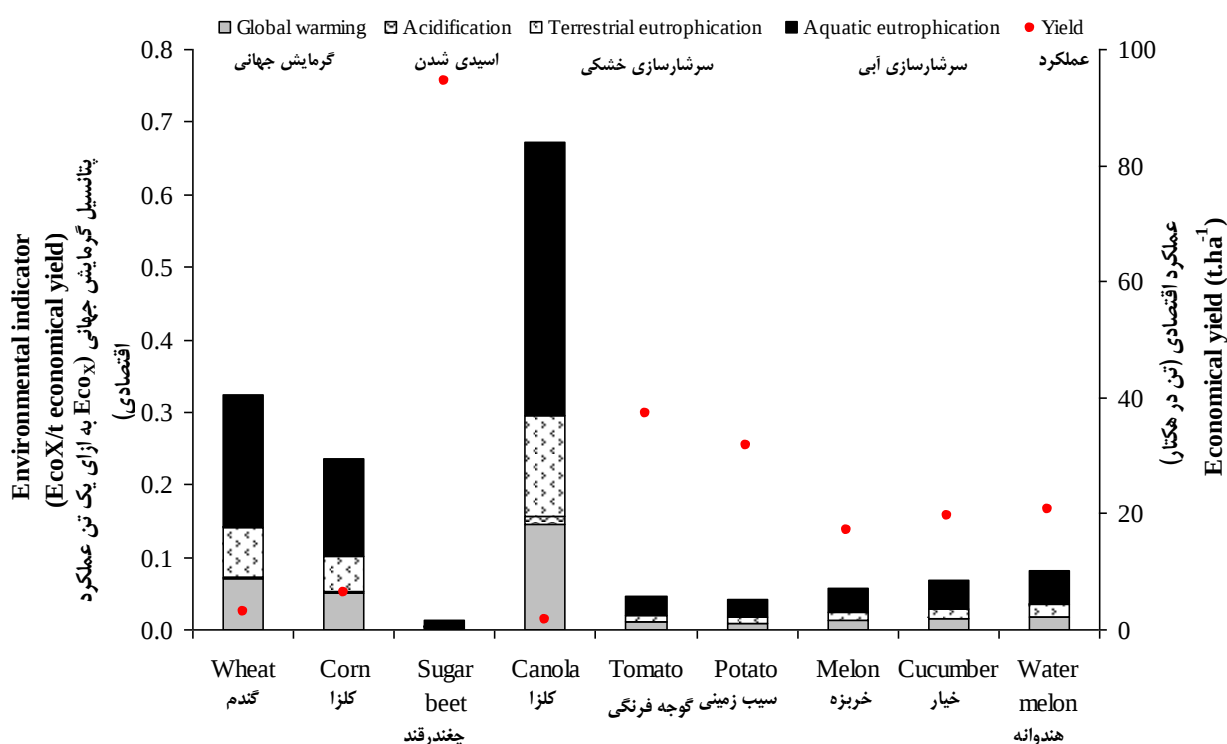
شاخص بوم شناخت: بیشترین مجموع شاخص بوم شناخت

مربوط به کلزا با $EcoX \ 0/67$ به ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی بود و کمترین میزان برای چغندر قند با $EcoX \ 0/01$ به ازای هر یک تن عملکرد اقتصادی حاصل شد. مجموع شاخص بوم شناخت در نظام تولید کلزا در مقایسه با نظام های تولید گندم، ذرت، هندوانه، خیار، خربزه، گوجه فرنگی و سیب زمینی به ترتیب برابر با ۳۸، ۴۶، ۴۹، ۵۹، ۷۷، ۸۰ و ۹۴ درصد بالاتر به دست آمد (شکل ۶). بیشترین سهم در مقایسه گروه های تأثیر مورد مطالعه از مجموع شاخص بوم شناخت مربوط به سرشارسازی آبی (با میانگین ۵۶ درصد) بود. سهم سایر گروه های تأثیر شامل گرمایش جهانی، سرشارسازی خشکی و اسیدی شدن به ترتیب ۲۲، ۲۰ و ۱ درصد تعیین گردید (شکل ۶).

کارلز و همکاران (Charles et al., 2006) با انجام مطالعات بهینه سازی میزان مصرف نهاده ها در نظام های تولید محصولات کشاورزی با بهره گیری از ارزیابی چرخه حیات خاطر نشان ساختند که

آلودگی‌های زیست‌محیطی را به دنبال دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود جهت تخفیف اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید در استان خراسان رضوی، افزودن متناسب عناصر غذایی بر مبنای نیاز گیاه، شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک مدنظر قرار گیرد (Brenttrup et al., 2004b). ایریارت و همکاران (Iriarte et al., 2010) با بررسی اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید آفتابگردان و کلزا تأکید کردند که بیشترین اثرات زیست‌محیطی برای گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی و سرشارسازی حاصل شد.

مصرف نهاده‌ها را کاهش می‌دهد که میزان افزایش عملکرد بیشتر از شدت فشرده‌سازی باشد (Tzivilakis et al., 2005; Nemecek et al., 2010). بدین ترتیب، بایستی توجه گردد که بوم‌نظام‌های زراعی با عملکرد بالا الزاماً در تضاد با مشکلات زیست‌محیطی نیستند، ولی به‌کارگیری بیش از حد نهاده‌ها شامل سوخت و مصرف کودهای مختلف شیمیایی با تشدید انتشار آلاینده‌های مختلف در انواع گروه‌های تأثیر، افزایش تلفات نیتروژن و کاهش کارایی مصرف این عنصر به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عناصر متحرک و در نهایت، تشدید



شکل ۶- مجموع شاخص بوم‌شناخت به‌ازای به‌ازای هر یک واحد کارکردی محصولات عمده استان خراسان رضوی
Figure 6- Environmental indicator of important crops as a functional unit in Khorasan-e Razavi Province

تغییر در میزان مصرف نهاده‌ها می‌تواند سهم به‌سزایی در تشدید اثرات زیست‌محیطی محصولات مختلف در استان خراسان رضوی داشته باشد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود مدیریت پایدار نظام‌های زراعی در استان برای کاهش این اثرات زیست‌محیطی از طریق انتخاب الگوی کشت مناسب مدنظر قرار داده شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه روی مقایسه اثرات زیست‌محیطی نظام‌های عمده تولیدات زراعی در استان خراسان رضوی شامل گندم، ذرت، چغندر، کلزا، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، خربزه، هندوانه و خیار با

آنها دلیل این امر را به تولید و مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی برای افزایش تولید این محصولات و همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی تحت تأثیر عملیات فشرده خاکورزی نسبت دادند. هایشی (Hayashi, 2005) دریافت که فشرده‌گی عملیات زراعی همبستگی قوی با درجه اثرات زیست‌محیطی دارد. برنتراپ و همکاران (Brenttrup et al., 2004b) با ارزیابی وضعیت نظام‌های تولید محصولات کشاورزی با استفاده از LCA خاطر نشان کردند که در مقادیر پایین مصرف کود، شاخص بوم‌شناخت کمتر بود و با افزایش مصرف کود، این شاخص تشدید گردید. البته بایستی به این مهم توجه کرد که تغییر شرایط اقلیمی و بروز خشکسالی‌های اخیر از طریق

شیمیایی، تناوب زراعی و کشت مخلوط با گیاهان تثبیت کننده نیتروژن و همچنین انتخاب گیاهان با اثرات زیست محیطی کمتر در الگوی کاشت، در نظام های تولید در جهت به عنوان مدیریت پایدار خاک بهره گیری شود که این راهکارها برای کاهش اثرات زیست محیطی همراه با حفظ عملکرد بالا مفید خواهد بود.

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبار طرح پژوهش شماره ۲/۴۰۹۸۵ مورخ ۱۳۹۵/۰۳/۰۹ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین وسیله سپاسگزاری می شود.

استفاده از LCA نشان داد که بیشترین اثرات زیست محیطی به ازای یک واحد کارکردی محصول اقتصادی مربوط به کلزا بود و کمترین اثرات به چغندر قند اختصاص داشت. در بین گروه های مختلف، بیشترین اثرات زیست محیطی بر مبنای شاخص بوم شناخت به ازای هر یک تن محصول اقتصادی برای گروه تأثیر سرشار سازی در محیط آبی حاصل شد. بر این اساس، از آنجا که افزایش شدت عملیات خاکورزی و مصرف حاصلخیز کننده های شیمیایی خاک، علاوه بر افزایش هزینه های تولید، بروز آلودگی های زیست محیطی را به دنبال دارد، توصیه می شود مقادیر کود مصرفی با توجه به نیاز گیاه، تعیین خصوصیات خاک و همچنین توجه به سایر عوامل همچون اقلیم منطقه انتخاب و مدنظر قرار داده شود. علاوه بر این، توصیه می شود به منظور افزایش کارایی مصرف نهاده ها از جایگزین کردن نهاده های

References

1. Afif, E., Matar, A., and Torrent, J. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. *Soil Science Society of America Journal* 57: 756-760.
2. Available at: <https://www.CO2.earth/>
3. Bare, J. C., Norris, G. A., Pennington, D. W., and McKone, T. 2003. TRACI: The tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. *Journal of Industrial Ecology* 6: 49-78.
4. Barton, L., Kiese, R., Gatter, D., Butterbach-bahl, K., Buck, R., Hinz, C., and Murphy, D. 2008. Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. *Global Change Biology* 14: 177-192.
5. Biswas, W. K., Barton, L., and Carter, D. 2008. Global warming potential of wheat production in Western Australia: A life cycle assessment. *Water and Environment Journal* 22: 206-216.
6. Boan, L. C., and Legget, G. E. 2001. Phosphorus and zinc concentrations in Russet Burbank potato tissue in relation to development of zinc deficiency symptoms. *Soil Science Society of America Journal* 28: 229-232.
7. Bouwman, A. F. 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In: A.F. Bouwman (Ed.), *Soils and the greenhouse effect* (pp. 61-127). Chichester: Wiley.
8. Brentrup, F., and Palliere, C. 2008. GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use. *Proc. International Fertiliser Society*, December 11, York, UK.
9. Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., and Lammel, J. 2001. Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilizers. *European Journal of Agronomy* 14: 221-233.
10. Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., and Lammel, J. 2004a. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy* 20 (3): 247-264.
11. Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., and Kuhlmann, H. 2004b. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy* 20 (3): 265-279.
12. Charles, R., Jolliet, O., Gaillard, G., and Pellet, D. 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 216-225.
13. Cronbach, L. J. 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika* 16 (3): 297-334.
14. Crutzen, P. J. 1981. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide. In: C.C. Delwiche (Ed.), *Denitrification, nitrification, and atmospheric nitrous oxide* (pp. 17-44). New York: Wiley.
15. Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A., and Winiwarer, W. 2008. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics* 8 (2): 389-95.
16. De Vries, W., Kros, J., Oenema, O., and de Klein, J. 2003. Uncertainties in the fate of nitrogen II: a quantitative assessment of the uncertainties in major nitrogen fluxes in the Netherlands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66: 71-102.
17. Delgado, A., Madrid, A., Kassem, S., Andreu, L., and Campillo, M. C. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant and Soil* 245: 277-286.
18. Dyer, J. A., and Desjardins, R. L. 2003. The impact of farm machinery management on greenhouse gas emissions from Canadian agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 20: 59-74.
19. ECETOC. 1994. European Chemical Industry Ecology and Toxicology Centre (ECETOC), 1994. Ammonia

