نشریه علمی - پژوهشی

پژوهشهای زراعی ایران

جلد ۱۶ شماره ۲

سال ۱۳۹۷

(شماره پیاپی: ۵۰)

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

بررسی تغییرات زمانی و مکانی عملکرد گندم و لوبیا، مطالعه موردی: خراسان رضوی ۲۶۳
خدیجه پورابوسعید- محمد بازیان اول- رحیم قربانی- مهرزاد منجزی- فاطمه بحرینی

اثر کودهای آلی و زیستی بر محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان ماده مؤثره گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea Purpurea* L.)..... ۲۸۳
حسنا قیاسی- علیرضا ابالی متهدی- احمد کوچک زاده- عبدالحمید پیرزن- محمد حسین ارزانش

بررسی تحمل به تنش یخزدگی در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) ۲۹۹
میاده محبوبه میرمیران- احمد نظامی- محمد کافی

تأثیر کود سبز و مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه (*Portulaca oleracea* L.) ۳۱۷
جواد جوادی- پرویز رضوانی مقدم- محمدحسن راشد محصل- محمدجواد شاهسوندی

اثر تنش خشکی بر خصوصیات فلورسانس کلروفیل و عملکرد علوفه دو رقم ارزن علوفه‌ای (*Pennisetum americanum var. nutrifeed* and *Punicum sp var. pishahang*) ۳۳۳
کبری نجفی بادی- پیمان حسینی- حبیب الله زرمنفکر- محمد برزوئی

بررسی اثر محلول‌پاشی آنانول و منانول بر شاخص‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* c.v. Keshkeni luvelou) ۳۴۵
محمد ناظم رسول زیمانی- قادر رستمی- میاده مجرب

تعیین غلظت و اسیدیته بهینه ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم بر راندمان محلول‌پاشی گیاهچه‌های سیب‌زمینی ۳۵۵
محمد کافی- یزدان سعدیان

اثر فاصله خطوط کشت و میزان بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزای پاییزه رقم اکاپی در روش کشت مسطح در مقایسه با کشت جوی پشته‌ای ۳۶۹
محمد زارع دوست همدانی

بررسی سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای: کودهای ارگانیک، غیرارگانیک و تلفیقی، بر چگونگی تغییرات پروتئین دانه گندم ۳۸۱
الهام امجدیان- احمد قنبری

ارزیابی ویژگی‌های فیزیولوژیک و زراعی مرتبط با تحمل به خشکی در کلزای بهاره ۳۹۳
یهمن باسیان سلام

ارزیابی زمان تغذیه برگی بوریک اسید و سولفات روی بر غلظت عناصر و عملکرد روغن کلزا در منطقه سیستان ۴۰۵
محمد فروزنده

اثر مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی حفاظتی و گیاه پوششی خلر (*Lathyrus Sativus*) بر عملکرد کدو (*Cucurbita pepo* L.) و برخی شاخص‌های کیفیت خاک ۴۲۱
اسدعلی اسفندیاری اخلاص- محسن بابل- جواد حمزه ئی

اثر فاصله بین ردیف بر معماری، عملکرد وش و کیفیت بذر ارقام پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) ۴۳۵
محمد مونان اردستانی- فرشید قادری‌فر- ابراهیم زینلی- محمد حسین قره‌ئی- مرتضی گردنی

کمّی‌سازی نمو برگ در ارقام مختلف گندم: I- تولید و زوال برگ‌های ساقه اصلی در شرایط مزرعه ۴۴۷
جعفر بوروخ- اشین سلطانی

ادامه فهرست داخل جلد

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

جلد ۱۶ **شماره ۲** **سال ۱۳۹۷**

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: پرویز رضوانی مقدم — استاد- اگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)

سردبیر: حمیدرضا خزاعی — استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

یحیی امام	استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)
عبد الرضا باقری	استاد- ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)
محمدعلی بهدانی	استاد- اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)
محمد بنایان اول	استاد- مدلسازی سیستمهای 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 ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵

نمابر: ۳۸۷۸۷۴۳۰

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت https://jcesc.um.ac.ir به‌صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

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

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

بررسی تغییرات زمانی و مکانی عملکرد گندم و لوبیا، مطالعه موردی: خراسان رضوی 263
خدیجه پویا نسب - محمد بنایان اول - رضا قربانی - سارا سنجانی - فاطمه یعقوبی

اثر کودهای آلی و زیستی بر محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان ماده مؤثره گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea Purpurea* L.) 283
حسنا فیاضی - علیرضا ابدالی مشهدی - احمد کوچک زاده - عبدالحمید پاپ‌زن - محمد حسین ارزانش

بررسی تحمل به تنش یخ‌زدگی در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.) 299
سیده محبوبه میرمیران - احمد نظامی - محمد کافی

تأثیر کود سبز و مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه (*Portulaca oleracea* L.) 317
حامد جوادی - پرویز رضوانی مقدم - محمدحسن راشد محصل - محمدجواد ثقه‌الاسلامی

اثر تنش خشکی بر خصوصیات فلورسانس کلروفیل و عملکرد علوفه دو رقم ارزن علوفه‌ای (*Pennisetum americanum var. nutrifeed* and *Punicum sp var. pishahang*) 333
کبری نجفی بابادی - پیمان حسیبی - حبیب اله روشنفکر - سعید برومند نسب

بررسی اثر محلول‌پاشی اتانول و متانول بر شاخص‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* c.v. Keshkeni luvelou) 345
محمد مقدم - رسول نریمانی - قادر رستمی - سپیده مجرب

تعیین غلظت و اسیدیته بهینه ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم بر راندمان محلول‌پاشی گیاهچه‌های سیب‌زمینی 355
محمد کافی - بیژن سعادتیان

اثر فاصله خطوط کشت و میزان بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزای پاییزه رقم اُکاپی در روش کشت مسطح در مقایسه با کشت جوی پشته‌ای 369
محمد یزداندوست همدانی

بررسی سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای: کودهای ارگانیک، غیرارگانیک و تلفیقی، بر چگونگی تغییرات پروتئین دانه گندم 381
الهام امجدیان - احمد قنبری

ارزیابی ویژگی‌های فیزیولوژیک و زراعی مرتبط با تحمل به خشکی درکلزای بهاره 393
بهمن پاسبان اسلام

ارزیابی زمان تغذیه برگی بوریک اسید و سولفات روی بر غلظت عناصر و عملکرد روغن کلزا در منطقه سیستان 405
محمد فروزنده

اثر مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی حفاظتی و گیاه پوششی خلر (*Lathyrus Sativus*) بر عملکرد کدو (*Cucurbita pepo* L.) و برخی شاخص‌های کیفیت خاک 421
اسماعیل اسفندیاری اخلاص - محسن نائل - جواد حمزه ئی

اثر فاصله بین ردیف بر معماری، عملکرد وش و کیفیت بذر ارقام پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) 435
محمد مونیان اردستانی - فرشید قادری‌فر - ابراهیم زینلی - محمدحسین قربانی - مرتضی گرزین

کمّی‌سازی نمو برگ در ارقام مختلف گندم: I- تولید و زوال برگ‌های ساقه اصلی در شرایط مزرعه 447

جعفر پوررضا- افشین سلطانی

اثر محلول‌پاشی با دود-آب و سطوح نیتروژن بر ویژگی‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک گندم (*Triticum* aestivum L.) 459

فریده نوروزی شهری- بابک غلامی- سعید جلالی هنرمند- فرزاد مندنی- محسن سعیدی

مصرف خاکی نانوکایتوزان بر خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی گیاه خارمریم (*Silybum marianum*) تحت تنش شوری 477

سارا صفی خانی- کورس خوشبخت- محمد رضا چایی چی- عباس امینی- بابک متشرع زاده

تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید آهن بر عملکرد، محتوای کلروفیل و مدل‌سازی برخی مولفه‌های پر شدن دانه جو تحت سطوح تنش شوری 493

سیامک داداش زاده- رئوف سیدشریفی- سلیم فرزانه

برآورد نیاز درجه- روز رشد مراحل فنولوژیک و رشد گل‌گاوزبان در تاریخ و تراکم‌های متفاوت 511

حدیث حسنوند- سید عطاءاله سیادت- عبدالمهدی بخشنده- محمدرضا مرادی تلاوت- عادل پشت‌دار

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۲۸۲-۲۶۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 263-282

بررسی تغییرات زمانی و مکانی عملکرد گندم و لوبیا، مطالعه موردی: خراسان رضوی

خدیجه پویا نسب[۱]- محمد بنایان اول[۲*]- رضا قربانی[۲]- سارا سنجانی[۳]- فاطمه یعقوبی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۱

چکیده

در ارزیابی عملیات مدیریت زراعی، شناخت تغییرات مکانی خصوصیات خاک و محصول و درک متقابل آنها ضروری است. نوسانات زمانی و مکانی عملکرد، ناشی از تفاوت‌ها در سطح مصرف نهاده، پیشرفت‌های کشاورزی و هم‌چنین شرایط خاک و اقلیم است. تحقیق حاضر در سه شهرستان خراسان رضوی به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی عملکرد گندم و لوبیا با توجه به میزان تغییر پارامترهای اقلیمی از جمله دما و بارش صورت گرفته است. پارامترهای اقلیمی مذکور برای دوره رویش گندم و لوبیا برای دوره آماری از سال ۱۳۸۸- ۱۳۷۲ بر مبنای دسترسی به داده‌های میزان عملکرد گندم و لوبیا در نظر گرفته شده است. جهت بررسی نوسانات زمانی عملکرد از روش سری‌های زمانی و آزمون منکندال و در بعد مکان از دو روش وزن‌دهی عکس فاصله و کریجینگ استفاده گردید. نتایج نشان داده است که ۴۰ تا ۷۷ درصد از تغییرات عملکرد گندم را می‌توان با متغیرهای اقلیمی توصیف کرد. تغییرات عملکرد لوبیا با متغیرهای آب و هوایی مشهد رابطه معناداری داشت. عملکرد گندم در شهرهای مشهد، نیشابور و تربت حیدریه روند مثبت و عملکرد لوبیا در شهرهای مشهد و تربت حیدریه روند منفی نشان داد. از بعد مکانی در سال ۱۳۸۸ عملکرد گندم از شرق به سمت غرب کاهش یافته و عملکرد لوبیا، بخش مرکزی خراسان رضوی (تربت حیدریه) بالاترین عملکرد را داشته است.

واژه‌های کلیدی: آزمون منکندال، درون‌یابی، سری زمانی، نوسانات عملکرد

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) از مهم‌ترین محصولات استراتژیک جهان است که هم از لحاظ سطح زیر کشت و هم مقدار تولید، قابل توجه بوده و مورد استفاده انسان و دام است. زراعت گندم از سایر غلات اهمیت بیشتری داشته و نزدیک به ۳۰ درصد از سطح زیر کشت کل تولید غلات جهان را به خود اختصاص داده است (Rafiei-Alhosseini and Mohammadi, 2000). رشد جمعیت، توسعه اقتصادی و اجتماعی کشوردر دو دهه‌ی اخیر باعث شده است تا مصرف مواد پروتئینی به‌ویژه گوشت قرمز افزایش چشمگیری یابد. براین اساس افزایش تولید حبوبات به‌عنوان مکمل منابع پروتئینی در برنامه‌های توسعه‌ی اقتصادی کشور نیز مورد توجه قرار گرفته است. حبوبات به‌عنوان یکی از مهمترین منابع گیاهی غنی از پروتئین بعد از غلات، دومین منبع مهم غذایی انسان به‌شمار می‌روند.

تأثیرات اقلیم بر عملکرد محصولات از طریق کنش متقابل عواملی چون درجه حرارت، دی‌اکسید کربن، رطوبت، بارندگی و سایر عوامل شکل می‌گیرد. به طور کلی درجه حرارت، میزان تشعشعات خورشیدی و بارش مهم‌ترین پارامترهای محیطی مؤثر بر رشد و نمو گیاهان می‌باشند (Bannayan *et al*., 2010) و هرگونه نوسان و تغییر در میزان این عوامل بر عملکرد محصولات زراعی تأثیر خواهد گذاشت. امروزه بررسی تغییرات اقلیم، مسئله‌ای مهم است که توجه متخصصان را به خود جلب کرده است (Hosseini *et al*., 2008). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تولید گیاهان رابطه مستقیم و معنی‌داری با نوسانات اقلیمی دارد، بنابراین ارائه اطلاعات صحیح در رابطه با عوامل اقلیمی مانند بارندگی و دما در طول زمان مفید است (Lianghi *et al*., 2005). پژوهشگران طی مطالعاتی نشان دادند که افزایش درجه حرارت بیشترین تأثیر را بر مرحله گل‌دهی ذرت (*Zea mays* L.) گذاشته و با کاهش درصد دوره تلقیح گل، منجر به کاهش عملکرد ذرت می‌شود. هم‌چنین افزایش دو درجه دما باعث کاهش دوره گلدهی ذرت از ۱۰ به ۸ روز شده که خود تأثیر به‌سزایی در کاهش

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- دانشجوی دکتری گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Banayan@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.44536

تعداد دانه تشکیل‌شده و عملکرد ذرت داشته است (Mera *et al*., 2006). کاهش عملکرد زعفران در استان خراسان طی ۱۰ سال گذشته به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل اقلیمی به‌ویژه درجه حرارت و رطوبت قرار گرفته، به طوری که ۳۱ تا ۶۶ درصد نوسانات عملکرد زعفران با در نظر گرفتن این دو متغیر اقلیمی قابل توجیه است (Hosseini *et al*., 2008). در بررسی عملکرد گندم دیم در استان خراسان با استفاده از داده‌های بارندگی و خاک نشان داده شد که بارندگی در ماه‌های فروردین، خرداد، آبان و اسفند، مقدار رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و درصد رس خاک مهم‌ترین متغیرهای تعیین‌کننده عملکرد گندم دیم می‌باشند (Tatari *et al*., 2009). از بین متغیرهای هواشناسی، دو متغیر تعداد روزهای بارانی در منطقه بیرجند و دمای بیشینه هوا در منطقه مشهد بیشترین مقدار همبستگی را با عملکرد محصولات زراعی دارند (Zare Abyaneh, 2013). در پژوهشی دیگر، نتایج بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و عملکرد گندم در بخشی از اراضی سرخنکلاته استان گلستان نشان داد که توزیع مکانی نیتروژن کل دارای الگوی مشابه پراکنش مکانی مواد آلی بوده و توزیع مکانی ضریب برداشت نیز با پراکنش مکانی فسفر قابل دسترس مشابهت دارد (Ayoubi and Khormali, 2007). هم‌چنین رفیع الحسینی و محمدی (Mohammadi and Rafiei-Alhosseini, 2000) با تجزیه و تحلیل پراکنش مکانی حاصل‌خیزی خاک و محصول گندم برای مدیریت زراعی نشان دادند که توزیع مکانی عملکرد گندم دارای الگوی مشابه پراکنش مکانی فسفر قابل دسترس در خاک بوده است. روئل و پلنت (Roel and Plant, 2002) تغییرات عملکرد برنج در طول زمان و در مکان‌های مختلف در کالیفرنیا را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه نوسانات عملکرد در دو مقیاس وسیع (متأثر از بافت خاک) و در مقیاس کوچک (متأثر از هجوم علف هرز و بیماری و نوسانات سالانه اقلیمی) مورد مطالعه قرارگرفتند. در آنالیز مکانی در مقیاس وسیع از روش median-polishin و در مقیاس کوچک از روش واریوگرام[1] استفاده شد. نتایج نشان داد که نوسانات فصلی در مقایسه با نوسانات سالانه روی عملکرد تأثیر بیشتری دارد و بیشترین سهم در نوسانات در مقیاس کوچک مشاهده گردید.

با توجه به تأثیر تغییرات آب و هوایی بر عملکرد محصولات زراعی، مطالعه روند بلندمدت عملکرد این محصولات که براساس روش‌های متداول آماری صورت می‌گیرد، می‌تواند راهکار مناسبی جهت تعیین سهم عوامل آب و هوایی بر نوسانات عملکرد باشد و از آن جا که این روند تغییرات عملکرد در مقیاس منطقه‌ای و بین‌المللی در نقاط مختلف جهان مطالعه شده است، لذا انجام این گونه مطالعات در ایران نیز ضروری است. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی روند عملکرد گندم و لوبیا (*Phasaeolus vulgaris* L.) در سال‌های ۱۳۸۸- ۱۳۷۲ و مطالعه رابطه نوسانات آن‌ها با تغییرات متغیرهای آب و هوایی می باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی با مساحتی بالغ بر ۱۲۷/۶۰۰ کیلومتر مربع در شمال شرقی ایران قرار گرفته و حدود ۷/۷ درصد از مساحت کشور را شامل می‌شود و چهارمین استان کشور از نظر وسعت است. در این تحقیق ۳ شهر از استان خراسان رضوی مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۱). داده‌های ۱۷ ساله (۱۳۸۸-۱۳۷۲) عملکرد گندم و لوبیا آبی از سازمان جهاد کشاورزی و پارامترهای اقلیمی از سازمان اقلیم‌شناسی جمع‌آوری و برای افزایش دقت در تهیه نقشه عملکرد گندم و لوبیا از تمام شهرهای استان خراسان رضوی جمع‌آوری شد.

جهت بررسی نوسانات زمانی عملکرد از روش سری‌های زمانی[2] و آزمون منکندال[3] و جهت بررسی نوسانات مکانی عملکرد از دو روش وزن‌دهی عکس فاصله[4] و کریجینگ[5] استفاده شد.

ارزیابی همبستگی بین عملکرد و شاخص‌های آب و هوایی

به منظور بررسی رابطه عملکرد در مناطق تحت بررسی، متغیرهای آب و هوایی شامل بارندگی ماهانه، حداقل، حداکثر و میانگین درجه حرارت ماهانه (۱۳۸۸-۱۳۷۲) از مرکز هواشناسی خراسان جمع‌آوری شدند. ارزیابی چگونگی رابطه عملکرد با آب و هوا به‌وسیله رگرسیون ساده و چند متغیره انجام گرفت. به این منظور ابتدا عملکرد (Y) با دمای حداقل، حداکثر و میانگین ماهانه و نیز بارندگی ماه‌های مربوط به فصل رشد محصول (X) برای تمام شهرهای تحت بررسی به‌صورت جداگانه آنالیز شد تا برای هر شهر نوع شاخص آب و هوایی و مهم‌ترین ماه سال از نظر تأثیر بر عملکرد تعیین شود. سپس با استفاده از رگرسیون چند متغیره رابطه بین عملکرد (Y) و متغیرهای آب و هوایی مؤثر (x_1، x_2، ...، x_n) برای هر شهر تعیین گردید. معادله رگرسیون چند متغیره به‌دست آمده، در معرض حذف گام به گام پس‌رونده متغیرهای مستقل قرار گرفت و به این منظور از روش رگرسیون گام به گام رو به عقب[6] استفاده شد.

1- Variogram

2- Time series
3- Mankendal test
4- Inverse distance weighted
5- Kriging
6- Backward Elimination Step Wise/Regression

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ۳ شهر مورد مطالعه
Table 1- Physiographic of study locations

ردیف Row	شهر City	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude
1	مشهد Mashhad	36° 24′ N	59° 82′ E
2	نیشابور Nishabur	36° 20′ N	58° 80′ E
3	تربت حیدریه Torbat Heydarieh	35° 44′ N	59° 16′ E

سری‌های زمانی

در آنالیز سری زمانی، نوسانات هر متغیر (Y) در طی زمان (t) به‌وسیله معادله ۱ محاسبه شد.

$$Y_t = F(t) + et$$ (معادله ۱)

که در این معادله، Y مقدار متغیر در هر زمان، f(t) تابع توصیف‌کننده تغییرات Y بر حسب زمان و e خطای برآورد Y در هر سال می‌باشند.

تابع f(t) به دو صورت خطی و درجه ۲ تعریف شد.

$$F(t) = b_1 + b_2\, t$$ (معادله ۲)

$$F(t) = b_1 + b_2 t + b_3 t^2$$ (معادله ۳)

در فرم خطی، (t) نوسانات عملکرد به‌صورت تابع خطی در طول زمان توصیف گردید، در حالی‌که در فرم درجه‌ی ۲، تابع عملکرد برحسب زمان، غیرخطی بوده و کاهش عملکرد در طول زمان را بیان می کند.

جهت پیش بینی روند عملکرد روش‌های متعددی وجود دارند از جمله می‌توان، به میانگین متحرک[1]، هموارسازی نمایی[2] و وینترز[3] اشاره کرد که در این مطالعه روش وینترز به‌کار گرفته شد.

آزمون من کندال

آزمون ناپارامتری من کندال ابتدا توسط من[4] (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال[5] (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. از دیگر مزایای استفاده از این روش، اثرپذیری ناچیز آن از مقادیر حدی است که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردد.

در آزمون من کندال برای تعیین تصادفی بودن داده‌ها از معادله‌ی ۴ استفاده می‌شود.

$$T = \frac{4p}{n(n-1)} - 1$$ (معادله ۴)

که در این معادله، T آماره‌ی من کندال، N تعداد کل سال‌های آماری مورد نظر و P مجموع تعداد رتبه‌های بزرگتر از ردیف n_i است که بعد از آن قرار می‌گیرند و از معادله ۵ به‌دست می‌آید.

$$p = \sum_{i-1}^{n} n_i$$ (معادله ۵)

این آماره برای N>10 به توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس $\frac{4n+10}{9(n-1)}$ شبیه است. در نهایت به منظور سنجش معنی‌دار بودن آماره T از معادله ۶ استفاده می‌شود.

$$T_i = \pm tg \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}}$$ (معادله ۶)

که در این معادله، N تعداد کل سال‌های آماری، tg برابر سطح احتمال معنی‌دار بودن آزمون، t(T) آماره من–کندال می‌باشد.

با توجه به مقدار بحرانی به‌دست آمده برای t(T)، حالات مختلف زیر مشاهده شد:

اگر T > t(T) باشد، روند مثبت در سری‌های زمانی غالب می‌شود.

اگر T < t(T) باشد، نشان‌دهنده روند منفی است.

و در صورتی‌که T > t(T) > -T باشد، هیچ‌گونه روند مهمی در سری‌ها مشاهده نمی‌شود و سری‌ها تصادفی هستند.

آزمون من کندال در نرم‌افزار xlstat برای تشخیص و آشکارسازی روند (مثبت یا منفی) داده‌های درجه حرارت حداکثر، درجه حرارت حداقل، دامنه تغییرات دما، بارندگی و عملکرد گندم و لوبیا در طی دوره آماری در ایستگاه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

1- Moving average
2- Exponential smoothing
3- Winters method
4- Mann
5- Kendall

روش وزن‌دهی عکس فاصله

در این روش فرض بر این است که نقاط نزدیک نسبت به نقاط دور، شباهت بیشتری به یکدیگر دارند. در این روش برای پیش‌بینی مقدار مجهول یک موقعیت نمونه‌برادری نشده از مقادیر معلوم اندازه‌گیری شده نقاط اطراف استفاده می‌شود. مقادیر اندازه‌گیری شده‌ای که به موقعیت پیش‌بینی نزدیکتر هستند نسبت به مقادیر دورتر تأثیر بیشتری بر مقدار پیش‌بینی شده دارند. فرض براین است که هر نقطه اندازه‌گیری شده دارای یک محدوده‌ی تأثیر است که با فاصله کمتر می‌شود. در این روش به نقاط معلوم مجاور برحسب نسبت فاصله آنها از نقطه‌ی مجهول، وزن داده می‌شود. وزن نقاط نزدیکتر به موقعیت پیش‌بینی بیشتر از نقاط دورتر است. در حقیقت این روش نوعی میانگین‌گیری وزن‌دار است. اساس این روش بر معادله ۸ استوار است.

$$z(x,y)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i z_i \qquad \text{(معادله ۷)}$$

که در این معادله، $Z(x,y)$ مقدار نقطه مجهول، λ_i وزن مربوط به نقطه‌ی i ام در تعیین مقدار نقطه مجهول است که خود از معادله ۸ به‌دست می‌آید.

$$\lambda=\frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{d_i^p}} \qquad \text{(معادله ۸)}$$

در این معادله، z_i مقدار مربوط به نقطه‌ی i ام، N تعداد نقاط نمونه‌برداری شده، d فاصله نقطه مجهول تا نقطه i ام و p توان یا ضریبی است که وزن را بر اساس فاصله تعیین می‌کند و نشان‌دهنده میزان اهمیت نقطه است.

توان معمولاً بین ۱ تا ۵ در نظر گرفته می‌شود که هرچه این توان بزرگتر باشد، تأثیر نقاط نزدیک‌تر بیشتر می‌شود.

کریجینگ

این روش مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش درون‌یابی است که بر پایه مدل‌ها و روابط آماری پایه‌ریزی شده است. لایه رستری تولید شده از این روش، سطحی بسیار دقیق را نمایش می‌دهد. در روش کریجینگ تمام مشاهدات منطقه مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصولا کریجینگ یک نام عمومی برای کلیه روش‌های زمین آمار، تخمین و برآورد متغیرهای مکانی بوده و به‌عنوان یک تابع خطی از مجموعه مشاهدات توزیع شده واقع در همسایگی نقطه‌ای که تخمین زده شده، شناخته می‌شود.

$$z(x,y)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i z_i \qquad \text{(معادله ۹)}$$

که در آن $z(x_0)$ مشخصه تخمین زده شده در نقطه‌ی x_0، $z(x_i)$ مقدار عددی مشخصه‌ی مورد بررسی در نقطه x_i و λ_i وزن آماری است که به نمونه $z(x_i)$ واقع در همسایگی نقطه x_i اختصاص می‌یابد.

در این رابطه، n بیانگر تعداد مشاهداتی است که در همسایگی نقطه‌ای که تخمین زده واقع شده است. در حقیقت هدف از کریجینگ، یافتن وزن‌های آماری نمونه‌ها به گونه‌ای است که واریانس تخمین حداقل گردد. بدین ترتیب کریجینگ را می‌توان روشی دانست که طی آن به مجموعه نمونه‌ها به گونه‌ای وزن آماری داده می‌شود که ترکیب خطی آن‌ها نه تنها ناریب شود، بلکه در بین سایر تخمین‌گرهای خطی حداقل واریانس را نیز داشته باشد. برای این که تخمین $z(x_i)$ ناریب باشد، مجموعه ضرایب یا وزن‌های آماری باید برابر واحد در نظر گرفته شود. شرط استفاده از روش کریجینگ آن است که متغیر مورد نظر دارای توزیع نرمال باشد.

ارزیابی خطا

در مطالعه حاضر، مقادیر مشاهده شده با استفاده از دو معیار میانگین خطا[1] و قدر مطلق میانگین خطا[2] با مقادیر برآورد شده مقایسه شدند.

$$MBE=\sum_{i=1}^{N}(E_s-E_o)/N \qquad \text{(معادله ۱۰)}$$

$$MAE=\sum_{i=1}^{N}|E_s-E_o|/N \qquad \text{(معادله ۱۱)}$$

که در این معادله، N تعداد نمونه، E_S مقادیر برآورد شده، E_O مقادیر مشاهده شده، MBE خطای میانگین بایاس و MAE خطای قدر مطلق میانگین می‌باشد.

معیار خطا در این مطالعه نشان می‌دهد که چه میزان اختلاف بین مقدار برآورد شده و مشاهده شده وجود دارد. اگر مقدار برابر با صفر باشد، نشان‌دهنده آن است که مقادیر نمونه خوب برآورد شده است. در اغلب موارد بین مقدار برآورد شده و مقدار مشاهده شده اختلاف‌هایی وجود دارد. بنابراین هرچه این شاخص از صفر دور شود، نشان‌دهنده این است که اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده بیشتر است. شاخص خطای قدر مطلق میانگین نیز، برای سنجش میزان دقت روش استفاده شد که هرچه مقدار به صفر نزدیکتر باشد، میزان دقت مکانی روش بیشتر بوده و هرچه از صفر دورتر شود، از میزان دقت آن کاسته می‌شود (Mera *et al*., 2006).

1- Mean Bias Error
2- Mean Absolute Error

نتایج و بحث

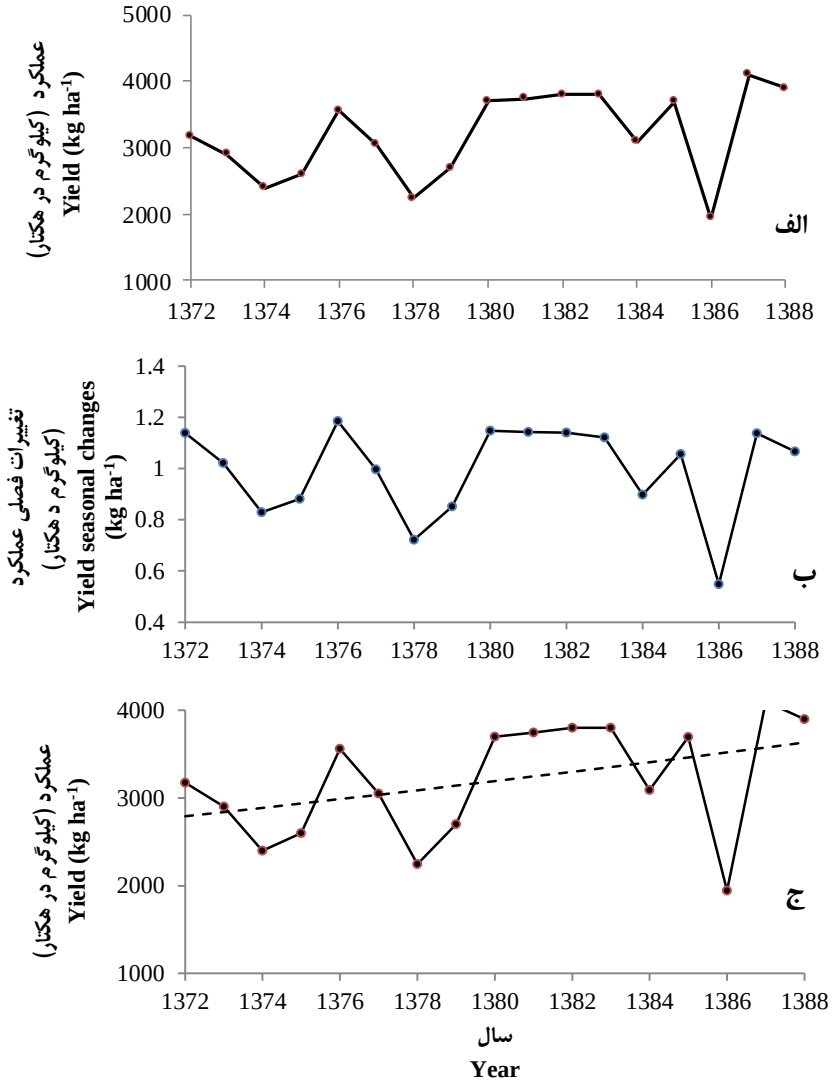
الگوی تغییرات سالانه آب و هوا و عملکرد گیاهان

۱- مشهد

۱-۱- گندم

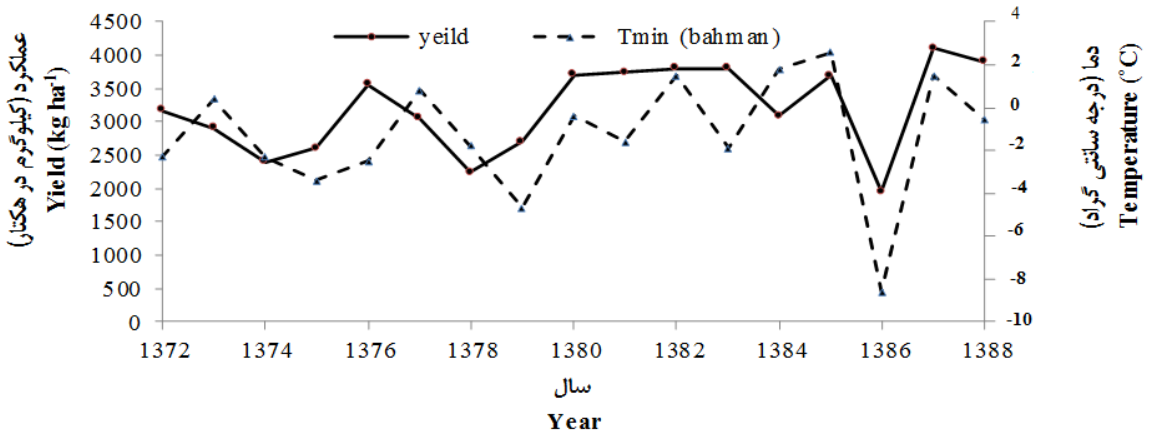
بررسی روند تغییرات عملکرد گندم در مشهد طی ۱۷ سال نشان داد که عملکرد در سال مبدأ (۱۳۷۲) در حدود ۳۱۷۳ کیلوگرم در هکتار بوده است. پایین‌ترین عملکرد در سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۶ به‌ترتیب ۲۴۰۰، ۲۲۰۰ و ۱۹۰۰ کیلوگرم در هکتار و بالاترین عملکرد در سال ۱۳۸۷ حدود ۴۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به ثبت رسیده است (شکل ۱ الف). پس ازحذف روند از داده‌ها نتایج نشان داد که نوسانات فصلی در این منطقه ۰/۵ تا ۱/۱ کیلوگرم در هکتار از تغییرات عملکرد را در برمی‌گیرد (شکل ۱ ب) و عملکرد گندم با الگوی خطی در حال افزایش است (شکل ۱ ج).

در شهر مشهد بیشترین همبستگی بین عملکرد گندم با درجه حرارت حداقل بهمن ماه مشاهده شد. ۴۰٪ از تغییرات عملکرد گندم در مشهد را می‌توان توسط این متغیر توصیف کرد (جدول ۲). بررسی روند ۱۷ ساله عملکرد با درجه حرارت حداقل بهمن ماه نشان داد که با افزایش دمای حداقل این ماه و نزدیک شدن آن به دمای بهینه (۲-۵ درجه سانتی‌گراد) میزان عملکرد این محصول افزایش می‌یابد (شکل ۲) (Kamali *et al*., 2008).



شکل ۱- الف) تغییرات ۱۷ ساله عملکرد، ب) تغییرات فصلی عملکرد با حذف روند و ج) روند ۱۷ ساله عملکرد

Figure 1- a) Crop yield changes across 17 years, b) Yield seasonal changes by removing its trend and c) Crop yield trend across 17 years



شکل ۲- روند ۱۷ ساله عملکرد گندم با درجه حرارت بهمن ماه

Figure 2- Trend of wheat yield and February temperature across 17 years

جدول ۲- معادله رگرسیون و ضریب تبیین عملکرد گندم با متغیرهای آب و هوا

Table 2- Regression equation and determination coefficient of wheat yield with weather variables

شهر City	گندم Wheat		لوبیا Bean	
	معادله رگرسیون Regression equation	ضریب تبیین Determination coefficient	معادله رگرسیون Regression equation	ضریب تبیین Determination coefficient
نیشابور Nishabur	Y=1930.09-227.8X8+18.28X27	0.70	-	-
مشهد Mashhad	Y=3390.3+150.01X15	0.40	Y=7116.5-320X	0.35
تربت حیدریه Torbat Heydarieh	Y=7678.03-184.09X8+136.8X16	0.77	-	-

۲-۱- لوبیا

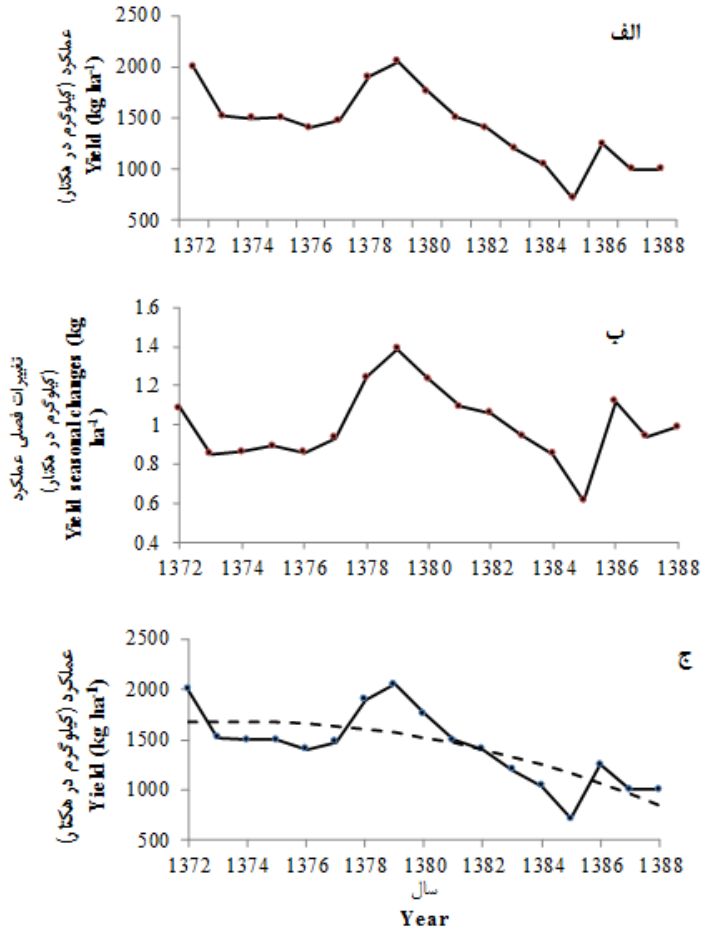
بررسی روند تغییرات عملکرد لوبیا در مشهد نشان داد که عملکرد در سال مبدأ (۱۳۷۲) حدود ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و در سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۸ به‌طور چشمگیری کاهش یافته است (شکل ۳ الف). پس از این دوره عملکرد در سال ۱۳۷۹ به ۲۰۵۲ کیلوگرم در هکتار افزایش و از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ به‌طور چشمگیری کاهش یافته و به حدود ۷۱۴ کیلوگرم در هکتار رسیده است و در نهایت در سال‌های پایانی عملکرد تا ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته است. پس از حذف روند از داده‌ها نتایج نشان داد که نوسانات فصلی عامل ۰/۶ تا ۱/۴ کیلوگرم در هکتار از تغییرات عملکرد می‌باشد (شکل ۳ ب). روند ۱۷ ساله عملکرد لوبیا از مدل درجه ۲ تبعیت می‌کند و در حال کاهش است (شکل ۳ ج).

در مشهد بین عملکرد لوبیا و متغیرهای آب و هوایی بیشترین همبستگی با درجه حرارت حداقل مشاهده شد (جدول ۲). بررسی روند تغییرات عملکرد با درجه حرارت حداقل نشان داد که با افزایش درجه حرارت حداقل، عملکرد لوبیا کاهش یافت (شکل ۴). لذا چنین نتیجه می‌توان گرفت که، افزایش درجه حرارت بر عملکرد اثر منفی دارد که با نتایج لوبل و آسنر (Lobell and Asner, 2003) و لیانگی (Lianghi, 2005) همخوانی دارد.