- Emissions to Air in Western Europe. Technical Report No. 62. ECETOC, Brussels.
20. Eckert, H., Breitschuh, G., and Sauerbeck, D. 1999. Kriterien einer umweltverträglichen Landbewirtschaftung (KUL)-ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben (Criteria of Environmentally friendly land use (KUL)-a method for the environmental evaluation of farms). *Agriculture Biotechnology Research* 52: 57-76. (in Persian with English abstract).
21. Engström, R., Wadeskog, A., and Finnveden, G. 2009. Environmental assessment of Swedish agriculture. *Ecological Economics* 60: 550-563.
22. Esmaelpour, B., Khorramdel, S., and Amin Ghafori, A. 2015. Study of environmental impacts for potato Agroecosystems of Iran based on nitrogen fertilizer by using Life Cycle Assessment (LCA) methodology. *Electronic Journal of Crop Production* 8 (3): 199-224. (in Persian with English abstract).
23. Fageria, N. K. 2009. The use of nutrients in plants. Taylor and Francis Group, CRC Press, 430 p.
24. Fallahpour, F., Aminghafoori, A., Ghalegolab Behbahani, A., and Bannayan, M. 2012. The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. *Environment, Development and Sustainability* 14: 979-992.
25. Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R. B. H., Christiansen, K., and Klüppel, H. J. 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment* 11 (2): 80-85.
26. Guinée, J. 1996. Data for the Normalization Step within Life Cycle Assessment of Products. CML Paper no. 14 (revised version). CML (Centre of Environmental Science), Leiden University.
27. Guinée, J. B. 2001. Life cycle assessment: an operational guide to the ISO standards. Centre of Environmental Science, Leiden University, Leiden.
28. Hayashi, K. 2005. Practical implications of functional units in life cycle assessment for horticulture: Intensiveness and environmental impacts (1: 368-371). LCM: Innovation by Life Cycle Management: Barcelona, Spain.
29. Hayashi, K. 2013. Practical recommendations for supporting agricultural decisions through life cycle assessment based on two alternative views of crop production: the example of organic conversion. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18: 331-339.
30. IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental panel on climate change. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual Vol. 4.
31. IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 104 pp., IPCC, Geneva.
32. Iriarte, A., Rieradevall, J., and Gabarrell, X. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production* 18: 336-345.
33. ISO (International Standard Organization). 2006. ISO 14040: 2006(E) Environmental Management – Life Cycle Assessment– Principles and Framework.
34. ISO. 1997. ISO 14040-Environmental management-Life cycle assessment-principles and framework, p. 14.
35. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Amin Ghafori, A. 2014. Evaluation of environmental impacts for wheat Agroecosystems of Iran by using Life Cycle Assessment methodology. *Cereal Research* 4 (1): 27-44. (in Persian with English abstract).
36. Khorramdel, S., Shabahng, S., and Amin Ghafori, A. 2016. Study of environmental impacts for sugar beet agroecosystems in Khorasan Province by using Life Cycle Assessment (LCA). Final Report, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
37. Khoshnevisan, B., Rafiei, S., Omid, M., Keyhani, A., and Movahedi, M. 2013. Assessing of energy indices and environmental impacts of potato production (Case study: Fereydoonshahr region, Isfahan province). *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 44 (1): 57-66. (in Persian with English abstract).
38. Koocheki, A., Khorramdel, S., and Jafari, L. 2014. Evaluation of environmental consequences for agroecosystems under conventional management in Khorasan Province. *Journal of Agroecology* (In Press). (in Persian with English abstract).
39. Kopiński, J. 2012. Realization of environmental and economic objectives by the farms of various specialization directions (in Polish). *Problems in Agricultural Engineering* 2: 37-45.
40. Kowalski, Z., Kulczycka, J., and Góralczyk, M. 2007. Environmental life cycle assessment of the manufacturing processes (LCA) (in Polish). PWN Press, Warsaw, Poland.
41. Kronvang, B., Rubak, G. H., and Heckrath, G. 2009. International phosphorus workshop: Diffuse phosphorus loss to surface water bodies- risk assessment, mitigation options, and ecological effects in river basins. *Journal of Environmental Quality* 38: 1924-1929.
42. Lal, R. 2004. Carbon emission from and farm operations. *Environment International* 30: 981-990.
43. Lammel, J. 2000. Environmental aspects of fertilizer production and use- consequences for fertilizer types and use. IFA Production and International Trade Conf., October 17-19, Shanghai, China.
44. Mahler, R. L., Koehler, F. E., and Lutch, L. K. 1994. Nitrogen source, timing of application and placement: Effects on winter wheat production. *Agronomy Journal* 86: 637-642.

45. Meisterling, K., Samaras, C., and Schweizer, V. 2009. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. *Journal of Cleaner Production* 17: 222-230.
46. Mila i Canals, L., Burnip, G. M., and Cowell, S. J. 2006. Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): Case study in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114: 226-238.
47. Mirbagheri, E., Abbaspour, A., Rohani, A., and Ghorbani, H. 2012. Evaluation of phosphorus status in some potato fields of Mojen region in Semnan Province. *Iranian Journal of Soil Research* 26 (3): 235-243. (in Persian with English abstract).
48. Monti A., Fazio S., and Venturi G. 2009. Cradle-to-farm gate life cycle assessment in perennial energy crops. *European Journal of Agronomy* 31: 77-84.
49. Moudrý, J., Jelínková, Z., Plch, R., Moudrý, J., Konvalina, P., and Hyšpler, R. 2013. The emissions of greenhouse gases produced during growing and processing of wheat products in the Czech Republic. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 11 (1): 1133-1136.
50. Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2017a. Life cycle assessment (LCA) for wheat production systems of Iran: 1- comparison of inputs level. *Journal of Agroecology* (In Press). (in Persian with English abstract).
51. Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2017b. Life cycle assessment (LCA) for wheat production systems of Iran: 2- spatial comparison over the country. *Journal of Agroecology* (In Press). (in Persian with English abstract).
52. Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., and Gaillard, G. 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems* 104: 217-232.
53. Rathke, G. W., and Diepenbrock, W. 2006. Energy balance of winter oil seed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy* 24: 35-44.
54. Riemersma, S., Little, J., Ontkean, G., and Moskal-Hébert, T. 2006. Phosphorus Sources and Sinks in Watersheds: A Review. *Alberta Soil Phosphorus Limits Project*.
55. Roy, P., Shimizu, N., and Kimura, T. 2005. Life cycle inventory analysis of rice produced by local processes. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery* 67 (1): 61-67.
56. Russo, G., and De Lucia, B. 2008. Environmental evaluation by means of LCA regarding the ornamental nursery production in rose and sowbread greenhouse cultivation. *Acta Horticulturae* 801: 1597-1604.
57. Skowrońska, M., and Filipek, T. 2014. Life cycle assessment of fertilizers: a review. *International Agrophysics* 28: 101-110.
58. Soltani, A., Bazrgar, A. B., Koocheki, A., Zeinali, E., Ghaemi, A. R., and Hajarpoor, A. 2015. Life Cycle Assessment (LCA) of sugar beet production in various production systems in Khorasan. *Electronic Journal of Plant Production* 8 (1): 43-62. (in Persian with English abstract).
59. Soltani, A., Rajabi, M. H., Zeinali, E., and Soltani, E. 2010. Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. *Electronic Journal of Plant Production* 3: 201-218. (in Persian with English abstract).
60. Van der Hoek, K. W., and Van Schijndel, M. W. 2006. Methane and nitrous oxide emissions from animal manure management 1990-2003. Background document on the calculation method for the Dutch National Inventory Report. RIVM and MNP (Netherlands Environmental Assessment Agency), Belhaven, The Netherlands, pp. 1-50.
61. Whalen, J. K., and Chang, C. 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 1011-1026.



Evaluation of environmental impacts of important field crops by Life Cycle Assessment (LCA) in Khorasan-e Razavi Province

A. Koocheki^{1*} - J. Vafabakhsh² - S. Khorramdel³

Received: 28-01-2018

Accepted: 16-05-2018

Introduction

Agriculture is responsible for food production and consequently food security in one hand but on the other hand is the cause of many environmental externalities. Synthetic chemicals and other environmental pollutants have increased these externalities in the form of soil acidification and salinization, emission of greenhouse gases, nitrogen leaching to ground water, and eutrophication.

Many attempts have been made to evaluate the impacts of such phenomenon on the surrounding environment of which 'Life Cycle Assessment (LCA)' ('cradle-to-grave') is the most comprehensive one.

Due to increasing use of chemical inputs in agriculture in Khorasan-e Razavi province and its consequent environmental effects, LCA seems to be an appropriate tool to quantify such impacts. The objective of this study was to assess the environmental impacts of important field crops production in Khorasan-e Razavi Province by LCA.

Materials and Methods

This study was conducted to assess the environmental impact of production of important crops such as wheat, corn, sugar beet, canola, tomato, potato, melon, water melon and cucumber in Khorasan-e Razavi Province. In order to evaluate the relevant environmental effects, LCA methodology in compliance with ISO14044 was used and two factors concerned to resource consumption and contaminants emissions were computed. In this regard, four phases, which are goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment, and interpretation, were designed to assess life cycle index. To make the various inputs and outputs comparable, it was necessary to relate these data to a common functional unit, which represent the main function of the system. Therefore, all resource consumption and emissions was related to one ton of economical yield. Three main categories as impacts on environment including global warming, acidification, and eutrophication (terrestrial and aquatic) were defined. To compare the indicators, they were normalized. For the normalization, the indicator results per functional unit were related to the respective indicator results for defined reference area. Finally, an index called environmental index (EcoX) was calculated. Cronbach's alpha was used for assessing the reliability of questionnaire.

Results and Discussion

The results showed that the largest share of greenhouse gas emissions in global warming category was related to CO₂. The highest and the lowest global warming potential per functional unit were found for canola (1342.01 kg CO₂ equivalents/ one ton of economical yield) and sugar beet (27.25 kg CO₂ equivalents/ one ton of economical yield), respectively. The maximum and minimum aquatic eutrophication potential per functional unit were calculated for canola (0.59 kg PO₄ equivalents/ one ton of economical yield) and sugar beet (0.01 kg PO₄ equivalents/ one ton of economical yield) with, respectively. The highest and lowest EcoX were computed for canola with 0.67 EcoX/ one ton of economical yield) and sugar beet (0.01 EcoX/ one ton of economical yield), respectively.

Conclusions

The results revealed that, agricultural production systems with high levels of economical yield do not always contradict with environmental safety. In other word, high yield in agriculture and environmental stewardship is

1- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Assistant Professor, Agricultural and Natural Resource Research and Education Center of Khorasan-Razavi, Mashhad, Iran

3- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

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

not divergent. Therefore, one of the appropriate approaches to decline the environmental impact of agricultural production is to achieve higher yield per unit of area by increasing resource use efficiency. In order to reduce environmental effect and obtain an environmental friendly for production systems in Khorasan-e Razavi province, different ecological approaches could be proposed such as nitrogen application on the basis of crops demands to provide utmost uptake and consequently decline nutrients leaching, decrease acidification and eutrophication impacts, and decrease global warming potential.

Keywords: Aquatic Eutrophication, Agroecosystem management, Global warming, Pollutant emission



اثر کاربرد خارجی گلیسین بتائین بر صفات فیزیولوژیکی، فنولوژیکی و عملکرد گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) در شرایط بدون تنش

مریم تاتاری^{۱*} - رضا عباسی علی کمر^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۶

چکیده

به منظور بررسی اثرات کاربرد گلیسین بتائین بر گوجه‌فرنگی در سال ۱۳۹۴ در مزرعه‌ای واقع در مشهد، آزمایشی دو عاملی (عامل اول مقدار محلول پاشی در سه سطح (صفر، سه و شش کیلوگرم در هکتار) و عامل دوم زمان محلول پاشی (زمان کشت، شروع گلدهی و شروع میوه‌دهی)) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. در این آزمایش محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، نشت الکترولیت، عدد SPAD، طول دوره رشد رویشی و زایشی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از نشت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی در کلیه تیمارها نشان داد که گیاهان به لحاظ رطوبتی در تنش قرار نداشتند. کاربرد گلیسین بتائین در زمان کاشت، سبب افزایش دوره رشد رویشی و کاهش دوره رشد زایشی گیاه شد. کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلیسین بتائین در زمان کشت، منجر به افزایش سطح برگ، وزن خشک و عدد SPAD شد. بیشترین تعداد کل میوه (۴۲/۵ عدد) در تیمار کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلیسین بتائین در زمان کاشت و بیشترین وزن میوه (۱۱۳/۱ گرم) در تیمار شاهد به دست آمد. بیشترین میزان عملکرد در تیمار عدم مصرف گلیسین بتائین (۷۴ تن در هکتار) مشاهده شد. سه و شش کیلوگرم در هکتار گلیسین بتائین، عملکرد را به ترتیب ۱۵ و ۳۰ درصد کاهش داد، اما با توجه به افزایش دوره رشد رویشی و افزایش تعداد میوه‌های سبز در تیمار سه کیلوگرم در هکتار، احتمالاً مصرف گلیسین بتائین در دوزهای پایین در زمانی تأثیر مثبت خواهد داشت که طول دوره رشدی محدودکننده نباشد. همچنین به نظر می‌رسد کاربرد دوزهای بالای گلیسین بتائین در شرایطی که تنش جدی گیاه را تهدید نمی‌کند، سبب بروز اثرات سمی و کاهش عملکرد محصول گوجه‌فرنگی گردد.

واژه‌های کلیدی: اسید آمینه، اثرات سمی، نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب

مقدمه

سلول، به آنها کمک می‌کند تا فعالیت‌های حیاتی خود را ادامه دهند (Park et al., 2006). گلیسین بتائین به عنوان یک اسمولیت سازگارکننده نقش مهمی در تنظیم اسمزی درون سلولی، پایدار کردن ساختار پروتئین‌ها و غشای سلولی، حذف کردن گونه‌های اکسیژن رادیکال (ROS^۵) تنظیم pH سلولی و واکنش‌های اکسیداسیون و احیا، ایفا می‌کند (de la Torre-Gonzales et al., 2017; Murata et al., 1992). گونه‌های اکسیژن رادیکال، در طی تولید متابولیت‌های مختلف در گیاهان، حتی در شرایط غیر تنش، تولید می‌شوند و به عنوان یک ماده مضر برای گیاه، توسط انواع مختلفی از آنتی‌اکسیدانت‌ها پاک‌سازی می‌شوند. گرچه استعمال خارجی گلیسین بتائین در گوجه‌فرنگی مستقیماً در جذب اکسیژن رادیکال نقشی ندارد اما از طریق فعال کردن آنزیم‌های پاک‌کننده اکسیژن

گلیسین بتائین^۳ جزء ترکیباتی با عنوان کلی "محلول‌های سازگار"^۴ طبقه‌بندی می‌شوند که شامل متابولیت‌های آلی کوچکی هستند که قابلیت حل‌شوندگی بالایی در آب دارند و در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نقش مؤثری را ایفا می‌کنند (Chen and Murata, 2008) این مولکول‌ها با حفظ آب درون

۱- دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان، ایران

۲- دکترای آگرواکولوژی و مدرس دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیروان، ایران
(*) - نویسنده مسئول: (Email: maryamtatari@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v16i3.71161

3- Glycine betaine

4- Compatible solute

فعال، به طور چشم‌گیری در کاهش خسارت تنش سرما مؤثر بوده است (Park et al., 2006). لذا در شرایط تنش، وجود گلاسیسین‌بتائین در گیاه به طور معنی‌داری مقاومت گوجه‌فرنگی به تنش سرما را افزایش داده و گیاهچه، گیاه، گل و میوه را از خطر سرمازدگی محافظت می‌کند (Park et al., 2004).

در بسیاری از گیاهان، غلظت طبیعی گلاسیسین‌بتائین پایین‌تر از حدی است که بتواند بر تأثیرات شدید پساایدگی ناشی از تنش‌های مختلف محیطی (شامل شوری، خشکی، گرما و اشعه ماورای بنفش) فائق آید (Yancey, 1994; Subbarao et al., 2001). برای افزایش غلظت این ماده در گیاه دو روش وجود دارد: دستکاری ژنتیکی که آنزیم‌های تولیدکننده گلاسیسین‌بتائین را فعال می‌کند و کاربرد خارجی گلاسیسین‌بتائین از طریق اسپری برگی که پس از ورود به سیتوسول گیاه، طی یک روز در گیاه پخش شده و در اندام‌های دارای مریستم (مانند مریستم انتهایی و گل آذین) تجمع می‌یابد (Chen and Murata, 2008).

کاربرد خارجی گلاسیسین‌بتائین به گیاهانی که این ماده را در غلظت‌های کم تولید می‌کنند و یا به طور کلی فاقد توانایی تولید این ترکیب می‌باشند (مثل گونه‌های خانواده Solanaceae)، در کاهش اثرات و خسارت تنش‌های محیطی مفید می‌باشد (Makela et al., 1998; Yang and Lu, 2005). از آنجا که گلاسیسین‌بتائین که به طور طبیعی تولید شده، در گیاه تجزیه نشده و از بین نمی‌رود (Foolad, 2000)، به سادگی می‌توان آن را به عنوان یک فرآورده فرعی ارزان قیمت از گیاهانی که این ماده را در غلظت‌های بالا تولید می‌کنند، مثل چغندرقد (Beta vulgaris) جداسازی نمود (Ortiz-Lopez et al., 2000). این مسأله سبب می‌شود که کاربرد خارجی گلاسیسین‌بتائینیک روش اقتصادی برای خنثی‌سازی اثرات مخرب تنش‌های محیطی بر عملکرد گیاه در نظر گرفته شود. مطالعات نشان داده‌اند که در گیاهانی مثل تنباکو (Nicotiana tabacum)، گندم (Triticum aestivum)، جو (Hordeum vulgare)، سورگوم (Sorghum bicolor)، سویا (Glycine max) و لوبیای معمولی (Phaseolus vulgaris) که تحت شرایط خشکی رشد کرده بودند، مصرف خارجی گلاسیسین‌بتائین تأثیر معنی‌داری بر کاهش تنش‌های محیطی و افزایش عملکرد داشته است (Ashraf and Foolad, 2007; Lutts, 2000). همچنین مطالعاتی در مورد نقش و امکان استفاده از گلاسیسین‌بتائین در تخفیف اثرات تنش‌های سرما (Somersalo et al., 1996) و یا گرما (Makela et al., 1998) نیز انجام گرفته است. اما در مورد نقش آن در شرایط عدم تنش تاکنون کمتر کاری صورت گرفته است.

در تولید محصولات زراعی سعی می‌شود تنش‌های محیطی در طی فصل رشد با اعمال مدیریت‌هایی نظیر آبیاری، تغییر تراکم و تاریخ کشت، تغذیه مناسب و اصلاح گیاهان مقاوم، به کمترین حد

ممکن برسد. اما در شرایط واقعی، اثرگذاری این تنش‌ها، هرچند به مقدار اندک، اجتناب‌ناپذیر است. شوری آب آبیاری، کاهش پتانسیل اسمزی خاک (در فواصل بین دو آبیاری)، تنش گرمایی میانه روز و اثرات تنش‌زای سمپاشی و کودپاشی از نمونه‌های تأثیرات منفی تنش‌های محیطی می‌باشند که گاهی با شیوه‌های مدیریتی تشدید نیز می‌شوند. برخی مطالعات سعی داشته‌اند تا اثرات گلاسیسین‌بتائین را در شرایط عدم تنش مورد مطالعه قرار دهند.

برخی مطالعات بر روی گیاه اریدوپسیس (Arabidopsis thaliana) نشان دادند که در شرایط بدون تنش، مراحل جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت تأثیر حضور یا عدم حضور گلاسیسین‌بتائین قرار نمی‌گیرد. اما گونه‌هایی که با دست‌کاری ژنتیکی قابلیت تولید گلاسیسین‌بتائین را پیدا کرده بودند در شرایط بدون تنش ۲۲ درصد گل بیشتر و ۲۸ درصد دانه بیشتر تولید کرده بودند (Hsieh et al., 2002).

در مقایسه ارقام وحشی گوجه‌فرنگی با ارقام دست‌کاری شده ژنتیکی^۱ (که قابلیت تولید گلاسیسین‌بتائین به آنها القا شده بود)، در شرایط بدون تنش، اختلاف معنی‌داری در دوره پیش از گلدهی مشاهده نشد (Park et al., 2007)، اما در گیاهان حاوی گلاسیسین‌بتائین اندازه غنچه‌ها، گل‌ها و سایر اجزای گل آذین به طور معنی‌داری بزرگتر بود. تعداد میوه‌های رسیده در ارقام دارای گلاسیسین‌بتائین به طور معنی‌داری بیشتر از ارقام وحشی بودند. همچنین اندازه میوه‌های رسیده در حضور گلاسیسین‌بتائین و در شرایط بدون تنش به طور معنی‌داری بزرگتر بود و وزن میوه‌های رسیده در این گیاهان به طور میانگین ۵۴٪ سنگین‌تر از ارقام وحشی بدون گلاسیسین‌بتائین بود (Park et al., 2007).

این آزمایش با هدف امکان استفاده از گلاسیسین‌بتائین به صورت کاربرد خارجی در گیاه گوجه‌فرنگی صورت گرفت و هدف این بود که میزان تأثیر آن بر کاهش اثرات تنش‌های جزئی محیطی بررسی گردد و تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط مزرعه‌ای عادی ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه شرکت فاروج خرم توس واقع در ۱۰ کیلومتری جاده فریمان - مشهد طی سال زراعی ۱۳۹۴ با مختصات ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ درجه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر به صورت دو عاملی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت. عوامل آزمایش، شامل عامل اول مقادیر مختلف اسیدآمین گلاسیسین‌بتائین در سه سطح صفر،

میوه‌ها از مرحله صفر تا سه به‌عنوان میوه نارس در نظر گرفته شد (Klee, 1993).