۲- نیشابور

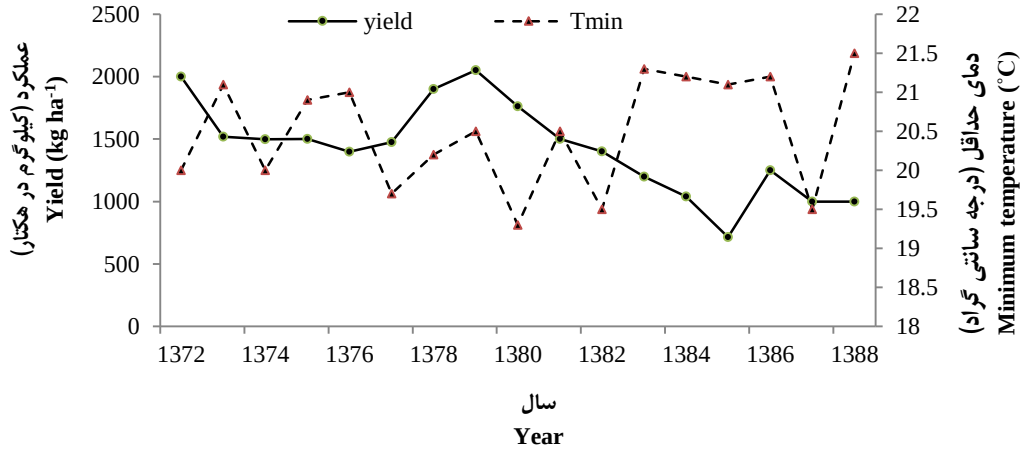
۲-۱- گندم

بررسی روند تغییرات عملکرد گندم در نیشابور نشان داد که عملکرد در سال مبدأ (۱۳۷۲) در حدود ۱۷۰۰ کیلوگرم درهکتار و در سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۶ به‌طور چشمگیری افزایش داشته و به حدود ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار رسیده است (شکل ۵-الف). کمترین عملکرد این شهرستان در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۶ حدود ۱۴۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم و بالاترین عملکرد در سال ۱۳۸۷ حدود ۳۷۴۹ کیلوگرم در هکتار به ثبت رسیده است. در این میان سهم تغییرات فصلی عملکرد در محدوده ۰/۴ تا۱/۲ کیلوگرم در هکتار بوده است (شکل ۵-ب). روند ۱۷ ساله عملکرد گندم افزایش خطی را نشان داد (شکل ۵-ج).



شکل ۳- الف) تغییرات ۱۷ ساله عملکرد، ب) تغییرات فصلی عملکرد با حذف روند و ج) روند ۱۷ ساله عملکرد

Figure 3- a) Crop yield changes over 17 years, b) Yield seasonal changes by removing its trend and c) Crop yield trend across 17 years

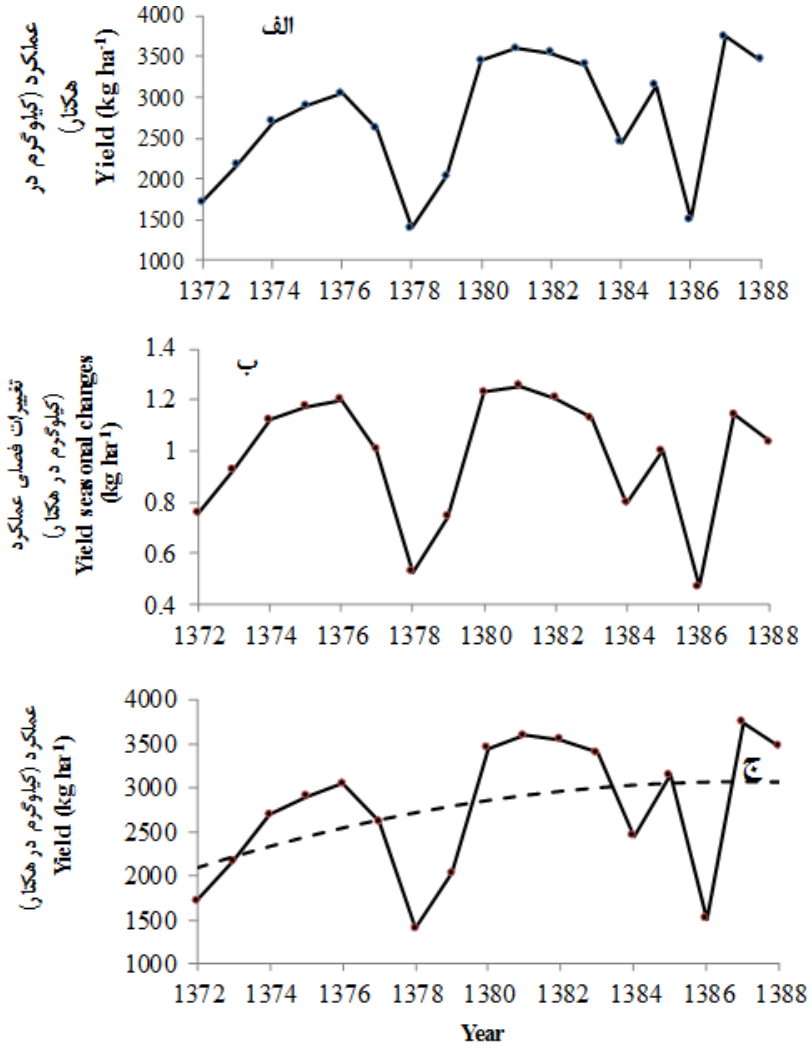


شکل ٤- روند تغییرات عملکرد لوبیا با درجه حرارت حداقل در طی ۱۷ سال

Figure 4- Trend of bean yield and minimum temperature across 17 years

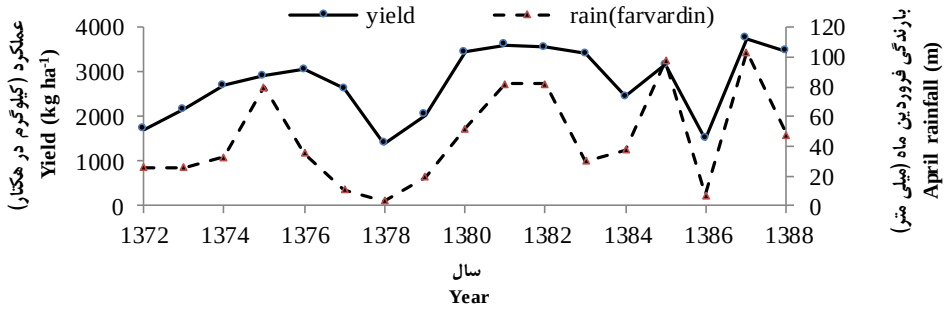
در شهرستان نیشابور بیشترین همبستگی بین عملکرد گندم با بارندگی فروردین ماه و درجه حرارت حداکثر اردیبهشت ماه مشاهده شد (جدول ۲). بررسی روند عملکرد با بارندگی فروردین ماه نشان داد که با افزایش بارندگی در فروردین ماه، عملکرد گندم افزایش یافت (شکل ۶). افزایش بارندگی اواخر دوره رشد اثر بیشتری نسبت به افزایش بارندگی در اوایل دوره رشد دارد (Alijani *et al.*, 2011).

بررسی روند عملکرد گندم با دمای حداکثر اردیبهشت نشان داد که با افزایش دمای حداکثر اردیبهشت عملکرد گندم کاهش یافت (شکل ۷)، زیرا مرحله خوشه رفتن گیاه به دمای ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد نیاز دارد (Kamali *et al.*, 2008) و چنانچه دمای حداکثر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر برود، سبب عقیمی اندام‌های نر در گیاه می‌گردد که نهایتاً باعث افت محصول می‌شود (Safikhani, 2007). در این راستا، متغیرهای بارندگی اثر مثبت و درجه حرارت اثر منفی بر عملکرد دارند (Lobell and Asner, 2003).

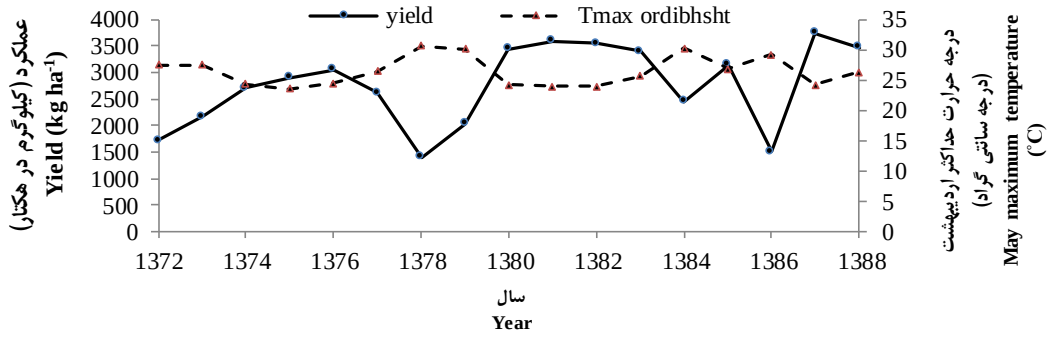


شکل ۵- الف) تغییرات ۱۷ ساله عملکرد، ب) تغییرات فصلی عملکرد با حذف روند و ج) روند ۱۷ ساله عملکرد

Figure 5- a) Crop yield changes over 17 years, b) Yield seasonal changes by removing its trend and c) Crop yield trend across 17 years



شکل ٦- روند ۱۷ ساله عملکرد گندم با بارندگی فروردین ماه
Figure 6- Trend of wheat yield and April rainfall across 17 years



شکل ۷- روند ۱۷ ساله عملکرد گندم با دمای حداکثر اردیبهشت
Figure 7- Trend of wheat yield and May maximum temperature across 17 years

۲-۲- لوبیا

بررسی روند تغییرات عملکرد لوبیا در نیشابور نشان داد که حداکثر عملکرد حدود ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۷۴ بوده و بعد از آن سال روند نزولی را دنبال کرده است (شکل ۸-الف). شکل ۸-ب پس از حذف روند از داده‌ها نتایج نشان داد که نوسانات فصلی در این منطقه از ۰/۷ تا ۱/۴ کیلوگرم در هکتار می‌باشند (شکل ۸ ب). روند ۱۷ ساله عملکرد لوبیا از مدل درجه ۲ تبعیت می‌کند (شکل ۸-ج).

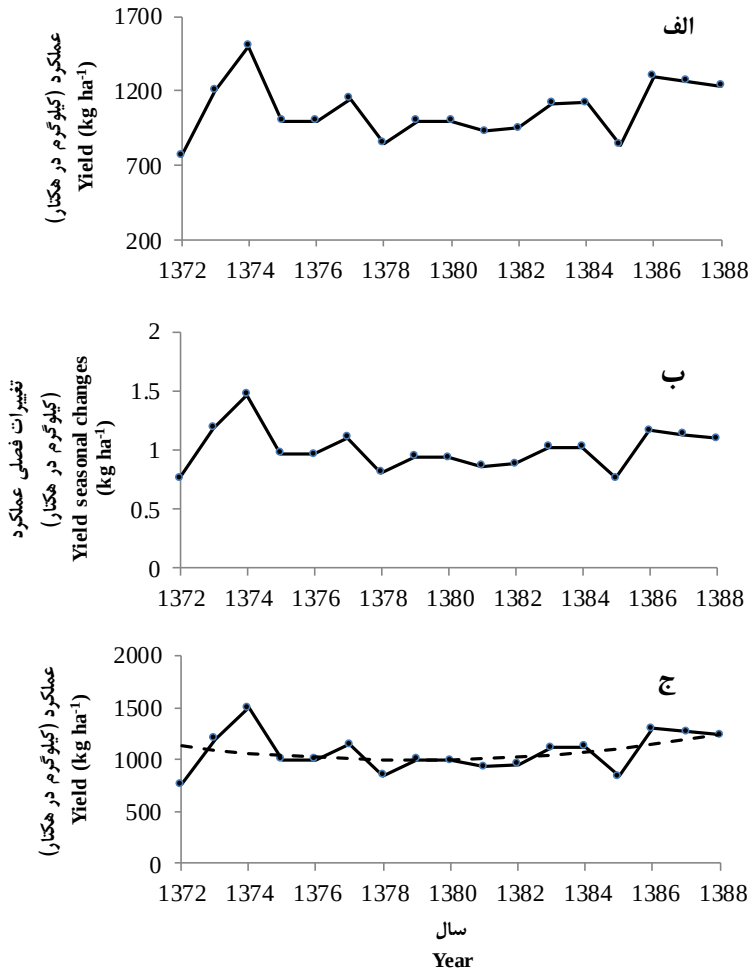
۳- تربت حیدریه

۳-۱- گندم

بررسی روند تغییرات عملکرد گندم در تربت حیدریه نشان داد که عملکرد گندم در سال مبدأ (۱۳۷۲) حدود ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و در سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۶ به‌طور چشمگیری افزایش داشته و به حدود ۳۳۰۰ کیلو گرم در هکتار رسیده است (شکل ۹-الف). سال ۱۳۷۸ عملکرد گندم در این ناحیه به سطح اولیه مشابه سال مبدأ نزول یافته، بعد از این دوره عملکرد روند صعودی را دنبال کرده، در نهایت در سال ۱۳۸۸ بالاترین عملکرد گندم حدود ۴۰۵۰ کیلوگرم در هکتار به ثبت رسیده است. نوسانات فصلی در این منطقه از ۰/۷ تا ۱/۲ کیلوگرم در هکتار از تغییرات عملکرد را در برمی‌گیرد (شکل ۹-ب). روند ۱۷ ساله عملکرد گندم با مدل درجه ۲ در حال افزایش است (شکل ۹-ج). پس از آنالیز رگرسیون بین عملکرد و متغیرهای آب و هوایی در شهر تربت حیدریه، دمای حداکثر اردیبهشت و دمای حداقل اسفند ماه در مدل نهایی باقی ماند. دمای حداقل اسفند ماه طی ۱۷ سال یک روند افزایشی داشته (شکل ۱۱-الف) و دمای حداکثر اردیبهشت ماه در میان دوره یک روند افزایشی و در انتهای دوره تقریباً به حالت سال اولیه برگشته است (شکل ۱۱-ب).

۷۷ درصد تغییرات عملکرد تحت تأثیر درجه حرارت حداکثر اردیبهشت و دمای حداقل اسفند ماه قرار دارد (جدول ۲). بررسی روند ۱۷ ساله عملکرد با درجه حرارت حداکثر اردیبهشت و درجه حرارت حداقل اسفند ماه نشان داد که با افزایش درجه حرارت حداکثر اردیبهشت، عملکرد کاهش و با افزایش دمای حداقل اسفند ماه عملکرد افزایش یافت (شکل ۱۰). مرحله خوشه رفتن گیاه به دمای ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد نیاز دارد (Kamali *et al.*, 2008). چنانچه، دمای حداکثر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر باشد، سبب عقیمی اندام‌های نر در گیاه می‌گردد که نهایتاً باعث افت محصول می‌شود (Safikhani, 2007). دمای مناسب برای مرحله سه برگی ۴

درجه سانتی‌گراد است. چنانچه دما نزدیک به ۴ درجه سانتی‌گراد برسد عملکرد افزایش می‌یابد (Dehghanpour *et al*., 2013).



شکل ۸- الف) تغییرات ۱۷ ساله عملکرد، ب) تغییرات فصلی عملکرد با حذف روند و ج) روند ۱۷ ساله عملکرد

Figure 8- a) Crop yield changes across 17 years, b) Yield seasonal changes by removing its trend and c) Crop yield trend across 17 years

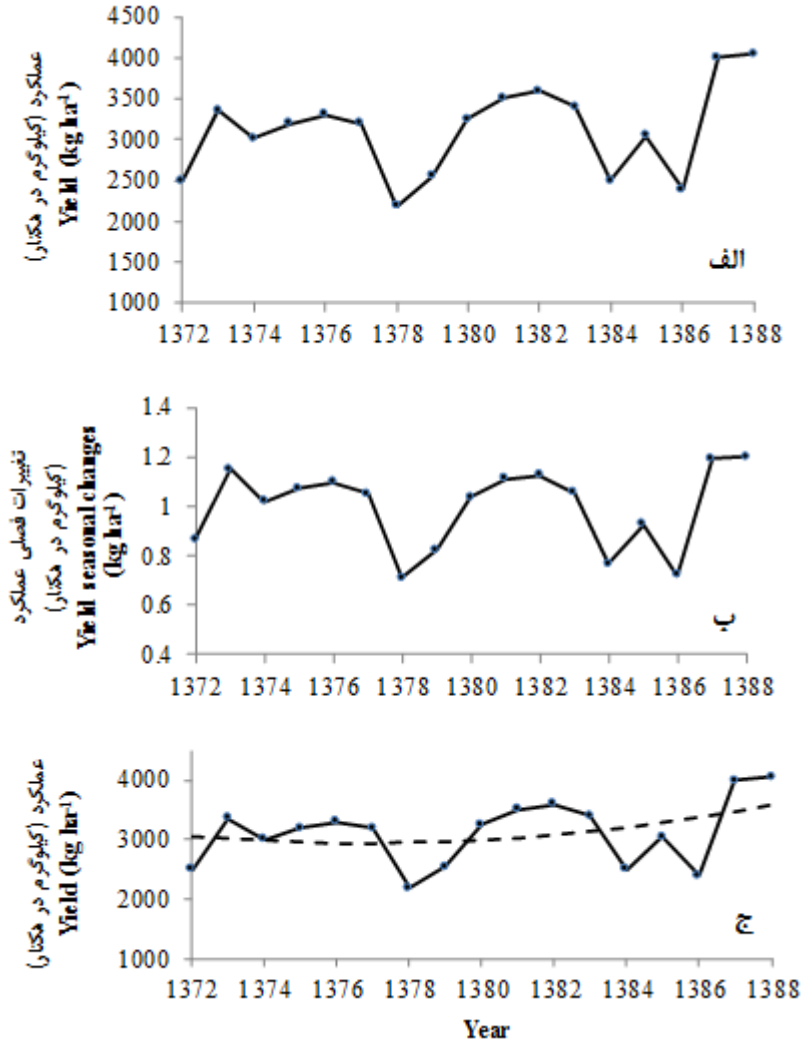
۲-۳- لوبیا

بررسی روند تغییرات عملکرد لوبیا در تربت حیدریه نشان داد که حداکثر عملکرد حدود ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۷۳ بوده و سپس روند نزولی را دنبال کرده است (شکل ۱۱-الف). پس از حذف روند از داده‌ها نتایج نشان داد که نوسانات فصلی در این منطقه از ۰/۵ تا ۱/۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (شکل ۱۱-ب). روند ۱۷ ساله عملکرد لوبیا از مدل درجه ۲ تبعیت دارد و عملکرد روند نزولی دارد (شکل ۱۱-ج).

همچنین بین متغیرهای آب و هوایی و عملکرد لوبیا در شهرهای نیشابور و تربت حیدریه هیچ ارتباطی پیدا نشد و احتمال دارد که تغییرات عملکرد لوبیا مربوط به عوامل غیر اقلیمی مانند خاک، مدیریت، آفات و بیماری‌ها، علف هرز باشد.

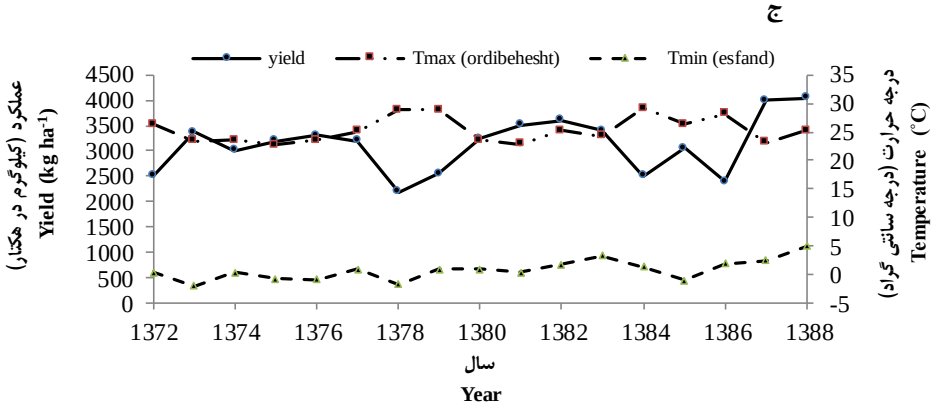
آزمون من کندال

بررسی سری دامنه تغییرات دما در ایستگاه‌های مشهد و تربت حیدریه روند منفی را نشان داد (جدول ۳) (Rahimzadeh and Askari, 2004). دلیل این امر ممکن است، تغییرات بیشتر دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه باشد که این موضوع باعث کاهش دامنه تغییرات دما شده است.



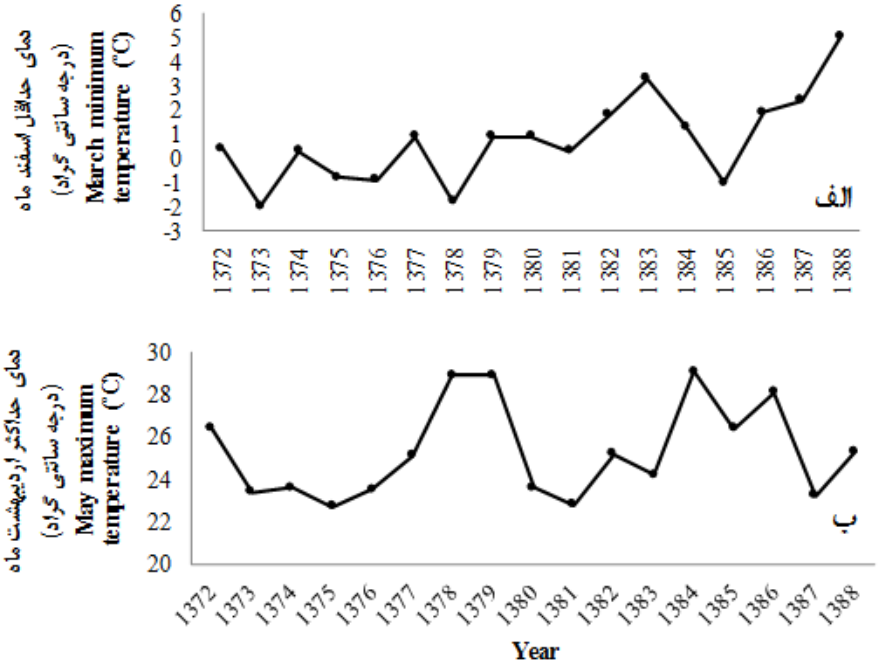
شکل ۹- الف) تغییرات ۱۷ ساله عملکرد، ب) تغییرات فصلی عملکرد با حذف روند و ج) روند ۱۷ ساله عملکرد

Figure 9- a) Crop yield changes across 17 years, b) Yield seasonal changes by removing its trend and c) Crop yield trend across 17 year



شکل ۱۰- روند ۱۷ ساله عملکرد با درجه حرارت حداکثر اردیبهشت و درجه حرارت حداقل اسفند ماه

Figure 10- Trend of yield, May maximum temperature and March minimum temperature across 17 year



شکل ۱۱- الف) دمای مینیمم اسفند ماه ۱۷ ساله و ب) دمای ماکزیمم اردیبهشت ۱۷ ساله

Figure 11- a) March minimum temperature and b) May maximum temperature across 17 years

جدول ۳- روند دامنه تغییرات دما

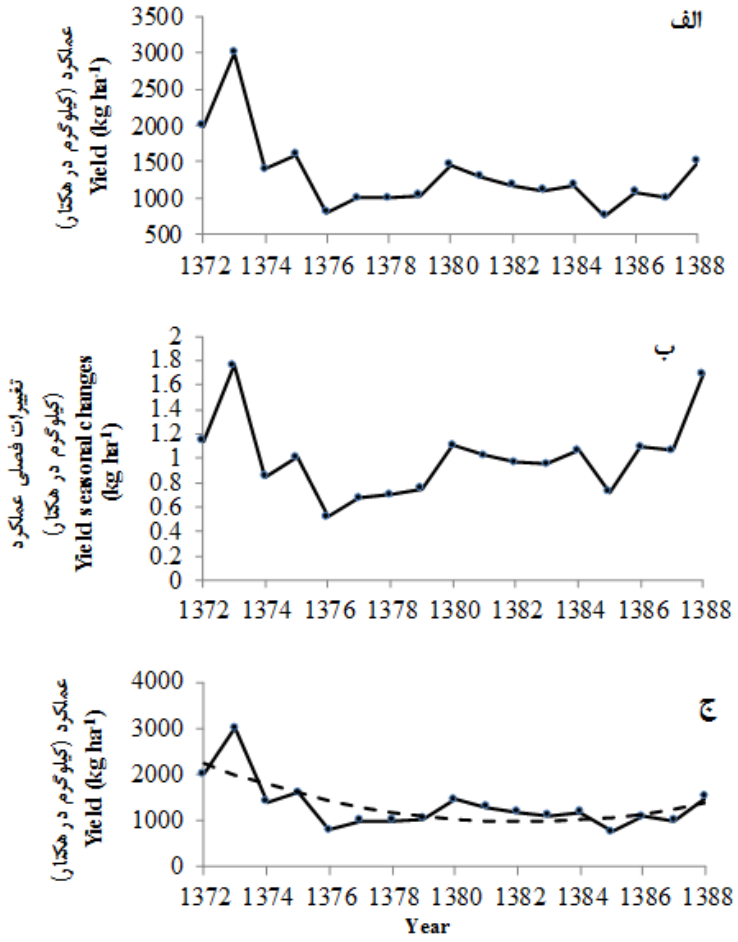
Table 3- The trend of temperature changes range

شهر City	میانگین Mean	Tمنکندال T-mankendal	شیب روند Dip Process	P-value
مشهد Mashhad	12.9	-0.12	-204	0.008*
نیشابور Nishabur	15.3	-0.03	-56	0.250
تربت حیدریه Torbat Heydarieh	12.9	-0.09	-160	0.028*

جدول ٤- روند عملکرد گندم

Table 4- The trend of wheat yield

شهر City	Tمنکندال T-mankendal	شیب روند Dip Process	P-value
مشهد Mashhad	0.376	51	0.018*
نیشابور Nishabur	0.320	44	0.038*
تربت حیدریه Torbat Heydarieh	0.350	48	0.026*



شکل ۱۲- الف) تغییرات ۱۷ ساله عملکرد، ب) تغییرات فصلی عملکرد با حذف روند و ج) روند ۱۷ ساله عملکرد

Figure 12- a) Crop yield changes across 17 years, b) Yield seasonal changes by removing its trend and c) Crop yield trend across 17 years

میزان عملکرد ایستگاه‌های مشهد، نیشابور و تربت حیدریه دارای روند مثبت در سطح معنی‌داری ۵ درصد است (جدول ۴). به عبارتی، عملکرد گندم ۱۷ ساله مشهد از ۳۱۷۳ به ۳۹۰۰ کیلوگرم در هکتار، نیشابور از ۱۷۱۱ به ۳۴۶۶ کیلوگرم در هکتار و تربت حیدریه از ۲۵۰۰ به ۴۰۵۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته است.

میزان عملکرد لوبیا در ایستگاه‌های مشهد و تربت حیدریه دارای روند منفی و نیشابور بدون روند در سطح معنی‌داری ۵٪ است (جدول ۵). عملکرد در مشهد از ۲۰۰۰ به ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و تربت حیدریه از ۲۰۰۰ به ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته و در نیشابور تغییر چشمگیری نداشته است.

جدول ۵- روند عملکرد لوبیا

Table 5- The trend of bean yield

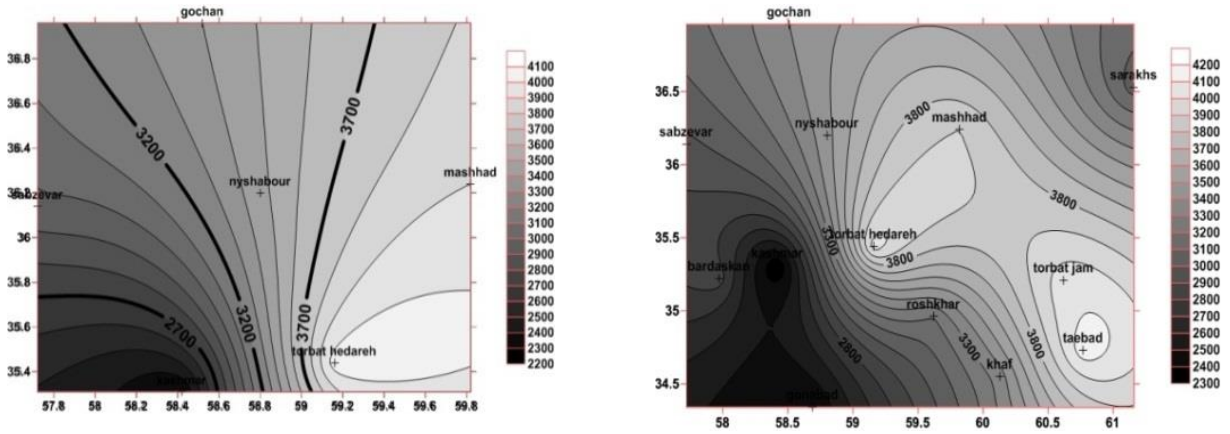
شهر City	Tمنکندال T-mankendal	شیب روند Dip Process	P-value
مشهد Mashhad	0	-78	0.001*
نیشابور Nishabur	0.126	17	0.482
تربت حیدریه Torbat Heydarieh	0	-46	0.032*

به‌طور کلی، با توجه به نتایج آزمون من کندال، درجه حرارت حداقل نرخ افزایشی بیشتری نسبت به درجه حرارت حداکثر داشته است که با نتایج دیگران (Bannayan *et al*., 2010; Ebrahimi, 2005) مطابقت دارد.

کریجینگ

عملکرد گندم در سال ۱۳۸۸

تایباد، تربت جام، تربت حیدریه و مشهد بالاترین عملکرد را نشان دادند و به سمت جنوب غربی که شهرهای کاشمر، گناباد و بردسکن واقع هستند، عملکرد کاهش یافت (شکل ۱۳). بارندگی از شمال به سمت غرب کاهش داشت (شکل ۱۴-الف)، درجه حرارت حداکثر (شکل ۱۴-ب) و حداقل از شمال به سمت غرب افزایش (شکل ۱۴-ج) و متوسط دما از سمت شمال به سمت غرب افزایش یافت (شکل ۱۴-د). بنابراین در شهرهای جنوب غربی (کاشمر، گناباد و بردسکن) به دلیل بارندگی کم و درجه حرارت (حداقل و حداکثر) زیاد، عملکرد گندم کاهش یافته است.



شکل ۱۳- عملکرد گندم سال ۱۳۸۸ استان خراسان رضوی

Figure 13- Wheat yield in Khorasan Razavi province in 2009

عملکرد گندم در سال ۱۳۷۸

تربت جام بالاترین عملکرد گندم را در سال ۱۳۷۸ نشان داد و عملکرد از سمت شرق به سمت غرب کاهش یافت (شکل ۱۵). بارندگی از سمت شمال به سمت جنوب و غرب کاهش نشان داد (شکل ۱۶-الف). درجه حرارت حداکثر از سمت شمال به سمت غرب افزایش (شکل ۱۶-ب) و درجه حرارت حداقل از سمت غرب به سمت شمال و شرق کاهش (شکل ۱۶-ج) و متوسط دما از سمت شرق به سمت غرب افزایش یافته است (شکل ۱۶-د).

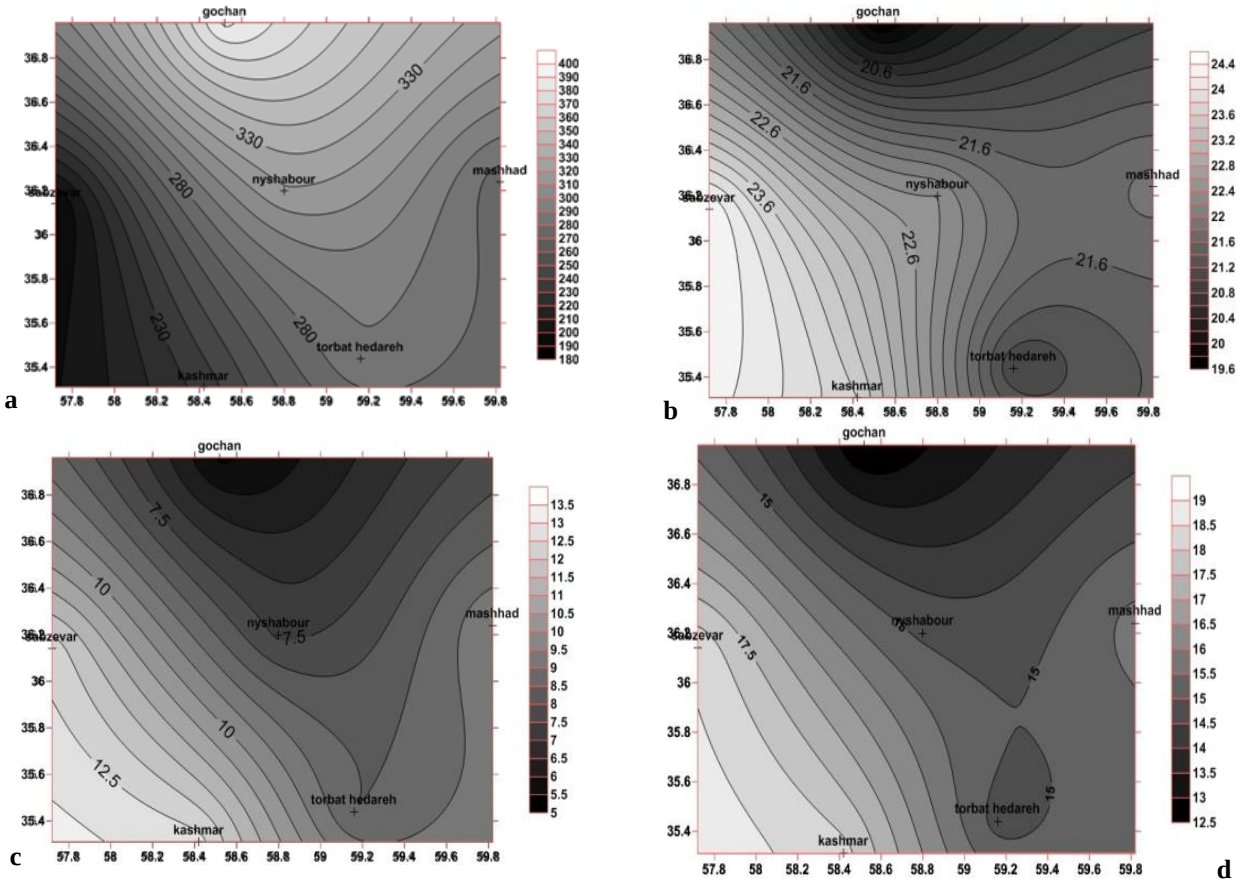
بررسی روند ۱۷ ساله عملکرد گندم در سه منطقه مورد مطالعه نشان داد که کمترین عملکرد گندم در سال ۱۳۷۸ به‌دست آمده است. بنابراین، سال ۱۳۷۸ با آخرین سال مورد مطالعه (۱۳۸۸) مقایسه شد. عملکرد گندم در سال ۱۳۸۸ در بسیاری از شهرهای خراسان رضوی بالاست، زیرا در سال ۱۳۷۸ بارندگی و دمای حداقل کمتر از سال ۱۳۸۸ بوده است. به عبارتی، عملکرد گندم خراسان رضوی در سال ۱۳۸۸ بین ۴۲۰۰ و ۲۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و بارندگی بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر و درجه حرارت حداقل بین ۵ تا ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. در مقابل، عملکرد گندم در سال ۱۳۷۸ بین ۲۲۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و بارندگی ۳۴۰ تا ۱۱۰ میلی‌متر (بیشتر شهرها بارندگی کمتر از ۱۶۰ میلی‌متر) و درجه حرارت حداقل بین ۵ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد (بیشتر شهرها درجه حرارت حداقل کمتر از ۷ درجه سانتی‌گراد) بوده است. لذا در سال ۱۳۷۸ عملکرد گندم تقریباً نصف عملکرد سال ۱۳۸۸ حاصل شده است.

عملکرد لوبیا در سال ۱۳۸۸ و ۱۳۷۸

عملکرد لوبیا در سال ۱۳۸۸ به سمت شمال استان کاهش یافته است (شکل ۱۷) و بالاترین عملکرد در تربت حیدریه مشاهده شده است. در سال ۱۳۷۸ عملکرد لوبیا به سمت جنوب و غرب عملکرد کاهش یافت (شکل ۱۸) و بالاترین عملکرد در مشهد به‌دست آمده است.

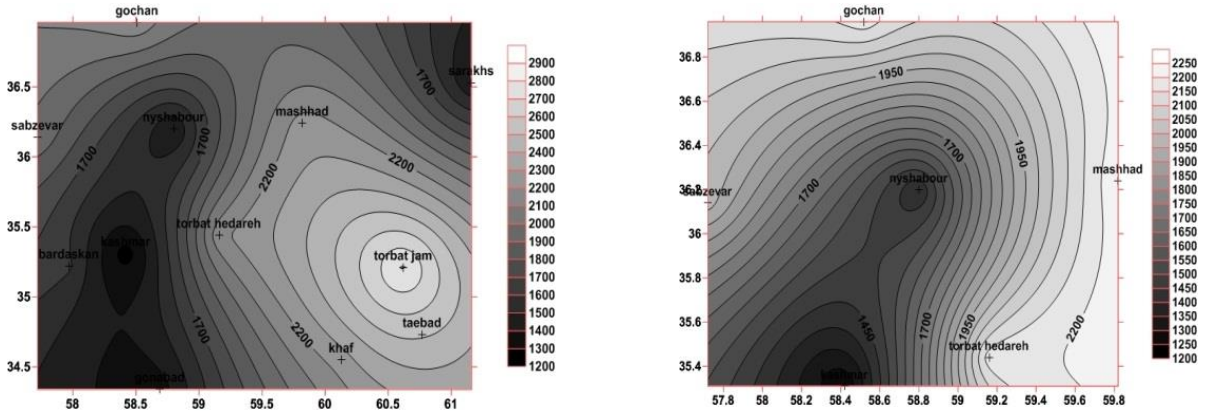
بالاترین عملکرد گیاه لوبیا در سال ۱۳۷۸ در مشهد با عملکرد ۱۹۰۰ کیلوگرم در هکتار و در سال ۱۳۸۸ در تربت حیدریه با عملکرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. در سال ۱۳۷۸ در تربت حیدریه درجه حرارت حداکثر ۲۰/۴ (درجه سانتی‌گراد) و حداقل ۷/۳ (درجه سانتی‌گراد) بوده، که کمتر از درجه حرارت حداکثر (۲۲ درجه سانتی‌گراد) و حداقل (۸/۴ درجه سانتی‌گراد) مشهد بوده است. بنابراین، عملکرد تربت حیدریه در سال ۱۳۷۸ کمتر از عملکرد مشهد

شده است. در سال ۱۳۸۸ دمای حداقل مشهد (۹/۵ درجه سانتی‌گراد) بالاتر از دمای حداقل تربت حیدریه (۸/۵ درجه سانتی‌گراد) بوده، در نتیجه عملکرد لوبیا مشهد در سال ۱۳۸۸ کمتر از عملکرد لوبیا تربت حیدریه بوده است.