برای اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب برگ^۱ (RWC) ابتدا ۱۰ عدد دیسک به قطر ۵/۰ سانتی‌متر از پهنک برگ بالغ و جوان (سومین برگ جوان از ساقه اصلی) به‌وسیله پانچ گرفته شد و سپس وزن شدند (وزن تر: FW). سپس نمونه‌ها داخل شیشه‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت چهار ساعت در دمای ۴-۰ درجه سلسیوس در تاریکی قرار داده شدند تا سلول‌های برگ به حالت تورژسانس کامل درآیند. بعد آن‌ها را بر روی کاغذ صافی قرار داده تا رطوبت اضافی آن‌ها گرفته شود. سپس آن‌ها را وزن کرده (وزن آماس: TW) و پس از آن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند و وزن خشک دیسک‌ها (وزن خشک: DW) اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \quad (1)$$

جهت تعیین پایداری غشا سلول‌های برگ‌ها از شاخص نشت الکترولیت استفاده گردید. در این روش ابتدا قطعات برگ‌ها با اندازه دو سانتی‌متر تهیه شد. این قطعات پس از شستشو همراه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفتند. سپس لوله‌های آزمایش به مدت ۱۷ تا ۱۸ ساعت به‌وسیله شیکر (۱۶۰ دور در دقیقه) تکان داده شدند. در این مرحله مقدار هدایت الکتریکی نمونه‌های آزمایش (E1) به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش جهت کشته شدن سلول‌های برگ‌ها به اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد، با فشار ۱/۲ بار به مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. بدین طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در این مرحله نیز پس از سرد شدن محتویات داخل لوله‌های آزمایش انجام پذیرفت (E2). درنهایت مقادیر نشت الکترولیت‌ها در زمان برداشت با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید.

$$EL = (E1/E2) \times 100 \quad (2)$$

برای اندازه‌گیری عدد SPAD سه برگ همسان (جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته) روی سه بوته انتخاب و محتوای نسبی کلروفیل آنها توسط دستگاه SPAD-502 (Mintola Japan) قرائت شد. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ در زمان برداشت انجام شد. وزن خشک کل بوته نیز در پایان آزمایش اندازه‌گیری شد.

در این آزمایش صفاتی شامل عملکرد و اجزای عملکرد شامل

سه و شش کیلوگرم در هکتار (Makela et al., 1995) و عامل دوم زمان محلول‌پاشی در سه سطح اعمال گلیسین بتائین در زمان کشت نشاء، شروع گلدهی (۱۰ درصد گلدهی) و شروع میوه‌دهی (۱۰ درصد میوه‌دهی) بود. صفر، سه و شش کیلوگرم در هکتار گلیسین بتائین با ۲۰۰ لیتر در هکتار در آب محلول شده و محلول‌پاشی به‌وسیله سمپاش پستی در هر کرت در ساعات غروب آفتاب و خنکی هوا، در شرایط بدون باد انجام گرفت.

نشاهای بذر گوجه‌فرنگی، رقم استاندارد خرم در سینی‌های کشت نشاء ۲۴ تایی که با مخلوطی از پیت ماس و کوکوپیت و پرلیت پر شده بودند، در شرایط گلخانه کشت شدند. دمای متوسط گلخانه در روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۱۷ درجه سانتی‌گراد بود. نشاءها در مرحله چهار تا شش برگ حقیقی و بعد از ۳۱ روز (۲۱ خرداد) نگهداری در گلخانه زمین اصلی منتقل شدند.

عملیات خاک‌ورزی شامل شخم نیمه‌عمیق بهاره و دیسک بود. پیش از نشاکاری بر اساس آزمون خاک از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار ۱۲۰، ۱۵۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت استفاده گردید. بافت خاک نیمه‌سنگین (لوم سیلتی رسی)، بدون محدودیت شوری و pH خاک ۷/۸ بود.

جهت جلوگیری از هدررفت آب و کنترل علف‌های هرز، مالچ از نوع پلاستیک مشکی و به عرض ۸۰ سانتی‌متر بر روی ردیف‌ها کشیده شد. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و با استفاده از T-tape انجام گرفت. کشت به‌صورت دستی با احتساب تراکم ۳۰ هزار بوته در هکتار، با فاصله ۴۵ سانتی‌متر در دو سوی نوار آبیاری صورت گرفت. کرت‌های آزمایش شامل سه ردیف با طول شش متر و فاصله بین ردیف‌ها دو متر بوده و بین تکرارها نیز فاصله دو متری قرار داشت. هر کرت به دو قسمت تقسیم شد و از قسمت اول برای یادداشت‌برداری‌های طول فصل رشد و از قسمت دوم جهت تعیین عملکرد استفاده گردید. از دو انتهای کرت نیم متر به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف شدند. در طی فصل رشد برای کلیه تیمارها، تغذیه با کودهای میکرو و ماکرو و نیز مبارزه با آفات و بیماری‌ها به‌صورت مشابه انجام گرفت.

تاریخ انتقال نشاء به زمین اصلی ۲۱ خرداد ماه بود. برای تعیین زمان برداشت با استفاده از پیش‌بینی‌های هواشناسی، پیش از بروز اولین یخبندان زمستانه، برداشت‌ها ۱۰ مهرماه انجام گرفت. از هر کرت پنج بوته به‌صورت تصادفی برای تعیین مراحل فنولوژیکی گیاه انتخاب شد و تاریخ گلدهی (ظهور همزمان حداقل پنج گل بر روی بوته) و رسیدگی اولین میوه‌ها (مشاهده حداقل سه میوه در حال رنگ‌گیری) نیز یادداشت‌برداری شد. در زمان برداشت تمام میوه‌های رسیده و نارس برداشت و به تفکیک توزین و شمارش شدند. بر اساس درصد رنگ‌گیری، مقدار رسیدگی میوه گوجه‌فرنگی از مرحله صفر (میوه نابالغ و نارس) تا شش (میوه کاملاً رسیده) متغیر است. کلیه

عملکرد میوه در کرت، تعداد میوه در بوته و وزن میوه‌ها اندازه‌گیری شد. برای آنالیز واریانس از نرم‌افزار MSTAT-C و آزمون دانکن در سطح ۵٪ و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اثرات زمان مصرف گلايسين‌بتائين بر عدد SPAD، نشت الكتروليت‌ها و محتوای آب نسبی برگ غیرمعنی‌دار بود. همچنین مقدار مصرف گلايسين‌بتائين بر نشت الكتروليت‌ها و محتوای آب نسبی اثر معنی‌داری نداشت. اثرات متقابل زمان و مقدار مصرف گلايسين‌بتائين بر نشت الكتروليت‌ها و محتوای آب نسبی برگ غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). برخی مطالعات حاکی از آن است محتوای آب نسبی برگ، نشت الكتروليت و عدد SPAD می‌توانند شاخص‌های فیزیولوژیکی قابل اطمینانی برای مطالعه گیاهان تحت تنش باشند (Moosavifar et al., 2012). معمولاً در شرایط بروز تنش مقادیر این سه پارامتر تغییر می‌کند، از آنجا که محتوای آب نسبی برگ و نشت الكتروليت‌ها تحت تأثیر هیچ‌یک از اثرات ساده و متقابل قرار نگرفت، احتمالاً می‌توان نتیجه گرفت که شرایط آبیاری این آزمایش در فراهم نمودن شرایط عاری از تنش آبی موفق عمل کرده است (Teixeira et al., 2017). بالا بودن محتوای نسبی آب برگ (بیش از ۸۵٪) در کلیه تیمارها و مقدار ناچیز نشت الكتروليت‌ها مؤید این مطلب بود و هیچ‌یک از اثرات ساده و متقابل، معنی‌دار نبودند. برخی مطالعات بر روی گیاهان تحت تنش، نشان‌دهنده تأثیر گلايسين‌بتائين بر روی بهبود فتوسنتز و محتوای آب نسبی و کاهش نشت الكتروليت‌ها از برگ می‌باشند (Subbarao et al., 2001). در بررسی انجام گرفته در شرایط تنش خشکی بر روی گیاه ذرت، گلايسين‌بتائين خارجی رشد را بهبود بخشیده، محتوای آب برگ، فتوسنتز خالص و عملکرد کوانتومی فتوسنتز را در گیاهان تحت تنش شوری افزایش داده و موجب کاهش نشت الكتروليت‌ها شد، با این وجود، کاربرد گلايسين‌بتائين حداکثر کارایی فتوشیمایی فتوسیستم دو (Fv/Fm) را تحت تأثیر قرار نداد (Yang and Lu, 2005).

اثر بر مراحل فنولوژیک

کاربرد گلايسين‌بتائين در زمان کاشت (انتقال نشاء)، سبب افزایش دوره رشد رویشی گیاه گوجه‌فرنگی شده و گلدهی در این تیمار حدود شش روز نسبت به تیمار کاربرد آن در زمان گلدهی یا میوه‌دهی به تعویق افتاد. علاوه بر این کاربرد گلايسين‌بتائين در زمان میوه‌دهی نسبت به زمان کاشت، موجب کاهش دوره رشد زایشی گیاه به مدت شش روز شد (جدول ۲). در آزمایشی با استفاده از گلايسين دو بار

نشان دار شده^۱ بر روی نشای گوجه‌فرنگی، مشخص شد که این گیاه قادر است این اسید آمینه را از خاک و برگ جذب کرده و به‌عنوان منبع نیتروژن مورد استفاده قرار دهد (Ge et al., 2009) به این ترتیب می‌توان عنوان نمود که گلايسين‌بتائين بر رشد رویشی گیاه اثر مثبت و بر رشد زایشی تأثیر منفی داشته است. با توجه به نقش کاملاً تأییدشده نیتروژن در تقویت رشد رویشی و به تعویق انداختن رشد زایشی، ممکن است بتوان نتایج حاصل از این پژوهش را نیز به اثرات نیتروژن بر فنولوژی گیاه و تحریک رشد رویشی نسبت داد (Ortiz-Lopez et al., 2000; Dakora and Phillips, 2002). علاوه بر این مشخص شده است که اثرات محلول‌پاشی برگی گلايسين‌بتائين می‌تواند در گیاهان به مدت طولانی باقی مانده و در گیاه تجزیه نمی‌شود و از این نظر نیز اثراتی مشابه با نیتروژن در گیاه دارد (Makela et al., 1996).