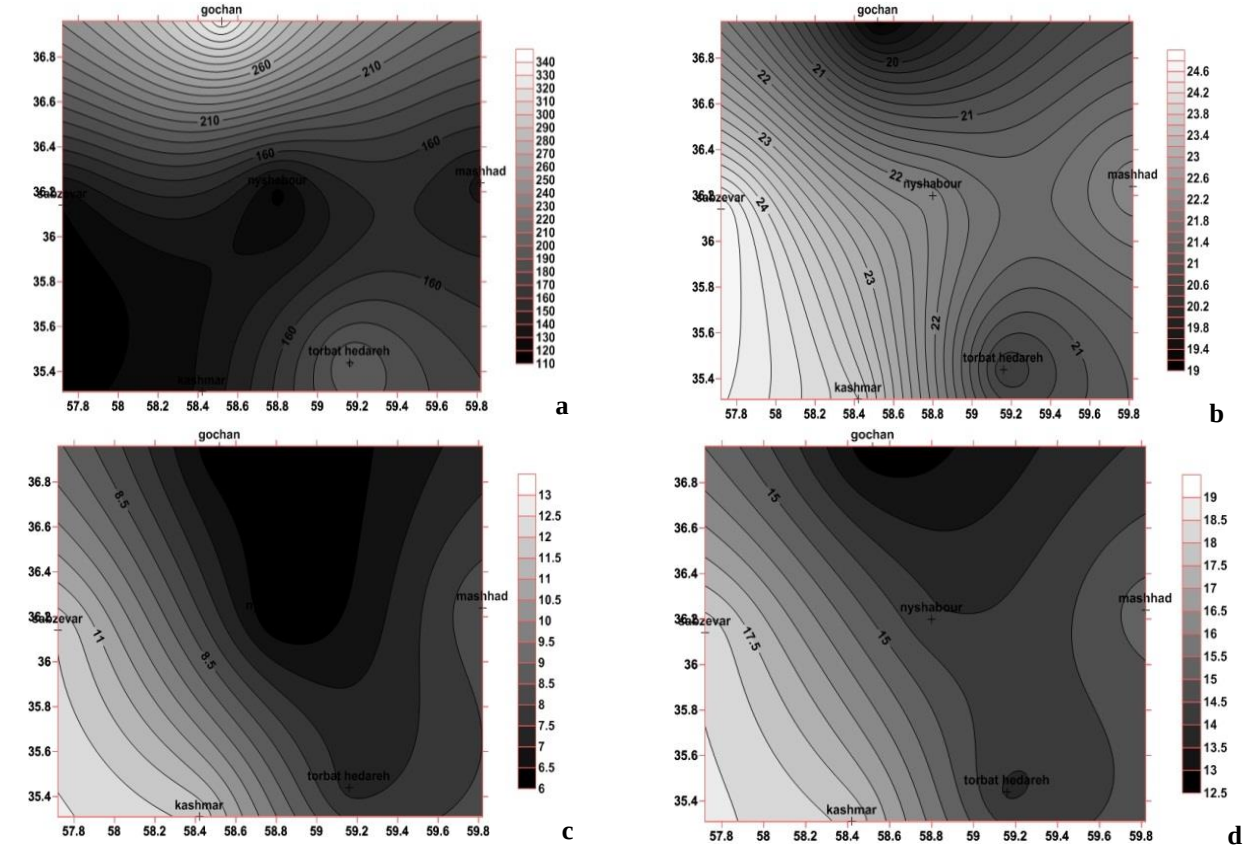
شکل ١٤- الف) بارندگی، ب) درجه حرارت ماکزیمم، ج) درجه حرارت مینیمم و د) متوسط دما در سال ۱۳۸۸

Figure 14- a) Rainfall, b) Maximum temperature, c) Minimum temperature and d) Average temperature in 2009



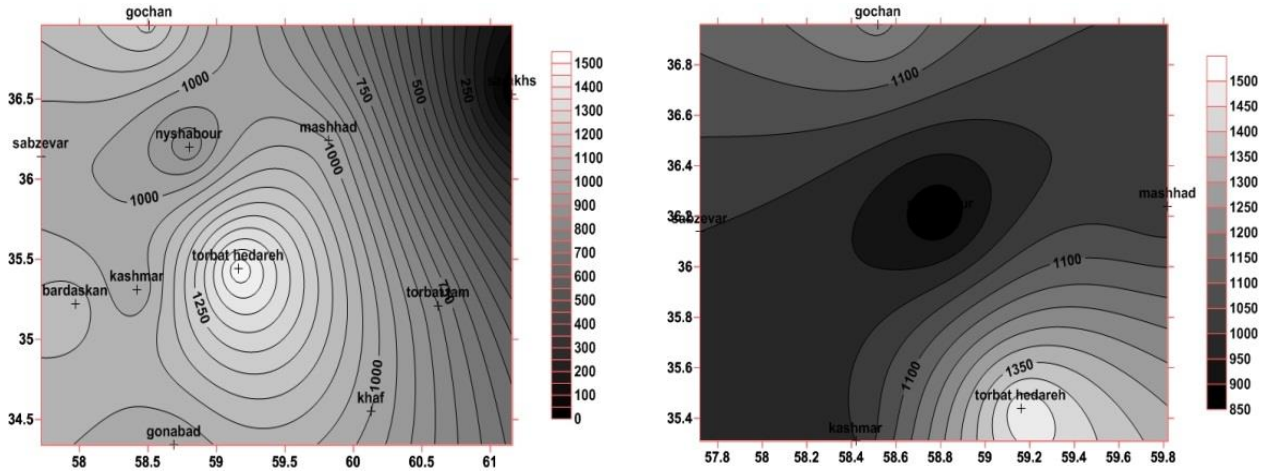
شکل ۱۵- عملکرد گندم سال ۱۳۷۸ استان خراسان رضوی

Figure 15- Wheat yield in Khorasan Razavi province in 1999



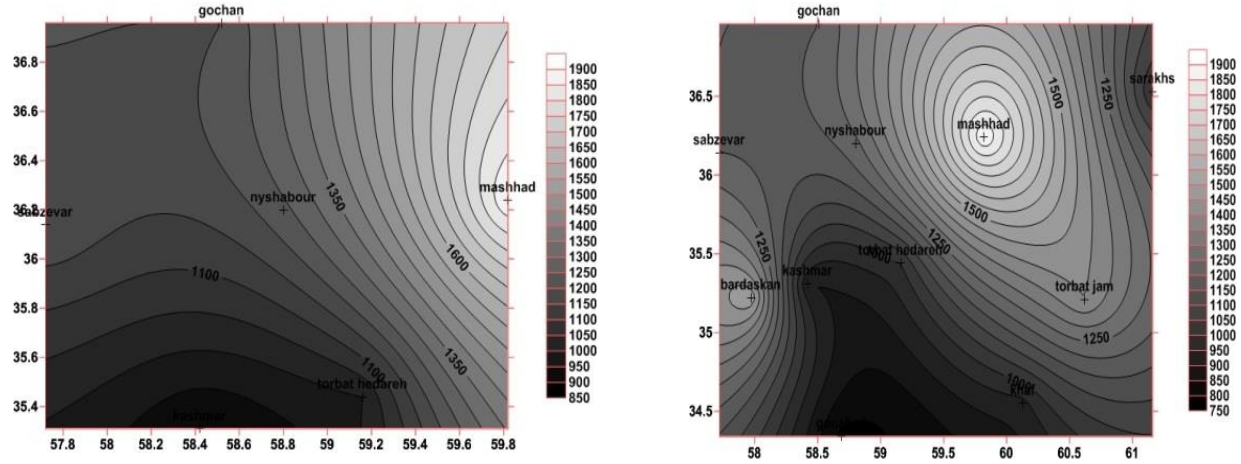
شکل ۱۶- الف) بارندگی، ب) درجه حرارت ماکزیمم، ج) درجه حرارت مینیمم و د) متوسط دما در سال ۱۳۷۸

Figure 16- a) Rainfall, b) Maximum temperature, c) Minimum temperature and d) Average temperature in 1999



شکل ۱۷- عملکرد لوبیا سال ۱۳۸۸ استان خراسان رضوی

Figure 17- Bean yield in Khorasan Razavi province in 2009



شکل ۱۸- عملکرد لوبیا سال ۱۳۷۸ استان خراسان رضوی

Figure 18- Bean yield in Khorasan Razavi province in 1999

جدول ٦- نتایج مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی مکانی

Table 6- Comparision of different interpolation methods

		MBE	MAE
گندم Wheat	کریجینگ kriging	57.43	125.73
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weighting	78.26	203.99
لوبیا Bean	کریجینگ kriging	55.25	116.35
	وزن‌دهی عکس فاصله Inverse distance weighting	82.66	123.92

ارزیابی خطا

بررسی میزان خطای حاصل از اجرای روش‌های مختلف درون‌یابی نشان داد که کم‌ترین خطای مشاهدات مربوط به روش درون‌یابی کریجینگ است (جدول ۶). از نظر دقت فضایی روش کریجینگ بهترین نتیجه را داشته است که با نتایج (Faraji and Azizi, 2006) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که ۴۴ تا ۷۷ درصد از تغییرات عملکرد را می‌توان با متغیرهای اقلیمی توصیف کرد، تأثیر بارندگی در مقایسه با درجه حرارت ماهانه کمتر و ناچیز بود. تغییرات عملکرد لوبیا با متغیرهای آب و هوایی مشهد رابطه معنی‌داری نشان داد و هیچ رابطه‌ای در شهرهای دیگر با پارامترهای اقلیمی مشاهده نشد، زیرا اثر تغییرپذیری عوامل اقلیمی بر میزان عملکرد لوبیا بسیار اندک بوده است و نقش پارامترهای اقلیمی پیچیده است و به غیر از پارامترهای آب و هوایی، متغیرهای دیگری مانند مدیریت، خاک، نهاده‌های کشاورزی، آفات و بیماری‌ها و علف‌هرز می‌توانند باعث نوسانات عملکرد گردد.

بر اساس آزمون من کندال با سطح معنی‌داری ۹۵٪، عملکرد گندم در شهرهای مشهد، نیشابور و تربت حیدریه دارای روند مثبت و عملکرد لوبیا در شهرهای مشهد و تربت حیدریه دارای روند منفی بوده است و شهرهای دیگر روند خاصی را نشان ندادند. از بعد مکانی در سال ۱۳۸۸ عملکرد گندم از شرق به سمت غرب کاهش یافته است و عملکرد لوبیا در مرکز خراسان رضوی (تربت حیدریه) بالاترین عملکرد را دارا بوده است. مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی نشان داد که روش کریجینگ از نظر میزان خطا، کمتر از وزن‌دهی عکس فاصله است و از نظر دقت فضایی با استفاده از قدر مطلق میانگین نیز کریجینگ بهتر از وزن‌دهی عکس فاصله می‌باشد.

References

1. Alijani, F., Karbasi A., and Mozafari Mosnen, M. 2011. Investigating the effect of temperature and rainfall on the Iranian irrigated wheat yield. Agricultural Economics and Development 19 (76): 143-167. (in Persian).

2. Mohammad Zamani, S., Ayoubi, Sh., and Khormali, F. 2007. Spatial Variability of Wheat Yield and Soil Properties in a Selected Agricultural Land of Sorkhankalateh of Golestan province. Journal of Water and Soil Sciences 11 (40): 79-92. (in Persian with English abstract).
3. Bannyan, M., Mohammadian, A., and Alizadeh, A. 2010. Investigation of the climatic fluctuability in the northeast of Iran. Water and Soil 24 (1): 118-131. (in Persian with English abstract).
4. Dehghanpour, A., Dehghanzadeh, R., and Fallahpour, M. 2013. Investigatiion of the most important climatic parameters influencing the Iranian wheat performance with the approach of the climate change. The 1st International Electronic Conference on Agricultural Sciences and Natural Resources, Shiraz, Iran. (in Persian).
5. Ebrahimi, H., Alizadeh A., and Javanmard, S. 2005. An investigation on the existence of temperature change in Mashhad plain as the profile of the climate change in the region. Geographical Research 20 (4): 5-18. (in Persian).
6. Faraji-Sabokbar, H., and Azizi, Gh. 2006. Applied Meteorology. Meteorology Research Center Press. Geographical Research 58: 1-15. (in Persian).
7. Hosseini, M., Mollafilabi, A., and Nasiri Mahallati, M. 2008. The effect of long-term fluctuations of temperature and rainfall on the saffron performance. Iranian Journal of Field Crops Research 6 (11): 79-88. (in Persian with English abstract).
8. Kamali, Gh., Asgari, A., and Nohhi, A. 2008. Applied Meteorology. Meteorology Research Center Press. (in Persian).
9. Kimbal, B. A., Kobayashi, K., and Bindi, M. 2002 .Responses of agricultural crops to free air CO_2 enrichment. Advanced Agronomy 77: 293-368.
10. Lianghi, Y., Mark, W., Cheng, F., and Stanly, W. 2005. Impact of global warming on Chinese wheat productivity. Inernational Food Policy Research Institute, discussion paper. 143-158.
11. Lobell, D., and Asner, G. 2003. Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yield. Science 299 (5609): 1002-1023.
12. Mera, R. J., Niyogi, D., Buol, G. S., Wilkerson, G. G., and Semazzi, F. H. M. 2006. Potential individual versus simultaneous climate change effect on soybean and maize crop: an agrotechnology model based study. Global Planetary change 54: 163-182.
13. Rafiei-Alhosseini, M., and Mohammadi, J. 2000. Analysis of the spatial distribution of soil fertility and the product performance for an accurate agronomic management. The 7th Conference on Soil Science 178-180. (in Persian).
14. Roel, A., and Plant, R. 2002. Spatiotemporal analysis of rice yield variability in California. In: Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture.
15. Rahimzadeh, F., and Askari, A. 2004. View on difference between minimum and maximum temperatures and a decrease in the range of diurnal temperature in the country. Geographical-Research Quarterly 73: 155-171. (in Persian).
16. Safikhani, S. 2007. Study of ten-year trend of increase in wheat production and yield in the country. Agro-industry Magazine 94: 23-34. (in Persian).
17. Koocheki, A., and and Nasiri Mahallati, M. 2009. Impacts of climate change and CO_2 concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. Iranian Journal of Field Crops Research 6 (1): 139-153. (in Persian with English abstract).
18. Tatari, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2009. Dryland wheat yield prediction using precipitation and edaphic data by applying of regression models. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 357-365. (in Persian with English abstract).
19. Zare Abyaneh, H. 2013. Evaluating roles of drought and climatic factors on variability of four dry farming yields in Mashhad and Birjand. Soil and Water Knowledge 23 (1): 39-56. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 263-282

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۲۸۲-۲۶۳

Temporal and Spatial Variation of Wheat and Bean Yields, Case Study: Khorasan-e Razavi province

Kh. Pooya Nasab[1]- M. Bannayan Aval[2*]- R. Gorbani[2]- S. Sanjani[3]- F. Yaghoubi[4]

Received: 18-02-2015
Accepted: 11-06-2017

Introduction

The impact of climate on crop yield is mediated through the interaction of temperature, carbon dioxide, humidity, rainfall and the other factors. In general, temperature, solar radiation and precipitation are the most important environmental parameters affecting growth and development of plants and their fluctuations will affect crop yields.

Materials and Methods

In this research, three cities located in Khorasan-e Razavi province were studied. 17-years interval data (77-82) of wheat and bean yields and climate parameters was collected from agriculture (Jahad-e Keshavarzi) and meteorological (IRIMO) organizations of Iran, respectively. To investigate temporal variation of wheat and bean yields, time series method and Mankendal test was used. In case of spatial variation of yields, two methods consist of inverse distance weighted (IDW) and Kriging was utilized. To investigate yield correlation among different regions, the thirteen-year climatic variables including monthly rainfall and minimum, maximum and optimum temperatures was obtained from whether center of Khorasan-e Razavi province. The correlation between yield and climatic variables was evaluated via simple and multivariate regression.

Results and Discussion

The trend of yield changes over 17 years across Mashhad city showed that yield reduction was 2900, 2200 and 1900 kg during 1374, 1378 and 1386, respectively, and the highest wheat yield was recorded 4100 kg during 1387. In Mashhad city, the highest correlation between wheat yield and climatic variables was obtained in January minimum temperature, so that 40% of wheat yield changes in Mashhad can be described by this variable. The 17-year trend of wheat yield showed a linear increase. Over 17 years, the low yield was 1700, 1400 and 1500 kg in 1372, 1378 and 1386, respectively, and the highest yield was recorded 3749 kg in 1387. In Nishabour county, wheat yield showed the highest correlation, among climatic variables, with March rain and April maximum temperature (r=70.0). Yield was reduced to 2181 kg ha^{-1} in 1999 and in 2009 the highest yield was 4050 kg ha^{-1}. Torbat-e-heydarieh was stable in the final model after regression analysis between yield and climate variables maximum and minimum temperatures in May and March respectively. There was no relationship between climate variables and yield in bean for Neyshabur and Torbat-e-heydarieh. Variations in bean yield may be due to non-climatic factors such as soil, management, pest and disease, weed and etc. In general, according to Mankendal test, minimum temperatures had a more increasing rate compared to maximum temperatures. Among 17 years of wheat yield in three research sites, the least yield was obtained in the year 1999 , therefore this year was compared with 2009; the last year of research. Wheat yield was high in many Khorasan-e Razavi province cities in 2009, because rainfall and minimum temperatures were lower during 2009. In the other words, the wheat performance of Khorasan Razavi in 2009 was between 2200 and 4200 kgha^{-1} and rainfall lay in the range of 100-400 mm and the minimum temperature varied from 5 to 13.5°C, while the wheat performance in 1999 ranged from 1200 to 2200 kg ha^{-1} and rainfall varied from 110 to 340 mm (rainfall was less than 160 mm in most cities) and the minimum temperature was within the range of 5-13°C (the minimum temperature was less than 7°C in most cities). Consequently, the wheat performance in 2009 was nearly two

1- Former MSc. Student, Department of Agrotecnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotecnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Seed and Plant Improvement Institute, Agriculture Research, Education and Extention Organization (AREEO), Karaj, Iran
4- PhD. Student, Department of Agrotecnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: banayan@um.ac.ir)

times higher than that in 1999. Bean had the best performance (1900 kg ha^{-1}) in Mashhad in 1999. At the same time, it had the best performance (1500 kg ha^{-1}) in Torbat Heidrieh in 2009, because in 1999, the maximum and minimum temperatures in Torbat Heidarieh were 20.4 and 7.3°C, respectively which were less than the maximum (22°C) and minimum (8.4°C) temperatures in Mashhad. Therefore, the performance of Torbat Heidarieh was less than that of Mashhad in 1999. In 2009, the minimum temperature of Mashhad (9.5°C) was higher than that of Torbat Heidarieh (8.5°C); as a result, the bean performance of Mashhad was less than that of Torbat Heidarieh in 2009. The kriging method showed the best results in terms of spatial accuracy.

Conclusions

In this study, wheat and bean yields in three locations in Khorasan-e Razavi province were studied over a period of 17 years. The impact of rainfall compared with monthly temperature as irrigation, has been very low and insignificant. There was a meaningful relationship between bean yield changes and climatic variables only in Mashhad station. . From the view point of spatial variation, in year 2010, wheat yield decreased from East to the West and bean yield showed the maximum amount in the center of Khorasan province (Torbat Heydaryieh).

Keywords: Interpolation, Time series, Wheat and Bean yield

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۲۹۸-۲۸۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 283-298

اثر کودهای آلی و زیستی بر محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان ماده مؤثره گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea Purpurea* L.)

حسنا فیاضی[۱*]- علیرضا ابدالی مشهدی[۲]- احمد کوچک زاده[۳]- عبدالحمید پاپ‌زن[۴]- محمد حسین ارزانش[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

چکیده

مصرف کودهای بیولوژیک به‌دلیل تأثیر زیاد در اصلاح خصوصیات خاک، کاهش عوارض زیست‌محیطی و رشد بهتر گیاه از جمله راه‌کارهای مناسب در تولید ارگانیک گیاهان دارویی می‌باشد. به منظور مطالعه تأثیر کودهای آلی و زیستی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، عناصر معدنی و میزان ماده مؤثره در گیاه سرخارگل، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. محلول‌پاشی چای ورمی‌کمپوست به‌عنوان فاکتور اول در دو سطح (بدون مصرف چای ورمی‌کمپوست و مصرف چای ورمی‌کمپوست)، در کرت اصلی، کود آلی به‌عنوان فاکتور دوم در سه سطح (بدون مصرف کود، کود ورمی‌کمپوست و کود گاوی) و کود زیستی به‌عنوان فاکتور سوم در دو سطح (بدون مصرف کود زیستی و مصرف کود زیستی بیوآزوسپیر) در کرت فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد بیشترین فنل ریشه و فنل کل از تیمار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. در حالی‌که بالاترین نیتروژن برگ، نیتروژن ساقه، فسفر برگ، فسفر ساقه، کلروفیل a، کلروفیل b، کاراتنوئید، فنل برگ و فنل ساقه از ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست به همراه چای ورمی‌کمپوست حاصل شد. سرخارگل تحت تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی بیوآزوسپیر بیشترین فنل گل و اسید شیکوریک را تولید کرد. همچنین حداکثر پتاسیم ساقه و پتاسیم برگ از تیمار ترکیبی محلول‌پاشی چای ورمی‌کمپوست در ورمی‌کمپوست در کود زیستی بیوآزوسپیر به‌دست آمد. این تحقیق نشان داد که تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست به همراه محلول‌پاشی چای ورمی‌کمپوست نسبت به سایر تیمارها در کشت سرخارگل مفیدتر بود.

واژه‌های کلیدی: اسید شیکوریک، بیوآزوسپیر، چای ورمی‌کمپوست، فنل

مقدمه

تقاضا برای تولید محصولات طبیعی و استفاده از گیاهان دارویی به‌طور مداوم در جهان رو به افزایش است (Carrubba *et al.*, 2002). کاربرد صحیح عناصر غذایی در طول مراحل کاشت و داشت گیاهان دارویی، نه تنها نقش اساسی در افزایش عملکرد را در پی دارد بلکه بر کمیت و کیفیت مواد مؤثره آن نیز مؤثر است (Omidbigi, 2008).

سرخارگل با نام علمی (*Echinacea Purpurea* (Moench).L) از تیره ستاره‌آسا[۶] گیاهی علفی، چندساله، بومی شرق و مرکز ایالات متحده می‌باشد (Omidbaigi, 2009). این گیاه از جمله گیاهان دارویی مهمی است که کاربرد وسیعی در صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی دارد و امروزه در اکثر نقاط اروپا، آسیا و همچنین ایران کشت می‌شود (Gladisheva, 1995). تمام پیکر این گیاه اعم از ریشه و پیکر رویشی حاوی مواد مؤثره ارزشمندی است (Wu *et al.*, 2004). در ۵۰ سال اخیر این گیاه به دلیل خواص ضد ویروسی، ضد قارچی و ضد باکتریایی شهرت جهانی یافته است و ترکیبات حاصل از آن در گروه مواد تقویت‌کننده سیستم ایمنی بدن به‌شمار می‌روند. فرآورده‌های سرخارگل هم‌اکنون به‌عنوان تصفیه‌کننده خون، ضدعفونی‌کننده و آرام‌بخش معرفی می‌شوند (Gladisheva, 1995).

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۲- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۳- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۴- دانشیار، دانشگاه رازی کرمانشاه
۵- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان
(*- نویسنده مسئول: Email: h_fayaz222@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.49182

6- Asteraceae

مواد آلی و زیستی به علت اثرات مفیدی که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک دارند یکی از ارکان مهم باروری خاک محسوب می‌شوند و به سبب بهبود خصوصیات شیمیایی خاک مثل pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش میکروارگانیسم ها و میزان دسترسی به مواد غذایی، باعث افزایش باروری خاک می‌شوند (Renato *et al.*, 2003; Biyari *et al.*, 2008). بنابراین با مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه می‌توان ضمن حفظ محیطزیست، افزایش کیفیت آب، کاهش فرسایش و حفظ تنوع زیستی، کارایی نهاده‌ها را افزایش داد و سبب افزایش رشد و عملکرد در گیاهان شد (Ghost and Bhat, 1998). ورمی‌کمپوست یا کمپوست کرمی عبارت است از کودی آلی که در اثر عبور مواد آلی از دستگاه گوارش نوعی کرم خاکی از جنس آیزنیافتیدا[1] و دفع این مواد از بدن کرم حاصل می‌گردد (Atiyeh *et al.*, 2000). این کود دارای قدرت بالای جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی، افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک بوده و در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه زراعی می‌شود (Arancon *et al.*, 2004; Padmavathiamma *et al.*, 2008). در بررسی کاربرد کودهای آلی بر روی گیاه نعناع فلفلی مشاهده شد که عملکرد اسانس گیاه در کشت ارگانیک حدود ۸۴-۸۰٪ عملکرد از کشت رایج این محصول بود (Kalra, 2003). در آزمایش دیگری کاربرد کودهای آلی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد اسانس در گیاه دارویی درمنه (*Artemisisa peallns*) شد (Parakasa *et al.*, 1997). بدون تردید کاربرد کودهای آلی و دامی به‌خصوص در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی اثرات مثبتی بر کلیه خصوصیات خاک و حفظ کیفیت خاک و افزایش مواد آلی خاک نسبت به کاربرد کودهای معدنی دارد (Mao *et al.*, 2008; Lee, 2010). نتایج آزمایشی نشان داد بیشترین عملکرد اسانس برگ در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) با مصرف کود دامی در مقایسه با سایر تیمارها ایجاد شد (Tahami Zarandi *et al.*, 2010). همچنین آزمایش انجام گرفته بر روی گیاه مرزه (*Satureja hortensis*) نشان داد بیشترین میزان اسانس با استفاده از کود دامی به‌دست آمد (Bakhshaie *et al.*, 2010).

کاربرد باکتری‌های تحریک‌کننده رشد گیاه به‌صورت کودهای زیستی نقش مهمی در مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های زراعی، افزایش حاصلخیزی خاک و تولید این گونه نظام‌ها دارند. همچنین، کاربرد مواد آلی و انجام عمل تلقیح با استفاده از کودهای بیولوژیک می‌تواند باعث بهبود خواص کمی و کیفی گیاه گردد (Astaraei *et al.*, 1997). کود زیستی بیوآزوسپیر نیز یکی از انواع باکتری‌های افزاینده رشد است که در ساخت این کود زیستی از ماده حامل سازگار با محیطزیست (مخلوط پرلیت، زغال اکتیو و مواد مجاز دیگر) و باکتری محرک رشد گیاه از جنس‌های ازتوباکتر[2]، آزوسپیریلوم[3] و باسیلوس[4] با با جمعیت کل 10^8 سلول در هر گرم استفاده شده است. باکتری انتخاب شده در ساخت این نوع کود زیستی علاوه بر توان تثبیت نیتروژنی بالا، دارای قدرت حل‌کنندگی بهتر فسفر و تولید مناسب ایندول استیک می‌باشد. تحقیق انجام شده برروی گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis*) نشان داد که مصرف مخلوطی از قارچ و باکتری‌ها به دلیل اثرات مختلف این ریز موجودات در تثبیت نیتروژن و قابلیت دسترسی بهتر فسفر برای گیاه، روند افزایشی در بهبود رشد گیاه و جذب فسفر ملاحظه شد و عملکرد اسانس را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (Koocheki *et al.*, 2008). همچنین در گزارش دیگری به اثر مثبت استفاده از کود بیولوژیک ازتوباکتر در افزایش اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) اشاره داشتند (Leithy *et al.*, 2006) ورمی‌واش یا چای‌کمپوست محلول بسیار غلیظی بوده که با عصاره‌گیری میکروبی از ورمی‌کمپوست تهیه می‌شود (Ali Omrani *et al.*, 2011). نیتروژن، فسفر، پتاسیم محلول و بسیاری از عناصر کم مصرف از عناصر اصلی ورمی‌واش‌اند (Shivsubramanian and Ganeshkumar, 2004). در بررسی بر روی گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinallis*) مشخص گردید محلول‌پاشی با عصاره ورمی‌کمپوست (ورمی‌واش) بر روی صفات مورفولوژیک و عملکرد اسانس دارای اثر معنی‌داری بود (Nemati Darbandi *et al.*, 2012). همچنین نتایج به‌دست آمده در تحقیقی بر روی گیاه مرزه (*Satureia hortensis* L.) بیانگر آن بود که بیشترین وزن خشک، کلروفیل برگ، درصد و عملکرد اسانس تحت تأثیر تلقیح بذر محلول‌پاشی با کود بیولوژیک به‌دست آمد (Lotf Manesh *et al.*, 2013).

ترکیبات فنلی در گیاهان نقش‌های مهمی در سازگاری محیطی و استحکام گیاه دارند (Luzzatto *et al.*, 2007). مشتقات کافئیک اسید از جمله ترکیبات فنلی مهم در تمام گونه‌های سرخارگل می‌باشند (Luo *et al.*, 2006). نقش و خواص این ترکیبات شامل آنتی‌میکروبی (ویروس، باکتری و قارچ)، آنتی‌اکسیدانی، تقویت سیستم ایمنی و کاهش‌دهنده فشار خون، تپش قلب و تسکین درد است (Bauer and Wagner, 1991). ترکیب اسید شیکوریک نیز یکی از ترکیبات مهم از مشتقات کافئیک اسید در گونه سرخارگل است،که علاوه بر خصوصیات تحریک و تقویت سیستم ایمنی، واکنش و فعالیت علیه ویروس ایدز (HIV) را از خود نشان می‌دهد (Lin *et al.*, 1999).

1- *Eisenia eftida*

2- Azotobacter
3- Azospirillum
4- Basilios

با توجه به بومی نبودن این گیاه در ایران و فقدان اطلاعات کافی از خصوصیات آن در شرایط آب و هوایی کشور و همچنین به دلیل مصارف دارویی متعدد سرخارگل، دستیابی به دانش فنی تولید بهینه این گیاه دارویی ارزشمند ضروری است. لذا با توجه به لزوم مدیریت تغذیه گیاهی در راستای افزایش، پایداری در تولید و حفظ محیط‌زیست، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کودهای آلی و زیستی بر صفات کیفی و ترکیبات مؤثره گیاه سرخارگل و همچنین یافتن تلفیقی مناسب از کودها انجام پذیرفت تا با اتکا به نهاده‌های بیولوژیک بتوان جهت تولید پایدار این گیاه دارویی مهم گام برداشت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان واقع در ۳۵ کیلومتری شمال شرق اهواز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۲۳ متر از سطح دریا به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. در این تحقیق تأثیر محلول‌پاشی چای ورمی‌کمپوست به‌عنوان فاکتور اول در دو سطح (بدون مصرف چای ورمی‌کمپوست و مصرف دو لیتر چای ورمی‌کمپوست در هکتار)، در کرت اصلی، کود آلی به‌عنوان فاکتور دوم در سه سطح (بدون مصرف کود، پنج تن کود ورمی‌کمپوست در هکتار و سی تن کود گاوی در هکتار) و کود زیستی به‌عنوان فاکتور سوم در دو سطح (بدون مصرف کود زیستی و مصرف ۴۰۰ گرم در هکتار کود زیستی بیوآزوسپیر) که ترکیب تیماری سطوح فاکتور دوم و سوم در کرت فرعی در نظر گرفته شدند.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Chemical composition of vermicompost

K (%)	P (%)	N (%)	O.C (%)	OM (%)	Ec ($dS\ m^{-1}$)	(pH)
1.6	2.1	3.2	26	1.2	1.3	7.4

ابتدا در تابستان سال ۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه بر روی بذرها عمل پرایمینگ[1] به روش سرمادهی مرطوب در دمای پنج درجه سانتی‌گراد به مدت ده روز در تاریکی انجام گرفت و پس از آن بذرها خشک گردیده و کشت آن‌ها در کیسه‌های پلاستیکی ۵۰۰ گرمی با بستر کشت مناسب انجام گرفت و پس از رسیدن نشاءها به مرحله دوبرگی در مهرماه همان سال به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان منتقل گردید و در آنجا پس از انجام عمل سازگاری (قرار دادن نشاءها در فضای آزاد به مدت یک ماه) جهت انتقال نشاء به زمین اصلی عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح انجام گرفت. در ادامه کرت‌هایی به ابعاد ۲/۸ در ۳ متر ایجاد شد به طوری‌که فاصله بین دو کرت یک متر و فاصله بین دو تکرار دو متر در نظر گرفته شد. در داخل هر کرت ۷ خط کاشت در نظر گرفته شد سپس تیمارهای کود آلی، شامل کود گاوی پوسیده به میزان ۲۵/۲ کیلوگرم و کود ورمی‌کمپوست به میزان ۴/۲ کیلوگرم برای هر کرت محاسبه و با خاک زراعی قبل از کشت نشاء مخلوط گردید. اولین آبیاری قبل از انتقال نشاء به‌صورت زه‌آب صورت گرفت و سپس نشاءها در مرحله ۴ برگی به زمین اصلی منتقل و با فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر کشت گردید و بلافاصله آبیاری به‌صورت جوی پشته انجام گرفت. عملیات داشت شامل آبیاری، وجین علف هرز و واکاری در طول فصل رشد انجام گرفت و در این مدت از هیچ نوع علف‌کش و آفت‌کشی استفاده نگردید. وجین علف هرز به‌صورت دستی انجام شد. در ادامه کود زیستی بیوآزوسپیر طبق توصیه شرکت تولیدکننده در مرحله ساقه رفتن به صورت محلول در آب در پای ردیف‌های کاشت در هنگام غروب آفتاب مورد استفاده قرار گرفت. چای ورمی‌کمپوست نیز با استفاده از سمپاش کوله پشتی ۱۰ لیتری (به ازای هر لیتر آب ۱۰ میلی‌متر چای ورمی‌کمپوست برای ۱ متر مربع) در مرحله قبل از گلدهی پس از کالیبره کردن سمپاش برای هر کرت محاسبه و در هنگام غروب آفتاب محلول‌پاشی شدند. شایان ذکر است خاک محل آزمایش به میزان ۰/۰۴۵ درصد نیتروزن، ۶/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، ۱۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم و ۰/۶۲ درصد مواد آلی داشت. برداشت گل‌ها از زمان شروع آن در اوایل خرداد آغاز و تا پایان تیر ماه ادامه یافت. برای اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی از هر واحد آزمایشی تعداد ۵ بوته به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. مقدار کلروفیل با استون ۸۰ درصد استخراج شد و میزان جذب نور توسط عصاره استخراج شده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a، کلروفیل b و کاراتنوئید برگ قرائت گردید (Ashraf *et al.*, 1994). برای تعیین عناصر معدنی و ترکیبات فنلی نمونه‌برداری در پایان مرحله گلدهی (اواخر تیر ماه) انجام گرفت سپس نمونه‌ها در

1- Priming

سایه خشک گردید. اندازه‌گیری مقدار فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Spectronic Genesys 5, U. S. A) در طول موج ۶۶۰ قرائت گردید (Omidbaigi, 2009). اندازه‌گیری پتاسیم به روش نشر شعله‌ای با استفاده از دستگاه فیلم فتومتر صورت گرفت. به منظور اندازه‌گیری درصد نیتروژن پس از هضم نمونه‌ها از دستگاه کجل‌تک اتوآنالیزر (Kjeltec 2300 Analyzer unit , Germany) استفاده شد (Morase, 1985). اندازه‌گیری ترکیبات فنلی به روش پیشنهادی واترهوس (Waterhouse, 2003) و با عصاره‌گیری از گیاه صورت پذیرفت که این عمل با استفاده از متانول و قرار گرفتن در دستگاه سانتریفوژ انجام شد. سپس به ۳۰ میکرولیتر از این عصاره ۱۵۰ میکرولیتر فولین، ۲۳۷۰ میکرولیتر آب و ۴۵۰ میکرولیتر کربنات سدیم اضافه گردید و میزان فنل توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت گردید جهت تهیه استاندارد فنل از اسید گالیک در غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر فنل همراه با معرف فولین تهیه شد. اندازه‌گیری ترکیب اسیدشیکوریک (مشتقات اسید کافئیک) با روش کروماتوگرافی مایع به‌وسیله دستگاه HPLC[1] مدل Knauer صورت گرفت نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به دستگاه تزریق گردید و سپس مساحت زیر منحنی به‌دست آمده از دستگاه را در معادله منحنی استاندارد قرار داده و غلظت اسیدشیکوریک بر حسب میلی‌گرم در گرم ماده خشک ($mg.g^{-1}dw$) محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

عناصر معدنی

نیتروژن، فسفر و پتاس (برگ و ساقه): نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که کود آلی، زیستی و محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر میزان فسفر، نیتروژن و پتاس برگ و ساقه داشت. از سوی دیگر ترکیب تیماری محلول‌پاشی به همراه کود زیستی در هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نشد. همچنین ترکیب تیماری محلول‌پاشی به همراه کود زیستی در تمامی صفات به غیر از پتاس ساقه تفاوت معنی‌داری را نشان داد. در حالی‌که اثر تیمار کود آلی به همراه کود زیستی تنها در صفت فسفر و نیتروژن ساقه معنی‌دار بود. اما اثرات سه‌گانه کود آلی در زیستی در محلول‌پاشی به‌جز تیمار پتاس ساقه و برگ در سایر صفات سبب ایجاد تفاوت معنی‌دار نشد (جدول ۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست به همراه محلول‌پاشی ورمی‌واش نسبت به تیمار شاهد منجر به افزایش معنی‌داری در نیتروژن برگ، نیتروژن ساقه، فسفر برگ و فسفر ساقه به‌ترتیب برابر با ۲۶/۶۹، ۴۵/۵۸، ۲۶/۴۱ و ۴۵/۹۳ درصد شد (جدول ۳). همچنین، در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین میزان پتاسیم برگ و ساقه با افزایشی به‌ترتیب برابر با ۳۲/۹۴ و ۳۰/۱۴ درصد نسبت به تیمار شاهد از ترکیب تیماری سه‌گانه محلول‌پاشی در کود ورمی‌کمپوست در کود بیوآزوسپیر به‌دست آمد (جدول ۴).