تیمار مقدار مصرف گلايسين‌بتائين بر طول دوره رشد رویشی گیاه اثر قابل ملاحظه‌ای نداشته است، اما دوره رشد زایشی گیاه را طولانی‌تر کرده است به‌طوری‌که مصرف ۳ و ۶ کیلوگرم در هکتار گلايسين‌بتائين ۱۰ روز دوره گلدهی تا رسیدگی را طولانی‌تر کرده است (جدول ۳). نکته‌ای که در طی آزمایش مشاهده گردید این بود که مصرف گلايسين‌بتائين در زمان گلدهی خصوصاً در مقدار شش کیلوگرم در هکتار سبب عدم تلقیح گل‌های اولیه و ریزش گل‌ها گردید، که متأسفانه برای این مورد آماری یادداشت‌برداری نگردید. بنابراین احتمالاً افزایش دوره رشد زایشی به دلیل سقط گل‌های اولیه بوده است. به این ترتیب که سقط گل‌های اولیه، ثبت دوره گلدهی (ظهور حداقل پنج گل همزمان بر روی گیاه) را به تعویق انداخت. به نظر می‌رسد که گلايسين‌بتائين خصوصاً در دوزهای بالاتر اثرات سمی بر روی گلدهی گیاه دارد (Ashraf and Foolad, 2007; Murata et al., 1992).

نتایج اثرات ساده زمان و مقدار مصرف گلايسين‌بتائين بر روی فنولوژی گیاه، توسط اثرات متقابل نیز تأیید می‌شود. طولانی‌ترین دوره رشد رویشی در تیمار مصرف ۶ کیلوگرم در هکتار گلايسين‌بتائين در زمان کاشت (۳۳/۸ روز) و طولانی‌ترین طول دوره رشد زایشی در تیمار مصرف ۶ کیلوگرم در هکتار گلايسين‌بتائين در زمان گلدهی (۴۲ روز) مشاهده شد.

اثر بر خصوصیات فیزیولوژیک

بیشترین مقدار سطح برگ در بوته (۱۴۴۴/۴ سانتی‌مترمربع) و از کاربرد گلايسين‌بتائين در زمان کاشت به‌دست آمد (جدول ۲). افزایش طول دوره رویشی، که در نتیجه کاربرد گلايسين‌بتائين در زمان

1- Dual labeled (C¹³ N¹⁵)

را از بين برده است (جدول ۲). شايد بتوان نتيجه گرفت اگر زمان كافي براي رسيدگي ميوه در منطقه موجود باشد، ممكن است کاربرد گلايسين بتائين در زمان كاشت بتواند موجب افزايش عملکرد از طريق تأثير بر تعداد ميوه شود.

مقدار مصرف گلايسين بتائين هم وزن و هم تعداد ميوه را به‌طور معني‌داري تحت تأثير قرار داد (جدول ۱). بيشترين تعداد ميوه رسيده در تيمار بدون مصرف گلايسين بتائين به‌دست آمد، ولي از نظر تعداد كل ميوه اختلافي بين تيمار عدم مصرف و ۳ كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين وجود نداشت. تعداد ميوه رسيده، ميوه نارس و كل تعداد ميوه در تيمار ۶ كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين نسبت به دو تيمار ديگر در كمترين مقدار بود. در تيمار عدم مصرف ۲۲ درصد، در تيمار ۳ كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين ۴۴ درصد و در تيمار ۶ كيلوگرم در هكتار ۴۴ درصد ميوه‌ها در زمان برداشت نارس بودند (جدول ۳). همان‌طور كه پيش از اين نيز در بحث فنولوژي مشخص گرديد، به نظر مي‌رسد كه گلايسين بتائين دوره رشد رويشي گياه را تحريك كرده است، اين امر مي‌تواند به دليل تأثير گلايسين بتائين بر تخفيف تنش‌هاي محيطي احتمالي، كه به‌طور طبيعي در طي فصل رشد رخ مي‌دهند (Ashraf and Foolad, 2007; Sulpice et al., 2002) و يا به دليل افزايش مقدار نيترژن در گياه باشد (Zhou et al., 2012; Mohammadzamani et al., 2017). اما از سوي ديگر كاهش معني‌دار تعداد ميوه (نارس و رسيده) با افزايش مقدار مصرف گلايسين بتائين از سه كيلوگرم به شش كيلوگرم، مي‌تواند مؤيد اين مطلب باشد كه احتمالاً دوز بالاي مصرف اين ماده مي‌تواند اثرات سمّي ايجاد كرده و موجب گل‌ريزي شود (جدول ۳). نتايج به‌دست آمده از برخي تحقيقات نشان مي‌دهد كه گلايسين بتائين در دوزهاي بالا ممكن است بدون تأثير بوده و يا حتي سمّي باشد (Uosukainen et al., 1999). به‌عنوان مثال، کاربرد گلايسين بتائين به‌صورت محلول‌پاشي بر گياه شلغم (*Brassica rapa*)، كلزا (*Brassica napus*) و برخي از غلات بهاره رشد آنها را در تنش خشكي بهبود بخشيد (Makela et al., 1996). در بررسي کاربرد گلايسين بتائين در شرايط عاري از تنش در گياه پنبه در زمان گل‌دهي و در غلظت‌هاي بالا (شش كيلوگرم در هكتار) گل‌ريزي مشاهده شد (Makhdom and Shababuddin, 2006). نيز کاربرد برگي گلايسين بتائين اجزاي عملکرد و فرآيندهاي فيزيولوژيك و همچنين مقدار داخلي گلايسين بتائين را درگياهان پنبه تغيير نداد (Meek et al., 2003). اين اثرات متضاد ممكن است به دليل شرايط آزايش و يا اختلاف بين گونه‌ها و ژنوتيپ‌هاي مورد آزايش در واكنش به کاربرد خارجي گلايسين بتائين ايجاد شده باشد (Ashraf and Foolad, 2007).

كاشت ايجاد شد، مي‌تواند سبب توليد سطح برگ بيشتر و دوام سطح برگ طولاني‌تر باشد. برخي تحقيقات حاكي از آن است كه گياهان با کاربرد آمينواسيد قادر خواهند بود تا عناصرغذائي بيشترى از محيط ريشه جذب كنند كه توسعه سطح برگ را به دنبال دارد (Dakora and Phillips, 2002). همچنين آمينواسيد باعث تسهيل انتقال عناصرغذائي در سيستم آوندي از طريق بهبود نفوذپذيري غشاي سلولي مي‌شود (Cerdan, 2008). با توجه به اين تغييرات در گياه و بهبود كارايي جذب نيترژن از خاك و درنتيجه كاهش هدرروي نيترژن (Liu et al., 2007; Murata et al., 1992)، به نظر مي‌رسد با افزايش كارايي اين عنصر در فرآيند فتوسنتز و توليد سطح سبز، زمينه لازم براي توسعه ريشه و درنتيجه افزايش رشد سطح برگ و افزايش طول دوره رشد رويشي گياه مهيا مي‌باشد و گياه در اين دوره مي‌تواند اقدام به تجمع ماده خشك كند. نتايج حاصل از اين تحقيق نيز نشان داد بيشترين وزن خشك بوته (۱۲۱۱ گرم در متر مربع) در همين تيمار زمان كاشت بوده است (جدول ۲). در تحقيقي بر روي ذرت مشخص شد كه گلايسين بتائين قادر به افزايش فتوسنتز و سطح سبز گياه در شرايط شور و غير شور مي‌باشد (Yang and Lu, 2005).

در بررسي عامل مقدار مصرف گلايسين بتائين، بيشترين سطح برگ (۱۳۷۰ سانتی‌متر مربع)، عدد SPAD (۴۵/۳) و وزن خشك بوته (۱۲۰۶ گرم در متر مربع) در تيمار سه كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين مشاهده شد (جدول ۳). اثر مثبت گلايسين بر افزايش مقدار كلروفيل در آزمايشات زبدي ثبت شده است. در بررسي اثر گلايسين بتائين بر روي ذرت (Miri and Zamani Moghadam, 2015) اثر پـرولين و گلايسين بتائين بر روي انگور (Mohammadzamani et al., 2012) و گلوتاتيون و گلايسين بر گوجه‌فرنگي (Zhou et al., 2017) مشخص شد كه اين اسيد آمينه قادر به افزايش سطح برگ، ميزان كلروفيل و شاخص‌هاي آنتي‌اكسيدانتي در گياه مي‌باشد. بالا رفتن سطح برگ و ميزان كلروفيل و به تبع آن ميزان فتوسنتز و نيز افزايش دوره رشد رويشي گياه احتمالاً سبب افزايش وزن خشك گياه شد.

اثر بر عملکرد و اجزاي عملکرد

اثر زمان مصرف گلايسين بتائين بر عملکرد و وزن ميوه‌ها غيرمعني‌دار بود (جدول ۱). بررسي اثر ساده زمان مصرف بر تعداد ميوه رسيده و تعداد كل ميوه‌ها، نشان داد كه هر چند کاربرد اسيدآمينه در زمان كاشت، تعداد كل ميوه را افزايش داده است، ولي نسبت ميوه‌هاي نارس به كل ميوه افزايش يافت، به‌طوري‌كه در تيمار مصرف گلايسين بتائين در زمان كاشت و ميوه‌دهي ۲۷٪ ميوه‌ها نارس باقي ماندند و اين امر احتمالاً تا حدودي اثر مثبت افزايش تعداد ميوه

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گوجه‌فرنگی
Table 1- Variance analysis (Mean of Squares) of physiological and phenological traits of tomato

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d. f	وزن خشک Dry Weight	سطح برگ Leaf Area	عدد اسپد SPAD No	نشت الکترولیت‌ها Electrolyte leakage	محتوای نسبی آب برگ RWC	تعداد روزها تا گلدهی Days to flowering	تعداد روز از گلدهی تا میوه‌دهی Days from flowering to fruit set	تعداد میوه سبز Green Fruit numbers	عملکرد Yield	وزن میوه Fruit size	تعداد میوه رسیده Ripe Fruit numbers	تعداد کل میوه Total Fruit numbers
تکرار Replication	3	34.6	8.9	1.5	2.1	10.5	4.2	76.9	13.1	61.1	10.0	4.6	17.1
زمان مصرف Time of application (A)	2	1802.9**	20.5**	10.01 ^{ns}	17.8 ^{ns}	100.5 ^{ns}	43.7 *	1001.1*	91.7*	15.1 ^{ns}	11.5 ^{ns}	31.4**	33.7 *
مقدار مصرف Rate of application (B)	2	900.6*	34.7*	98.3*	12.3 ^{ns}	203.16 ^{ns}	6.5 ^{ns}	914.6*	197.6*	613.6*	17.6*	101.3*	17.4 *
اثرات متقابل A×B	4	187.8*	32.0**	28.9*	11.08 ^{ns}	74.5 ^{ns}	9.0*	121.5*	122.0*	188.5*	19.5*	10.2*	5.6 *
خطا Error	24	12.2	4.3	6.4	8.1	61.9	3.5	20.1	21.1	44.3	7	4.5	1.8
ضریب تبیین CV (%)	-	17.5	18.8	20.3	19.9	17.0	18.9	23.1	18	24.5	15.9	28.4	23.5

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد و اختلاف غیر معنی‌دار
*، ** و ns means significant difference at 5 and non-significant, respectively

جدول ۲- اثرات ساده زمان مصرف گلیسین بتائین بر صفات فیزیولوژیکی، فنولوژیکی و عملکرد و اجزای عملکرد گوجه فرنگی