موراس در تحقیقی به این نتیجه رسید که وجود ماده آلی در خاک باعث افزایش فعالیت آنزیم اوره‌آز[2] شده و نیتروژن به‌راحتی در اختیار ریشه گیاه قرار می‌گیرد (Morase, 1985). از طرفی مواد پروتئینی با ترکیبات آلی فاقد نیتروژن مانند لینئین و فنل و مواد هیومیک خاک، ترکیبات پیچیده‌ای با ساختار شیمیایی نامشخص تشکیل می‌دهند که باعث ذخیره نیتروژن در خاک شده و از اتلاف آن به‌وسیله آبشویی یا تصعید جلوگیری می‌کند (Dommerguse, 1970). خواص فیزیکی و شیمیایی اسید هیومیک موجود در ورمی‌کمپوست و عصاره‌ی آن با افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و افزایش هورمون‌های تنظیم‌کننده‌ی رشد باعث تجمع نیتروژن توسط گیاه می‌گردد (Toro *et al.*, 1997; Arancon *et al.*, 2005). در این راستا خالص‌رو (Khalsro, 2010). بیان نمود که ورمی‌کمپوست موجب تحریک میکروارگانیزم‌های مفید خاک و عرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به‌ویژه نیتروژن و فسفر گیاه می‌شود. نتایج آزمایشی نشان داد استفاده از ورمی‌واش به‌صورت برگ‌پاشی در گندم زمستانه و نیز مصرف ۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، موجب افزایش میزان متوسط محصول به ۷/۶۲ تن در هکتار شد (Ložek and Fecenko, 1998). همچنین با بررسی اثر محلول‌پاشی کود بیولوژیکی مایع (ورمی‌واش) بر تغذیه و شاخص رشد دیفن‌باخیا دریافتند که محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد و نیتروژن در دیفن باخیا داشت (Mahboub Khomami, 2005). مطالعه پژوهشگران بر روی گیاه فلفل قرمز نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست، سبب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر برگ نسبت به بوته‌های شاهد گردید (Manjarrez *et al.*, 2000). همچنین در آزمایش دیگری نشان داده شد که بهبود قابل ملاحظه غلظت فسفر در دانه و جذب کل آن در گیاه بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) در اثر کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست است (Mohanty *et al.*, 2006). بررسی‌های صورت گرفته بر روی گیاه آگلونما نیز نشان‌دهنده آن است که محلول‌پاشی کود بیولوژیکی مایع (ورمی‌واش) اثر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد نیتروژن و فسفر در آگلونما داشت (Mahboub Khomami, 2005). از طرفی به نظر

1- High Performance Liquid Chromatography

2- Urease

می‌رسد که حضور باکتری‌های محرک رشد در بستر حاوی ورمی‌کمپوست می‌تواند سبب بهبود فعالیت این باکتری‌ها شده و شرایط لازم را برای فراهمی بیشتر عناصری همچون نیتروژن و فسفر فراهم آورد (Asar and scarisbrick, 1995). یافته‌های محققین بر روی گیاه پیاز نیز با نتیجه این پژوهش هماهنگی دارد (Toro *et al.*, 1997).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مجموع مربعات میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ و ساقه گیاه سرخارگل تحت تأثیر کودهای آلی و زیستی

Table 2- Analysis of variance (mean squares) of amount of nitrogen, phosphorus and potassium in leaf and stem of the plant Echinacea purpurea under the influence of organic and biological fertilizers

منبع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares					
		فسفر ساقه Shoot Phosphorus	فسفر برگ Leaf Phosphorus	نیتروژن ساقه Shoot Nitrogen	نیتروژن برگ Leaf Nitrogen	پتاسیم ساقه Shoot Potassium	پتاسیم برگ Leaf Potassium
تکرار Replication	3	19.20^{ns}	18.04^{ns}	0.007^{ns}	0.04^{ns}	665.07^{ns}	1594.70^{ns}
محلول‌پاشی Spraying	1	501.24^{**}	70.82^{*}	0.19^{**}	0.18^{*}	6199.50^{*}	43023.44^{**}
خطای اصلی The main error	3	15.64	11.09	0.006	0.02	732.56	266.40
کود آلی Organic fertilizers	2	594.67^{**}	342.68^{**}	0.23^{**}	0.88^{**}	18618.19^{**}	44526.24^{**}
کود زیستی Bio-fertilizer	1	197.60^{**}	260.75^{**}	0.07^{**}	0.67^{**}	17206.96^{**}	7911.95^{**}
محلول‌پاشی × کود آلی Spraying × Organic fertilizers	2	85.81^{**}	85.04^{*}	0.03^{**}	0.21^{*}	1886.10^{ns}	2603.30^{*}
محلول‌پاشی × کود زیستی Spraying× Biofertilizer	1	4.77^{ns}	21.54^{ns}	0.001^{ns}	0.05^{ns}	698.01^{ns}	733.00^{ns}
کود آلی × کود زیستی Organic fertilizers × Biofertilizer	2	175.77^{**}	8.89^{ns}	0.06^{**}	0.02^{ns}	88.31^{ns}	160.13^{ns}
کود آلی × کود زیستی × محلول‌پاشی Organic fertilizers × Biofertilizer × Spraying	2	1.50^{ns}	10.78^{ns}	0.000^{ns}	0.02^{ns}	9045.52^{**}	6270.94^{**}
خطای فرعی Accessory error	30	125.38	314.22	0.04	0.81	9405.33	11038.39
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)		4.61	7.05	4.61	7.05	4.13	4.21

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی‌دار بودن می‌باشد.

** and * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

همچنین، به نظر می‌رسد کاربرد ورمی‌کمپوست با قابلیت تحریک‌کنندگی فعالیت میکروب‌های مفید خاک و توانایی در افزایش نیتروژن نیتراتی سبب بهبود جذب عناصر معدنی شده و بر میزان پتاسیم جذب شده توسط برگ در مرحله انتقال تأثیر داشته است (Eliot *et al.*, 1990). آزمایش انجام شده بر روی گیاه جو (Kumar *et al.*, 2006) و همچنین افزایش میزان جذب عناصر معدنی نیتروژن و پتاسیم با افزایش میزان ورمی‌کمپوست بر روی نشاء فلفل شیرین (*Copsium annum* L.) بیانگر این موضوع می‌باشد (Dehdashtizade *et al.*, 2009). از طرفی ورمی‌کمپوست دارای مواد تنظیم‌کننده رشد مانند سیتوکنین‌ها هستند که می‌تواند دلیلی برای تسریع در جذب بیشتر پتاسیم باشد چرا که سیتوکنین‌ها باعث تسریع جذب پتاسیم می‌شوند (Muscolo *et al.*, 1999).

رنگدانه‌های فتوسنتزی

با توجه به نتایج جدول ۵ مشاهده شد که اثر ساده محلول‌پاشی، کود آلی و تیمار تلفیقی کود آلی در محلول‌پاشی در صفات کلروفیل a، b و کاراتنوئید در سرخارگل معنی‌دار شد. همچنین اثر ساده کود زیستی تنها در صفت کلروفیل b معنی‌دار بود. در حالی‌که تیمار کود زیستی در محلول‌پاشی، کود زیستی در آلی و همچنین ترکیب تیماری سه‌گانه کود زیستی در آلی در محلول‌پاشی در تمامی صفات سبب ایجاد تفاوت معنی‌داری نشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی× کود آلی (SF) بر صفت نیتروژن و فسفر (برگ و ساقه)

Table 3- Mean comparisons of interaction of the spraying × organic fertilizer (SF) on the characteristics of leaves and stems nitrogen and phosphorus

تیمار Treatment	نیتروژن برگ Leaf Nitrogen	نیتروژن ساقه Root Nitrogen	فسفر برگ Lafe Phosphorus	فسفر ساقه Root Phosphorus
		(mg.g^{-1}dw)		
s_1f_1(شاهد) Control	2.06c	0.68d	40.66c	34.29d
s_1f_2 (کود ورمی‌کمپوست) Vermicompost fertilizer	2.35b	0.88bc	46.36b	44.62cb
s_1f_3 (کود دامی) Cow manure	2.38b	0.88c	47b	44.27c
s_2f_1 (محلول‌پاشی) Spraying	2.24bc	0.88bc	44.13bc	44.42cb
s_2f_2 (محلول‌پاشی × کود ورمی‌کمپوست) Spraying × Vermicompost fertilizer	2.61a	0.99a	51.40a	50.04a
s_2f_3 (محلول‌پاشی × کود دامی) Spraying × Cow manure	2.32b	0.95ab	45.78b	48.11ab

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه محلول‌پاشی × کود آلی × کود زیستی (SFA) بر صفت پتاسیم برگ و ساقه

Table 4- Mean comparisons of triple interaction of foliar × fertilizer × biofertilizers (SFA) on the characteristics of Potassium leaves and stem

تیمار Treatment	پتاسیم برگ Leaves Potassium	پتاسیم ساقه Stem Potassium
	(mg.g^{-1}dw)	
$s_1f_1a_1$ (شاهد) Control	366d	355f
$s_1f_2a_2$ (ورمی‌کمپوست × کود زیستی) Vermicompost × Biofertilizer	456.69b	435b
$s_1f_3a_1$ (کود دامی) Cow manure	419.79c	396.15e
$s_1f_1a_2$ (کود زیستی) Biofertilizer	381.81d	420.67bdec
$s_1f_2a_1$ (کود ورمی‌کمپوست) Vermicompost fertilizer	461.75b	430.67bc
$s_1f_3a_2$ (کود دامی × کود زیستی) Cow manure × Biofertilizer	462.63b	462.63a
$s_2f_1a_1$ (محلول‌پاشی) Spraying	429.06c	405.38de
$s_2f_2a_2$ (محلول‌پاشی × کود ورمی‌کمپوست ×کود زیستی) Spraying × Vermicompost × Biofertilizer	530a	471.94a
$s_2f_3a_1$(محلول‌پاشی × کود دامی) Spraying × Cow manure	505.67a	462a
$s_2f_1a_2$(محلول‌پاشی × کود زیستی) Spraying× Biofertilizer	470.33b	423bcd
$s_2f_2a_1$(محلول‌پاشی × ورمی‌کمپوست) Spraying × Vermicompost	469b	405.50cde
$s_2f_3a_2$ (محلول‌پاشی × کود دامی × کود زیستی) Spraying × Cow manure × Biofertilizer	503.88a	468.67a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level

نتایج مقایسه میانگین نشان داد در بین تیمارهای آزمایش بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاراتنوئید از ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست به همراه محلول‌پاشی ورمی واش با افزایشی به‌ترتیب برابر با ۶۶/۶۶، ۱۳۳/۳۳ و ۴۲/۹۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۶).

ورمی‌کمپوست و عصاره حاصل از آن با افزایش و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مؤثر در سنتز کلروفیل مانند نیتروژن، آهن و منیزیم و همچنین افزایش نور جذب شده توسط گیاه باعث افزایش میزان کلروفیل برگ و در نتیجه سبزینگی برگ می‌شود. نتایج به‌دست آمده با یافته‌های محققین در گیاه دارویی ریحان (Sifola *et al.*, 2006; Tahami Zarandi *et al.*, 2010) مطابقت دارد. همچنین محققین در بررسی گیاه سویا نشان دادند که ورمی‌کمپوست سبب افزایش سطح و محتوای کلروفیل برگ در مقایسه با گیاه شاهد شد (Mottaghian *et al.*, 2010). از طرفی محتوای کلروفیل با مقدار عناصر تغذیه‌ای جذب شده توسط گیاه از خاک ارتباط دارد و از آنجا که ورمی‌کمپوست شامل عناصر غذایی ماکرو و ریزمغذی می‌باشد به همین دلیل اثر مثبتی بر روی تغذیه گیاهی، فتوسنتز، کلروفیل برگ و میزان عناصر قسمت‌های مختلف گیاه (ریشه، اندام‌هوایی و میوه) داشته و به دلیل دارا بودن درصد بالای اسید هومیک موجب افزایش سنتز ترکیبات فنلی همچون آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها در گیاه می‌شود (Theunissen *et al.*, 2010).

در تحقیقی بر روی برنج نشان داده شد بیشترین محتوای کلروفیل اندازه‌گیری شده برگ پرچم در این گیاه به تیمار ورمی‌کمپوست اختصاص داشت که ضمن اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها دارای ۱۸ درصد افزایش نسبت به تیمار بدون کود شد (Mosavi *et al.*, 2012).

ترکیبات مؤثره

فنل (گل، برگ، ساقه، ریشه و فنل کل): نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده کود آلی و زیستی در تمامی صفات فنل گل، برگ، ساقه، ریشه و کل معنی‌دار شد. در حالی‌که اثر ساده محلول‌پاشی تنها در صفت فنل ریشه معنی‌دار نبود. همچنین اثر ترکیب تیماری محلول‌پاشی به همراه کود آلی در صفت فنل برگ و ساقه تفاوت معنی‌داری را نشان داد. از طرفی اعمال ترکیب تیماری کود آلی به همراه کود زیستی تنها در صفت فنل گل معنی‌دار شد. استفاده از ترکیب تیماری محلول‌پاشی در زیستی و همچنین اثر سه‌گانه کود آلی در زیستی در محلول‌پاشی در هیچ‌یک از صفات تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۷).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید گیاه دارویی سرخارگل تحت تأثیر کودهای آلی و زیستی

Table 5- Analysis of variance (mean squares) of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid Echinacea purpurea under the influence of organic fertilizers and Biological

	میانگین مربعات Mean squares			
منبع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاراتنوئید Carotenoid
تکرار Replication	3	0.0019^{**}	0.0001^{*}	1.38^{*}
محلول‌پاشی Spraying	1	0.003^{**}	0.003^{**}	2.75^{*}
خطای الف Error a	3	0.00005	0.000	0.39
کود آلی Organic fertilizers	2	0.0042^{**}	0.003^{**}	0.12^{**}
کود زیستی Biofertilizer	1	0.000011^{ns}	0.000^{*}	0.32^{ns}
محلول‌پاشی × کود آلی Spraying × Organic fertilizers	2	0.00032^{*}	0.000^{*}	1.65^{**}
محلول‌پاشی × کود زیستی Spraying× Biofertilizer	1	0.000020^{ns}	0.000^{ns}	0.008^{ns}
کود آلی × کود زیستی Organic fertilizers × Biofertilizer	3	0.000036^{ns}	0.000^{ns}	0.40^{ns}
کود آلی × کود زیستی × محلول‌پاشی Organic fertilizers × Biofertilizer × Spraying	2	0.0013^{ns}	0.000^{ns}	0.004^{ns}
خطای کل Total error	30	0.0013	0.000	3.91
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	9.40	8.38	9.40	8.98

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی‌دار بودن می‌باشد.

** and * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی × کود آلی (SF) بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید برگ گیاه سرخارگل

Table 6- Mean comparisons of the interaction effect of Spraying × Organic fertilizers (SF) on chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids contents of *Echinacea purpurea*

تیمار Treatment	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoids
		(mg.g^{-1}dw)	
s_1f_1 (شاهد) Contrl	0.06d	0.03d	3.47c
s_1f_2 (کود ورمی‌کمپوست) Vermicompost	0.08c	0.04c	4.15b
s_1f_3 (کود دامی) Cow manure	0.07c	0.04c	8c 3.
s_2f_1 (کود ورمی‌کمپوست) Vermicompost fertilizer	0.07c	0.04c	3.51c
s_2f_2 (محلول‌پاشی × کود ورمی‌کمپوست) Spraying × Vermicompost fertilizer	0.10a	0.07a	4.96a
s_2f_3 (محلول‌پاشی × کود دامی) Spraying × Cow manure	b 0.0	0.05b	4.35b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level

بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش، فنل گل با میانگین ۳/۸۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک در نتیجه کاربرد تیمار کود ورمی‌کمپوست در کود زیستی در مقایسه با شاهد ۳۳/۴۴ درصد افزایش یافت (شکل ۱). در بین تیمارهای آزمایش بیشترین میزان فنل برگ و ساقه از اثر ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست به همراه محلول‌پاشی به‌دست آمد. به طوری‌که در نتیجه اعمال این تیمارها فنل برگ و فنل ساقه به‌ترتیب ۶۵/۰۸ و ۶۵/۶۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش نشان داد (جدول ۸). همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده کود ورمی‌کمپوست بیشترین فنل کل با میانگین ۹/۶۷ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک با افزایش ۳۲/۲۸ درصد و نیز بیشترین میزان فنل ریشه با افزایش ۲۵/۳۳ درصد را در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد (جدول ۹).

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد استفاده از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفر همراه با ورمی‌کمپوست می‌تواند سبب افزایش مقدار نیتروژن و فسفر موجود در ورمی‌کمپوست شود (Kumar *et al.*, 2001). بر اساس تحقیقات صورت گرفته بالا رفتن این عناصر سبب بالا بردن ترکیبات فنلی در گیاه می‌شود که نتایج به‌دست آمده در گیاه آتریکسیا (*Athrixia phylicoides* L.) بیانگر همین مطلب است (Fhatuwani, 2007). از سوی دیگر کودهای آلی در کشت گیاهان دارویی تولید بیوماس را افزایش داده در نتیجه سبب افزایش ترکیب‌های استخراج شده از آن‌ها می‌شوند (Scheffer and Koehler, 1993). نتایج آزمایش انجام گرفته بر روی گیاه درمنه نشان داد که مصرف ورمی‌کمپوست موجب بهبود قابل ملاحظه گل‌دهی و عملکرد اسانس در مقایسه با شاهد شد که بهبود عملکرد اسانس در این گیاه را می‌توان به افزایش ماده خشک حاصل از مصرف ورمی‌کمپوست نسبت داد (Pandey, 2005).

بررسی انجام شده بر روی گیاه دارویی سرخارگل نشان داد کاربرد کودهای زیستی بیوفسفر به همراه بیوسولفور با بیشترین عملکرد فنل ریشه بهترین ترکیب تیماری از نظر کیفیت بود (Agha Alikhani *et al.*, 2013). همچنین در تحقیقی بر روی گیاه همیشه بهار نشان داده شد که کودهای بیولوژیک سبب افزایش گل و بهبود کیفیت دارویی شد (Sanches Govin *et al.*, 2005).

بیشتر بودن میزان فنل برگ و ساقه با استفاده از ترکیب تیماری کود ورمی‌کمپوست به همراه محلول‌پاشی را می‌توان چنین بیان نمود که کودهای آلی از طریق افزایش سطح برگ و فراهم کردن زمینه مناسب برای دریافت انرژی و نیز شرکت در ساختار آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربن فتوسنتزی، موجب افزایش بازده فتوسنتزی و عملکرد اسانس در این گیاه می‌شود (Arabci and Bayram, 2004). استفاده از کودهای آلی مختلف در گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens*) باعث افزایش رشد، عملکرد، درصد اسانس و کیفیت اسانس شد (Khalid and Shafei, 2005). نتایج تحقیقی دیگر بیانگر آن بود که استفاده از سطوح مختلف کمپوست در گیاه دارویی بادرشبی (*Dracocophalum moldavica* L.) موجب افزایش پارامترهای رشد و اسانس شد (Hussein *et al.*, 2006). از آن‌جا که وزن خشک گیاه و درصد اسانس متأثر از کوددهی مطلوب است به نظر می‌رسد در دسترس قرار گرفتن بهتر عناصر منجر به اثرگذاری بیشتر در تولید ترکیبات مؤثره شده که در این میان اثرگذاری کودهای زیستی بیشتر از کودهای شیمیایی است (Yadegari, 2013). مطالعه آرگویلو و همکاران (Arguello *et al.*, 2006) نیز مبین افزایش قابل توجه عملکرد محصول و کیفیت (فروکتان) در گیاه دارویی سیر (*Allium sativum*) بود. آن‌ها دریافتند که مصرف ورمی‌کمپوست از طریق تسریع در تشکیل پیاز و

نیز طولانی شدن دوره پرشدن آن، موجب افزایش کربوهیدارت‌های غیر ساختمانی نظیر فروکتان گردیده و متعاقب آن عملکرد محصول سیر نیز بهبود می‌یابد.

اسید شیکوریک: به‌دلیل هزینه بالای آزمایش کروماتوگرافی مایع و بالا بودن تعداد نمونه‌های آزمایش، اندازه‌گیری اسید شیکوریک فقط از نمونه مرکب تهیه شده از گل‌های ۴ تکرار برای ۱۲ ترکیب تیماری انجام شد. بر این اساس تجزیه واریانس صفت اسید شیکوریک امکان‌پذیر نبوده و فقط بیشترین و کمترین مقادیر را می‌توان گزارش کرد. با توجه به شکل ۲ بیشترین میزان اسید شیکوریک گل را ترکیب تیماری کود آلی ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی بیوآزوسپیر با میانگین ۳۷/۶۴ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک نشان داد و کمترین میزان از ترکیب تیماری کود آلی به همراه کود زیستی (شاهد) با میانگینی برابر با ۲۵/۷۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک به‌دست آمد (شکل ۲).

تحقیقات در زمینه‌ی گیاهان دارویی نشان داد که کودهای آلی با فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز آن‌ها، تولید زیست‌توده و ترکیب استخراج شده از این گیاهان را افزایش می‌دهد (Scheffer and Koehler, 1993). در بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک و آلی بر کمیت و کیفیت اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) به این نتیجه دست یافتند که بیشترین درصد اسانس از ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست به همراه ازتوباکتر حاصل شد (Moradi *et al.*, 2009). همچنین تحقیق دیگری نشان داد کود زیستی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد سنبل‌الطیب (*Valeriana officinalis*) در واحد سطح داشته و بیشترین ماده مؤثره در این تیمار مشاهده شد (Naghdi Abadi *et al.*, 2012).

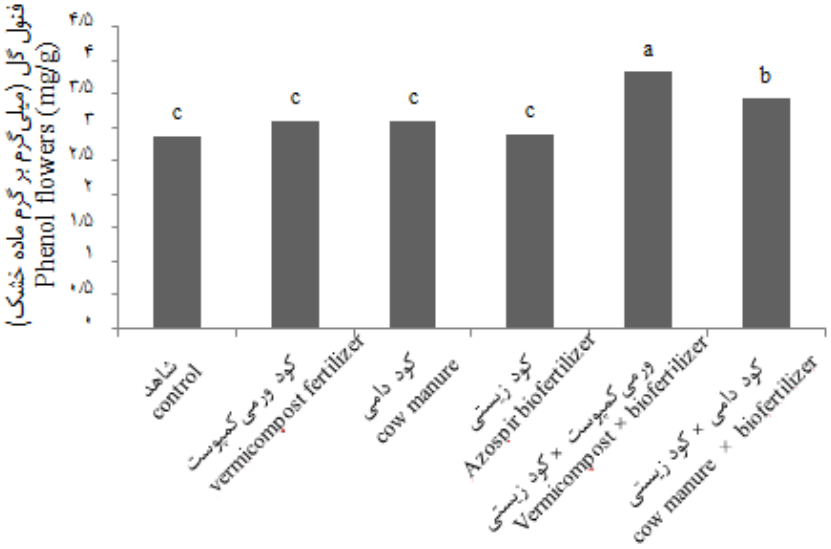
جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات میزان فنل کل و فنل در بخش‌های مختلف گیاه سرخارگل تحت تأثیر کودهای آلی و زیستی

Table 7- Analysis of variance (mean squares) of total phenol and phenol content in different parts of coneflower under the influence of organic and biological fertilizers

منبع تغییر S .o. V	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares				
		فنل گل Flowers Phenols	فنل برگ Leaf Phenols	فنل ساقه Shoot Phenols	فنل ریشه Root Phenols	فنل کل Total Phenols
تکرار Replication	3	0.05^{ns}	0.03^{ns}	0.19^{ns}	0.12^{ns}	0.22^{ns}
محلول‌پاشی Spraying	1	1.12^{*}	0.832^{*}	1.09^{**}	0.007^{ns}	9.67^{*}
خطای اصلی The main error	3	0.10	0.14	0.06	0.19	0.94
کود آلی Organic fertilizers	2	2.77^{**}	0.006^{**}	3.67^{**}	0.31^{**}	46.007^{**}
کود زیستی Bio-fertilizer	1	1.56^{**}	0.23^{**}	0.25^{*}	0.15^{*}	6.95^{**}
محلول‌پاشی × کود آلی Spraying × Organic fertilizers	2	0.0736^{ns}	0.16^{**}	0.30^{*}	0.006^{ns}	0.034^{ns}
محلول‌پاشی × کود زیستی Spraying× Biofertilizer	1	0.078^{ns}	0.02^{ns}	0.0009^{ns}	0.006^{ns}	0.24^{ns}
کود آلی × کود زیستی Organic fertilizers × Biofertilizer	2	0.96^{**}	0.01^{ns}	0.46^{ns}	0.04^{ns}	0.70^{ns}
کود آلی × کود زیستی × محلول‌پاشی Organic fertilizers × Biofertilizer × Spraying	2	0.116^{ns}	0.01^{ns}	0.031^{ns}	0.012^{ns}	0.48^{ns}
خطای فرعی Accessory error	3	2.21	0.28	1.22	0.79	4.61
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)		8.46	4.24	9.008	18.84	4.55

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی‌دار بودن می‌باشد.

** and * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل کود آلی× کود زیستی (FA) بر صفت فنل گل

Figure 1- Mean comparisons of interaction of vermicompost × Azospir Biofertilizer on flowers phenol attriute

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل کود آلی × محلول‌پاشی (SF) بر میزان فنل برگ و ساقه گیاه سرخارگل

Table 8- Mean comparisons of interaction of Organic fertilizers × Spraying (SF) on phenol leaves and stems of Echinacea *purpurea*

تیمار Treatment	فنل برگ Leaves Phenols	فنل ساقه Stems Phenols
	($mg.g^{-1}dw$)	
s_1f_1 (شاهد) Control	1.69e	1.6e
s_1f_2 (کود ورمی‌کمپوست) Vermicompost fertilizer	2.62b	2.45ab
s_1f_3 (کود دامی) Cow manure	2.22c	2.19cd
s_2f_1 (محلول‌پاشی) Spraying	1.89d	2.14d
s_2f_2 (محلول‌پاشی × کودورمی کمپوست) Spraying × Vermicompost fertilizer	2.79a	2.65a
s_2f_3 (محلول‌پاشی × کود دامی) Spraying × Cow manure	2.64b	2.37cb

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سط ۵ درصد با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level

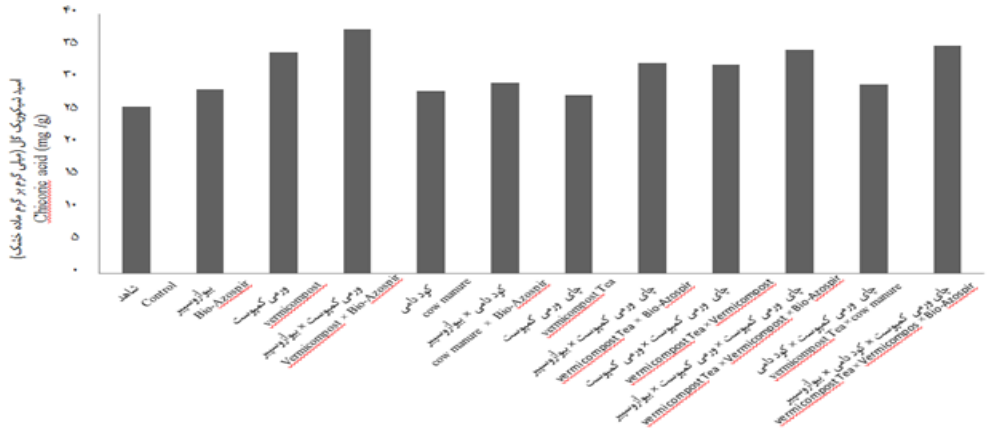
جدول ۹- مقایسه میانگین اثر ساده کود آلی (F) بر میزان فنل ریشه و فنل کل گیاه سرخارگل

Table 9- Mean comparisons of the effect of organic fertilizers (F) on root phenol and total phenol content of *Echinacea purpurea*

تیمار Treatment	فنل ریشه Root Phenols	فنل کل Total phenols
	($mg.g^{-1}dw$)	
f_1 (شاهد) Control	0.75b	7.31c
f_2 (ورمی‌کمپوست) Vermicompost	0.94a	9.67a
f3 (کود دامی) Cow manure	0.89ab	8.86b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level



شکل ۲- تأثیر کود آلی و زیستی بر صفت اسید شیکوریک گل

Figure 2- The effect of organic and bio-based fertilizers on the attribute of flower Chicoric acid

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در تمامی صفات اختلاف معنی‌داری بین تیمار اعمال شده و تیمار شاهد وجود داشت. در این آزمایش ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست به همراه محلول‌پاشی چای ورمی‌کمپوست به‌عنوان تیمار برتر شناخته شد. سرخارگل تحت تأثیر این تیمار بالاترین میزان نیتروژن و فسفر برگ و ساقه بیشترین کلروفیل a، b، کاراتنوئید، فنل برگ و فنل ساقه را تولید کرد. با توجه به اهمیت کشت گیاه سرخارگل به روش ارگانیک و پاسخ مثبت این گیاه به کاربرد کودهای آلی، زیستی و تلفیق آن‌ها به نظر می‌رسد کاربرد این کودها علاوه بر بهبود ساختار و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک از طریق تأثیر بر قدرت جذب، نگهداری و در اختیار قرار دادن رطوبت و عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاس ضمن نداشتن عواقب سوء زیست‌محیطی منجر به بهبود شاخص‌های عملکرد کیفی و ترکیبات مؤثره در این گیاه شدند.

References

1. Agha Alikhani, M., Iranpor, A., and Nghdi Abadi, H. 2013. Crop yield and phytochemical of herb (*Ecinacea Purpurea* L.) under the influence urea fertilizer and bio. Iranian Journal of Medicinal Plants 46 (2): 121-136. (in Persian with English abstract).
2. Ali Omrani, G., Malki Alagha, M., and Noreye, V. N. 2011. Aspects of organic fertilizer. Islamic Azad University Science and Research, 162 pp. (in Persian with English abstract).
3. Arabci, O., and Bayram, E. 2004. The effect of nitrogen fertilization and different plant densities on some agronomic and technologic characteristic of basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agronomy 3 (4): 255-256.
4. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., and Metzeger, J. D. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries effects on growth and yields. Bioresourc Technology 93: 145-153.
5. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Metzger, J. D., and Lucht, C. 2005. Effect of vermicompost produced from cattle manure. Food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. Pedobiologia 49 (4): 297-306.
6. Arguello, J. A., Ledesma, A., Nunez, S. B., Rodriguez, C. H., and Goldfarb, M. D. D. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield and quality of Rosado paraguayo garlic bulbs. Horticulture Science 41 (3): 589-592.
7. Asar, E., and Scarisbrick, D. H. 1995. Rate of nitrojen and sulfur fertilizers on yield components and seed guality of oilseed rape (*Brassica napuse* L.). Field Crops Research 44: 41-46.
8. Ashraf, M. Y., Azmi, A. RA. Khan, H. and Ala, S. A. 1994. Effect of water stress on total phenols. peroxidase activity and cholorophyll content in wheat. Acta Vphysiologiae Plantarum 16 (3): 185-191.
9. Astaraei, A., and Koochaki, A. 1997. Using of Biological Fertilizers in Sustainable Agriculture. Jahadeh Daneshghahi Publisher Mashhad, p. 168. (in Persian).
10. Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., and Shuster, W. 2000. Effects vermicomposts and composts on plant growth. in horticulture container media and soil. Pedobiologia 44: 579-590.
11. Bakhshaie, S., Amin Ghafore, A., and Rezvani Moghadam, P. 2010. Study reactions Summer Savoury (*Satureja hortensis*) during the growing season in response to different treatments of compost and fertilizer, vermicompost and cow. Iranian Medicinal Plants National Conference. Citrus Fruits and Rice Research Institute the Agricultural

Sciences and Natural Resources University of Sari. (in Persian).
12. Bauer, R., and Wagner, H. 1991. Echinacea species as potential immunostimulatory drugs. Planta Medica 55: 367-371.
13. Biyari, A., Gholami, A., and Asadi Rahmani, H. 2008. Sustainable production and improved nutrient uptake maize in response to the seed inoculation by bacteria growth. Iranian Ecological Agriculture Conference. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15 p. (in Persian with English abstract).
14. Carrubba, A., Ia Torre, R., Di Prima, A., Saiano, F., and Alonzo, G. 2002. Statistical analyses on the essential oil of Italian coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruits of different ages and origins. Journal of Essential Oil Research 14 (6): 389-396.
15. Dehdashtizade, B., Arouii, H., Azizi, M., and Davarinejad, G. 2009. Effect of different levels of vermicompost and phosphorus on production of pepper seedling. Iranian Horticultural Science Sixth Congress, The University of Guilan, p 538-530. (in Persian with English abstract).
16. Dommerguse, Y. G. 1970. Ecologe microbienne du sol. masson et cie. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 796 p.
17. Eliot, P. W., Knight, D., and Anderson, J. M. 1990. Denitrification in earthworm casts and soil from pastures under different fertilizer and drainage regimes. Soil Biology and Biochemistry Technology 27 (11): 1819-25.
18. Fhatuwani, N. 2007. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition on total polyphenol content of bush tea (*Athrixia phylicoides* L.) leaves in shaded nursery environment. Hortscience 42 (2): 334-338.
19. Ghost, B. C., and Bhat, R. 1998. Environmental hazards of nitrogen loading in wetland rice fields. International Journal of Environmental Pollution Impact Factor 102: 123-126.
20. Gladisheva, O. N. 1995. Experimental studies on production and processing technology, and establishment of raw material uses and seed plantation of *Ecinacea Purpurea* under samara region. Russian Academy of Agricultural Sciences 213-214.
21. Hussein, M. S., El-Shrbeny, S. E., Khalil, M. Y., Naguib, N. Y., and Aly, S. M. 2006. Growth characters and chemical constituents of (*Dracocephalum moldavica* L.) plants in relation to compost fertilizer and planting distance. Journal of Scientia Horticulture 108: 322-33.
22. Kalra, A. 2003. Organic cultivation of medicinal and aromatic plants. A hope for sustainability and gualility enhancement. Journal of Organic Production of Medicinal, Aromatic and Dye- Yielding Plants. FAO, 198 P.
23. Khalid, A., and Shafei, A. M. 2005. Productivity of dill (*Anethum graveolens* L.) as influenced by different organic manure rates and sources. Arab Universities Journal of Agriculture Science 13 (3): 901-913.
24. Khalsro, Sh. 2010. Study on biological Fertilizer, vermicompost and zeolite application physical and chemical properties of soil and quantitative and qualitative yeild (*Pimpinella anisum*). P.h.D Thesis. dissertation, Agriculture. University of Tarbiat Modarres, 112 P. (in Persian).
25. Koocheki, A., Tabrizi, L., and Ghorbani, R. 2008. Effect of biofertilizers on agronomic and quality criteria of (*Hyssopus officinalis* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6 (1): 127-37. (in Persian with English abstract).
26. Kumar, V., Behl, R. K., and Narula, N. 2001. Establishment of phosphate solubilizing strains of (*Azotobacte chroococcum*) in rhizosphere and their effect on wheat under green house conditions. Microbiological Research 156: 87-93.
27. Lee, J. 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. Sciatica Horticulture 124 (3): 299-305.
28. Leithy, S., El-Meseiry, T. A., and Abdallah E. F. 2006. Effect of biofertilizers, cell stabilizer and irrigation regime on (*Rosemary herbage)* oil yield and quality. Journal of Applied Research 2: 773-779.
29. Lin, Z., Neamati, N., Zhao, H., Kiryu, Y., Turpin, JA., Aberham, C., Strebel, K., Kohn, K., Witvrouw, M., Pannecouque, C., Debyser, Z., De Clercq, E., Rice, WG., Pommier, Y., and Burke, TR. JR. 1999. Chicoric acid analogues as HIV-1 integrase inhibitors. Journul of Medicinal Chemistry 42 (8): 1401-1414.
30. Lotf Manesh, B., Nabovati Kalat, S. M., and Sedr Abadi Haghighi, R. 2013. Studying the effects of biological fertilizers and sprayed with Complete Fertilizer on yield, quality (*Satureia hortensis* L.). Iranian Medicinal Plants National Conference. Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran Ayatollah Amoli. http://www.civilica.com/Paper-HERBAL03 HERBAL03_202.html, P 2-8. (in Persian with English abstract).
31. Ložek, O., and Fecenko, J. 1998. Influence of vermisol in combination with nitrogenous nutrition on yields and quality of winter wheat grain. Journal Agriculture Science 44 (11): 835-846.
32. Luo, X., Chen, B., Yao, S., and Zeng, J. 2006. Simultaneous analysis of caffeic acid derivatives and alkamids in roots and extracts of *Echinacea purpurea* by highperformance liquid chromatography-photodiode array detection-electrospray mass spectrometry. Journal of Chromatography 986: 73-81.
33. Luzzatto, T., Golan, A., Yishay, M., Bilkis, I., Ben-Ari, J., and Yedidia, I. 2007. Priming of antimicrobial phenolics during induced resistance response towards Pectobacterium carotovorum in the ornamental monocot calla lily. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55 (25): 10315-10322.
34. Mahboub Khomami, A. 2005. The effect of liquid bio-fertilizer (Vermiwash) in application on dieffenbachia and

Aglaonema nutrition and growth indexes. Journal of Agricultural Sciences 1 (4): 175-187. (in Persian with English abstract).
35. Mao, J., Olk, D. C., Fang, X., He, Z., and Schmidt-Rohr, K. 2008. Influence of animal manure application on the chemical structures of soil organic matter as investigated by advanced solid-state NMR and FT-IRspectroscopy. Geoderma 146: 353-362.
36. Manjarrez, M. J., Ferrera-Cerrato, R., and Gonzalez-Chavez, M. C. 2000. Effect of vermicompost and mycorrhizal fungi on growth and photosynthetic rate of chili. Phytopathology 17: 195-197.
37. Mohanty, S., Paikaray, N. K., and Rajan, A. R. 2006. Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogeal* L.)-corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. Geoderma 133 (3-4): 225-230.
38. Moradi Talavat, M. R., Siyadat, S. A., Fathi, A. Z., and Alami Saied, K. 2009. Effect level of nitrogen and herbicides on wheat compete against wild oat and wild mustard. PhD Thesis Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, P 33. (in Persian).
39. Moradi, R., Rezvani Moghaddam, P., Nasiri Mahallati, M., and Lakzian, A. 2009. The effect of application of organic and biological fertilizers on yield, yield componts and essential oil of Fennel (*Foeniculum vulgare*). Iranian Journal Field Crops Research 7 (1): 625-635. (in Persian).
40. Morase, E. C. 1985. Different nitrogen sources and application of borax manganese proceeding of the 1 and 2 technical yearly.
41. Mosavi, M., Bahmanyar, M. G., and Pirdashti, H. A. 2012. Rice plant response to vermicompost application individually and enriched with different chemical fertilizers. Electronic Journal of Crop Production 5 (2): 19-35. (in Persian with English abstract).
42. Mottaghian, A., Pirdashti, H., Bahmanyar, M. A., and Abbasian, A. 2010. Influence of the type and amount of organic fertilizer on yield and leaf nutrient concentrations of three soybean cultivars *(Glycine max* (L.) Merr). Iranian Journal of Soil and Water Iran 41 (1): 19-26. (in Persian).
43. Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F., and Nardi, F. 1999. Earthworm humic matter produces Auxin-like effects Daucus carota cell growth and nitrate metabolism. Journal of Soil Bioligy and Biochemistry 31: 1303-1311.
44. Naghdi Abadi, H., Lotfi Zad, M., Gavami, N., Mehr Afarin, A., and Kavari, K. 2012. Response qualitative and quantitative yield in (*Valeriana officinalis*) to use biological and chemical phosphorus fertilizers. Iranian Journal of Medicinal Plants. (in Persian).
45. Nemati Darbandi, H., Azizi, M., Mohamadi, S., and Karim Poor, S. 2012. Study effect solution spraying vermicompost with different concentration morphological characteristics, percentage and oil yield of Lemonbalm (*Melissa officinallis*). Journal of Horticultural Science 411-417. (in Persian with English abstract).
46. Omidbigi, R. 2008. Production and processing of medicinal plants. Astan Ghods Razavi, publisher Mashhad, Vol (1). 347p. (in Persian).
47. Omidbaigi, R. 2009. Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Ghodse Razavi Publication. Mashhad, Vol (4), 423 p. (in Persian).
48. Padmavathiamma, P. K., Li, L.Y., and Kumari, U. R. 2008. An experimental study of vermi-biowaste composting for agricultural soil improvement. Bioresource Technology 99: 1672-1681.
49. Pandey, R. 2005. Management of Meloidogyne incognita in (*Artemisia pallens*) with bioorganics. Phytoparasitica 33 (3): 304-308.
50. Parakasa, E. V. S., Naryana, M. R., and Rajeswara, B. R. 1997. The effect of nitrogen and farm yard manure on yield and nutrient uptake in davana (*Artemisia pallens*) Wall. ExD. C. Journal of Herbs Spices and Medicinal Plants 5 (2): 39-48.
51. Renato, Y., Ferreira, M. E., Cruz, M. C., and Barbosa, J. C. 2003. Organic matter fractions and soil fertility under influence of liming, vermicopmpost and cattle manure. Bioresource Technology 60: 59-63.
52. Sanches Govin, E., Rodrigues Gonzales, H., and Carballo Guerra, C. 2005. Ifluencia de los abonos organicos y biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *calendula officinalis*, *Matricaria recutita* L. *Revista Cubana* de. Plantas Medicinales 10 (1): 1.
53. Scheffer, M. C., and Koehler, H. S. 1993. Influence of organic fertilization on the biomass, yield and yield composition of the essential oil of (*Achillea millefolium*). Acta Horticulture 331: 109-114.
54. Shivsubramanian, K., and Ganeshkumar, M. 2004. Influence of vermiwash on biological productivity of Marigold. Journal of Madras Agricultural 91: 221-225.
55. Sifola, M. I., and Barbieri, G. 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. Scientia Horticulture 108: 408-413.
56. Tahami Zarandi, S. M. K., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M. 2010. Comparision the effect of organic and chemical fertilizers on yield and essential oil percentago of Basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 2 (1): 70-82. (in Persian with English abstract).
57. Theunissen, J., Ndakidemi, P. A., and Laubscher, C. P. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. International Journal of Physical Sciences 5:

1964-1973.
58. Toro, M., Azcon, R., and Barea, J. M. 1997. Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate-solubilising rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability (32p) and nutrient cycling. Applied and Environmental Microbiology 63 (11): 4408-4412.
59. Yadegari, M. 2013. Effect of foliar application of Fe, Zn, Cu and Mn on yield and essential oils of (*Borago officinalis*). Journal of Applied Science and Agriculture 8 (5): 568-575. (in Persian).
60. Waterhouse, A. L. 2003. Determination of Total Phenolics. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. I: I1:I1.1.
61. Wu, L., Bea, J., Kraus, G., and Wurtele, E. S. 2004. Diacetylenic isobutylamides of Echinacea synthesis and natural distribution phytochemistry 65: 2477-2484.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 283-298

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۲۹۸-۲۸۳

Effect of Organic and Biological Fertilizers on Nitrogen, Phosphorous and Potassium Contents, Photosynthetic Pigments and Active Ingredient in Coneflower (*Echinacea Purpurea* L.)

H. Fayazi[1*]- A. Abdali Mashhadi[2]- A. Koochekzadeh[3]- A. Papzan[4]- M. H. Arzanesh[5]

Received: 17-08-2015
Accepted: 12-09-2017

Introduction

In recent decades, agricultural production has become increasingly dependent on the consumption of chemical inputs to obtain higher yields, which in turn has led to major problems such as environmental pollution and consequently, arresting sustainable production. In order to reduce these hazards, application of resources and inputs must lead to long term-sustainable agriculture system as well as supplying the current needs of plant. Proper plant nutrition and soil fertility management can enhance environment protection and moreover, improve input use efficiency and the quality of water, reduce erosion and maintain biodiversity. The valuable medicinal plant "purple coneflower", is widely used in pharmaceutical, food, cosmetics and health industries. Although not native to Iran, the plant has been recently categorized as an indigenous plant. This plant has been used in the past for the treatment of snakebite, gums and mouth disorders, colds, cough, and sore throat. In the last 50 years, due to its anti-viral, anti-fungal and anti-bacterial properties, purple coneflower is globally well-known and its derivatives are categorized as immune system tonics. Nowadays, products of purple coneflower are presented as blood purifier, antiseptic and sedatives. Therefore, according to background of the use of medicinal plants and change in point of view regarding to this kind of crops as well as increasing global demand for the use of these plants in the treatment of diseases, and considering the harms caused by the consumption of chemical drugs, it is necessary to conduct a comprehensive research on medicinal plants.

Materials and Methods

The experiment was carried out as split factorial based on randomized complete block design with four replications in experimental fields of Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University between 2013-2014. Foliar application of vermicompost tea was performed at two levels (with and without tea use) and was assigned to the first factor in main plot; the second factor was organic fertilizer which was applied at three levels (zero application, vermicompost and cow manure); and finally biofertilizer was the third factor and had two level (without biofertilizer application and azospirillum biofertilizer). The latter two factors were assigned to the subplots. In this experiment, some qualitative characteristics such as mineral elements, photosynthetic pigments and the amount of substance active ingredients were evaluated.

Results and Discussion

According to the results, the highest root and total fenol were obtained from vermicompost treatment, whereas the highest leaf nitrogen, stem nitrogen, leaf phosphorus, stem phosphorus, chlorophyll type a, chlorophyll type b, carotenoid, leaf fenol and stem fenol was observed for the combination of vermicompost and tea vermicompost treatments. The highest flower fenol and chicoric acid content was recorded in vermicompost treatment together with azospirillum biofertilizer. On the other hand, the lowest stem and leaf potassium belonged to the combined treatment of tea vermicompost foliar and azospirillum biofertilizer. Generally, organic and bio-fertilizers, directly and indirectly, increased nutrients absorption in coneflower via improving plant access to macro-micro nutrients as a result of altering physico-chemical circumstances, stimulating the activity of beneficial soil microbes, increasing water absorption, availability of macro and micro elements and presence

1- Master graduated, Agriculture Faculty, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
2- Associate Professor, Agriculture Faculty, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
3- Assistant Professor, Agriculture Faculty, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
4- Associate Professor, Agriculture Faculty, Razi University, Kermanshah, Iran
5- Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, Iran
(*- Corresponding Author Email: h.fayaz222@gmail.com)

of hormones such as auxin, humic acid and GA3. Foliar spraying of vermicompost as a complementary to soil fertilizers provides quick and direct absorption of nutrients through shoots. Consequently, the treatments applied in this study simultaneously improved the characteristics of purple coneflower and the amount of its active ingredient.

Conclusions

The research showed that the combined treatment of vermicompost and foliar application of vermicompost tea was more feasible in the cultivation of purple coneflower rather than other treatments applied, so it was identified as the ideal treatment.

Keywords: Azospirillum biofertilizer, Chicoric acid, Fenol, Vermicompost tea

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۱۵-۲۹۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 299-315

بررسی تحمل به تنش یخزدگی در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.)

سیده محبوبه میرمیران[۱]- احمد نظامی[۲*]- محمد کافی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۳۱

چکیده

دماهای پایین یکی از تنش‌های مهم غیرزنده می‌باشد که با تأثیر بر فرآیندهای حیاتی گیاه سبب اختلال در رشد آن می‌شود. به منظور بررسی تحمل به سرمای ۱۰ اکوتیپ شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.)، آزمایشی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در محل گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تاریخ کاشت در چهار سطح (۲۳ شهریور، ۲۳ مهر، ۱۵ اسفند و ۱۵ فروردین)، اکوتیپ در ۱۰ سطح (آذری، اردستان، پابلند، پاکوتاه، شیراز، شیروان، مشهد، نیشابور، همدان و هندی) و دماهای یخزدگی در هفت سطح (۵+ (شاهد)، صفر، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد) بودند. گیاهان در شرایط آب و هوایی طبیعی محیط رشد یافته و به سرما خو گرفتند، سپس گیاهان کشت شده در شهریور و مهر در اواسط دی و گیاهان کشت شده در اسفند و فروردین در اواسط اردیبهشت برای اعمال تنش سرما به فریزرترموگرادیان منتقل شدند. چهار هفته پس از اعمال تنش، درصد بقاء، دمای کشنده ۵۰ درصد گیاهان براساس درصد بقاء (LT_{50su})، ارتفاع بوته، سطح برگ، دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ ($RLAT_{50}$)، وزن خشک و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک ($RDMT_{50}$) آنها تعیین شد. اکوتیپ‌ها به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت مهر و اسفند از بیشترین و کمترین درصد بقاء برخوردار بودند. گیاهان همه اکوتیپ‌ها (به جز اکوتیپ‌های آذری و اردستان در کاشت سوم) توانستند در هر چهار تاریخ کاشت کاهش دما تا ۹- درجه سانتی‌گراد را تحمل کنند. کاهش دما به ۱۲- درجه سانتی‌گراد نیز منجر به مرگ همه اکوتیپ‌ها به‌جز اکوتیپ‌های مشهد و نیشابور در کاشت شهریور شد. اکوتیپ‌های مشهد و نیشابور در کاشت‌های اول و دوم کمترین LT50su را داشتند، ولی در کاشت سوم و چهارم تفاوت معنی‌داری از این نظر بین اکوتیپ‌ها مشاهده نشد. اکوتیپ پاکوتاه به‌جز کاشت اسفند در کاشت‌های دیگر کمترین درصد کاهش ارتفاع (به‌ترتیب ۳۵، ۲۴ و ۳۳ درصد) را نسبت به شاهد به خود اختصاص داد. در کاشت مهرماه، دو اکوتیپ پابلند و نیشابور بیشترین و کمترین (به‌ترتیب ۸۹ و ۵۹ درصد) کاهش سطح برگ را نسبت به دمای شاهد داشتند. با کاهش دما به ۹- درجه سانتی‌گراد درصد وزن خشک گیاهان نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت و کمترین درصد کاهش وزن خشک در مقایسه با شاهد مربوط به گیاهان کاشت مهر بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین $RLAT_{50}$ و $RDMT_{50}$ با دمای کشنده ۵۰ درصد گیاهان براساس درصد بقاء (به‌ترتیب $r=0/53^{**}$ و $r=0/64^{**}$) وجود داشت. در مجموع اکوتیپ‌های مشهد، نیشابور، شیروان و پاکوتاه از توانایی بقاء و رشد مجدد بهتری برخوردار بودند. به طوری که درصد بقاء در این اکوتیپ‌ها در حدود هشت درصد بیشتر از سایر اکوتیپ‌ها بود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، تاریخ کاشت، تنش سرما، درصد بقاء، سطح برگ، وزن خشک

مقدمه

شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.) گیاهی علفی، یکساله و متعلق به خانواده بقولات است (Altuntas *et al.*, 2005). این گیاه به خاطر داشتن مواد با ارزشی مانند کلسیم، فسفر، آهن، کاروتن، ویتامین C و پروتئین در برگ‌های خود دارای ارزش غذایی بالایی می‌باشد (Ebubekie *et al.*, 2005; Nazar and Tinay, 2007). بذرهای این گیاه حاوی آلکالوئید، تریگونلین، کولین و ساپونین‌های استروئیدی می‌باشد و لذا در ردیف مهم‌ترین گیاهان دارویی جهان ذکر شده است (Omid baigi, 2004; Sandor and Kismanyoky, 2004). این گیاه همچنین به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای مناسب برای نشخوارکنندگان معرفی شده است که برخلاف یونجه در دام‌ها ایجاد نفخ نمی‌کند و علاوه بر این دارای ترکیبات استروئیدی افزایش‌دهنده رشد نیز می‌باشد (Mir *et al.*, 1996; Mir *et al.*, 1998). سابقه کاشت شنبلیله درایران بسیار طولانی است و عمدتاً اندام‌های هوایی گیاه به‌صورت تازه برداشت می‌شود (Najafpor Navaee, 1999; Omid baigi, 2004).

تصمیم‌گیری در مورد زمان کاشت مطلوب یک گیاه زراعی بسیار

۱- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Nezami@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.50272

با اهمیت بوده و از عوامل مهم جهت کسب حداکثر عملکرد در گیاهان می‌باشد (Seghatoleslami and Ahmadi Bonakdar, 2010). تأخیر در زمان کاشت شنبلیله موجب کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه و کاهش ماده خشک آن می‌شود، ضمن اینکه با تأخیر در کاشت مرحله گلدهی آن با گرما روبه‌رو شده (Seghatoleslami and Ahmadi Bonakdar, 2010) و عملکرد کاهش می‌یابد (Battacharya *et al.*, 2006; Maletic and Jevdjovic, 2007). گیاهان زراعی پاییزه به دلیل فصل رشد طولانی‌تر و زیست توده بیشتر، غالباً دارای عملکرد بالاتر و با ثبات تر در مقایسه با محصولات بهاره می‌باشند (Cardona *et al.*, 1997). با وجود این در مناطق معتدله کاشت گیاه در پاییز، موجب قرارگرفتن آن در معرض انواع تنش‌های زمستانه و به‌ویژه تنش یخزدگی خواهد شد. در این شرایط فعالیت‌های بیوسنتزی گیاه کاهش یافته و فرآیندهای فیزیولوژیکی آن مختل می‌شود و حتی در شرایطی ممکن است سرمای شدید سبب بروز صدمات غیر قابل برگشت و مرگ گیاه شود (Kafi and Damghani-Mahdavi, 2000; Mirmohamadi Meibodi and Tarkeshe Esfahani, 2004). به همین دلیل موفقیت کاشت پاییزه محصولات زراعی مستلزم وجود گیاهانی است که تحمل خوبی به دماهای پایین داشته باشند.

ارزیابی سریع و مؤثر تحمل گیاهان به تنش سرما مورد توجه محققان زیادی می‌باشد و پژوهش‌های متعددی برای یافتن روش‌های ارزیابی سریع و مؤثر انجام شده است تا بتوان تحمل به سرمای گیاهان را مشخص کرد (Anderson and Gesick, 2004). تعیین بقای گیاهان پس از قرار گرفتن در معرض تنش سرما در شرایط کنترل شده، از جمله روش‌های اندازه‌گیری تحمل به سرما در گیاهان به شمار می‌رود (Singh *et al.*, 1994)، ضمن اینکه دمایی که سبب ۵۰ درصد مرگ گیاهان می‌شود، به‌عنوان دمای ۵۰ درصد کشندگی (LT_{50su})[1] ذکر شده است. نتایج مطالعه اثر تنش یخزدگی بر چند گونه گیاه دارویی تره تیزک آبی (*Hebe* sp.) نشان داد که با کاهش دما درصد بقای گونه‌های مورد مطالعه کاهش یافت، با وجود این کاهش درصد بقاء بسته به گونه متفاوت بود و گونه *H. cupressoides* درصد بقای بالاتری نسبت به گونه *H. albicans* داشت. همچنین گونه‌هایی که درصد بقای بالاتری بعد از اعمال تنش یخزدگی نشان دادند از LT_{50su} کمتری برخوردار بودند (Warrington and Southward, 1995).

نتایج بررسی دو گونه گوارا (*Guara* spp.) نشان داد که در گونه *G. Drummondii* درصد بقای گیاهان در دمای کمتر از ۶- درجه سانتی‌گراد کاهش یافت و در دمای ۹- درجه سانتی‌گراد کلیه گیاهان نابود شدند در حالی‌که در گونه *G. coccinea* کاهش دما به ۱۲- درجه سانتی‌گراد سبب از بین رفتن کلیه گیاهان شد (Grace *et al.*, 2009). نیز گزارش کردند که در نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش شد که درصد بقاء تا دمای ۹- درجه سانتی‌گراد چندان تحت تأثیر قرار نگرفت، اما با کاهش دما به ۱۲- درجه سانتی‌گراد گیاهان از بین رفتند (Moshtaghi *et al.*, 2009).

محققان تعیین رشد مجدد گیاه بعد از بروز تنش سرما را به‌عنوان یک شاخص تحمل به دمای پایین پیشنهاد کردند (Fry *et al.*, 1993). در بررسی تحمل به یخزدگی چندین ژنوتیپ یونجه (*Medicago* spp.) و شبدر یکساله (*Trifolium* spp.) مشاهده شد که با کاهش دما، تولید ماده خشک گیاه در دوره بازیافت شدیداً کاهش یافت، به طوری‌که در گیاهانی که خوسرمایی نداشتند، در تیمار دمایی ۴- درجه سانتی‌گراد وزن خشک گیاه شروع به کاهش کرد، در حالی‌که در گیاهان خوگرفته به سرما، کاهش وزن خشک در دمای ۷- درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد. آنها به این نتیجه رسیدند که گیاهانی که LT_{50} پایین‌تری داشتند، از تولید ماده خشک بیشتری پس از رشد مجدد برخوردار بودند (Hekneby *et al.*, 2006). با مطالعه روی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) مشاهده شد که کاهش دما از صفر به ۱۲- درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش ۷۷ درصدی ارتفاع بوته گردید و رشد مجدد گیاهان در طول دوره بازیافت معیار خوبی برای انتخاب اکوتیپ‌های زیره سبز مقاوم و حساس به سرما بود (Nezami *et al.*, 2012).

در بررسی تحمل به سرمای چهار گونه شبدر تحت تأثیر دو تاریخ کاشت (۲۸ شهریور و ۲۷ مهر) مشاهده شد که هرچند در کاشت اول کاهش دما از صفر به ۱۸- درجه سانتی‌گراد سبب کاهش سطح برگ در چهار گونه شبدر شد ولی این کاهش بسته به گونه متفاوت بود، به‌طوری‌که درصد کاهش سطح برگ در شرایط مذکور در گونه‌های قرمز (*T. pratense*) و ایرانی (*T. resupinatum*) به‌ترتیب ۹۸ و ۴۸ درصد بود و در این شرایط گونه‌های سفید (*T. repense*) و لاکی (*T. incarnatum*) از بین رفتند. در حالی‌که در کاشت دوم کاهش دما از صفر به ۱۵- درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب منجر به کاهش ۶، ۳۳ و ۲ درصدی سطح برگ در گونه‌های قرمز، سفید و لاکی شد، ولی در گونه ایرانی حدود ۱۲ درصد افزایش سطح برگ را به دنبال داشت (Hazrati, 2014).

با توجه به این که اطلاعات منتشر شده چندانی درخصوص تحمل به سرمای گیاه شنبلیله در دسترس نیست، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تحمل به سرما در تعدادی از اکوتیپ‌های شنبلیله در شرایط کنترل‌شده اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل و در

1- Lethal Temperature 50% of Plant According to the Survival Percentage

قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار تاریخ کاشت (۲۳ شهریور، ۲۳ مهر، ۱۵ اسفند و ۱۵ فروردین)، ۱۰ اکوتیپ شنبلیله (آذری، اردستان، پابلند، پاکوتاه، شیراز، شیروان، مشهد، نیشابور، همدان و هندی) و هفت دمای یخزدگی (شاهد با دمای ۵+ (c)، صفر، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲- و ۱۵- درجه سانتی‌گراد) بودند. در ابتدای آزمایش بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم سه درصد به مدت دو دقیقه ضدعفونی و سپس سه بار با آب مقطر شسته شدند. به منظور اطمینان از جوانه‌زنی یکنواخت بذرها، ابتدا بذرهای ضدعفونی شده در داخل پتری‌دیش و در دستگاه ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۷۵ درصد و ۱۶ ساعت روشنایی جوانه‌دار شد. در بررسی تأثیر تاریخ کاشت و انجام خو گرفتن گیاهان به سرما ابتدا ۱۵ عدد بذر جوانه زده در عمق یک سانتی‌متری گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۰سانتی‌متر و ارتفاع ۱۱ سانتی‌متر حاوی ۲۵ درصد شن و ۷۵ درصد خاک مزرعه کشت شدند و پس از استقرار به ۱۰ بوته تنک شدند. در هر تاریخ کاشت برای هر اکوتیپ در هر تیمار دمایی سه گلدان و در مجموع ۲۱ گلدان در نظر گرفته شد. گیاهان در شرایط طبیعی و در فضای آزاد رشد یافته و در معرض خوسرمایی قرار داده شدند. در دوره خوسرمایی هنگامی‌که دما به کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد رسید، گیاهان با انتقال به شاسی سرد از سرمای شدید محافظت شدند. گلدان‌ها ۲۴ ساعت قبل از اعمال تنش، آبیاری شدند و سپس برای اعمال دماهای یخزدگی، گیاهان دو تاریخ کاشت اول و دوم (که به‌ترتیب در مرحله ۷ برگی و ۵ برگی بودند) در اواسط دی و همزمان با بروز سرماهای شدید در منطقه (بر اساس داده‌های بلند مدت هواشناسی، در شرایط آب و هوایی مشهد بروز سرماهای شدید در دی و بهمن اتفاق می‌افتد) و گیاهان دو تاریخ کاشت بعدی (که به‌ترتیب در مرحله ۳ برگی و برگ لپه‌ای بودند) در اواسط اردیبهشت به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. دمای فریزر در ابتدای آزمایش پنج درجه سانتی‌گراد بود و پس از قرار دادن نمونه‌ها با سرعت دو درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. این وضعیت شرایط را برای توزیع مجدد آب به بافت‌های گیاهی و جلوگیری از تشکیل یخ در داخل سلول‌ها که در طبیعت به ندرت اتفاق می‌افتد، فراهم می‌کند (Murray *et al.*, 1988). به منظور جلوگیری از پدیده فراسرد شدن و ایجاد هستک یخ در گیاهان (Lindow *et al.*, 1982) در دمای ۲-درجه سانتی‌گراد محلول INAB[1] بر روی نمونه‌ها پاشیده شد. به منظور ایجاد تعادل در دمای محیط، گیاهچه‌ها در هر تیمار دمایی به مدت یک ساعت نگه داشته و سپس به مدت ۲۴ ساعت در اتاقک سرد با دمای ۲±۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

در مرحله بعد نمونه‌ها به گلخانه با میانگین دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد (شب و روز) و فتوپریود ۱۴ ساعت منتقل شدند. چهار هفته پس از آن درصد بقاء و بازیافت نمونه‌ها ارزیابی شد. درصد بقاء گیاهان از طریق شمارش تعداد بوته زنده در هر گلدان و از طریق معادله (۱) محاسبه گردید.

معادله (۱) $=AB^{-1}\times 100$ درصد بقاء

که در آن A و B به‌ترتیب تعداد بوته بعد و قبل از یخزدگی می‌باشد.

همزمان صفات دیگری نظیر ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک گیاهان (پس از ۴۸ ساعت قرار داشتن در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد. مقادیر LT_{50su}، $RDMT_{50}$[2] و $RLAT_{50}$[3] نیز به‌ترتیب با استفاده از رسم نمودار داده‌های درصد بقاء، وزن خشک و سطح برگ نمونه‌ها در مقابل دماهای یخزدگی تعیین شدند.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MINITAB17 و SAS9.1 انجام شد. مقایسه میانگین اثرات اصلی نیز با استفاده از آزمون LSD درسطح احتمال پنج درصد و خطای معیار (Standard Error) و در صورت معنی‌دار بودن اثرات متقابل برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون lsmeans صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثرات متقابل اکوتیپ و دما بر بقای شنبلیله معنی‌دار ($p\leq 0.05$) شد، هرچند با کاهش دما درصد بقاء کاهش یافت، اما واکنش اکوتیپ‌ها به شدت تنش یخزدگی متفاوت بود، به گونه‌ای که درصد بقا اکوتیپ‌های آذری و اردستان تا دمای ۶- درجه سانتی‌گراد مشابه با شاهد بود، ولی در سایر اکوتیپ‌ها این وضعیت تا دمای ۹- درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ۱). گیاهان چهار اکوتیپ پابلند، شیراز، همدان و هندی در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد کاملاً از بین رفتند، در حالی‌که در سایر اکوتیپ‌ها، مرگ کامل گیاهان در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد. درصد بقاء دو اکوتیپ مشهد و نیشابور در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر اکوتیپ‌ها بود.

اثرات متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دمای یخزدگی بر درصد بقای گیاهان معنی‌داری ($p\leq 0.05$) بود. در تاریخ کاشت سوم کاهش دما به ۹- درجه سانتی‌گراد سبب مرگ تمام گیاهان اکوتیپ‌های آذری و اردستان شد ولی در سایر تاریخ‌های کاشت اکوتیپ‌های مذکور در این دما کاملاً زنده بودند (شکل ۱). در تاریخ کاشت اول با کاهش دما به ۱۲- درجه سانتی‌گراد اغلب اکوتیپ‌ها کاملاً از بین رفتند و تنها اکوتیپ‌های نیشابور و مشهد درصد بقاء بسیار خوبی (به‌ترتیب ۱۰۰ و ۸۹ درصد) داشتند.

1- Ice nucleation active bacteria

2- Reduced Dry Matter Temperature 50

3- Reduced Leaf Area Temperature 50

جدول ۱- اثرات متقابل اکوتیپ و دمای یخزدگی بر درصد بقا، ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک شنبلیله پس از اعمال تنش یخزدگی تحت شرایط کنترل شده

Table 1- Interaction effects of ecotype and freezing temperature on survival percentage, height, leaf area and weight of fenugreek after freezing under controlled conditions

اکوتیپ Ecotype	دمای یخزدگی Freezing temperature (°C)	درصد بقاء Survival percentage	ارتفاع Height (cm)	سطح برگ تک بوته Leaf area (cm^2)	وزن خشک تک بوته Dry weight (mg)
آذری (Azari)	+5(c)	100±0a	19.6±3.8a	17.1±1.2a	75.5±15.2a
	0	100±0a	17.7±3.3b	15.2±1.2b	64.2±10.9b
	-3	100±0a	15.1±2.7c	12.9±1.1c	56.8±10.2c
	-6	100±0a	13.3±2.3d	10.8±0.8d	51.7±9.9d
	-9	75±13.1b	7.8±2.1e	6.6±1.3e	37.9±10.9e
	-12	10±5.2c	1.4±0.8f	1.2±0.6f	6.2±5.4f
	-15	0±0d	0.0±0g	0.0±0g	0.0±0g
اردستان (Ardestan)	+5(c)	100±0a	18.0±2.7a	20.7±2.4a	80.6±15.7a
	0	100±0a	17.0±2.5b	18.2±2.4b	77.3±15.6a
	-3	100±0a	13.8±1.9c	15.1±2.2c	73.4±15.5b
	-6	100±0a	11.9±1.6d	12.1±1.4d	61.9±12.0c
	-9	75±13.1b	9.2±1.8e	7.5±1.3e	35.6±10.1d
	-12	13±6.5c	1.7±0.9f	1.1±0.6f	6.9±4.7e
	-15	0±0d	0.0±0g	0.0±0g	0.0±0f
پابلند (Tall)	+5(c)	100±0a	12.6±1.6a	18.2±1.3a	80.4±14.7a
	0	100±0a	10.6±1.4b	16.0±0.9b	69.4±11.6b
	-3	100±0a	9.6±1.4c	13.8±0.7c	64.2±9.8c
	-6	100±0a	8.1±1.1d	12.1±0.7d	59.2±8.4d
	-9	100±0a	6.7±0.8e	9.0±0.8e	38.6±7.7e
	-12	0±0b	0.0±0f	0.4±0f	2.7±0f
	-15	0±0b	0.0±0f	0.0±0f	0.0±0g
پاکوتاه (Dwarf)	+5(c)	100±0a	10.5±1.4a	20.8±2.5a	91.8±15.7a
	0	100±0a	9.0±1.1b	18.9±2.2b	83.5±14.2b
	-3	100±0a	8.4±1.1bc	17.3±1.9c	77.8±13.1c
	-6	100±0a	6.8±0.8c	15.5±1.9d	69.2±11.1d
	-9	100±0a	5.8±0.8d	10.1±0.9e	49.3±7.2e
	-12	15±8.1b	1.0±0.5e	1.2±0.7f	10.0±5.5f
	-15	0±0c	0.0±0f	0.0±0g	0.0±0g
شیراز (Shiraz)	+5(c)	100±0a	19.3±2.3a	18.6±1.6a	71.4±15.9a
	0	100±0a	16.8±2.1b	16.6±1.6b	69.6±16.0a
	-3	100±0a	15.1±2.1c	14.2±1.5c	64.7±14.8b
	-6	100±0a	13.7±1.9d	11.4±1.4d	53.1±11.4c
	-9	100±0a	11.1±1.6e	9.3±1.1e	37.0±8.6d
	-12	0±0b	0.0±0f	0.0±0f	0.0±0e
	-15	0±0b	0.0±0f	0.0±0f	0.0±0e
شیروان (Shirvan)	+5(c)	100±0a	21.9±3.1a	25.6±2.4a	99.6±18.4a
	0	100±0a	19.4±2.8b	20.1±2.1b	90.4±18.7b
	-3	100±0a	16.5±2.5c	18.1±2.2c	80.8±16.6c
	-6	100±0a	13.7±2.1d	15.9±1.9d	75.8±15.7d
	-9	100±0a	11.1±1.6e	12.4±1.5e	50.2±6.8e
	-12	25±13.1b	1.0±0.5f	1.3±0.7f	8.5±4.6f
	-15	0±0c	0.0±0g	0.0±0g	0.0±0g
مشهد (Mashhad)	+5(c)	100±0a	20.9±2.9a	26.0±2.6a	99.0±16.9a

	0	100±0a	18.4±2.4b	21.6±1.9b	92.6±16.9b
	-3	100±0a	15.7±2.4c	18.5±1.9c	84.9±15.2c
	-6	100±0a	13.5±1.9d	16.9±1.8d	78.8±15.0d
	-9	100±0a	11.0±1.6e	13.4±1.6e	54.3±7.8e
	-12	47±14.5b	5.2±2.1f	3.1±0.9f	20.5±6.6f
	-15	0±0c	0.0±0g	0.0±0g	0.0±0g
نیشابور (Neyshabur)	+5(c)	100±0a	10.3±1.3a	21.9±1.6a	95.1±15.0a
	0	100±0a	8.6±1.2b	19.4±1.7b	92.5±14.7a
	-3	100±0a	8.0±1.2b	17.1±1.6c	83.9±13.5b
	-6	100±0a	6.6±0.9c	14.7±1.5d	79.0±12.9c
	-9	100±0a	5.3±0.9d	11.4±1.3e	59.0±8.6d
	-12	50±15.1b	3.1±1.2e	4.6±1.5f	20.9±7.2e
	-15	0±0c	0.0±0f	0.0±0g	0.0±0f
همدان (Hamedan)	+5(c)	100±0a	18.2±1.9a	19.8±1.4a	72.9±15.9a
	0	100±0a	16.5±1.6b	17.5±1.5b	63.1±12.9b
	-3	100±0a	14.3±1.3c	13.7±0.9c	55.7±11.2c
	-6	100±0a	12.1±1.2d	11.4±0.6d	50.1±9.6d
	-9	100±0a	8.8±1.1e	9.7±0.8e	40.4±5.6e
	-12	0±0b	0.0±0f	0.0±0f	0.0±0f
	-15	0±0b	0.0±0f	0.0±0f	0.0±0f
هندی (Hendi)	+5(c)	100±0a	18.0±2.4a	20.5±2.1a	76.0±15.7a
	0	100±0a	16.1±2.4b	16.9±2.1b	64.3±12.4b
	-3	100±0a	13.4±1.7c	14.7±2.1c	56.5±10.6c
	-6	100±0a	11.5±1.4d	13.8±2.2d	52.0±9.9d
	-9	100±0a	9.6±1.3e	9.7±1.9e	31.8±5.4e
	-12	0±0b	0.0±0f	0.0±0f	0.0±0f
	-15	0±0b	0.0±0f	0.0±0f	0.0±0f

میانگین‌هایی که در هر ستون برای هر اکوتیپ حداقل دارای یک حرف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. حروف نشان‌دهنده مقایسه میانگین‌ها به روش برش‌دهی می‌باشد.

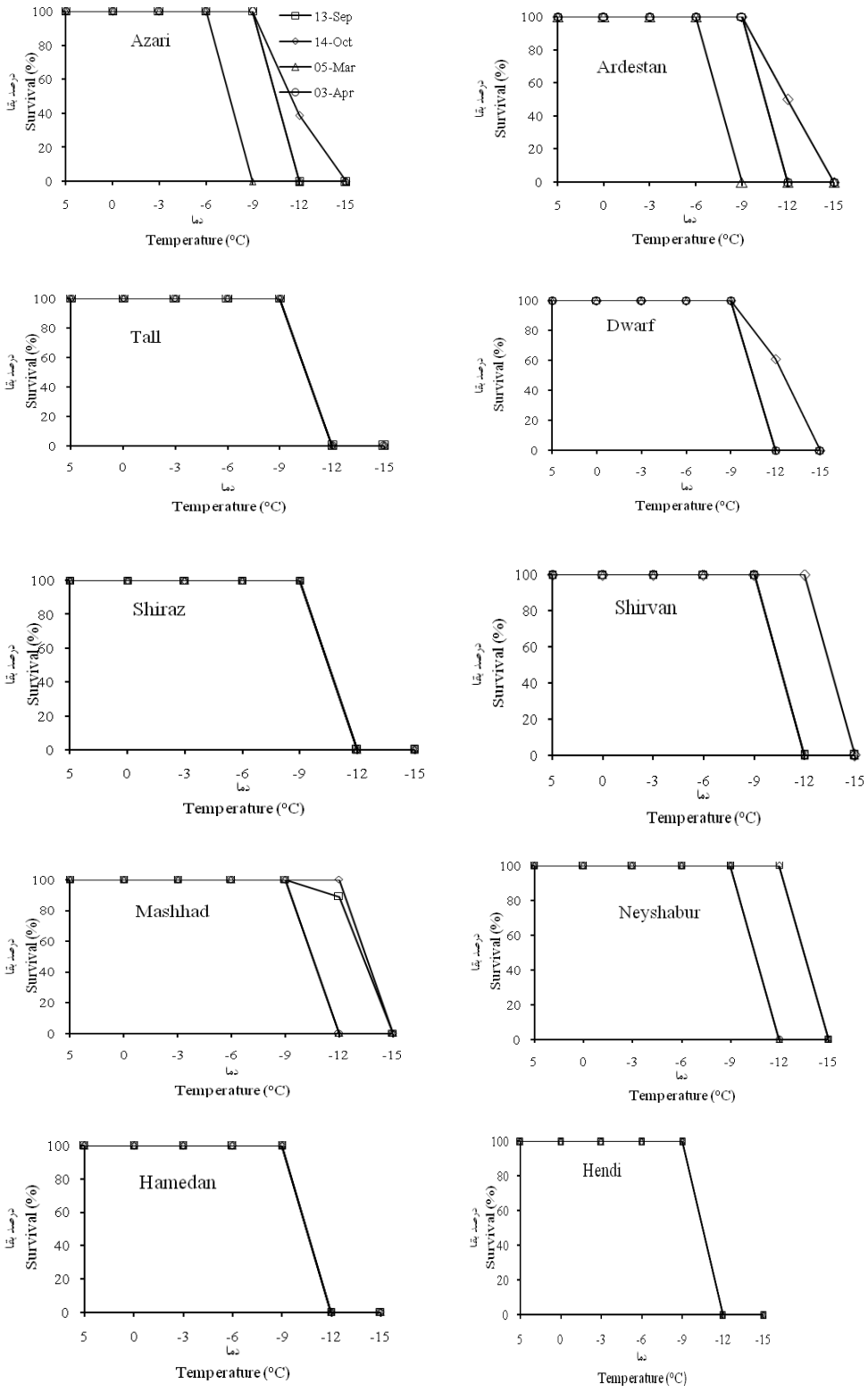
Within each column for each ecotypes, means fallowed by the same letter are not significantly different ($p<0.05$). The letters shows sliced mean comparisons.

کاهش دما به ۱۲- درجه سانتی‌گراد در کاشت دوم منجر به کاهش درصد بقاء در اکوتیپ‌های آذری، اردستان و پاکوتاه (به‌ترتیب ۶۱، ۵۰ و ۳۹ درصد نسبت به شاهد) شد و اکوتیپ‌های پابلند، شیراز، هندی و همدان از بین رفتند. با وجود این، سه اکوتیپ شیروان، مشهد و نیشابور در دمای مذکور دارای بالاترین درصد بقاء (۱۰۰ درصد) بودند. در کاشت‌های اسفند و فروردین نیز کاهش دما به ۱۲- درجه سانتی‌گراد منجر به از بین رفتن گیاهان تمام اکوتیپ‌ها شد (شکل ۱).

بررسی اثر تاریخ کاشت (۲۸ شهریور و ۳۰ مهر) بر روی چهار اکوتیپ سیر (*Allium sativum* L.) نشان داد که در تاریخ کاشت مهرماه اکوتیپ‌های نیشابور، خواف و بجنورد در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد دارای ۱۰۰ درصد بقاء بودند، در حالی‌که درصد بقاء اکوتیپ تربت حیدریه حدود ۷۸ درصد بود. همچنین در کاشت شهریور اعمال دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد مرگ ۲۰ درصد گیاهان اکوتیپ بجنورد را در پی داشت در حالی‌که سه اکوتیپ دیگر شدیداً آسیب دیده و یا کاملاً از بین رفتند (Pazireh, 2014).

اثرات متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر دمای ۵۰ درصد کشندگی براساس درصد بقاء معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود. در کاشت شهریور دو اکوتیپ مشهد و نیشابور دارای کمترین LT_{50su} بودند، در حالی‌که از این نظر بین سایر اکوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با تغییر کاشت از شهریور به مهر در اکوتیپ‌های شیروان، پاکوتاه، اردستان، آذری و مشهد LT_{50su} به‌ترتیب ۳/۲، ۲، ۱/۵، ۰/۹ و ۰/۲ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت، اما در سایر اکوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین تغییر کاشت از شهریور به ۱۵ اسفند ماه منجر به افزایش LT_{50su} در اکوتیپ‌های آذری، اردستان، مشهد و نیشابور (به‌ترتیب ۳، ۳، ۲/۹ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد) شد، در حالی‌که در سایر اکوتیپ‌ها LT_{50su} مشابه با کاشت اول بود. در کاشت چهارم نیز هرچند از نظر LT_{50su} تفاوت معنی‌داری بین اکوتیپ‌ها مشاهده نشد، اما مقدار آن در دو اکوتیپ مشهد و نیشابور به‌ترتیب ۲/۹ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به کاشت اول افزایش یافت (جدول ۲).