Table 2 - Simple effects of time of GB application on some physiological, phenological traits and yield components of tomato									
زمان مصرف Time of application	سطح برگ در بوته (سانتی متر مربع) Leaf area (cm ²)	سپاخ برگ (سانتی متر مربع) Leaf area (cm ²)	تعداد گلدهی تا گلدهی (روز) Days from sowing to flowering (day)	طول مدت از گلدهی تا رسیدگی میوه (روز) Days from flowering to fruit ripening (day)	وزن خشک کل (گرم) در متر مربع Dry weight (g.m ⁻²)	تعداد میوه رسیده (عدد در بوته) Ripe Fruit number (No plant ⁻¹)	تعداد میوه نارس (عدد در بوته) Green fruit number (No plant ⁻¹)	تعداد کل میوه (عدد در بوته) Total Fruit (No plant ⁻¹)	
کاشت Sowing	1464.3 ^a	31.8 ^a	30.4 ^a	1211.5 ^a	23.1 ^a	13.7 ^a	36.9 ^a		
گلدهی Flowering	1216.0 ^b	25.1 ^b	25.6 ^b	1083.0 ^b	19.6 ^b	12.7 ^a	32.3 ^b		
میوه دهی Fruit set	1225.3 ^b	25.0 ^b	25.2 ^b	1151.8 ^a	21.2 ^{ab}	10.3 ^b	31.5 ^b		

حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می باشد.
Common letters in each column means no meaningful difference at p≤ 0.05

جدول ۳- اثرات ساده مقدار مصرف گلیسین بتائین بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گوجه فرنگی

Table 3- Simple effects of Rate of GB application on some physiological, phenological of tomato									
مقدار مصرف Rate of Application	سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf Area (cm ²)	سپاخ برگ (سانتی متر مربع) Leaf Area (cm ²)	وزن خشک (گرم در متر مربع) Dry weight (gm ⁻²)	طول مدت گلدهی تا رسیدگی میوه (روز) Days from flowering to fruit ripening (day)	عملکرد (تن در هکتار) Yield (tonha ⁻¹)	وزن میوه (گرم) Fruit Weight (g)	تعداد میوه رسیده (عدد در بوته) Ripe Fruit number (No plant ⁻¹)	تعداد میوه نارس (عدد در بوته) Green fruit number (No plant ⁻¹)	تعداد کل میوه (عدد در بوته) Total Fruit (No plant ⁻¹)
صفر کیلوگرم در هکتار 0 kg.ha ⁻¹	1298.7 ^b	40.3 ^c	1161.6 ^a	19.6 ^c	74.7 ^a	113.1 ^a	28.2 ^a	8.4 ^c	36.6 ^a
سه کیلوگرم در هکتار 3 kg.ha ⁻¹	1370.7 ^a	45.3 ^a	1206.7 ^a	24.3 ^b	63.5 ^b	95.5 ^a	20.3 ^b	16.2 ^a	36.5 ^a
شش کیلوگرم در هکتار 6 kg.ha ⁻¹	1236.3 ^b	42.3 ^b	1077.8 ^b	29.6 ^a	52.3 ^c	88.5 ^b	15.4 ^c	12.2 ^b	27.6 ^b

حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می باشد.
Common letters in each column means no meaningful difference at p≤ 0.05

کاربرد گلايسين بتائين وزن ميوه را کاهش داد و از اين نظر اختلافی بين سه و شش كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين مشاهده نشد. علاوه بر اين، افزايش مقدار کاربرد گلايسين بتائين بر عملکرد ميوه اثر منفي داشت. به طوري كه بيشترين ميزان عملکرد در تيمار عدم مصرف گلايسين بتائين ۷۴ تن در هكتار مشاهده شد. سه و شش كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين، عملکرد را به ترتيب ۱۵ و ۳۰ درصد کاهش داد (جدول ۴). لازم به ذكر است كه زمان برداشت بر اساس پيش بيني سازمان هواشناسي و پيش از وقوع اولين يخبندان پايزه و براي كليه تيمارها به صورت هم زمان صورت گرفت. با توجه به اين كه در رقم مورد مطالعه، اتصال ميوه به دمگل از استحکام مناسبی برخوردار است بنا بر اين ريزش ميوه رسيده مشاهده نشد. هرچند بسياري از مطالعات بيانگر اثرات مثبت کاربرد خارجي گلايسين بر روي گياهان در شرايط تنش مي باشند، گزارش هاي معدودي نيز وجود دارند كه نشان دهنده فقدان اثرات مثبت و گاه اثرات منفي کاربرد خارجي گلايسين بتائين بر گياهان دارند (Ashraf and Foolad, 2007). بررسي اثر کاربرد خارجي گلايسين بتائين بر روي ريشه دهی ريز قلمه هاي حاصل از كشت بافت سيب انجام گرفت، نشان داد كه در شرايط غير تنش کاربرد ۰/۱، ۰/۲ يا ۰/۳ مول گلايسين بتائين بر روي گياهچه هاي جديد رشد اندام هوايي را ۳۰ تا ۷۰٪ نسبت به شاهد افزايش مي دهد، ولي غلظت هاي بالاتر (۰/۵ مول) گلايسين بتائين براي گياه مخرب بود (Uosukainen et al., 2000). در برنج (*Oryza sativa*)، کاربرد يك ميلي مول گلايسين بتائين از طريق محلول غذايي، در بهبود رشد در شرايط تنش شوري اثر داشت ولي بر روي گياهان شاهد بدون تنش هيچ اثر مثبتي گزارش نشد (Lutts, 2000). مطالعه اثرات گلايسين بتائين بر روي گوجه فرنگي در شرايط تنش و غير تنش، نشان داد كه حتي در شرايط بدون تنش و با گياهاني كه به طور ژنتيكي تحريك به توليد گلايسين بتائين شده بودند، وزن ميوه به طور معني داري در حضور گلايسين بتائين افزايش داشت (Park et al., 2007)، كه با نتايج اين تحقيق متفاوت بوده است كه ممكن است به دليل اختلاف در دوز مصرف اين ماده باشد. به نظر مي رسد گياهاني كه قابليت توليد گلايسين بتائين را از طريق دست كاري ژنتيكي به دست مي آورند، اين ماده را در كلروپلاست تجمع مي دهند و در زماني كه کاربرد گلايسين بتائين به صورت خارجي بوده است در سيتوسول ذخيره مي شوند (Chen and Murata, 2008). مطالعات مؤيد اين نکته است كه گلايسين بتائين ذخيره شده در كلروپلاست بسيار مؤثرتر از مواردی است كه در سيتوسول تجمع مي يابد (Park et al., 2007).

در مورد علت بروز اثرات سمی در نتیجه مصرف گلايسين بتائين، يافته هاي دقيقی وجود ندارد، ولي بر اساس تحقيق بر روي گونه هاي

غير تجمع دهنده گلايسين بتائين در خانواده چليپايان، كلزا و اربيدوپسيس، گزارش شد كه گلايسين بتائين خارجي از طريق اثرات رقابتي گلايسين بر مرحله ميتوكوندريايي مسير گليكولات سبب افزايش تنفس نوري مي شود (Sulpice et al., 2002). از آنجا كه گياهان خانواده سيب زميني نيز قادر به ساخت و تجمع گلايسين بتائين نيستند، ممكن است چنين اثرات سمی در آنها نيز ديده شود.

در بررسي مقايسه ميانگين هاي اثرات متقابل زمان و مقدار مصرف گلايسين بتائين بر عملکرد و اجزای عملکرد گوجه فرنگي (جدول ۴) مشخص مي شود كه بيشترين وزن ميوه در تيمارهاي عدم مصرف اسيد آمينه به دست آمد و کاربرد سه و شش كيلوگرم گلايسين بتائين در كليه مراحل تأثير منفي بر اندازه ميوه ها داشت. علاوه بر اين کاربرد شش كيلوگرم گلايسين بتائين موجب تعداد ميوه رسيده كمترى نيز شد. بيشترين تعداد ميوه نارس در تيمار سه كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين در زمان كاشت ديده شد كه اختلاف آماری با مصرف مشابه در زمان گلدهی نداشت. به نظر مي رسد تيمارهاي مصرف شش كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين سبب کاهش ميوه دهی و تيمارهاي سه كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين موجب کاهش تعداد ميوه رسيده شده اند. همان طور كه پيش از اين نيز اشاره شد، در برخي تحقيقات اثرات منفي گلايسين بتائين نيز گزارش شده است. هرچند در اغلب موارد اين اثرات منفي يا اثرات غير معني دار، در شرايط بدون تنش بوده و در شرايط تنش اثرات مثبتي از کاربرد گلايسين بتائين مشاهده شده است. در پنبه، کاربرد ۱ تا ۵ كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين، چه به عنوان پيش تيمار دهنده بذر و چه به صورت برگي، در شرايط تنش خشكي، در بهبود آسيب هاي ناشی از تنش مفيد بوده و عملکرد گياه را افزايش داد. محلول پاشي غلظت هاي مشابه گلايسين بتائين (۲ تا ۴ كيلوگرم در هكتار) رشد گياه و يا عملکرد دانه را در شرايط مزرعه بدون تنش تأثيري نداشت (Meek et al., 2003). در بررسي ديگي بر روي پنبه گزارش شد كه کاربرد سه كيلوگرم در هكتار گلايسين بتائين پيش از گلدهی، بيشترين تأثير را بر روي عملکرد داشت ولي غلظت هاي شش كيلوگرم در هكتار سبب کاهش عملکرد نسبت به مقادير كمتر داشت (Makhdom and Shababuddin, 2006). در تحقيق بر روي سورگوم نتيجه گرفته شد كه در تيمارهاي عدم تنش، کاربرد گلايسين بتائين اثر معني داري بر روي عملکرد و اجزای عملکرد نداشت، ولي در شرايط تنش خشكي و دير آبياري توانست عملکرد گياه را بهبود بخشد (Kadkhodaie et al., 2016). در بررسي بر روي كرچك اعلام شد گلايسين بتائين تنها در شرايط تنش خشكي قادر به افزايش عملکرد بود (Hadi and Kalantar, 2015).