در مطالعه ۲۶ رقم گندم بین درصد بقاء و LT_{50su} گیاهان همبستگی معنی‌داری مشاهده شد ($r = ۰/۶۸^{**}$)، به‌طوری‌که با کاهش یک درجه‌ای LT_{50su}، بقاء به‌طور متوسط ۲۹ درصد افزایش داشت.



شکل ۱- اثرات متقابل تاریخ کاشت× اکوتیپ × دمای یخزدگی بر درصد بقای شنبلیله پس از اعمال تنش یخزدگی تحت شرایط کنترل‌شده

Figure 1- Interaction effects of sowing date × ecotype × freezing temperature on survival percentage of fenugreek plant after freezing under controlled conditions

ارقام گندم نورستار و فوربید که در بین ارقام مورد مطالعه کمترین LT_{50su} را داشتند، دارای بالاترین بقاء بودند (Skinner and Garland-Campbell, 2008). محققان در بررسی تحمل به یخزدگی نوعی یونجه یکساله (*M. truncatula*) به این نتیجه رسیدند که زمانی‌که گیاهان قبل از فریز از مرحله رشدی بالاتری برخوردار باشند بقای کمتری دارند. به عبارت دیگر تحمل به سرما در گیاهان تحت تأثیر مرحله رشدی قرار دارد و پیشرفت رشد گیاه از مرحله رشد رویشی به سمت رشد زایشی سبب کاهش تحمل آنها به درجه حرارت‌های پایین می‌گردد. به‌طوری‌که رشد بیشتر گیاهان در تاریخ‌های کاشت زودتر عاملی برای بالاتر بودن LT_{50su} و حساسیت بیشتر گیاهان به تنش یخزدگی محسوب می‌شود (Brandsater *et al.*, 2000). در این آزمایش با توجه به اینکه گیاهان کاشت شهریور (مرحله ۷ برگی) در مقایسه با کاشت مهر (مرحله ۵ برگی) و همچنین گیاهان کاشت اسفند (مرحله ۳ برگی) در مقایسه با کاشت فروردین (دارای برگ لپه‌ای)، در زمان اعمال تنش سرما در مرحله رشدی بالاتری قرار داشتند، تحمل کمتری به دماهای پایین از خود نشان دادند و از LT_{50su} بالاتری برخوردار بودند (جدول ۲).

اثرات متقابل اکوتیپ و دما بر ارتفاع شنبلیله معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود. هرچند کاهش دما از شاهد به ۹- درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش ارتفاع در تمامی اکوتیپ‌ها شد، اما بیشترین کاهش در اکوتیپ آذری (۶۰ درصد) و کمترین آن در اکوتیپ شیراز (۴۰ درصد) مشاهده شد. اکوتیپ‌های شیروان و نیشابور در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای شاهد به‌ترتیب بیشترین و کمترین کاهش ارتفاع (۹۵ و ۳۱ درصد) را داشتند، در حالی‌که اکوتیپ‌های پابلند، شیراز، همدان و هندی در شرایط مشابه از بین رفتند (جدول ۱).

نتایج بررسی بر روی گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) نیز نشان داد که در دو اکوتیپ گناباد و نیشابور با کاهش دما به ۷/۵- درجه سانتی‌گراد به لحاظ ارتفاع تفاوت معنی‌داری نسبت به دمای صفر مشاهده نشد در حالی‌که در اکوتیپ فردوس با کاهش دما ارتفاع گیاهان کاهش پیدا کرد (Khorsandi, 2013). در بررسی اثر دماهای یخزدگی بر ژنوتیپ‌های یونجه یکساله *M. truncatula* مشاهده شد که با کاهش دما از ۷- درجه سانتی‌گراد از ارتفاع ژنوتیپ‌ها کاسته شد ولی این کاهش در ژنوتیپ Jemalong-6 بیشتر بود (Thapa *et al.*, 2008).

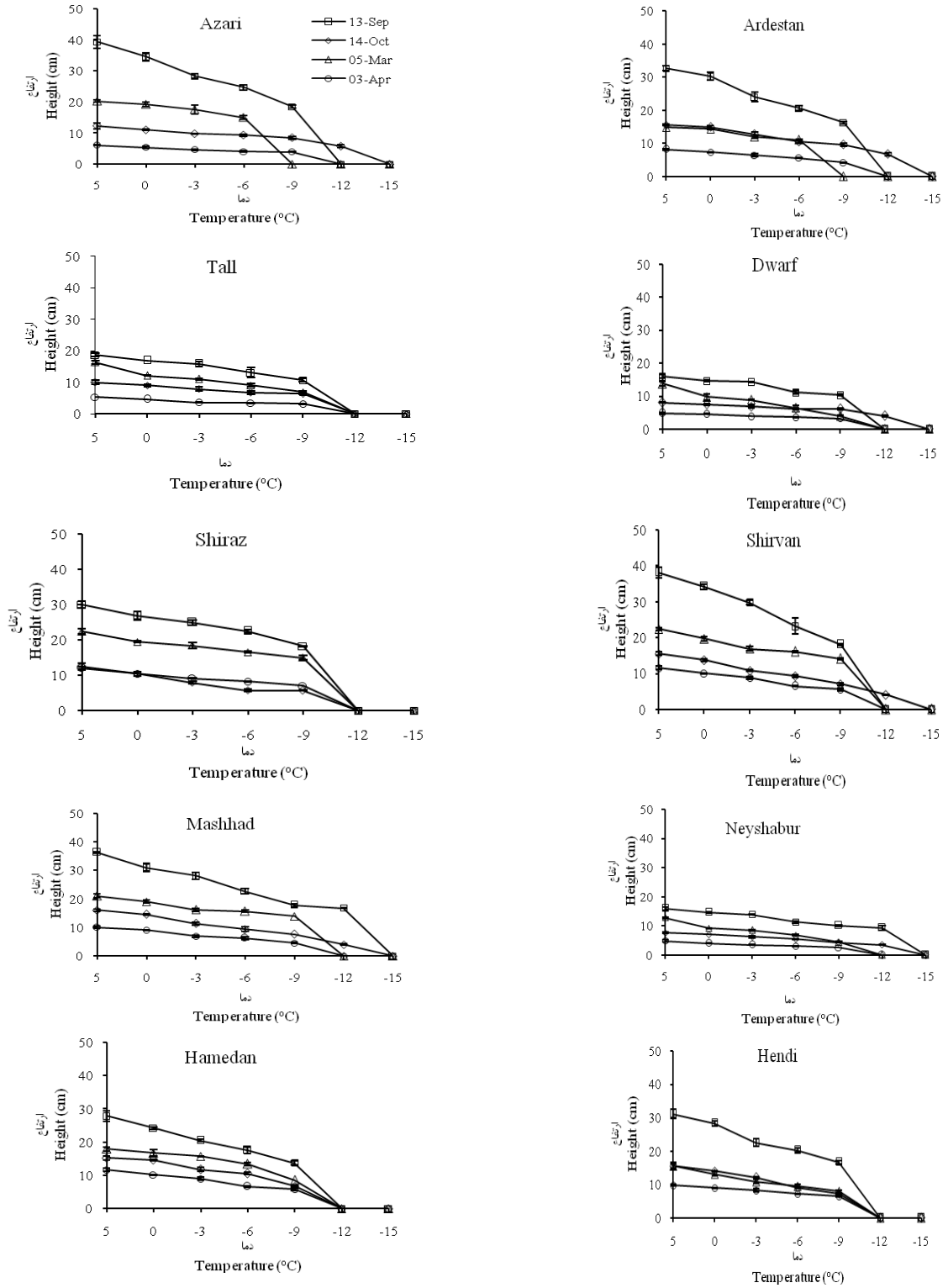
در تمام تاریخ‌های کاشت با کاهش دما ارتفاع گیاهان کاهش یافت، اما این کاهش بسته به اکوتیپ متفاوت بود (شکل ۲). در کاشت اول باکاهش دما به ۱۲- درجه سانتی‌گراد دو اکوتیپ مشهد و نیشابور به‌ترتیب ۵۴ و ۴۲ درصد کاهش ارتفاع نسبت به شاهد داشتند، اما در این وضعیت سایر اکوتیپ‌ها از بین رفتند. در کاشت دوم در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد نیز اکوتیپ‌های پابلند، هندی، همدان و شیراز از بین رفتند، اما اکوتیپ‌های مشهد و پاکوتاه به‌ترتیب دارای بیشترین (۷۵ درصد) و کمترین (۵۰ درصد) کاهش ارتفاع نسبت به دمای شاهد بودند (شکل ۲). اکوتیپ پاکوتاه در کاشت سوم با کاهش دما از صفر به ۹- درجه سانتی‌گراد بیشترین کاهش (۷۱ درصد) ارتفاع را داشت. با وجود این در کاشت‌های اول، دوم و چهارم، اکوتیپ پاکوتاه کمترین کاهش ارتفاع (به‌ترتیب ۳۵، ۲۴ و ۳۳ درصد) را در مقایسه با سایر اکوتیپ‌ها به خود اختصاص داد.

اثرات متقابل اکوتیپ و دمای یخزدگی بر سطح برگ معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود. با کاهش دما در تمام اکوتیپ‌ها این شاخص کاهش یافت، ولی در اکوتیپ‌های آذری و اردستان در دمای ۹- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای شاهد ۶۱ و ۶۳ درصد کاهش سطح برگ مشاهده شد، در صورتی‌که سایر اکوتیپ‌ها در شرایط مشابه حدود ۵۰ درصد کاهش سطح برگ داشتند (جدول ۱).

با کاهش دما به ۱۲- درجه سانتی‌گراد نیز اکوتیپ‌های اردستان و شیروان به‌ترتیب بیشترین کاهش سطح برگ (۹۵ و ۹۴ درصد) را نسبت به دمای شاهد داشتند، اما اکوتیپ نیشابور کمترین کاهش (۷۹ درصد) را در وضعیت مشابه داشت (جدول ۱).

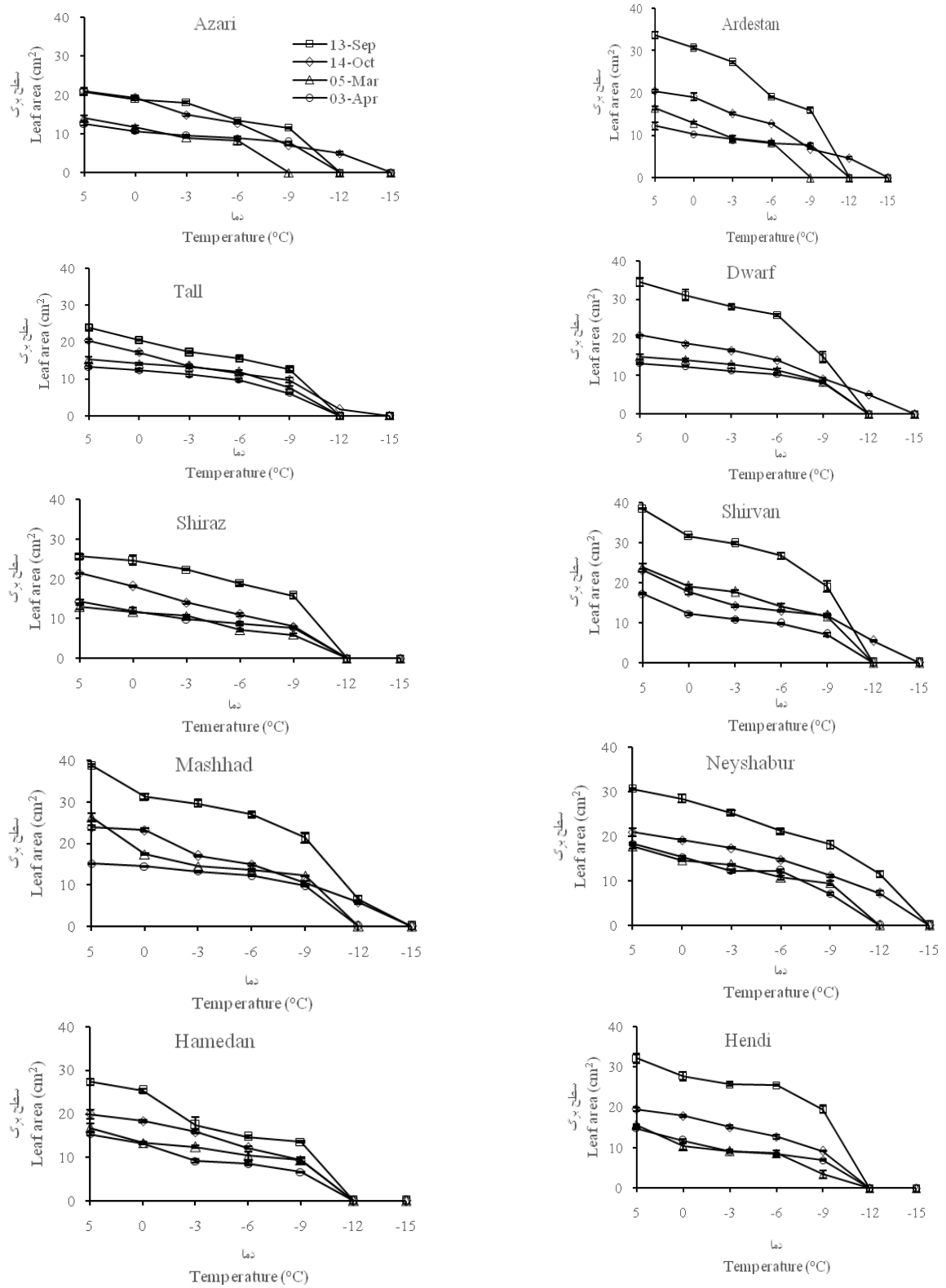
در مطالعه‌ای بر روی ارقام گندم (*Triticum aestivum*) که در معرض شش تیمار دمایی (صفر، ۴-، ۸-، ۱۲-، ۱۶- و ۲۰- درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند، در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد بیشترین کاهش سطح برگ مربوط به رقم MV-17 و به میزان ۹۸ درصد نسبت به دمای صفر بود (Azizi *et al.*, 2007). در بررسی تاپا و همکاران (Thapa *et al.*, 2008) بر روی یونجه یکساله *M. truncatula* و ارکولی و همکاران (Ercoli *et al.*, 2004) در بررسی سورگوم (*Sorghum bicolor*) نیز مشاهده شد که کاهش دما سبب کاهش سطح برگ گیاهان شده است.

سطح برگ به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.05$) تحت تأثیر تاریخ کاشت، اکوتیپ و دمای یخزدگی قرار گرفت. در کاشت اول (۲۳ شهریور) با کاهش دما به ۶- درجه سانتی‌گراد اکوتیپ‌های آذری و همدان در مقایسه با کاشت‌های دیگر کاهش سطح برگ بیشتری (۶۵ و ۴۶ درصد) داشتند، در حالی‌که سه اکوتیپ شیراز، شیروان و هندی از کاهش سطح برگ کمتری (۲۴، ۳۱ و ۲۱ درصد) برخوردار بودند. در کاشت دوم (۲۳ مهر) اکوتیپ‌های همدان، هندی و شیراز در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد از بین رفتند، اما سایر اکوتیپ‌ها زنده بودند و دارای برگ بودند و اکوتیپ نیشابور بیشترین سطح برگ را در این دما داشت (شکل ۳).



شکل ۲- اثرات متقابل تاریخ کاشت× اکوتیپ×دمای یخزدگی بر ارتفاع شنبلیله پس از اعمال تنش یخزدگی تحت شرایط کنترل‌شده
خطوط نشان‌دهنده خطای معیار میانگین‌ها می‌باشد.

Figure 2- Interaction effects of sowing date× ecotype × freezing temperature on height of fenugreek plant after freezing under controlled conditions. The bars indicate standard error (S.E.)



شکل ۳- اثرات متقابل تاریخ کاشت× اکوتیپ × دمای یخزدگی بر سطح برگ شنبلیله پس از اعمال تنش یخزدگی تحت شرایط کنترل‌شده خطوط نشان‌دهنده خطای معیار میانگین‌ها می‌باشد.

Figure 3- Interaction effects of sowing date× ecotype × freezing temperature on leaf area of fenugreek plant after freezing under controlled conditions. The bars indicate standard error (S.E.)

اثرات متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود. با تغییر کاشت از ۲۳ شهریور به ۲۳ مهر این شاخص در اکوتیپ‌های پابلند، پاکوتاه، شیروان، نیشابور و همدان کاهش و در اکوتیپ‌های اردستان، شیراز، مشهد و هندی افزایش یافت. بیشترین کاهش دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ مربوط به اکوتیپ پاکوتاه (۱/۶ درجه سانتی‌گراد) و کمترین افزایش آن متعلق به اکوتیپ‌های مشهد و هندی (۰/۴ درجه سانتی‌گراد) بود. در کاشت سوم نیز تمام اکوتیپ‌ها نسبت به کاشت اول و دوم از دمای کاهنده بیشتری برخوردار بودند. در حالی‌که در همین کاشت در اکوتیپ‌های شیروان، نیشابور و همدان $RLAT_{50}$ کمتر از کاشت چهارم بود، اما در سایر اکوتیپ‌ها با تغییر کاشت از ۱۵ اسفند به ۱۵ فروردین این شاخص کمتر شد (جدول ۳).

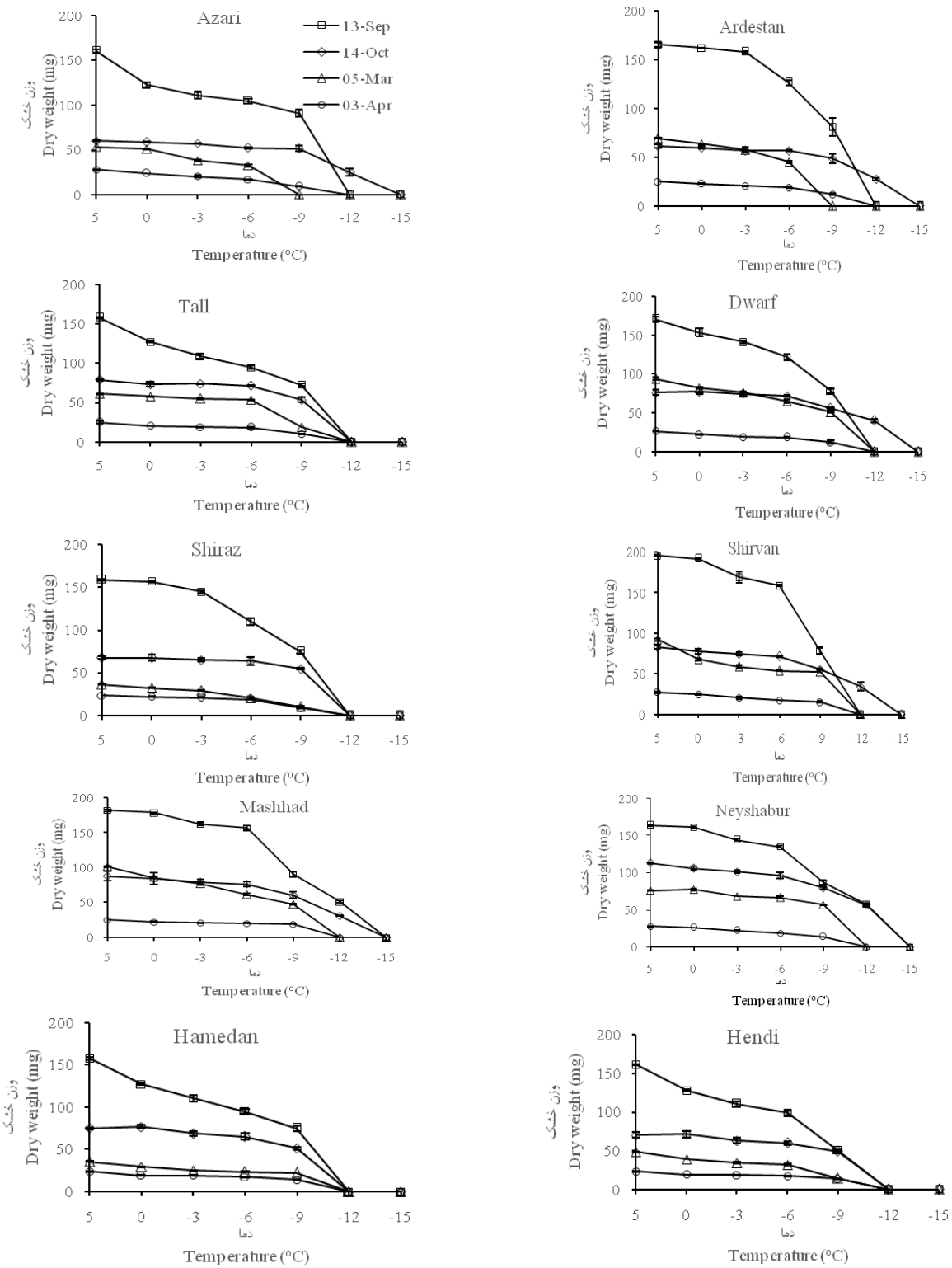
بین سطح برگ با درصد بقاء و ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). بنابراین به نظر می‌رسد گیاهانی که قادر به بقاء در دماهای یخزدگی بوده‌اند، توانسته‌اند رشد مجدد مناسب‌تری (از نظر ارتفاع و سطح برگ) داشته باشند.

در بررسی اثرات متقابل اکوتیپ و دمای یخزدگی بر وزن خشک شنبلیله مشاهده شد که با کاهش دما به ۶- درجه سانتی‌گراد بیشترین درصد کاهش وزن خشک نسبت به شاهد (۳۲ درصد) متعلق به دو اکوتیپ آذری و هندی است و کمترین آن (۱۷ درصد) مربوط به اکوتیپ نیشابور می‌باشد. با قرار گرفتن گیاهان در معرض دمای ۹- درجه سانتی‌گراد، اکوتیپ اردستان در مقایسه با سایر اکوتیپ‌ها کاهش وزن خشک بیشتری (۴۲ درصد) نسبت به شاهد داشت و کمترین کاهش وزن خشک نیز متعلق به اکوتیپ همدان بود (جدول ۱). در بررسی اثر تنش یخزدگی بر وزن خشک گیاه مینای چمنی (*Bellis perennis*) مشاهده شد که وزن خشک گیاهان تا دمای ۶- درجه سانتی‌گراد تحت تأثیر تنش یخزدگی قرار نگرفت، اما با کاهش بیشتر دما وزن خشک نیز کاهش یافت به‌طوری‌که میزان وزن خشک گیاهان در دمای ۱۴- و ۱۶- درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۲۶ و ۷۸ درصد کمتر از تیمار شاهد بود (Javad Mousavi *et al.*, 2011). در بررسی تحمل به یخزدگی چندین ژنوتیپ یونجه و شبدر یکساله نیز مشاهده شد که با کاهش دما از ۱- تا ۱۳- درجه سانتی‌گراد ماده خشک گیاهان به‌طور معنی‌داری کاهش داشته است، اما شدت این کاهش در ژنوتیپ *M. truncatula* Gaertn. cv. Paraggio بیشتر از سایرین بود (Hekneby *et al.*, 2006).

اثرات متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دمای یخزدگی بر وزن خشک شنبلیله معنی‌داری ($p\leq0.05$) بود. در کاشت دوم در دمای ۶- درجه سانتی‌گراد تمام اکوتیپ‌ها کاهش وزن خشک کمتری نسبت به دمای شاهد داشتند و گستره کاهش وزن خشک بین ۶ درصد (در اکوتیپ‌های پاکوتاه و شیراز) تا ۱۵ درصد (در اکوتیپ هندی) بود (شکل ۴). در این کاشت همچنین در دمای ۹- درجه اکوتیپ‌های آذری و شیراز کمترین وزن خشک (به‌ترتیب ۱۴ و ۱۹ درصد) را در مقایسه با دمای شاهد داشتند. در تاریخ کاشت اول علی‌رغم اینکه فقط دو اکوتیپ مشهد و نیشابور قادر به تحمل دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد بودند ولی وزن خشک آنها شدیداً کاهش یافت به‌طوری‌که به‌ترتیب ۷۲ و ۶۵ درصد نسبت به دمای شاهد کاهش وزن خشک داشتند (شکل ۴). در کاشت دوم کاهش دما به ۱۲- درجه سانتی‌گراد سبب کاهش کمتری در وزن خشک اکوتیپ‌های آذری، اردستان، پاکوتاه و شیروان به‌ترتیب (۵۸، ۵۵، ۴۸ و ۵۹ درصد) نسبت به سایر اکوتیپ‌ها شد. محققان کاهش وزن خشک در دوره بازیافت را ناشی از اثر خسارت یخزدگی بر گیاه و کاهش توانایی رشد مجدد آن می‌دانستند (Azizi *et al.*, 2007).

اثرات متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ نیز بر دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک ($RDMT_{50}$) معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود. در کاشت دوم کمترین میزان $RDMT_{50}$ متعلق به اکوتیپ پاکوتاه (۱۱/۹- درجه سانتی‌گراد) بود و بیشترین آن در اکوتیپ همدان (۹/۸- درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد (جدول ۲). با تأخیر در کاشت در کاشت‌های بهاره و پاییزه دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک در اکوتیپ‌ها کاهش یافت. به‌طوری‌که در کاشت دوم (مهرماه) نسبت به کاشت اول (شهریور) و در کاشت چهارم (فروردین) نسبت به کاشت سوم (اسفند) میزان دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک کمتر بود. در کاشت دوم تمامی اکوتیپ‌ها نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت از میزان $RDMT_{50}$ بالاتری برخوردار بودند. به نظر می‌رسد زمانی‌که اکوتیپ‌ها در مراحل رشدی پایین‌تر در معرض تنش یخزدگی قرار می‌گیرند از تحمل به یخزدگی بالاتری برخوردارند و کاهش ۵۰ درصد وزن خشک در آنها در درجه حرارت‌های پایین‌تری اتفاق می‌افتد.

وزن خشک گیاهان در پایان دوره بازیافت همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = ۰/۳^{*}$) با درصد بقاء داشت (جدول ۴). به عبارتی با افزایش درصد بقاء وزن خشک گیاهان در پایان دوره بازیافت پس از تنش نیز افزایش یافته است. وزن خشک گیاهان شنبلیله با ارتفاع و سطح برگ نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری (به‌ترتیب $r =۰/۷۴^{**}$ و $r=۰/۸۶^{**}$) داشت (جدول ۴). همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = ۰/۴^{**}$) بین LT_{50su} و $RDMT_{50}$ مشاهده شد. در آزمایشی بر روی ارقام چغندرقند نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۸۳^{**}$) بین $RDMT_{50}$ با LT_{50su} وجود داشت (Nezami *et al.*, 2010). در مجموع تنش یخزدگی منجر به کاهش درصد بقاء و $RDMT_{50}$ در اکوتیپ‌های شنبلیله شد.



شکل ٤- اثرات متقابل تاریخ کاشت× اکوتیپ × دمای یخزدگی بر وزن خشک شنبلیله پس از اعمال تنش یخزدگی تحت شرایط کنترل‌شده
خطوط نشان‌دهنده خطای معیار میانگین‌ها می‌باشد.

Figure 4- Interaction effects of sowing date× ecotype × freezing temperature on dry weight of fenugreek plant after freezing under controlled conditions. The bars indicate standard error (S.E.)

جدول ۲- اثرات متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر دمای ۵۰ درصد کشندگی گیاهان بر اساس درصد بقاء (LT_{50su}) در گیاه شنبلیله

Table 2- Interaction effects of sowing date and ecotype on LT_{50su} of fenugreek

Treatment تیمار	Sowing date تاریخ کاشت			
Ecotype اکوتیپ	13 September ۲۳ شهریور	14 October ۲۳ مهر	5 March ۱۵ اسفند	3 April ۱۵ فروردین
Azari آذری	-10.5±0a	-11.4±0.3b	-7.5±0a	-10.5±0a
Ardestan اردستان	-10.5±0a	-12.0±0c	-7.5±0a	-10.5±0a
Tall پابلند	-10.5±0a	-10.5±0a	-10.5±0b	-10.5±0a
Dwarf پاکوتاه	-10.5±0a	-12.5±0.3d	-10.5±0b	-10.5±0a
Shiraz شیراز	-10.5±0a	-10.5±0a	-10.5±0b	-10.5±0a
Shirvan شیروان	-10.5±0a	-13.7±0e	-10.5±0b	-10.5±0a
Mashhad مشهد	-13.4±0.3b	-13.7±0e	-10.5±0b	-10.5±0a
Neyshabur نیشابور	-13.7±0c	-13.7±0e	-10.5±0b	-10.5±0a
Hamedan همدان	-10.5±0a	-10.5±0a	-10.5±0b	-10.5±0a
Hendi هندی	-10.5±0a	-10.5±0a	-10.5±0b	-10.5±0a

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. حروف نشان‌دهنده مقایسه میانگین‌ها به روش برش‌دهی می‌باشد.

Within each column, means fallowed by the same letter are not significantly different ($p<0.05$). The letters shows sliced mean comparisons.

کاهش دما به کمتر از ۹- درجه سانتی‌گراد سبب کاهش درصد بقاء و بازیافت گیاهان در اغلب اکوتیپ‌های شنبلیله شد. بر اساس شاخص LT_{50su} شنبلیله در کاشت‌های پاییزه و بهاره قادر به تحمل دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد بودند (به‌جز دو اکوتیپ آذری و اردستان در کاشت سوم). گیاهان کشت شده در ۲۳ مهرماه (کاشت دوم) از نظر LT_{50su} نسبت به سایر کاشت‌ها برتری داشتند، به‌طوری‌که در اغلب اکوتیپ‌ها (به‌جز اکوتیپ‌های پابلند، شیراز، همدان و هندی) LT_{50su} کمتر از ۱۱- درجه سانتی‌گراد بود و سه اکوتیپ شیروان، مشهد و نیشابور در این کاشت دارای LT_{50su} معادل ۱۳/۵- درجه سانتی‌گراد بودند. گیاهان کشت شده در ۲۳ مهر از نظر $RDMT_{50}$ هم نسبت به سایر کاشت‌ها برتری داشتند و در این کاشت کاهش دما تا ۱۰- درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک گیاه در پایان دوره بازیافت نسبت به گیاهان شاهد شد، در صورتی‌که در کاشت ۲۳ شهریور کاهش دما تا ۹- درجه سانتی‌گراد منجر به این وضعیت شد. از نظر این شاخص نیز اکوتیپ‌های شیروان، مشهد، نیشابور و پاکوتاه در هر دو کاشت بهاره و پاییزه رشد مجدد بهتری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها داشتند، در صورتی‌که اکوتیپ‌های آذری و اردستان در کاشت پاییزه رشد مجدد بهتری نسبت به کاشت بهاره از خود نشان دادند.

نتیجه‌گیری

کاهش دما منجر به کاهش درصد بقاء و بازیافت در اکوتیپ‌های شنبلیله شد. در مجموع اکوتیپ‌های شیروان، مشهد، نیشابور و پاکوتاه از درصد بقاء و رشد مجدد بهتری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها برخوردار بودند.

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله از آن معاونت سپاسگزاری می‌شود.

جدول ۳- اثرات متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک در گیاه شنبلیله پس از پایان دوره بازیافت

Table 3- Interaction effects of sowing date and ecotype on $RDMT_{50}$ and $RLAT_{50}$ in fenugreek after recovery

Treatment تیمار	Sowing date تاریخ کاشت							
	$RDMT_{50}$				$RLAT_{50}$			
Ecotype اکوتیپ	13 September ۲۳ شهریور	14 October ۲۳ مهر	5 March ۱۵ اسفند	3 April ۱۵ فروردین	13September ۲۳ شهریور	14 Octoer ۲۳ مهر	5 March ۱۵ اسفند	3April ۱۵ فروردین
Azari آذری	-9.5±0.2c	-11.1±0.1bc	-6.8±0.1a	-7.7±0.4a	-9.3±0.2b	-9.3±0.2b	-6. 6±0.2a	-9.8±0c
Ardestan اردستان	-8.9±0.3abc	-11.5±0.2c	-6.8±0.1a	-9.1±0.2bc	-8.5±0.8a	-7.9±0.8a	-6.8±0a	-9.8±0.1c
Tall پابلند	-8.7±0.2ab	-10.1±0.2a	-8.1±0.1bc	-8.4±0.4b	-9.1±0.3b	-10.0±0.2c	-7.6±0.2b	-8.9±0.2b
Dwarf پاکوتاه	-8.6±0.2ab	-11.9±0.2c	-9.1±0.1cd	-8.8±0.7bc	-8.5±0.2a	-10.1±0.2c	-8.3±0.1bc	-9.9±0.1c
Shiraz شیراز	-8.7±0.1ab	-10.1±0.1a	-7.0±0.4ab	-8.3±0.1ab	-9.6±0.2b	-8.3±0.2a	-6.7±0.4a	-9.4±0.2bc
Shirvan شیروان	-8.3±0.1a	-11.3±0.6bc	-9.5±0.1d	-9.5±0.2c	-8.9±0.1ab	-9.3±0.6b	-8.9±0.1c	-8.3±0.2ab
Mashhad مشهد	-9.0±0.2abc	-10.9±0.2bc	-8.8±0.1c	-10.1±0.1c	-9.5±0.2b	-9.1±0.1b	-8.0±0.4bc	-9.7±0.1bc
Neyshabur نیشابور	-9.4±0.3c	-10.8±0.2b	-9.9±0.2d	-9.1±0.2c	-10.3±0.4c	-10.8±0.5c	-9.3±0.1c	-7.9±0.1a
Hamedan همدان	-8.8±0.4abc	-9.8±0a	-9.8±0.1d	-9.6±0.2c	-8.9±0.1ab	-9.4±0.1bc	-8.7±0.4c	-8.4±0.3ab
Hendi هندی	-9.2±0.1bc	-9.8±0.1a	-7.5±0.1b	-9.6±0.1c	-9.5±0.3b	-9.1±0.1b	-8.7±0.4c	-8.7±0.1ab

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. حروف نشان‌دهنده مقایسه میانگین‌ها به روش برش‌دهی می‌باشد.

Within each column, means fallowed by the same letter are not significantly different ($p<0.05$). The letters shows sliced mean comparisons.

جدول ٤- ضرایب همبستگی پیرسون بین درصد بقاء، دمای ۵۰ درصد کشندگی بر اساس درصد بقاء، ارتفاع، سطح برگ، دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ، وزن خشک و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک شنبلیله

Table 4- Pearson correlation coefficients between survival%, LT_{50su}, height, leaf area, $RLAT_{50}$, Dry weight and $RDMT_{50}$ of fenugreek

	درصد بقاء Survival %	LT_{50su}	ارتفاع Height	سطح برگ Leaf area	$RLAT_{50}$	وزن خشک Dry weight
LT50su	-0.99^{**}					
ارتفاع Height	0.06^{ns}	-0.06^{ns}				
سطح برگ Leaf area	0.30^{*}	-0.30^{*}	0.76^{**}			
RLAT50	-0.53^{**}	0.53^{**}	0.06^{ns}	-0.10^{ns}		
وزن خشک Dry weight	0.34^{*}	-0.34^{*}	0.74^{**}	0.86^{**}	-0.24^{ns}	
RDMT50	-0.40^{**}	0.40^{**}	0.07^{ns}	0.02^{ns}	0.24^{ns}	-0.08^{ns}

^{ns}، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد (۲۷۰= تعداد داده‌ها برای هر صفت)

ns, * and **: Non significant and Significant at 5 and 1 % probability levels, respectively (n=270)

References

1. Altuntas, E., Ozgoz, E., and Taser, O. F. 2005. Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seeds. Journal of Food Engineering 71: 37-43.
2. Anderson, N. O., and Gesick, E. 2004. Phenotypic markers for selection of winter hardy garden chrysanthemums (*Dendranthema grandiflora* Tzvelv). Scientia Horticulturae 101: 153-167.
3. Azizi, H., Nezami, A., Nassiri, M., and Khazaie, H. R. 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 5: 109-121. (in Persian with English abstract).
4. Bhattacharya, M., Chatterjee, R., Pan, S., Sharangi, A. B., Pariari, A., and Chattopadhyay, P. K. 2006. Growth and yield of different cultivars of fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.) as influenced by dates of sowing. Orissa Journal of Horticulture 34 (1): 69-71.
5. Brandsater L. O., Smeby T., Tronsmo A. M., and Netland J. 2000. Winter annual legumes for use as cover crops in row crops in northern regions: II. Frost resistance study. Crop Science 40: 175-181.
6. Cardona, C. A., Duncan, R. R., and Lindstrom, O. 1997. Low temperature tolerance assessment in paspalum. Crop Science 37: 1283-1291.
7. Ebubekir, A., Engin, O., and Faruk, T. 2005. Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seeds. Journal of Food Engineering 71: 37-43.
8. Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A., and Arduini, I. 2004. Growth responses of sorghum plants to chilling temperature and duration of exposure. European Journal of Agronomy 21: 93-103.
9. Fry, J. D., Lang, N. S., Clifton, R. G. P., and Maier, F. P. 1993. Freezing tolerance and carbohydrate content of low temperature-acclimated and nonacclimated centipede grass. Journal of Crop Science 33: 1051-1055.
10. Grace, M., Pietsch, N., Anderson, O., and Li, P. H. 2009. Cold tolerance and short day acclimation perennial *Guara coccinea* and *G.drummondii*. Scienitica Horticulture 120: 418-425.
11. Hazrati, E. 2014. Evaluation of growth and physiological traits of clover (*Trifolium spp* L.) species affected by freezing stress under controlled conditions. MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
12. Hekneby, M., Antolin, M. C., and Sanchez-Diaz, M. 2006. Frost resistance and *biochemical* changes during cold acclimation in different annual legumes. Environmental Experimental Botany 55: 305-314.
13. Javad Mousavi, M., Nezami, S., Izadi, E., Nezami, A., Yousef Sani, M., and Keykha Akhar, F. 2011. Evaluation of freezing tolerance of English daisy (*Bellis perennis)* under controlled conditions. Journal of Water and Soil 25 (2): 380-388. (in Persian with English abstract).
14. Kafi, M., and Damghani-Mahdavi, M. 2000. Resistance mechanisms of environmental stresses in plants. Ferdowsi University of Mashhad press. (in Persian).
15. Khorsandi, T. 2013. Evaluation of late spring cold tolerance in Black cumin (*Nigella sativa* L.) ecotypes under controlled conditions. MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
16. Lindow, S. E., Arny, D. C., and Upper, C. D. 1982. Bacterial ice nucleation: A factor in frost injury to plants. Plant Physiology 70: 1084-1089.
17. Maletic, R., and Jevdjovic, R. 2007. Sowing date- the factor of yield and quality of fenugreek seed (*Trigonella foenum-gracum* L.). Journal of Agricultural Sciences, Belgrade 52 (1): 1-8.
18. Mir, Z., Acharya, S. N., Mir, P. S., Taylor, W. G., Zaman, S., Mears, G., and Goonewardene, L. A. 1996. Nutrient composition, in vitro gas production and digestibility of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and alfalfa forages. Canadian Journal of Animal Science 77: 119-124.
19. Mir, Z., Mir, P. S., Acharya, S. N., Zaman, M. S., Taylor, W. G., Mears, G. J., McAllister, T. A., and Goonewardene, L. A. 1998. Comparison of alfalfa and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) silages supplemented with barley grain on performance of growing steers. Canadian Journal of Animal Science 78: 343-349.
20. Mirmohamadi Meibodi, A., and Tarkeshe Esfahani, C. 2004. Aspects of Physiology and Breeding for Cold and Freezing in Crops. Golbon Publication, Isfahan, Iran 223 pp. (in Persian).
21. Moshtaghi, N., Bagheri, A. R., Nezami, A., and Moshtaghi, S. 2009. Investigation of betaine spray on freezing tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in controlled conditions. Iranian Journal. Field Crops Research 7: 647-656. (in Persian with English abstract).
22. Murray, G. A., Eser, D. L., Gusta, V., and Eteve, G. 1988. Winter hardiness in pea, lentil, faba bean and chickpea. In Summerfield R.J., (ed.) World crops: cool season food legumes. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. P: 831-843.
23. Najafpor Navaee, M. 1994. Issues on fenugreek. Research Institute of Forests and Rangelands Publication, No: 127. Pp: 18. (in Persian).
24. Nazar, A. N., and Tinay, A. H. 2007. Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) protein concentration. Journal of Food Chemistry 103: 582-589.
25. Nezami, A., Hajmohammadnia- Ghalibaf, K., and Kamandi, A. 2010. Evaluation of freeze tolerance of sugarbeet

cultivars (*Beta vulgaris* L.) in controlled conditions. Environmental Stress in Crop Sciences 3 (2): 177-187. (in Persian).
26. Nezami, A., Sanjani, S., Soleimani, M. R., Nassiri-Mahallati, M., and Bannayan, M. 2012. Eavluation of freezing tolerance of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under controlled conditions. Journal of Agriculture- stiinta si practica 2: 75-84.
27. Omid baigi, R. 2004. Production and processing of medicinal plants. Astane Ghodse Razavi Publication. 149 (3): 397. (in Persian).
28. Pazireh, S. 2014. Evaluation of tolerance freezing traits and recovery of four garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes under semi-controlled conditions. MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
29. Sandor, P., and Kismanyoky, A. 2004. Comparative test of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.). Journal of Central European Agriculture 4: 259-262.
30. Seghatoleslami, M. G., and Ahmadi Bonakdar, K. H. 2010.The effect of sowing date and plant density on yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26 (2): 265-274. (in Persian with English abstract).
31. Singh, K. B., Malhotra, R. S., Halila, M. H., Knights, E. J., and Verma, M. 1994. Current status and future strategy in breeding chickpea for resistance to biotic and abiotic stresses. Euphytica 73: 137-149.
32. Skinner, D. Z., and Garland-Campbell, K. A. 2008. The relationship of LT_{50} to prolonged freezing survival in winter wheat. Canadian Journal of Plant Science 88: 885-889.
33. Thapa, B., Arora, R., Knapp, A., and Brummer, E. C. 2008. Applying Freezing Test to Quantify Cold Acclimation in *Medicago truncatula*. Journal of American. Society. Horticultural Science 133 (5): 684-6.
34. Warrington, I. J., and Southward, R. C. 1995. Seasonal frost tolerance of *Hebe* species and cultivars. New Z.J. Crop Horticulture Science 23: 437-445.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 299-315

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۱۵-۲۹۹

Evaluation of Freezing Tolerance in Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.)

S. M. Mirmiran[1]- A. Nezami[2*]- M. Kafi[2]

Received: 01-10-2015
Accepted: 22-08-2017

Introduction

Plants grow well only within a specific temperature range. Getting out of this range is regarded as a stress. Low temperature is regarded as one of the important abiotic stress among the main factors threatening the growth of plants in temperate regions that causes disorder in the growth, development and operation of the plant by affecting some of vital processes of the plant. Environmental stresses especially cold stress affects the morphological and physiological features of the plant. Among these effects are damage to the cell membrane and change in its properties, reduction in photosynthesis and carbon dioxide efficiency, change in chlorophyll fluorescence characteristics, synthesis of chlorophyll and reducing the relative amount of water content. Since rapid and effective assessment of plant cold tolerance is important for researchers and also field trials have no regular process and have high error, different kinds of artificial freeze tests such as survival percentage test and regrowth after using stress has been developed.

Materials and Methods

In order to investigate the cold tolerance of Fenugreek, an investigation was done in factorial arrangement and in a completely random design in three replications in 2013-2014, in College of Agriculture in Ferdowsi University of Mashhad. The investigated factors include sowing date in four levels (September 13, October 14, March 5, and April 3), ecotype in 10 levels (Azari, Ardestan, Tall, Dwarf, Shiraz, Shirvan, Mashhad, Neishabur, Hamedan and Hendi) and freezing temperature in seven levels (control, 0, -3, -6, -9, -12, -15 °C). The plants grew in pots and cold acclimation in outside conditions then the plants which were planted in September and October as well as March and April. The pots were transferred to the freezer thermo gradient to apply the cold temperature in the middle of January and in the middle of May, respectively. Four weeks after applying the stress, survival percentage, Lethal Temperature 50% of Plant according to the Survival Percentage (LT_{50su}), height, leaf area, Reduced Leaf Area Temperature ($RLAT_{50}$), dry weight and Reduced Dry Matter Temperature 50 ($RDMT_{50}$) were measured.

Results and Discussion

All ecotypes (except for Azari and Ardestan ecotypes) in the third sowing date could tolerate lowering temperature to -9 °C in every four sowing date. Lowering temperature to -12 °C also led to the death of all ecotypes in March and April sowing dates, while in September sowing date despite the death of most Fenugreek ecotypes, both Neyshabur and Mashhad ecotypes could tolerate this temperature. Also, in October 14 sowing date, in Neyshabur, Mashhad and Shirvan ecotypes the survival percentage was high, but the survival percentage of Azari, Ardestan and Tall compared with the control treatment decreased 61, 50 and 39, respectively, and the other ecotypes were destroyed completely. Ecotypes of Mashhad and Neyshabur had the lowest LT_{50su} in the first and second sowing dates but in the third and fourth sowing date no significant differences was seen in this respect. In March 5 sowing date, after lowering temperature to -9 °C, the maximum percentage of decrease in height compared with control was in Dwarf ecotype (71 percent) and the minimum was seen in Shiraz (33 percent). In spite of this, Dwarf ecotype in the other sowing dates assigned to itself the lowest decrease percentage of height (respectively 35, 24 and 33 percent) and had a better ability to recovery. In every four sowing date lowering the temperature to -12 °C caused the total mortality of Hamedan, Hendi and Shiraz and they didn't have any leaf surface, but the response of the other ecotypes in October 14 sowing date was different. Two ecotypes Tall and Neyshabur having the highest (92 percent) and the lowest (66 percent) decrease in leaf surface compared with the control temperature were known as the most sensitive and the most tolerant ecotypes in this sowing date. In October 14 sowing date the response of the ecotypes to -6 °C compared with the other sowing date was better and the highest dry weight was associated with this date by lowering the temperature to -9 °C two ecotypes of Shirvan and Azari had the highest and the lowest decrease in dry weight (respectively 33

1- Department of Agronomy, Payame Noor University, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Nezami@um.ac.ir)

and 14 percent) in the second sowing date.

Conclusions

Lowering the temperature to less than -9 °C causes a decrease in the plant survival percentage and recovering in most of the ecotypes of Fenugreek. In spite of this, percentage of the plant survival depending on the sowing date, so that in the second sowing date the percentage of survival was more than the other sowing dates and except for Shiraz, Hamedan and Hendi ecotypes, the other ecotypes were able to tolerate -12 °C. Ecotypes of Shirvan, Mashhad, Neyshabur and Dwarf under both of spring and fall sowing dates had a better regrowth than the other ecotypes, while Azari and Ardestan ecotypes under the fall sowing showed a better regrowth than spring sowing date. There was a significant correlation between RLAT50 and RDMT50 with LT_{50su} ($r = 0.53^{**}$ and $r = 0.64^{**}$, respectively), probably this subject shows the efficiency and the possibility of replacing each of these indexes in the investigation of the cold tolerance in Fenugreek. To sum up, the ecotypes of Mashhad, Neyshabur, Shirvan and Dwarf showed a better tolerance to freezing than the other ecotypes.

Keywords: Dry matter, Height, Cold stress, Leaf area, Sowing date, Survival percentage

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۳۲-۳۱۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 317-332

تأثیر کود سبز و مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

حامد جوادی[۱]- پرویز رضوانی مقدم[۲*]- محمدحسن راشد محصل[۳]- محمدجواد ثقه‌الاسلامی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۴

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کود سبز و مقادیر نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه، آزمایشی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. چهار نوع کود سبز شامل: شاهد (بدون کود سبز)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.)، منداب (*Eruca sativa* L.) و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای به‌عنوان عامل اصلی و سه سطح نیتروژن خالص شامل: صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل فرعی بودند. ویژگی‌های مورد مطالعه در این تحقیق شامل شاخص کلروفیل‌متر، ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد و عملکرد روغن، عملکرد تر و خشک ساقه، برگ و کل و نسبت برگ به ساقه بودند. نتایج نشان داد که هیچ‌یک از ویژگی‌های مورد مطالعه در چین اول تحت تأثیر کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل این دو عامل قرار نگرفت. در چین دوم اثر نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود و افزایش نیتروژن باعث افزایش این صفات گردید. درمجموع دو چین اثر کود سبز سبب افزایش معنی‌دار درصد روغن گردید. هم‌چنین اثر نیتروژن بر عملکرد تر و خشک ساقه، برگ و کل معنی‌دار بود، به‌طوری‌که افزایش نیتروژن باعث افزایش این ویژگی‌های گردید. اثر متقابل کود سبز و نیتروژن درمجموع دو چین بر هیچ‌یک از ویژگی‌های فوق معنی‌دار نشد. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، کود سبز و نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی دانه تأثیری نداشت، اما با در نظر گرفتن هزینه تولید و مسائل زیست محیطی کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار جهت تولید علوفه در شهرستان بیرجند مناسب می باشد.

واژه‌های کلیدی: روغن دانه، عملکرد دانه، عملکرد علوفه، ماشک گل خوشه‌ای، منداب

مقدمه

خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گیاهی یک‌ساله و چهار کربنه از خانواده Portulacaceae است که به تنش‌های محیطی ازجمله شوری و خشکی مقاوم می‌باشد (Kafi and Rahimi, 2010; Rahimi and Kafi, 2010 a; Rahimi *et al*., 2010; Rahimi *et al*., 2011; Rahimi and Kafi, 2010 b). این گیاه بومی ایران بوده و سابقه کشت آن به بیش از ۲۰۰۰ سال برمی‌گردد (Asadi *et al*., 2007). خرفه ازلحاظ گستردگی، هشتمین گیاه متداول در دنیا می‌باشد (Pirian and Piri, 2014). این گیاه در مناطق جنوبی کشور به‌عنوان یک سبزی مهم مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. خرفه در بسیاری از کشورهای دنیا برای اهداف گوناگون ازجمله تغذیه انسان، صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد. ازنظر خواص دارویی، این گیاه مدر، ضد کمبود ویتامین ث، معالج سرفه‌های مقاوم، تصفیه‌کننده خون، تب‌بر، مفید درترمیم سوختگی‌ها، شل‌کننده عضلات، ضد تشنج، ضدالتهاب، کاهش‌دهنده خطر بیماری‌های قلبی و عروقی، رفع تشنگی می‌باشد. در اندام‌های مختلف این گیاه مواد معدنی متعددی ازجمله آهن، مس، منگنز، پتاسیم، کلسیم و فسفر وجود دارد همچنین این گیاه دارای مواد لعابی، پکتین، پروتئین، کربوهیدرات، اسیدهای چرب به‌ویژه اسیدهای چرب امگا- ۳ و امگا- ۶، مواد آنتی‌اکسیدان و ویتامین‌هایی ازجمله ویتامین A، C، E می‌باشد (Aynanlvfr *et al*., 2014; Asadi *et al*., 2007; Ghorbani and Kiapoure, 2012; Kafi and Rahimi, 2010; Soltaninejhad *et al*., 2013).

نیتروژن، کلیدی‌ترین عنصری است که باعث باروری خاک و تولید محصولات کشاورزی می‌شود و در مقایسه با سایر عناصر

۱- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، پردیس بین‌الملل، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند
(*- نویسنده مسئول: (Email: rezvani@um.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.57017

ضروری مقدار بیشتری از آن مورد نیاز گیاه می‌باشد (Berenguer *et al*., 2009). حساسیت رشد گیاهان نسبت به مصرف کود نیتروژن حائز اهمیت است، به‌طوری‌که کاهش محتوی نیتروژن خاک، تولید اندام‌های رویشی و شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد و در نهایت باعث کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود (Dordas and Sioulas, 2008). نتایج پژوهش محققان متعددی بیانگر اثر مثبت نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشد (Valadabadi *et al*., 2010; Heidari and Jahantighi, 2013; Moosavi *et al*., 2013; Nasirzade *et al*., 2015). در تحقیقی، کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک کل، عملکرد دانه، عملکرد روغن و کاهش درصد روغن در خرفه شد، اما ارتفاع بوته و وزن تر و خشک برگ تحت تأثیر قرار نگرفت (Inanloofar *et al*., 2013). در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از کود شیمیایی (۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به همراه ۱۵۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار) نسبت به کود آلی باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد انشعابات فرعی در بوته، وزن خشک و میزان کلروفیل برگ و کاهش درصد روغن خرفه شد (Soltaninejhad *et al*., 2013). در تحقیقی، مشخص گردید استفاده از تیمارهای تلفیقی کود آلی و شیمیایی (نیتروژن) می‌تواند ضمن افزایش عملکرد علوفه خرفه باعث کاهش مصرف نیتروژن و جلوگیری از هدر رفت آن گردد (Yusefian Ghahfarokhi *et al*., 2015).

در سال‌های اخیر، توجه به سلامت خاک و کیفیت خاک به منظور تولید پایدار محصولات زراعی و دارویی شدت یافته، به‌طوری‌که در کشورهای صنعتی برای تولید غذای سالم استفاده از نهاده‌های طبیعی و درون مزرعه‌ای موردتوجه ویژه قرارگرفته است (Den Hollander *et al*., 2007). از طرف دیگر افزایش قیمت‌های جهانی حامل‌های انرژی، کشاورزان را به استفاده از روش‌های جایگزین به‌منظور کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی ترغیب کرده است (Hiltbrunner *et al*., 2007). یکی از راهکارهای عملی برای رسیدن به این هدف، زراعت گیاهان پوششی و کود سبز می‌باشد. کودهای سبز، گیاهانی هستند که برای مدت معین در زمین‌های زراعی کاشته شده و در مرحله مشخصی از رشد به‌منظور بهبود ساختمان و حاصلخیزی خاک، به زمین برگردانده می‌شوند. برگشت کودهای سبز در خاک باعث افزایش میزان کربن، ماده آلی و نیتروژن کل خاک شده و با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد (Talgre *et al*., 2009). استفاده از گیاهان لگوم به‌عنوان کود سبز در تناوب با گیاهان زراعی می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی باشد. لگوم‌ها به دلیل داشتن توانایی تثبیت نیتروژن هوا و هم‌چنین فراهم کردن شرایط برای فعالیت ریزجانداران مفید خاکزی، به‌طور گسترده‌ای در سیستم‌های زراعی به‌عنوان کودهای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hooker *et al*., 2008). برخی از محققان کشت گیاهان لگوم را به‌طور میانگین معادل اضافه کردن صفر تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن معدنی به خاک در نظر می‌گیرند (Bergkvist *et al*., 2011). در آزمایش‌های متعددی به اثرات مثبت گیاهان لگوم برای محصول بعدی اشاره‌شده است. در یک آزمایش، استفاده از مخلوط ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia panunica* L.) با جو (*Hordeum vulgare* L.) به‌عنوان کود سبز در مقایسه با شاهد (عدم کاشت گیاه) باعث افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد غلاف بارور، عملکرد دانه، میزان کلروفیل برگ و میزان نیتروژن برگ و دانه در نخود (*Cicer arietinum* L.) شد، اما تأثیری بر تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه نخود نداشت (Ghalavand *et al*., 2009). کاربرد ماش (*Vigna radiate* L.) به‌عنوان کود سبز در مقایسه با شاهد (آیش) باعث افزایش تعداد سنبله در مترمربع، سنبلچه در سنبله، دانه در سنبلچه، دانه در مترمربع، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در گندم (*Triticum aestivum* L.) شد، اما بر وزن هزار دانه تأثیری نداشت (Modhej and Mohamadpour, 2013). در یک تحقیق، کاشت مخلوط شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) به‌عنوان گیاه پوششی در مقایسه با عدم کاشت گیاه پوششی باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد دانه در بوته، وزن خشک اندام‌های هوایی، عملکرد دانه و شاخص برداشت ریحان (*Ocimum basilicum* L.) شد، اما تعداد ساقه فرعی، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک را تحت تأثیر قرار نداد (Jahan *et al*., 2014 a). در تحقیقی دیگر، کاشت مخلوط شبدر ایرانی و خلر به‌عنوان گیاه پوششی در مقایسه با عدم کاشت گیاه پوششی باعث افزایش عملکرد میوه در کدو تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) و درصد نیتروژن خاک گردید، درحالی‌که تأثیری بر عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته و درصد روغن نداشت (Jahan *et al*., 2014 b). نتایج مطالعه کاربرد شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) و جو به‌عنوان کود سبز در مقایسه با شاهد (عدم کاشت گیاه) در ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) نشان داد که کاربرد کود سبز باعث افزایش ۲۳ درصدی میزان نیتروژن خاک شد. میزان نیتروژن برگ، نیتروژن جذب‌شده توسط دانه و عملکرد دانه در کاربرد شبدر نسبت به جو افزایش بیشتری داشت (Momeni *et al*., 2014). کاشت مخلوط شبدر ایرانی و خلر به‌عنوان گیاه پوششی در مقایسه با شاهد (عدم کاشت گیاه) در کنجد (*Sesamum indicum* L.) باعث افزایش تعداد غلاف در بوته، وزن دانه در بوته و عملکرد دانه شد، اما تأثیری بر شاخص برداشت و درصد روغن نداشت (Jahan *et al*., 2013).

با توجه به اهمیت خرفه به‌عنوان یک گیاه دارویی و افزایش تولید آن در کشور، تاکنون اطلاعات دقیقی در خصوص نیاز کودی این محصول در دسترس نیست و کشاورزان برای تولید آن مقدار زیادی

کود شیمیایی مصرف می‌کنند که این موضوع علاوه بر هدر رفت سرمایه، باعث آلودگی محیط‌زیست می‌گردد. بنابراین در راستای کاهش مصرف کود شیمیایی و کمک به ایجاد پایداری در تولید خرفه، این پژوهش باهدف بررسی تأثیر کود سبز و مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه در شهرستان بیرجند به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. محل آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک است. میانگین ۱۵ ساله بارندگی این منطقه ۱۷۶ میلی‌متر، حداکثر دمای آن ۳۹/۱، حداقل دما ۱۷- و متوسط دمای روزانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. نتایج تجزیه خاک، منطقه مورد نظر در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳

Table 1- Results of soil analysis at 0-30 cm depth in the growing season 2014-2015

بافت خاک Texture	هدایت الکتریکی EC ($ds\ m^{-1}$)	اسیدیته pH	مواد آلی OM (%)	نیتروژن N (ppm)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
لوم رسی (Loam- clay)	2.89	7.14	0.46	0.147	5.4	276

این آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل انواع کود سبز: (۱- شاهد (بدون کود سبز)، ۲- ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.)، ۳- منداب (*Eruca sativa* L.)، ۴- مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای) و عامل فرعی شامل کود نیتروژن به‌صورت خالص در سه سطح شامل صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند. در این تحقیق اندازه هر کرت ۴×۳ متر (۱۲ مترمربع)، فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر، فاصله بین کرت‌های اصلی ۳ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۳ متر در نظر گرفته شد. در اوایل آبان ماه آماده‌سازی زمین صورت گرفت. کاشت منداب و ماشک گل خوشه‌ای در ۲۰ آبان ماه سال ۱۳۹۳ با دست به‌صورت خشکه‌کاری و کرتی انجام شد. میزان بذر مصرفی برای منداب ۲۰ کیلوگرم در هکتار (وزن هزار دانه ۳ گرم)، برای ماشک گل خوشه‌ای ۱۳۵ کیلوگرم در هکتار (وزن هزار دانه ۵۴ گرم) و مخلوط دو گیاه منداب و ماشک گل خوشه‌ای به‌ترتیب ۱۰ و ۶۷/۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد. پس از تکمیل دوره رویشی و قبل از ورود به دوره زایشی، اندام‌های هوایی منداب (زمان آغاز گل‌دهی در ۲۸ اسفند) و ماشک گل خوشه‌ای (زمان آغاز گل‌دهی در ۱۰ فروردین) با تیلر به زمین برگردانده شد. زمان برگرداندن اندام‌های هوایی مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای به خاک در ۲۸ اسفند بود.

عملیات کاشت خرفه در ۱۰ اردیبهشت سال ۱۳۹۴ با دست و به‌صورت خشکه‌کاری در کرت‌های مذکور انجام شد. در این آزمایش فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۵ سانتی‌متر (تراکم ۱۶۶۶۶۶/۶ بوته در هکتار) در نظر گرفته شد (Javadi *et al.*, 2008). جهت دستیابی به تراکم فوق، ابتدا بذرها با تراکم بالا کشت شد، سپس با عمل تنک کردن در دو مرحله شش و هشت برگی، تراکم مورد نظر حاصل شد. پس از کاشت، نسبت به آبیاری هر کرت به‌صورت جداگانه، توسط سیفون اقدام شد. آبیاری پس از سبز شدن، هر ۷ روز یک‌بار تا پایان فصل رشد ادامه یافت. در این آزمایش، مصرف کود نیتروژن بر اساس تجزیه خاک انجام گرفت. کود نیتروژن بر اساس تیمار موردمطالعه از منبع اوره در دو مرحله (نصف قبل از کاشت و در اوایل بهار، نصف پس از چین اول) به‌صورت سرک در اختیار گیاه قرار گرفت. عملیات مبارزه با علف‌های هرز طی سه نوبت با دست انجام پذیرفت. در طول فصل رشد آفت خاصی مشاهده نگردید، اما در چین دوم بیماری زنگ سفید (*Wilsoniana portulacae*) مشاهده و جهت جلوگیری از خسارت از سم ریدومیل[1] به میزان ۱/۵ در هزار استفاده شد.

در طی فصل رشد این گیاه دو چین برداشت (چین اول در تاریخ ۹۴/۴/۲۸ و چین دوم در تاریخ ۹۴/۶/۲۶) شد. اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد مطالعه در هر چین به‌صورت جداگانه انجام گرفت. از هر کرت به‌صورت تصادفی ۱۰ بوته انتخاب و ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل‌متر[2] اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین اجزای عملکرد پنج بوته به‌طور تصادفی از هر چین انتخاب و اجزای عملکرد دانه شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت محاسبه شدند. جهت تعیین عملکرد دانه پس از حذف ردیف‌های کناری و ۰/۵ متر ابتدا و انتهای هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن ۷۰ درصد کپسول‌ها) برداشت

1- Ridomil- MZ, 72 WP

2- SPAD Index

صورت پذیرفت. بوته‌ها پس از برداشت به مدت چند روز در هوای آزاد قرارگرفته سپس اقدام به جدا کردن دانه‌ها و جمع‌آوری و توزین آن‌ها شده و عملکرد دانه محاسبه شد. عملکرد علوفه تر پس از جداسازی دانه و توزین اندام‌های هوایی (به تفکیک ساقه و برگ) محاسبه شد سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند و پس از توزین آن‌ها عملکرد علوفه خشک به‌دست آمد. پس از محاسبه مجموع وزن خشک برگ و ساقه در دوچین، نسبت وزن خشک برگ به ساقه به‌دست آمد. اندازه‌گیری درصد روغن به روش سوکسله (Shakeri *et al*., 2012) در آزمایشگاه بخش صنایع غذایی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مشهد انجام شد. عملکرد روغن از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن به‌دست آمد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها در چین اول بر هیچ‌یک از ویژگی‌های عملکرد و اجزای آن معنی‌دار نبود، اما در چین دوم اثر نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر تعداد کپسول در بوته و عملکرد دانه به‌ترتیب در سطح یک درصد و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین در چین دوم نشان داد که بیشترین تعداد کپسول در بوته از تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار حاصل شد و تیمارهای ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و شاهد (بدون مصرف کود) ازنظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج پژوهش محققان متعددی در خصوص سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)، رازیانه (*Foenicolum vulgare* Mill.)، کتان روغنی (*linum usitatissimum* L.) و کنجد بیانگر اثر مثبت نیتروژن بر تعداد واحد زایشی در بوته است (Rahimi *et al*, 2009; Ahmadi and Bahrani, 2009; Parhizkar-Khajani *et al*., 2012; Moosavi *et al*., 2013; Bahrani and Babaei, 2007; Heidari and Jahantighi, 2013).

اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر تعداد کپسول در بوته در چین دوم نشان داد که در شاهد (عدم اعمال کود سبز) مصرف نیتروژن تأثیری بر تعداد کپسول در بوته نداشت، اما استفاده از کود سبز (منداب، ماشک گل خوشه‌ای و مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای) به همراه ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش تعداد کپسول در بوته شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد نیتروژن حاصل از مصرف کود شیمیایی به همراه آزادسازی تدریجی آن توسط کود سبز در چین دوم باعث افزایش تعداد انشعابات فرعی شده و درنهایت منجر به افزایش تعداد کپسول در بوته شده باشد. در یک آزمایش روی کنجد، کاشت مخلوط شبدر ایرانی و خلر به‌عنوان کود سبز در مقایسه با شاهد (عدم اعمال کود سبز) باعث افزایش تعداد غلاف در بوته شد (Jahan *et al*., 2013).

با مصرف نیتروژن در چین دوم، عملکرد دانه افزایش یافت به‌طوری‌که تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار نسبت به شاهد به میزان ۳۳/۴۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). با توجه به افزایش تعداد کپسول در بوته در چین دوم در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و عدم تأثیر سایر اجزای عملکرد دانه مانند تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه، بیشترین عملکرد دانه از این تیمار حاصل شد (جدول ۳). وزن هزار دانه صفتی ژنتیکی بوده و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Rahimi *et al*., 2009). هم‌چنین در برخی از گزارش‌ها به عدم تأثیر مصرف نیتروژن بر تعداد دانه در واحد زایشی اشاره‌شده است (Moosavi *et al*., 2013; Parhizkar-Khajani *et al*., 2012). در تحقیقی کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) باعث افزایش عملکرد دانه در خرفه شد (Inanloofar *et al*., 2013). نتایج سایر محققان در خصوص کنجد، کتان روغنی، سیاه‌دانه و رازیانه به افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد نیتروژن اشاره دارد (Rahimi *et al*., 2009; Ahmadi and Bahrani, 2009; Parhizkar-Khajani *et al*., 2012; Moosavi *et al*., 2013; Bahrani and Babaei, 2007; Heidari and Jahantighi, 2013).

اثر متقابل کود سبز و نیتروژن در چین دوم بر عملکرد دانه نشان داد که در شاهد (عدم اعمال کود سبز) تفاوتی بین سطوح مختلف نیتروژن وجود نداشت، اما در تیمارهای کود سبز منداب و ماشک گل خوشه‌ای با افزایش نیتروژن عملکرد دانه افزایش یافت. هم‌چنین تفاوتی بین سطوح نیتروژن در مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای وجود نداشت (جدول ۴). با توجه به اینکه عناصر موجود در کود سبز به‌ویژه نیتروژن به‌تدریج و در بلندمدت آزاد می‌شود (Talgre *et al*., 2009)، لذا تلفیق کود سبز و کود شیمیایی در چین دوم باعث افزایش عملکرد دانه شد.

نتایج نشان داد که اثر کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها درمجموع دو چین بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲). علی‌رغم اینکه نتایج مطالعات محققان متعددی به اثر مثبت کود سبز بر عملکرد دانه اشاره دارد (Ghalavand *et al*., 2009; Modhej and Mohamadpour, 2013; Momeni *et al*., 2014; Jahan *et al*., 2013). در این پژوهش عملکرد مجموع دو چین تحت تأثیر کود سبز قرار نگرفت. در تحقیقی، کاشت مخلوط شبدر ایرانی و خلر به‌عنوان کود سبز در مقایسه با عدم کاشت گیاه تأثیری بر عملکرد دانه در کدو تخم کاغذی نداشت (Jahan *et al*., 2014 b).

جدول ۲- میانگین مربعات اثر کود سبز و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه خرفه در چین اول، دوم و مجموع دو چین

Table 2- Mean square of the effect of green manure and nitrogen on grain yield and its components of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in the first harvest, second and total harvests

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield		وزن هزار دانه 1000 seed weight			تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule		تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	
		مجموع دو چین Total harvests	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest
بلوک Replication	2	8919.77 ns	385.2 ns	6091.8 ns	0.001 ns	0.001 ns	20.9 ns	38.4 ns	3407.1 ns	1203.9 ns
کود سبز Green manure (A)	3	46384.42 ns	18402.9 ns	30097.9 ns	0.002 ns	0.0001 ns	10.4 ns	68.3 ns	25772.4 ns	4002.6 ns
خطای اول Error a	6	117246.78	20501	98248.6	0.0001	0.00001	30.1	45.6	8006.2	6151.4
نیتروژن Nitrogen (B)	2	95621.87 ns	44878.9**	13008.9 ns	0.001 ns	0.0001 ns	18.1 ns	28.7 ns	31659.4 **	4121.2 ns
کود سبز × نیتروژن (A×B)	6	45399.59 ns	15539.2 *	17109.6n.s	0.001 ns	0.0001 ns	29.2 ns	18.1 ns	5810.5 *	19151.8 ns
خطای دوم Error b	16	44008.19	5950.7	27962.4	0.00001	0.000001	11.3	43.7	1864.04	8400.9
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		13.14	19.02	14.05	5.78	3.09	11.89	24.43	13.73	23.12

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه خرفه در چین اول، دوم و مجموع دو چین

Table 3- Mean comparison of the effect of nitrogen on grain yield and its components of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in the first harvest, second and total harvests

نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})			وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)		تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule		تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	
	مجموع دو چین Total harvests	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest
0	1540.59 a	354.9 b	1185.65 a	0.36 a	0.36 a	27.89 a	27.39 a	270.3 b	407.93 a
50	1548.29 a	388.2 b	1160.07 a	0.36 a	0.37 a	29.67 a	25.37 a	302.5 b	374.99 a
100	1698.91 a	473.5 a	1225.41 a	0.36 a	0.37 a	27.31 a	28.41 a	370.9 a	406.17 a

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

Means with the same letter are not significantly different based on Duncan test ($p\leq0.05$).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته و عملکرد دانه خرفه در چین دوم

Table 4- Mean comparison of the effect of interaction between green manure and nitrogen on plant height, number of grain yield of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in the second harvest capsules per plant and

کود سبز Green manure	نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	ارتفاع بوته Plant height (cm)
شاهد Control	0	323.2 bc	231.3 d	32.00 bcd
	50	378.3 bc	255.9 cd	36.00 a
	100	333.2 bc	247.5 cd	35.00 a
منداب *Eruca sativa*	0	299.5 c	230.9 d	29.00 d
	50	364.6 bc	280.8 bcd	32.50 bc
	100	549.4 a	430.5 a	34.33 ab
ماشک گل خوشه‌ای *Vicia villosa*	0	339.8 bc	330.0 bc	29.20 d
	50	370.9 bc	344.5 b	31.33 cd
	100	548.5 a	450.3 a	34.80 ab
مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای *Eruca sativa+ Vicia villosa*	0	457.2 ab	288.9 bcd	30.67 cd
	50	439.2 ab	328.6 bc	31.07 cd
	100	462.9 ab	355.1 b	30.8 cd

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

Means with the same letter are not significantly different based on Duncan test ($p\leq0.05$).

هم‌چنین در گزارشی دیگر، کاشت خلر و ماشک به‌عنوان کود سبز تأثیری بر عملکرد گندم و پیاز (*Allium cepa* L.) نداشت (Lamei Hervani and Ismaili, 2014)، دلیل آن طولانی بودن مدت‌زمان تجزیه بقایا، عدم انطباق زمانی بین نیاز گیاه به عناصر غذایی و فراهمی عناصر رها شده از تجزیه بقایا ذکر گردید (Samedani and Montazeri, 2009). در مطالعه انجام شده در مورد اثر شبدر به‌عنوان کود سبز بر میزان نیتروژن خاک، مشاهده شد که میزان نیتروژن خاک چهار ماه پس از برگرداندن گیاه به خاک افزایش یافت (Hansen and Djurhuus, 1997) هم‌چنین در گزارشی مشابه، این زمان برای منداب و ماشک پنج ماه پس از برگرداندن گیاه به خاک بود، ولی تفاوتی در این دو گیاه از لحاظ میزان نیتروژن کل خاک مشاهده نشد (Abdi *et al.*, 2012). در آزمایشی روی گندم گزارش شد که کاربرد کود سبز تفاوتی در عملکرد دانه ایجاد نکرد، اما داده‌ها دلالت بر آن داشت که در یک دوره طولانی، کود سبز می‌تواند باعث عملکرد بیشتری شود (Mesgarbashi *et al.*, 2004). اثر مفید برگشت بقایا به خاک همواره در عملکرد محصول قابل مشاهده نیست، بلکه ممکن است اثرات مثبتی بر خصوصیات خاک داشته باشد (Singer *et al.*, 2004).

نتایج تحقیقی که به‌منظور بررسی اثر سه سطح صفر، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار روی کرچک (*Ricinus communis* L.) انجام شد حاکی از آن بود که کاربرد نیتروژن تأثیری بر عملکرد دانه نداشت (Ghasemi and Moussavi Nik, 2014). نتایج مشابهی نیز روی گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) گزارش شد (Yazdani Biuki *et al.*, 2010). در این پژوهش علی‌رغم معنی‌دار بودن اثر نیتروژن بر عملکرد دانه در چین دوم، به دلیل اینکه سهم عملکرد دانه در این چین نسبت به مجموع دو چین پایین‌تر بود نتوانست تغییری در عملکرد کل دانه ایجاد نماید. به نظر می‌رسد

گیاهانی که در مرحله ابتدایی اهلی‌سازی بوده و خصوصیات گیاهان وحشی را از خود بروز می‌دهند از کودپذیری کمتری برخوردار باشند، لذا در این پژوهش اثر نیتروژن بر خرفه تأثیری نداشت.

ویژگی‌های مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها در چین اول بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جدول ۵). در چین دوم، اثر نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر ارتفاع بوته به‌ترتیب در سطح یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۵- میانگین مربعات اثر کود سبز و نیتروژن بر برخی خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی خرفه در چین اول و دوم

Table 5- Mean square of the effect of green manure and nitrogen on some morphological and physiological characteristics of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in the first and second harvest

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص برداشت Harvest index		عملکرد بیولوژیک Biological yield		شاخص کلروفیل متر Chlorophyll meter index		ارتفاع بوته Plant height	
		چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest
بلوک Replication	2	66.93 ns	24.37 ns	0.14 ns	0.59 ns	11.16 *	9.52 ns	3.55 ns	85.87 ns
کود سبز Green manure (A)	3	13.85 ns	52.28 ns	0.94 ns	0.20 ns	5.06 ns	3.84 ns	23.74 ns	3.58 ns
خطای اول Error a	6	61.56	29.97	0.52	1.55	1.69	6.30	10.05	26.07
نیتروژن Nitrogen (B)	2	55.54 ns	19.99 ns	1.00 *	1.21 ns	4.45 ns	3.51 ns	39.56 **	7.52 ns
کود سبز × نیتروژن (A×B)	6	28.34 ns	11.00 ns	0.21 ns	0.58 ns	2.94 ns	1.00 ns	6.17 *	4.39 ns
خطای دوم Error b	16	30.51	40.82	0.22	0.45	3.22	3.86	2.35	4.97
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		26.89	22.5	23.1	15.66	7.14	5.69	4.75	4.27

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

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

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود سبز و نیتروژن در چین دوم نشان داد که در شاهد (بدون کود سبز)، منداب و ماشک گل خوشه‌ای افزایش نیتروژن باعث افزایش ارتفاع بوته گردید، اما در تیمار مخلوط منداب و ماشک گل خوشه‌ای تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف نیتروژن دیده نشد (جدول ۵). نتایج محققان متعددی بیانگر تأثیر مثبت نیتروژن بر ارتفاع بوته است (Ghasemi and Moussavi Nik, 2014; Yusefian Ghahfarokhi *et al*, 2014; Rahimi *et al*, 2009; Soltaninejhad *et al*., 2013).

اثر کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل آنها در چین اول و دوم بر شاخص کلروفیل‌متر معنی‌دار نبود (جدول ۵). در مطالعه‌ای استفاده از کود شیمیایی در خصوص خرفه باعث افزایش میزان کلروفیل گردید (Soltaninejhad *et al*., 2013)، اما در تحقیقی دیگر، نیتروژن تأثیری بر میزان کلروفیل در گیاه دارویی انیسون (*Pimpinella anisum* L.) نداشت (Hosseinpour *et al*., 2012).

اثر کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل آنها در چین اول بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود. در چین دوم اثر کود سبز و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود، اما اثر نیتروژن در سطح یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۵). کاربرد نیتروژن نسبت به عدم کاربرد آن در چین دوم باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شد (جدول ۶). در آزمایشی روی کنجد سه سطح نیتروژن شامل صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار مورد مطالعه قرار گرفت و مصرف نیتروژن باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شد (Ahmadi and Bahrani, 2009). با توجه به اینکه افزایش نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه در چین دوم شد، لذا عملکرد بیولوژیک نیز به افزایش نیتروژن واکنش مثبت نشان داد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر نیتروژن بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیک و فیزیولوژیک خرفه در چین دوم

Table 6- Mean comparison of the effect of nitrogen on some morphological and physiological traits of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in the second harvest

نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	ارتفاع بوته Plant height (cm)	شاخص کلروفیل‌متر Chlorophyll meter index
0	20.75 a	1719 b	30.34 b	25.32 a
50	18.29 a	2191 a	32.81 a	25.66 a
100	22.58 a	2246 a	33.88 a	24.48 a

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

Means with the same letter are not significantly different based on Duncan test ($p\leq0.05$).