جدول ۴- اثرات متقابل زمان و مقدار مصرف گلیسین بتائین بر خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گوجه‌فرنگی

Table 4- Interaction effects of time and rate of GB application on some physiological and phenological traits of tomato

زمان مصرف Time of application	مقدار مصرف Rate of application	مساحت برگ (سانتی متر مربع) Leaf area (cm ²)	عدد اسپد (عدد) SPAD (No)	طول مدت کاشت تا گلدهی (روز) Days from sowing to flowering (day)	طول مدت گلدهی تا رسیدگی میوه (روز) Days from flowering to fruit set (day)	عملکرد (تن در هکتار) Yield (ton.ha ⁻¹)	وزن میوه (گرم) Fruit size (g)	تعداد میوه رسیده Fruit number (No plant ⁻¹)	تعداد نارس (عدد در بوته) Green fruit number (No plant ⁻¹)	تعداد کل میوه (عدد در بوته) Total Fruit (No plant ⁻¹)	وزن خشک (گرم در مترمربع) Dry Weight (g.m ⁻²)
Sowing کاشت	0 kg.ha ⁻¹ صفر کیلوگرم در هکتار	1340 ^b	41 ^b	27.4 ^b	18.7 ^c	76.1 ^a	118.31 ^a	30.0 ^a	6.9 ^d	36.9 ^b	1268.3 ^a
	3 kg.ha ⁻¹ سه کیلوگرم در هکتار	1653 ^a	45 ^a	34.1 ^a	25.2 ^b	68.9 ^b	102.50 ^a	23.5 ^{ab}	19.0 ^a	42.5 ^a	1252.7 ^a
	6 kg.ha ⁻¹ شش کیلوگرم در هکتار	1400 ^b	43 ^{ab}	33.8 ^a	28.1 ^b	50.1 ^d	94.60 ^{ab}	15.8 ^{bc}	15.3 ^{ab}	31.1 ^c	1113.3 ^b
	0 kg.ha ⁻¹ صفر کیلوگرم در هکتار	1269 ^{bc}	41 ^b	26.1 ^b	20 ^c	73.2 ^a	111.00 ^a	27.0 ^a	7.1 ^d	34.1 ^{bc}	1143.7 ^b
Flowering گلدهی	3 kg.ha ⁻¹ سه کیلوگرم در هکتار	1270 ^{bc}	45 ^a	25.1 ^b	28.6 ^b	60.1 ^c	90.42 ^b	18.1 ^b	18.6 ^a	36.7 ^b	1133.6 ^b
	6 kg.ha ⁻¹ شش کیلوگرم در هکتار	1109 ^c	42 ^{ab}	24.1 ^b	42 ^a	50.5 ^d	80.7 ^b	13.5 ^c	12.3 ^{bc}	25.8 ^d	971.5 ^c
	0 kg.ha ⁻¹ صفر کیلوگرم در هکتار	1287 ^{bc}	39 ^b	25.1 ^b	20.2 ^c	74.9 ^a	110.09 ^a	27.4 ^a	11.1 ^c	38.5 ^b	1208.6 ^a
	3 kg.ha ⁻¹ سه کیلوگرم در هکتار	1189 ^c	46 ^a	26.9 ^b	19 ^c	61.5 ^c	93.60 ^b	19.1 ^b	11.0 ^c	30.1 ^{cd}	1098.2 ^{bc}
Fruit set میوه‌دهی	6 kg.ha ⁻¹ شش کیلوگرم در هکتار	1200 ^{bc}	42 ^{ab}	23.1 ^b	18.7 ^c	56.3 ^{cd}	90.10 ^b	16.9 ^{bc}	8.9 ^{cd}	25.8 ^d	1148.9 ^b

حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Common letters in each column means no meaningful difference at p≤ 0.05

تأکید دارند، اما نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر نشان دهنده اثرات منفی این ماده، خصوصاً در غلظت‌های بالا، بر روی عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط بدون تنش بود. این اثرات منفی بیشتر از طریق کاهش تعداد میوه رسیده و افزایش طول مدت رسیدگی میوه بر روی عملکرد اثرگذار بودند. به نظر می‌رسد در صورتی که فصل رشد طولانی‌تری در اختیار باشد، ممکن است کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلیسین‌بتائین سبب افزایش عملکرد شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان که هزینه‌های اجرای طرح پژوهشی را تقبل نموده‌اند، کمال تشکر را دارند.

اثرات منفی گلیسین‌بتائین بر عملکرد میوه از طریق تأثیر منفی کاربرد آن هم بر روی وزن و هم تعداد میوه رخ داد. اما با بررسی نتایج به نظر می‌رسد که تأخیر بر روی رسیدگی میوه و کاهش تعداد میوه‌های رسیده، عامل اصلی این کاهش عملکرد بوده است. بیشترین تعداد کل میوه در تیمار کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلیسین‌بتائین در زمان کاشت دیده می‌شود (۴۲/۵ عدد) که از این مقدار میوه، ۵۵٪ آن رسیده و باقی آن در زمان برداشت سبز بودند. با احتساب تراکم کشت شده (۳۰ هزار بوته در مترمربع) و وزن متوسط میوه‌ها در این تیمار (۱۰۲/۵ گرم)، در صورتی که درصد میوه‌های رسیده به ۸۰ درصد می‌رسید، عملکردی در حدود ۱۰۴ تن در هکتار قابل حصول بود که از بیشترین عملکرد برداشت شده در این آزمایش؛ عدم مصرف گلیسین‌بتائین (۷۶/۱ تن در هکتار)؛ ۲۵٪ بیشتر است. کمترین تعداد کل میوه نیز در تیمار مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلیسین‌بتائین در زمان میوه‌دهی ۲۵/۸ ثبت گردید (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

این آزمایش به منظور بررسی اثرات کاربرد خارجی گلیسین‌بتائین بر عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط بدون تنش انجام شد. با وجود آن که بسیاری از تحقیقات بر وجود اثرات مثبت کاربرد خارجی گلیسین‌بتائین بر عملکرد گیاهان تحت تنش‌های خشکی و شوری

References

1. Ashraf, M., and Foolad, M. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59: 206-216.
2. Cerdán, M., Sánchez-Sánchez, A., Oliver, M., Juárez, M., and Sánchez-Andreu, J., 2008. Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. In "IV Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes" 830: 481-488.
3. Chen, T. H., and Murata, N. 2008. Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. *Trends in plant science* 13 (9): 499-505.
4. Dakora, F. D., and Phillips, D. A. 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant and Soil* 245 (1): 35-47.
5. de la Torre-González, A., Albacete, A., Sánchez, E., Blasco, B., and Ruiz, J. M. 2017. Comparative study of the toxic effect of salinity in different genotypes of tomato plants: Carboxylates metabolism. *Scientia Horticulturae* 217 (3): 173-178.
6. Foolad, M. R. 2000. Genetic bases of salt tolerance and cold tolerance in tomato. *Currents in Top of Plant Biology*. 2 (1): 35-49.
7. Hsieh, T. H., Lee, J. T., Yang, P. T., Chiu, L. H., Charng, Y. Y., Wang, Y. C., and Chan, M. T. 2002. Heterology expression of the Arabidopsis C-repeat/dehydration response element binding Factor 1 gene confers elevated tolerance to chilling and oxidative stresses in transgenic tomato. *Plant physiology* 129 (3): 1086-1094.
8. Ge, T., Song, S., Roberts, P., Jones, D., Huang, D., and Iwasaki, K. 2009. Amino acids as a nitrogen source for tomato seedlings: The use of dual-labeled (13C, 15N) glycine to test for direct uptake by tomato seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 66 (3): 357-361.
9. Hadi, H., and Kalantar, A. 2015. Effect of mycorrhizal symbiosis, application of super absorbant gel, glycine-betain and sugar beet extract on physiological traits and seed yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) in drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences* 17 (3): 236-250. (in Persian with English abstract).

10. Kadkhodaei, H., Sodaieizadeh, H., Mosleh Arany, A., and Hakim Zadeh, M. A. 2016. The role of glycine betain in increasing drought resistance of *Sorghum halopens* under field condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 9 (2): 139-147. (in Persian with English abstract).
11. Klee, H. J. 1993. Ripening physiology of fruit from transgenic tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants with reduced ethylene synthesis. *Plant Physiology* 102 (3): 911-916.
12. Liu, X. Q., Ko, K. Y., Kim, S. H., and Lee, K. S. 2007. Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. *Communications in soil science and plant analysis* 39 (1): 269-281.
13. Lutts, S. 2000. Exogenous glycinebetaine reduces sodium accumulation in salt-stressed rice plants. *International Rice Research Notes*. 25 (2): 340-349.
14. Mäkelä, P., Munns, R., Colmer, T., Condon, A., and Peltonen-Sainio, P. 1998. Effect of foliar applications of glycinebetaine on stomatal conductance, abscisic acid and solute concentrations in leaves of salt-or drought-stressed tomato. *Functional Plant Biology* 25 (6): 655-663.
15. Mäkelä, P., Peltonen-Sainio, P., Jokinen, K., Pehu, E., Setälä, H., Hinkkanen, R., and Somersalo, S. 1996. Uptake and translocation of foliar-applied glycinebetaine in crop plants. *Plant science* 121 (2): 221-230.
16. Makhdum, I., and Shababuddin, M. 2006. Effect of different doses of glycine betaine and time of spray application on yield of cotton (*Gossypium Hirsutum* L.). *Journal of Research (Science)* 17(4): 241-245.
17. Meek, C., Oosterhuis, D., and Gorham, J. 2003. Does Foliar-applied Glycine Betaine Affect Endogenous Betaine Levels and Yield In Cotton? *Crop Management* 2 (1): 18-28.
18. Miri, H. R., and Zamani Moghadam, A. 2015. The effect of external usage of glycine betaine on corn (*Zea mays* L.) in drought condition. *Iranian Journal of Field Crop Research* 12 (4): 704- 717. (in Persian).
19. Mohammadzamani, M., Rabeei, V., and Nejatian, M. 2012 .Effect of proline and glycine betaine application on some physiological characteristics in Grapevine under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*. 43 (4): 393- 401. (in Persian).
20. Moosavifar, B., Behdani, M., Jami Alahmadi, M. J., and Bojd, M. H. 2012. Changes of Chlorophyll Index (SPAD), Relative Water Content, Electrolyte Leakage and Seed Yield in Spring Safflower Genotypes under Irrigation Termination. *Iranian Journal of Field Crops Research* 9 (3): 525-534. (in Persian).
21. Murata, N., Mohanty, P., Hayashi, H., and Papageorgiou, G. 1992. Glycinebetaine stabilizes the association of extrinsic proteins with the photosynthetic oxygen-evolving complex. *FEBS letters* 296 (2): 187-189.
22. Ortiz-Lopez, A., Chang, H. C., and Bush, D. 2000. Amino acid transporters in plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes* 1465 (1): 275-280.
23. Park, E. J., Jeknić, Z., Chen, T. H., and Murata, N. 2007. The codA transgene for glycinebetaine synthesis increases the size of flowers and fruits in tomato. *Plant biotechnology journal* 5 (3): 422-430.
24. Park, E. J., Jeknic, Z., Pino, M. T., Murata, N., and Chen, T. H. 2007. Glycinebetaine accumulation is more effective in chloroplasts than in the cytosol for protecting transgenic tomato plants against abiotic stress. *Plant, cell & environment* 30 (8): 994-1005.
25. Park, E. J., Jeknic, Z., and Chen, T. H. 2006. Exogenous application of glycinebetaine increases chilling tolerance in tomato plants. *Plant and cell physiology* 47 (6): 706-714.
26. Park, E. J., Jeknić, Z., Sakamoto, A., DeNoma, J., Yuwansiri, R., Murata, N., and Chen, T. H. H. 2004. Genetic engineering of glycinebetaine synthesis in tomato protects seeds, plants, and flowers from chilling damage. *The Plant Journal* 40 (4): 474-487.
27. Somersalo, S., Kyei-Boahen, S., and Pehu, E. 1996. Exogenous glycine betaine application as a possibility to increase low temperature tolerance of crop plants. *Nordisk Jordbruksforskning* 78 (2): 102-120.
28. Subbarao, G., Levine, L. H., Stutte, G. W., and Wheeler, R. M. 2001. Glycinebetaine accumulation: its role in stress resistance in crops plants. *Handbook of plant and crop physiology*. Marcel Dekker, New York, 881-907.
29. Sulpice, R., Gibon, Y., Cornic, G., and Larher, F. R. 2002. Interaction between exogenous glycine betaine and the photorespiratory pathway in canola leaf discs. *Physiologia Plantarum* 116 (4): 460-467.
30. Teixeira, W. F., Fagan, E. B., Soares, L. H., Umburanas, R. C., Reichardt, K., and Neto, D. D. 2017. Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. *Frontiers in plant science* 8: 1-14.
31. Uosukainen, M., Rantala, S., Manninen, A., and Vestberg, M. 1999. Improvement of microplant establishment through in vitro and ex vitro exogenous chemical applications. In "International Symposium on Methods and Markers for Quality Assurance in Micropropagation 530", pp. 325-332.
32. Yancey, P. H. 1994. Compatible and counteracting solutes. *Cellular and molecular physiology of cell volume regulation*. 81-109 .
33. Yang, X., and Lu, C. 2005. Photosynthesis is improved by exogenous glycinebetaine in salt-stressed maize plants. *Physiologia Plantarum* 124 (3): 343-352.

34. Zhou, Y., Wen, Z., Zhang, J., Chen, X., Cui, J., Xu, W., and Liu, H. Y. 2017. Exogenous glutathione alleviates salt-induced oxidative stress in tomato seedlings by regulating glutathione metabolism, redox status, and the antioxidant system. *Scientia Horticulture* 220 (1): 90-101.



Effect of Exogenous Glycine Betaine Application on Physiological and Phenological Traits and Yield of Tomato (*Solanum lycopersicum*) in Non-stress Condition

M. Tatari^{1*} - R. Abbasi Alikamar²

Received: 22-02-2018

Accepted: 15-04-2018

Introduction

Glycine Betaine has potential impacts on enhancing the tolerance of plants against various environmental abiotic stresses. There are two methods of increasing Glycine Betaine level in plants in which Glycine Betaine does not accumulate naturally, the exogenous application of Glycine Betaine and the introduction of GB-biosynthetic pathway into plants, via transgenes. When Glycine Betaine is applied to the leaves of tomato plants, most of the Glycine Betaine that is taken up by the leaves is localized in the cytosol which is significantly reduced adverse effects of abiotic stresses (Park *et al.*, 2006). Even in non-stress conditions, there are several environmental factors (water scarcity between irrigation times, soil salinity, mid-day heat, etc.) that can affect the plant yield. This study tried to find the effectiveness of exogenous application of Glycine Betaine on tomato plant in non-stress condition.

Materials and Methods

The experimental was conducted in 2015 as the randomized complete block design based on factorial with four replications. Treatments included three levels of Glycine Betaine application level (0, 3, 6 kg.ha⁻¹) and three times of application including planting, floral initiation and fruit set. 0, 3 and 6 kg.ha⁻¹ Glycine Betaine applied with 200 lit.ha⁻¹ water and applied with back sprayer. The experimental field was located 10 km southeast of Mashhad. Irrigation with 6-day interval was done to represent non-stress condition. Electrolyte leakage, SPAD number and Relative Water Content (RWC) were measured. Dry matter, leaf area, days from planting to flowering, days from flowering to fruit set, total fruit numbers, ripe fruit numbers, green fruit numbers, average fruit size, and total yield were determined during the study. Harvest time was determined by meteorological forecast and before the first freezing stress in fall. The data were analyzed by SAS software and the means were compared by Duncan.

Results and Discussion

Results showed that the times of application had significant effects on some measured parameters. Glycine Betaine application at planting stage led to increasing vegetative stage and delayed flowering time for 6 days. The highest leaf area (1464.4 cm²) was also obtained from the same application. Different times of Glycine Betaine application had no significant effects on total yield. However, using at planting time resulted in higher green/total fruit ratio. Evaluation the rate of Glycine Betaine application showed that the highest leaf area (1370 cm²) and the highest dry matter (1206 g.ha⁻¹) were obtained from 3 kg.ha⁻¹ application rate. Treatments without GB application resulted in the highest yield (74.7 ton. ha⁻¹), but increasing the rate from 0 to 3 kg.ha⁻¹, led to 94% increasing in green fruit numbers (8.4 to 16.2 respectively).

Conclusions

Exogenous application of Glycine Betaine showed different effects on tomato plants due to time and rate of application. The highest yield was obtained from control treatment (no application) (74 ton ha⁻¹) and 3 and 6 kg.ha⁻¹ applications, decreased yield 15 and 30 percent, respectively. However, the vegetative stage was lengthened and the numbers of green fruits was increased by 3 kg.ha⁻¹ rate. It seems that if the growing season

1- Ph.D. in crop physiology, Assistant Professor, Islamic Azad University, Shirvan branch, Iran

2- Ph.D. of Agroecology, Lecturer, Islamic Azad University, Shirvan Branch, Iran

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

was extended, and enough time was provided to fruit ripening, total yield could be increased by low concentration of Glycine Betaine application up to 25% compared to control. But high rate of Glycine Betaine may cause toxic effects on tomato and reduce the yield.

Keywords: Amino acid, Electrolyte leakage, Relative Water Content, Toxic effects

Contents

Evaluation of the RUE and Growth Indices of Pinto Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Genotypes Deficit Irrigation Condition	539
H. Karimzadeh Soureshjani- A. Nezami- M. Kafi- M. R. Tadayon	
Study of Soil Characteristics, Yield and Yield Components of Barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) under Different Tillage Methods and the Rate of Crop Residues	555
H. R. Komeili- M. Ghodsi- P. Rezvani Moghaddam- M. Nassiri Mahallati- M. R. Jalal Kamali	
Forage Yield Comparison of Three Amaranth (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.) Varieties at Different Harvesting Stages	566
A. Rahnama- A. R. Safaeie- M. Rezaei	
Effect of Drought Stress and Application of Zinc Oxide on Hormonal Changes and Growth Status of Wheat Bread	582
A. Abbasi- F. Shekari- R. Lotfi	
Study the Responses of Some Leaf Physiologic Characteristics to Different Water and Nitrogen Levels in Grainy Maize (<i>Zea mays</i> L.)	596
R. Ghobadi- M. Ghobadi- S. Jalali Honarmand- B. Farhadi- F. Mondani	
Effect of Different Tillage Practices and Canola Cover Crop on Yield, Yield Components of Sunflower and Soil Quality Indicators in Dastjerd region (Hamedan)	613
Sh. Felegari- J. Hamzei- M. Nael	
Investigation of Agronomic and Morphologic Responses of Different Cotton Types in Ultra Narrow Row System	627
H. R. Mehrabadi	
Effects of Foliar Application of Methanol on Yield and Yield Components of Two Cultivars of Canola (<i>Brassica napus</i> L.) under Rainfed Conditions	639
K. Ahmadi- M. Rostami- S. R. Hosseinzadeh	
Morphological Response, Grain Yield and Essential Oil of Three Fennel Ecotypes to Different Times of Planting	649
S. Kiani- S. A. Siadat- M. R. Moradi Telavat- A. Poshtdar	
Effect of Nano Iron and Manganese Fertilizers on Mung Bean Growth and Yield in Water Deficit Stress Condition	663
Y. Izadi *- S. A. M. Modares Sanavey	
Study of Environmental Impacts for Important Crops in Khorasan-e Razavi Province by Using Life Cycle Assessment (LCA)	680
A. Koocheki- J. Vafabakhsh- S. Khorramdel	
Effect of Exogenous Glycine Betaine Application on Physiological and Phenological Traits and Yield of Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>) in Non-stress Condition	695
M. Tatari- R. Abbasi Alikamar	

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 16

No. 3

2018

Publisher	Ferdowsi University of Mashhad
Managing	P. Rezvani Moghaddam (Agroecology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Editor- in-chief	H.R. Khazaei (Crop Physiology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop Ecology	Prof., University of Birjand
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Rahimian-Mashhadi, H.	Crop Physiology	Prof., Tehran University
Zamani, Gh.R.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Zare- Feizabadi, A.	Crop Ecology	Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province
Shahriari-Ahmadi, F.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Nezami, A.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mazaheri, D.	Crop Ecology	Prof., Tehran University
Khazaei, H.R.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Address: Iranian Journal of Field Crops Research Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture
Mashhad, Iran

P. O. Box: 91775-1163

Email: cesc@ferdowsi.um.ac.ir

Web Site: <https://jcsc.um.ac.ir>

Contents

Evaluation of the RUE and Growth Indices of Pinto Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Genotypes under Deficit Irrigation Condition	539
H. Karimzadeh Soureshjani- A. Nezami- M. Kafi- M. R. Tadayon	
Study of Soil Characteristics, Yield and Yield Components of Barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) under Different Tillage Methods and the Rate of Crop Residues.....	555
H. R. Komeili- M. Ghodsi- P. Rezvani Moghaddam- M. Nassiri Mahallati- M. R. Jalal Kamali	
Forage Yield Comparison of Three Amaranth (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.) Varieties at Different Harvesting Stages	566
A. Rahnama- A. R. Safaei- M. Rezaei	
Effect of Drought Stress and Application of Zinc Oxide on Hormonal Changes and Growth Status of Wheat Bread.....	582
A. Abbasi- F. Shekari- R. Lotfi	
Study the Responses of Some Leaf Physiologic Characteristics to Different Water and Nitrogen Levels in Grainy Maize (<i>Zea mays</i> L.).....	596
R. Ghobadi- M. Ghobadi- S. Jalali Honarmand- B. Farhadi- F. Mondani	
Effect of Different Tillage Practices and Canola Cover Crop on Yield, Yield Components of Sunflower and Soil Quality Indicators in Dastjerd region (Hamedan)	613
Sh. Felegari- J. Hamzei- M. Naei	
Investigation of Agronomic and Morphologic Responses of Different Cotton Types in Ultra Narrow Row System	627
H. R. Mehrabadi	
Effects of Foliar Application of Methanol on Yield and Yield Components of Two Cultivars of Canola (<i>Brassica napus</i> L.) under Rainfed Conditions.....	639
K. Ahmadi- M. Rostami- S. R. Hosseinzadeh	
Morphological Response, Grain Yield and Essential Oil of Three Fennel Ecotypes to Different Times of Planting	649
S. Kiani- S. A. Siadat- M. R. Moradi Telavat- A. Poshtdar	
Effect of Nano Iron and Manganese Fertilizers on Mung Bean Growth and Yield in Water Deficit Stress Condition.....	663
Y. Izadi *- S. A. M. Modares Sanavey	
Study of Environmental Impacts for Important Crops in Khorasan-e Razavi Province by Using Life Cycle Assessment (LCA).....	680
A. Koocheki- J. Valabakhsh- S. Khorramdel	
Effect of Exogenous Glycine Betaine Application on Physiological and Phenological Traits and Yield of Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>) in Non-stress Condition.....	695
M. Tatari- R. Abbasi Alikamar	