اثر کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن در چین اول و دوم بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۵). در گزارش محققان متعددی به عدم تأثیر کود سبز و نیتروژن بر شاخص برداشت اشاره شده است (Moosavi *et al*., 2013; Jahan *et al*., 2014; Yazdani Biuki *et al*, 2010; Bahrani and Babaei, 2007). با توجه به اینکه در چین اول عملکرد دانه و بیولوژیک تحت تأثیر کود سبز و نیتروژن قرار نگرفتند و در چین دوم کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک به نسبت تقریباً مساوی گردید لذا شاخص برداشت در چین اول و دوم معنی‌دار نبود (جدول ۶).

درصد و عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود سبز بر درصد روغن در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر نیتروژن و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر درصد روغن معنی‌دار نبود (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که استفاده از کود سبز نسبت به شاهد (عدم کود سبز) باعث افزایش درصد روغن دانه شد (جدول ۸). در تحقیقی روی کنجد مشخص شد کاشت گیاهان خلر و شبدر ایرانی درصد روغن دانه را تحت تأثیر قرار نداد. دلیل این امر حفظ رطوبت توسط گیاهان پوششی و جلوگیری از تنش خشکی و عدم تأثیر بر روغن به‌عنوان متابولیت ثانویه ذکر گردید (Jahan *et al*., 2013). در آزمایشی روی کنجد مشخص شد نیتروژن تأثیری بر درصد روغن دانه نداشت (Bahrani and Babaei, 2007). نتایج مشابهی توسط محققان دیگر روی کرچک، ماریتیغال و کتان روغنی گزارش‌شده است (Ghasemi and Moussavi Nik, 2014; Yazdani Biuki *et al*., 2010; Parhizkar-Khajani *et al*., 2012).

جدول ۷- میانگین مربعات اثر کود سبز و نیتروژن بر عملکرد و درصد روغن دانه خرفه درمجموع دو چین

Table 7- Mean square of the effect of green manure and nitrogen on oil yield and seed oil percentage of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in total harvest

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد روغن Oil yield	درصد روغن Oil percent
بلوک Replication	2	147.53 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
کود سبز Green manure (A)	3	3346.65 ^{ns}	3.59 **
خطای اول Error a	6	2763.13	0.19
نیتروژن Nitrogen (B)	2	2206.68 ^{ns}	0.06 ^{ns}
کود سبز × نیتروژن (A×B)	6	510.73 ^{ns}	0.6 ^{ns}
خطای دوم Error b	16	843.29	0.28
ضریب تغییرات (درصد) (%) Cv		12.64	3.7

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

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

اثر کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل آنها بر عملکرد روغن معنی‌دار نبود (جدول ۷). در تحقیقی، سه سطح کود نیتروژن شامل صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار روی گیاه دارویی ماریتیغال مورد آزمایش قرار گرفت و مشخص گردید نیتروژن تأثیری بر عملکرد روغن نداشت (Yazdani Biuki *et al.*, 2010). نتایج سایر محققان بیانگر اثر مثبت نیتروژن بر عملکرد روغن بوده که با نتیجه به‌دست‌آمده مطابقت نداشت (Bahrani and Babaei, 2007; Parhizkar-Khajani *et al.*, 2012). در این پژوهش، با توجه به اینکه عملکرد دانه و درصد روغن تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار نگرفتند، لذا تغییرات عملکرد روغن از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر کود سبز بر درصد روغن و عملکرد روغن خرفه درمجموع دو چین

Table 8- Mean comparison of the effect of green manure on oil percent and oil yield of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in the total harvests

کود سبز Green manure	عملکرد روغن Oil yield (kg ha^{-1})	درصد روغن Percent oil
شاهد (Control)	202.48 a	13.46 b
مناداب (*Eruca sativa*)	247.76 a	14.79 a
ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa*)	235.74 a	14.75 a
مخلوط مناداب و ماشک گل خوشه‌ای (*Eruca sativa+ Vicia villosa*)	233.18 a	14.58 a

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

Means with the same letter are not significantly different based on Duncan test ($p\leq0.05$).

عملکرد و اجزای عملکرد علوفه

نتایج نشان داد که اثر کود سبز و اثر متقابل کود سبز و نیتروژن بر عملکرد تر و خشک ساقه، برگ و کل علوفه معنی‌دار نبود (جدول ۹). در تحقیقی، مشخص شد استفاده از گیاهان خلر و شبدر ایرانی به‌عنوان کود سبز نسبت به عدم کاشت گیاه تفاوت معنی‌داری بر عملکرد تر گیاه دارویی ریحان نداشت (Jahan *et al.*, 2014 a). به نظر می‌رسد طولانی بودن مدت زمان تجزیه بقایا، عدم انطباق زمانی بین نیاز گیاه به عناصر غذایی و فراهمی عناصر رها شده از تجزیه بقایا علت عدم تأثیر کود سبز بر عملکرد علوفه باشد.

اثر نیتروژن بر عملکرد تر و خشک ساقه در سطح پنج درصد، عملکرد تر و خشک برگ و کل علوفه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش نیتروژن عملکرد و اجزای عملکرد علوفه خرفه افزایش یافت. در اکثر اجزای مرتبط با علوفه (به‌جز عملکرد تر برگ) تفاوت آماری معنی‌دار بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار مشاهده نشد (جدول ۱۰). لذا توصیه می‌شود به دلیل کاهش هزینه‌های تولید و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی از تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار استفاده گردد. بیشترین عملکرد تر برگ از تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار حاصل شد (جدول ۱۰). در تحقیقی، کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک کل در خرفه شد (Inanloofar *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از کود شیمیایی نیتروژن باعث افزایش وزن تر برگ، وزن تر ساقه و وزن تر اندام‌های هوایی در خرفه گردید (Soltaninejhad *et al.*, 2013).

در تحقیقی، مشخص گردید استفاده از ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش عملکرد علوفه در تاج‌خروس (*Amaranthus cruentus* L.) شد (Ansari Ardali and AghaAlikhani, 2015). نتایج مشابهی توسط سایر محققان در خصوص تأثیر مثبت نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد علوفه گزارش‌شده است (Ghasemi and Moussavi Nik, 2014; Gholamhoseini *et al.*, 2008). افزایش محتوای نیتروژن خاک، تولید اندام‌های رویشی و شاخص سطح برگ را افزایش داده و در نهایت منجر به افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود (Dordas and Sioulas, 2008). در این پژوهش عملکرد تر و خشک علوفه از طریق تأثیر نیتروژن بر اجزای آن شامل عملکرد تر و خشک ساقه و برگ افزایش نشان داد (جدول ۱۰).

نسبت برگ به ساقه

کود سبز، نیتروژن و اثر متقابل آنها بر نسبت برگ به ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۹). در تحقیقی، مشخص شد استفاده از خلر و شبدر ایرانی نسبت به عدم اعمال کود سبز تفاوت معنی‌داری بر نسبت برگ به ساقه گیاه دارویی ریحان نداشت (Jahan *et al.*, 2014 a).

جدول ۹- میانگین مربعات اثر کود سبز و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد علوفه خرفه درمجموع دو چین

Table 9- Mean square of the effect of green manure and nitrogen on forage yield and its components of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in total harvests

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	نسبت وزن خشک برگ به ساقه Leaf/Stem ratio	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	عملکرد خشک برگ Dry yield of leaf	عملکرد خشک ساقه Dry yield of stem	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد تر برگ Fresh yield of leaf	عملکرد تر ساقه Fresh yield of stem
بلوک Replication	2	0.007 ns	0.03 ns	0.06 ns	0.03 ns	40.45 ns	2.09 ns	40.64 ns
کود سبز Green manure (A)	3	0.017 ns	0.18 ns	0.15 ns	0.02 ns	19.14 ns	1.24 ns	13.77 ns
خطای اول Error a	6	0.009	0.65	0.07	0.25	201.89	2.04	175.40
نیتروژن Nitrogen (B)	2	0.006 ns	1.18 **	0.36 **	0.69 *	172.26 **	9.49 **	109.81 *
کود سبز × نیتروژن (A×B)	6	0.007 ns	0.43 ns	0.05 ns	0.41 ns	55.95 ns	1.56 ns	44.42 ns
خطای دوم Error b	16	0.017	0.2	0.05	0.18	30.6	0.96	23.31
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		25.73	12.33	18.76	17	15.16	21.23	15.15

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

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

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه در مجموع دو چین

Table 10- Mean comparison of the effect of nitrogen on yield and its components of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in total harvests

نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})	عملکرد خشک برگ Dry yield of leaf (t ha^{-1})	عملکرد خشک ساقه Dry yield of stem (t ha^{-1})	عملکرد علوفه‌تر Fresh forage yield (t ha^{-1})	عملکرد تر برگ Fresh yield of leaf (t ha^{-1})	عملکرد تر ساقه Fresh yield of stem (t ha^{-1})	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (t ha^{-1})
0	1.08 b	2.25 b	32.29 b	3.87 b	28.41 b	3.36 b
50	1.27 ab	2.50 ab	37.5 a	4.37 b	33.12 a	3.71 ab
100	1.43 a	2.73 a	39.66 a	5.60 a	34.05 a	3.99 a

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

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

در مطالعه‌ای دیگر، مشخص شد استفاده از گیاهان پوششی چاودار (*Secale cereale*) و ماشک گل خوشه‌ای نسبت به تیمار آیش و مصرف ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار نسبت به شاهد (صفر) نتوانست نسبت برگ به ساقه را در سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum* bicolor L.) تحت تأثیر قرار دهد (Pourazizi and Fallah, 2013). نتایج مشابهی در خصوص اثر نیتروژن بر نسبت برگ به ساقه در کلزای علوفه‌ای گزارش شد (Gholamhoseini *et al.*, 2008). به نظر می‌رسد با توجه به اینکه وزن خشک ساقه از مجموع شاخه‌های اصلی و فرعی حاصل شده و افزایش تعداد شاخه باعث افزایش تعداد برگ و وزن آن در خرفه می‌شود نسبت وزن خشک برگ به ساقه در تیمارهای مختلف تا حدودی ثابت بوده و افزایش یا کاهش نیتروژن مصرفی اثر مشابهی را بر وزن خشک ساقه و برگ داشته و کاهش وزن خشک ساقه یا افزایش آن به‌طور تنگاتنگی با وزن خشک برگ همراه بوده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، استفاده از کود سبز (لگوم و غیر لگوم) تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، عملکرد روغن و عملکرد علوفه خرفه نداشت. به نظر می‌رسد استفاده از کود سبز در کوتاه مدت به دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و عدم انطباق زمانی بین نیاز گیاه به عناصر غذایی و فراهمی عناصر رها شده از تجزیه بقایا تأثیری بر محصول بعدی نداشته یا جزئی باشد. لذا توصیه می‌شود مطالعه در خصوص استفاده از کود سبز در آزمایش‌های چندساله و در طولانی‌مدت انجام گیرد.

واکنش عملکرد دانه و علوفه خرفه به نیتروژن متفاوت بود به‌طوری‌که مصرف نیتروژن تغییری در عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن به وجود نیاورد، اما حداکثر عملکرد و اجزای عملکرد علوفه از تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار حاصل شد. لذا با توجه به در نظر گرفتن هزینه تولید و مسائل زیست محیطی کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار برای تولید علوفه خرفه در شهرستان بیرجند مناسب تشخیص داده شد.

References

1. Asadi, A. R., Hassandaught, M. R., and Dashti, F. 2007. Comparison of fatty acids, oxalic acid, and mineral varieties of seeds and leaves of Purslane. Iranian foreign examples. Journal of Food Sciences 3 (3): 49-54. (in Persian with English abstract).
2. Ahmadi, M., and Bahrani, M. 2009. Effect of nitrogen fertilizer on yield and yield components of three sesame cultivars in Bushehr province. Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 13 (48): 123-131. (in Persian with English abstract).
3. Abdi, S., Taj bakhsh, M., Rasouli sedghiani, M. H., and Abdollahi mandolkani, B. 2012. Study the effect of different green manure plants on soil organic matter and nitrogen in salinity condition, Journal of Crop Production 19 (1): 127-144. (in Persian with English abstract).
4. Aynanlvfr, M., Omidi, H., and Pazky, A. R. 2014. Morphological changes, agricultural and oil content Purslane (*Portulaca oleracea* L.) Effect of water and fertilizer, bio/chemical nitrogen. Herb Quarterly 12 (4): 170-184. (in Persian with English abstract).
5. Ansari Ardali, S., and AghaAlikhani, M. 2015. Effect of plant density and nitrogen fertilizer rate on forage yield and quality of cultivated amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 17 (1): 35-36. (in

Persian with English abstract).
6. Bahrani, M. J., and Babaei, G. H. 2007. Effect of different levels of plant density and nitrogen fertilizer on grain yield and its components and some quality traits in two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences 9 (3): 237-245. (in Persian with English abstract).
7. Berenguer, P., Santiveri, F., Boixadera, J., and Lloveras, J. 2009. Nitrogen fertilization of irrigated maize under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy 30: 163-171.
8. Bergkvist, G., Stenberg, M., Wetterlind, J., Bath, B., and Elfstrand, S. 2011. Clover cover crops under-sown in winter wheat increase yield of subsequent spring barley-Effect of N dose and companion grass. Field Crops Research 120: 292-298.
9. Den Hollander, N. G., Bastiaans, L., and Kropff, M. J. 2007. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design. II. Competitive ability of several clover species. European Journal of Agronomy 26: 104-112.
10. Dordas, C. A., and Sioulas, C. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Industrial Crops and Products 27: 75-85.
11. Gholamhoseini, M., Aghaalikhani, M., and Malakouti, M. 2008. Effect of natural zeolite and nitrogen rates on canola forage quality and quantity. Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 12 (45): 537-548. (in Persian with English abstract).
12. Ghalavand, A., Mohammadi, K., Agha Alikhani, M., and Sohrabi, Y. 2009. Effect of organic, biological and chemical fertilizers on chickpea grain yield and quality. Journal of Water and Soil Sciences, 1/19 (2): 213-234. (in Persian with English abstract).
13. Ghorbanli, M., and Kiapour, A. 2012. Copper-induced changes on pigments and activity of non-enzimatic and enzymatic defense systems in *Portulaca oleracea* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28 (2): 235-247. (in Persian with English abstract).
14. Ghasemi, S., and Moussavi Nik, S. M. 2014. Effect of plant growth promoting rhizobacteria, Nitroxin and sulfur on quantity and quality of caster bean (*Ricinus commines* L.) in Sistan region. Journal of Agroecology 6 (2): 275-289. (in Persian with English abstract).
15. Hansen, E. M., and Djurhuus, J. 1997. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. Soil and Tillage Research 41: 203-219.
16. Hiltbrunner, J., Streit, B., and Liedgens, M. 2007. Are seeding densities an opportunity to increase grain yield of winter wheat in a living mulch of white clover. Field Crops Research 102: 163-171.
17. Hooker, K. V., Coxon, C. E., Hackett, R., Kirwan, L. E., O'Keeffe, E., and Richards, K. G. 2008. Evaluation of cover crop and reduced cultivation for reducing nitrate leaching in Ireland. Journal of Environmental Quality 37: 138-145.
18. Hosseinpour, M., Habibi, M., and Fotokian, M. H. 2012. Effect of chemical and biological nitrogen on quality and quantity of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28 (3): 551-566. (in Persian with English abstract).
19. Heidari, M., and Jahantighi, H. 2013. Effect of water stress and amount of nitrogen fertilizer on grain yield, yield components, essential oils and thymoquinone content in Black Cumin (*Nigella sativa* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences 5 (1): 33-40. (in Persian with English abstract).
20. Inanloofar, M., Omidi, H., and Pazoki, A. R. 2013. Morphological, Agronomical Changes and Oil Content in Purslane (*Portulaca oleracea* L.) under Drought Stress and Biological /Chemical Fertilizer of Nitrogen. Journal of Medicinal Plant 48: 170-184. (in Persian with English abstract).
21. Javadi, H., Azari Nasrabad, A., and Zamani, G. R. 2008. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of common purslane (*Protulaca oleracea* L.). 10th National Meeting of Plant Scientists 21-24 April, Faisalabad, Pakistan.
22. Jahan, M., Aryaee, M., Amiri, M. B., and Ehyaee, H. R. 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on quantitative and qualitative characteristics of *Sesamum indicum* L. with application of cover crops of *Lathyrus* sp. and Persian clover (*Trifolium resopinatum* L.). Journal of Agroecology 5 (1): 1-15. (in Persian with English abstract).
23. Jahan, M., Amiri, M. B., Shabahang, J., Ahmadi, F., and Soleymani, F. 2014 a. The effects of winter cover crops and plant growth promoting rhizobacteria on some soil fertility aspects and crop yield in an organic production system of *Ocimum basilicum* L. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (4): 562-572. (in Persian with English abstract).
24. Jahan, M., Amiri, M. B., Aghhavani Shajari, M., and Tahami, M. K. 2014 b. Quantity and quality of *Cucurbita pepo* L. as affected by winter cover crops (*Lathyrus sativus* and *Trifolium resopinatum*), PGPRs and organic manures. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (2): 337-356. (in Persian with English abstract).
25. Kafi, M., and Rahimi, Z. 2010. Effect of salinity on germination characteristics of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8 (4): 615-621. (in Persian with English abstract).
26. Lamei Hervani, J., and Ismaili, M. 2014. Effects of double cropping grass pea and common vetch as green manure

on some properties of soil and yield of onion and wheat in crop rotation cycle. Seed and Plant Production Journal 1 (30-2): 1-18. (in Persian with English abstract).
27. Mesgarbashi, M., Bakhshandeh, M., Nabi-Poor, M., and Kashani, A. 2004. Effects of plant residue and fertilizer on nitrogen up-take, grain yield of wheat and soil organic matter under Ahvaz conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 6 (3): 239-247. (in Persian with English abstract).
28. Modhej, A., and Mohamadpour, A. 2013. Effect of green manure and different amounts of nitrogen and phosphorus fertilizers on wheat grain yield in Dezfoul environmental conditions. Crop Physiology Journal 19 (5): 73-84. (in Persian with English abstract).
29. Moosavi, S. G. R., Seghatoleslami, M. J., and Moosavi, S. M. 2013. Effect of drought stress and nitrogen rates on yield and water use efficiency of fennel (*Foenicolum vulgare* Mill.). Environmental Stresses in Crop Sciences 5 (2): 135-145. (in Persian with English abstract).
30. Momeni, A., Bahmanyar, M. A., and Pirdashti, H. 2014. The effects of different methods of applying green, farmyard manure and biofertilizers on nitrogen dynamics in soil, leaves and grains in corn (*Zea mays* L.). Journal of Agroecology 6 (3): 595-606. (in Persian with English abstract).
31. Nasirzade, S., Fallah, S., Kiani, Sh., and Mohammadkhani, A. 2015. Effect of different levels of cow manure and urea on quantitative and qualitative characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31 (1): 41-51. (in Persian with English abstract).
32. Parhizkar-Khajani, F., Irannezhad, H., Amiri, R., Oraki, H., and Majidian, M. 2012. Effects of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium on quantitative and qualitative characteristics of oil flax. Electronic Journal of Crop Production 5 (1): 37-51. (in Persian with English abstract).
33. Pourazizi, M., and Fallah, S. 2013. Optimization of application of nitrogen fertilizers for growth and yield of forage sorghum under low-input and conventional farming systems. Journal of Crop Production and Processing 3 (9): 81-91. (in Persian with English abstract).
34. Pirian, K., and Piri, Kh. 2014. Callus induction in hairy roots of *Portulaca oleracea* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30 (2): 231- 238. (in Persian with English abstract).
35. Rahimi, M. M., Nour Mohamadi, G., Aeinehband, A., Afshar, I., and Moafpourian, G. 2009. Effects of sowing time and different nitrogen levels on quantitative and qualitative characteristics of oil flax (*Linum usitatissimum* L.). Seed and Plant Production Journal 25 (1): 79-91. (in Persian with English abstract).
36. Rahimi, Z., and Kafi, M. 2010 a. Effects of salinity and silicon application on biomass accumulation, sodium and potassium content of leaves and roots of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Journal of Water and Soil 24 (2): 367-374. (in Persian with English abstract).
37. Rahimi, Z., and Kafi, M. 2010 b. Estimating cardinal temperatures and effect of different levels of temperature on germination indices of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). Journal of Plant Protection 24 (1): 80-86. (in Persian with English abstract).
38. Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A., and Khozaie, H. R. 2010. Effect of salinity and silicon on yield and yield components of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8 (3): 481-488. (in Persian with English abstract).
39. Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A., and Khozaie, H. R. 2011. Effect of salinity and silicon on some morphophysiologic characters of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (3): 359- 374. (in Persian with English abstract).
40. Singer, J. W., Kohler, K. A., Liebman, M., Richards, T. L., Cambardella, S. C. A., and Buhler, D. D. 2004. Tillage and compost affect yield on corn, soybean and wheat and soil fertility. Agronomy Journal 96: 531-537.
41. Samedani, B., and Montazeri, M. 2009. The use of cover crop in sustainable agriculture. Iranian Research Institute of Plant Protection Publications. Tehran, Iran. 186pp. (in Persian).
42. Shakeri, E., Amini Dehaghi, M., Tabatabaei, S. A., and Modares Sanavi, S. A. M. 2012. Effect of nitrogen and biological fertilizers on seed yield and fatty acid composition of sesame cultivars under Yazd conditions. Journal of Iranian Field Crop Research 10 (4): 742-750. (in Persian with English abstract).
43. Soltaninejhad, F., Fallah, S., and Heidari, M. 2013. Effect of different sources and rates of nitrogen fertilizer on the growth and biomass production of purslane (*Portulaca oleracea*). Journal of Crop Production 6 (3): 125-143. (in Persian with English abstract).
44. Talgre, L., Lauringson, E., Roostalu, H., and Astover, A. 2009. The effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat. Agronomy Research 7: 1.125-132.
45. Valadabadi, S. A. R., Aliabadi Farahani, H., and Moaveni, P. 2010. Investigate effect of nitrogen application on essential oil content and seed yield in different cumin (*Cuminum cyminum* L.) populations at Qazvin zone. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26 (3): 348-357. (in Persian with English abstract).
46. Yusefian Ghahfarokhi, H., Abdali Mashhadi, A., Bakhshandeh, A., Lotfi, A., and Abadi, J. 2015. Evaluation of effect attract moisture substances and organic fertilizers on quality and quantity yield of Purslane (*portulaca oleracea* L.) in Ahwaz region. Journal of Plant Process and Function 4(13): 87-96. (in Persian with English abstract).

47. Yazdani Biuki, R., Khazaie, H. R., Rezvani Moghaddam, P., and Astaraei, A. 2010. Effects of animal manures and chemical fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of milk thistle plant (*Silybum marianum*). Journal of Iranian Field Crop Research 8 (5): 738-746. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 317-332

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۳۲-۳۱۷

Effect of Green Manure and Different Nitrogen levels on Yield and Yield Components of Common Purslane (*Portulaca oleracea* L.)

H. Javadi[1]- P. Rezvani Moghaddam[2*]- M. H. Rashed Mohasel[3]- M. J. Seghatoleslami[4]

Received: 24-06-2016
Accepted: 03-01-2017

Introduction

Purslane (*Portulaca oleracea* L.) is an annual C4 plant that belongs to the family of Portulacaceae. The plant is drought and salt tolerant which contains high amounts of beneficial omega-3 fatty acids and antioxidant vitamins. Adaptation to both dry and saline conditions makes it a prime candidate as a vegetable in areas with dry conditions and salty soils, which are often present together where land is irrigated. Purslane seeds provide nutritional value, and have beneficial health effect on the body specially in preventing cardiovascular, cancer and hypertension (high blood pressure) diseases, because it contains omega-3 and omega-6 fatty acids and other nutrients such as antioxidants, tocopherols and dietary fiber.

Nitrogen is the key element in soil fertility and crop production. Attention to the soil quality and health has increased in recent years, especially for sustainable production of medicinal crops. So for production of healthy food in industrialized countries, using natural and on-farm inputs have been considered. One of the practical ways to achieve this goal is planting cover crops and green manure. Given the importance of Purslane as a medicinal plant and due to the fact that there is not detailed information about the nitrogen requirement for this plant, this study was conducted to evaluate the effect of green manure and nitrogen on yield and yield components of common Purslane (*Portulaca oleracea* L.) in Birjand, Iran.

Materials and Methods

The effect of four levels of green manure including: control (No plants), Rocket Sativa (*Eruca sativa* L.), Hairy vetch (*Vicia villosa* L.), mix rocket sativa and hairy vetch (*Eruca sativa* + *Vicia villosa*) and three levels of nitrogen (0, 50 and 100 kg ha^{-1}) on Purslane was studied in a split plot design based on randomized complete blocks with 3 replications during growing season 2014-2015 at the Agricultural Research Station, College of Agriculture, University of Birjand, Iran. Each plot was 3m×4m with six planting rows. The space between rows, plots and replications were 0.4, 0.5 and 3 m, respectively. Rocket and hairy vetch were planted on November 11, 2014. Rocket and hairy vetch shoots were returned to the soil by plowing just before flowering. Planting of Purslane was conducted on April 30, 2015. The distance between rows and plants were 40 cm and 15 cm, respectively (plant density was 1,666,666.6 plants per ha). Nitrogen fertilizer as urea was applied, as half of fertilizer at sowing and early spring, half of fertilizer after the first harvest. Measured traits were spad index, plant height, number of capsules per plant, number of seeds per capsule, 1000 seed weight, grain yield, biological yield, harvest index, oil percentage, oil yield, fresh and dry stem yield, fresh and dry leaf yield, fresh and dry forage yield and leaf/stem ratio.

Results and Discussion

The results showed that the effect of green manure on any one of the traits (except oil percentage) were not significant. The use of green manure compared to the control (no plants) increased seed oil percentage. Due to the gradual releasing of nutrients from green manure and lack of synchronization between the need of the plant and availability of nutrient released by the decomposition, green manure did not affect the next crop. Effects of nitrogen on grain yield, oil percentage and oil yield were not significant. But, effects of nitrogen on all measured forage traits (with the exception of leaf/stem ratio) such as, fresh and dry stem yield, fresh and dry leaf yield, fresh and dry forage yield were significant. Increasing in nitrogen rate enhanced all measured forage traits.

1- Ph.D. Student, Ferdowsi University of Mashhad, International Campus
2- Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
4- Associate Professor, Islamic Azad University, Birjand branch, Iran
(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)

Interaction of green manure and nitrogen was not significant on all measured traits.

Conclusions

Green manure and nitrogen had not any significant effect on grain yield and quality. The response of grain and forage yield to nitrogen was different; so that nitrogen application did not change significantly grain yield, oil content and oil yield, but the highest forage yield and its components were achieved in treatments 50 and 100 kg N ha^{-1}, respectively. Considering the cost of production and environmental problems, treatment 50 kg N ha^{-1} is recommended for forage production of Purslane in Birjand, Iran.

Keywords: *Eruca sativa*, Forage yield, Grain yield, Oil seed, *Vicia villosa*

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۴۴-۳۳۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 333-344

اثر تنش خشکی بر خصوصیات فلورسانس کلروفیل و عملکرد علوفه دو رقم ارزن علوفه‌ای (*Pennisetum americanum var. nutrifeed* and *Punicum sp var. pishahang*)

کبری نجفی بابادی[۱]- پیمان حسیبی[۲*]- حبیب اله روشنفکر[۲]- سعید برومند نسب[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی روی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی دو رقم ارزن علوفه‌ای آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. عامل اول دو رقم ارزن علوفه‌ای شامل نوتریفید و پیشاهنگ و عامل دوم تنش خشکی در چهار سطح شامل تأمین ۱۰۰درصد نیاز آبی به‌عنوان شاهد، ۷۵، ۵۰، ۲۵ درصد نیاز آبی بود. مقدار آب آبیاری در هر تیمار بر مبنای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A محاسبه شد. بیشترین عملکرد ماده خشک در رقم نوتریفید در شرایط شاهد و کمترین عملکرد ماده خشک در رقم پیشاهنگ در ۲۵ درصد تأمین نیاز آبی به‌دست آمد. میزان پرولین و نفوذپذیری نسبی غشاء در هر دو رقم طی تنش همواره بیشتر از شاهد بود و با افزایش سطح تنش خشکی میزان پرولین افزایش یافت. بیشترین میزان نفوذپذیری نسبی غشا در رقم پیشاهنگ در ۲۵ درصد تأمین رطوبت و کمترین میزان نفوذپذیری نسبی غشاء در رقم نوتریفید در شاهد به‌دست آمد. با افزایش سطح تنش محتوای نسبی آب برگ، عملکرد ماده خشک، پتانسیل اسمزی، هدایت روزنه‌ای، بیشینه کارآیی فتوسیستم II (Fv/Fm)، فرود فتوشیمیایی (qP) و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو کاهش یافتند. عملکرد ماده خشک همبستگی مثبت و معنی‌دار با هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل (عدد SPAD)، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II و Fv/Fm داشت. ارزن نوتریفید نسبت به رقم پیشاهنگ هم در شرایط غیر تنش و هم در شرایط تنش از کارایی مصرف آب بهتری برخوردار بود و به‌نظر می‌رسد این رقم در شرایط محدودیت آب آبیاری بتواند از تولید علوفه مناسبی برخوردار باشد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل اسمزی، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II، محتوای نسبی آب برگ، Fv/Fm

مقدمه

خشکی، محدودیتی برای تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی در سراسر جهان است (Martin *et al*., 1993). فتوسیستم II نقش مهمی در پاسخ فتوسنتزی به عوامل محیطی در گیاهان عالی بازی می‌کند و تکنیک فلورسانس کلروفیل در سال‌های اخیر در مطالعات اکوفیزیولوژی گیاهی به‌عنوان یک روش سریع، حساس و غیرتخریبی مورد توجه بسیار قرار گرفته است (Baker and Rosenqvist, 2004). در این تکنیک از شاخص‌ها و روش‌های متعددی برای مطالعه فرآیندهای دخیل در خاصیت فلورسانس کلروفیل استفاده می‌گردد. به‌عنوان مثال، در برگ سازگار شده با تاریکی پارامتر بیشینه کارآیی فتوسنتزی فتوسیستم II (Fv/Fm) شاخص مناسبی برای عملکرد فتوسنتزی گیاه می‌باشد (Gholam *et al*., 2002). در بررسی کربن فتوسنتزی و متابولیسم با شرایط تنش کمبود آب مشاهده شده است که در شرایط تنش کمبود آب، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل کاهش فشار آماس سلول و ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و همچنین کاهش نرخ فتوسنتزی به دلیل محدودیت بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل خسارت به رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌خصوص کلروفیل‌ها باشد (Lawlor and Cornic, 2002). با توجه به این امر که تحت تنش خشکی، پتانسیل آب گیاه کاهش می‌یابد، بنابراین گیاه در طی روز با بسته نگاه داشتن روزنه‌ها، تا حدی محتوای نسبی آب برگ را کنترل می‌نماید، مسدود شدن روزنه‌ها نیز سبب افزایش شدت خسارت تنش اکسیداتیو، تخریب کلروفیل‌ها و کاهش محتوی کلروفیل برگ می‌گردد. میزان محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان بهترین معیار اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه معرفی شده است (Blum,

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- استاد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: paymanhassibi@gmail.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.57398

1999). هنگامی که گیاهان به‌وسیله تنش‌های خشکی، شوری، دماهای پایین و سایر فاکتورهایی که باعث کاهش پتانسیل آب سلولی می‌شوند تحت تأثیر قرار می‌گیرند، باید غلظت اسمولیت‌هایشان را افزایش دهند تا جذب آب تحت شرایط تنش ادامه یابد. در بین اسمولیت‌های آلی، پرولین احتمالاً فراوان‌ترین و عمومی‌ترین ماده حل شده سازگار است که تجمع می‌یابد (Jonson *et al*., 1993). تنش خشکی روی گیاه کوشیا (*Kochia scoparia*) باعث کاهش محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز و کاهش پایداری غشاء نسبت به تیمار شاهد شد، اما با حذف تنش و آبیاری مجدد، در مدت چند روز گیاهان بازیافت شدند و در مرحله آبیاری مجدد ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در آنها اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند. بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، نشت الکترولیت و فلورسانس کلروفیل در تمام مراحل کمترین تغییر را داشتند که این موضوع می‌تواند به دلیل متحمل بودن این گیاه به شرایط تنش، عدم تخریب غشاهای سلولی و واحدهای فتوسنتزی باشد (Masoumi *et al*., 2008). ابراهیم (Ibrahim, 1985) خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک ارزن مرواریدی (*Pennisetum americanum*) تحت تنش خشکی را مورد بررسی قرار داد. وی گزارش نمود که تنش آبی رشد و اجزای عملکرد را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارزن نوتریفید هیبرید *Pennisetum* است که در این جنس تعداد زیادی از گیاهان علفی نیز وجود دارند. این هیبرید به دنبال بررسی‌های مزرعه‌ای فشرده در تابستان ۸۹-۱۹۸۸ توسط شرکت پاسیفیک سیدز استرالیا آزاد و توسط اسلاتر و استیوارت (Slatter and stuart, 1995) به بازار معرفی گردید. با توجه به اهمیت توسعه کاشت گیاهان علوفه‌ای چهار کربنه نظیر انواع ارزن علوفه‌ای در افزایش تولیدات علوفه در مناطق نیمه گرمسیری کشور مانند اهواز و از طرفی نیاز به شناخت واکنش آن گیاهان به اثر تنش کم آبی ناشی از خشکسالی‌های پیاپی در خوزستان، هدف از این آزمایش مطالعه اثر تنش خشکی روی عملکرد علوفه خشک دو رقم ارزن علوفه‌ای نوتریفید و پیشاهنگ به همراه بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیک و تغییرات فلورسانس کلروفیل در ارقام مورد مطالعه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۰ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در گلدان در خارج از محیط گلخانه (Benes *et al*., 1996) انجام شد. عامل اول در این آزمایش، دو رقم ارزن علوفه‌ای شامل نوتریفید و پیشاهنگ و عامل دوم تنش خشکی در ۴ سطح شامل تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی به‌عنوان شاهد بدون تنش، تأمین ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ نیاز آبی به‌ترتیب به‌عنوان تنش‌های شدید، متوسط و ملایم خشکی بود. مقدار آب آبیاری در هر تیمار بر مبنای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A مستقر در ایستگاه هواشناسی واقع در مجاورت مزرعه تحقیقاتی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه چمران اهواز محاسبه شد. با توجه به میزان تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر و در نظر گرفتن ضریب گیاهی (Kc) میزان تبخیر و تعرق تعیین شد و بر اساس تخلیه رطوبتی خاک و طبق تیمارهای آزمایش و پس از تعیین FC و ترسیم منحنی رطوبتی خاک، میزان آب مورد نیاز مورد محاسبه قرار گرفت و سپس حجم آب مورد نیاز برای هر دور آبیاری تیمارها تأمین گردید (Badbezanchi and Broomand Nasab, 2008; Masjedi *et al*., 2007). در این آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی دارای حجم ۱۵ لیتر استفاده شد. آنالیز خاک مورد استفاده نشان داد که بافت خاک از نوع لومی رسی، با هدایت الکتریکی ۱/۳۶ و میزان واکنش ۷/۷۹ بود. برای ایجاد شرایط مشابه با مزرعه و ممانعت از افزایش حرارت خاک، گلدان‌ها زیر خاک قرار داده شدند. در هر گلدان پنج بوته کشت گردید. زمان اعمال تیمار بر اساس مرحله فنولوژیک رشد پس از ۴-۵ برگی شدن گیاه بود. نمونه‌برداری‌ها از ۵۰ روز پس از کاشت آغاز و به فاصله زمانی هر دو هفته یکبار صورت گرفت و آخرین نمونه‌برداری ۸۰ روز پس از کاشت انجام گرفت. در هر تیمار پنج گلدان قرار گرفت و مبنای محاسبه ماده خشک بر اساس ۱۵ گیاه مستقر در سه گلدان قرار گرفت. یک چین علوفه در این آزمایش بررسی شد و صفات مورد مطالعه عبارت بودند از هدایت روزنه‌ای با دستگاه پرومتر (مارک ELE ساخت انگلستان)، شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌متر SPAD-502 (مارک مینولتا ساخت ژاپن)، پتانسیل اسمزی با استفاده از اسمومتر (مارک Vescor ساخت آمریکا) (Martinez *et al*., 2004)، نفوذپذیری نسبی غشاء (Zhao *et al*., 1992)، غلظت پرولین (Bates *et al*., 1973)، محتوای نسبی آب برگ (Ritchie and Nguyen, 1990) و فلورسانس کلروفیل از آخرین برگ توسعه یافته (برگی که زبانک آن مشخص شد) با استفاده از دستگاه فلئورومتر پرتابل (مدل FMS2 ساخت انگلستان) در دو حالت برگ سازگار شده با نور و برگ سازگار شده با تاریکی اندازه‌گیری شد. فلورسانس کلروفیل پس از اعمال تیمار خشکی هر ۱۰ روز یک بار اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت. مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل شامل کمینه فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی (F0)، کمینه فلورسانس از برگ سازگار شده با نور (F_t)، بیشینه فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی (Fm)، بیشینه فلورسانس از برگ سازگار شده با نور (Fm')، فلورسانس متغیر (Fv) و بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm)، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با نور، qP (فرود فتوشیمیایی کلروفیل

برانگیخته یا تولید ATP, NADPH) و qN (فرود غیرفتوشیمیایی) محاسبه شد. شاخص حساسیت به تنش (Fisher and Muarer, 1978) با استفاده از معادله‌های زیر مورد استفاده قرار گرفت:

SSI=1-(Ys/Yp)/ Si (معادله ۱)

Si=1- (ys/yp) (معادله ۲)

در معادلات ۱ و ۲:

SSI= شاخص حساسیت به تنش

Si= شدت سختی محیط

Yp= عملکرد هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش

Ys= عملکرد هر رقم در محیط تنش

yp = میانگین عملکرد کلیه رقم‌ها در محیط بدون تنش

ys= میانگین عملکرد کلیه رقم‌ها در محیط تنش

تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SAS Ver 9.2 انجام شد. همچنین تمامی مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثر متقابل رقم و سطوح تنش خشکی به‌طور معنی‌داری نفوذپذیری نسبی غشاء را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). نفوذپذیری نسبی غشاء در ارقام و سطوح خشکی مورد بررسی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت. میزان نفوذپذیری نسبی غشا در هر دو رقم طی تنش همواره بیشتر از شاهد بود و با افزایش سطوح خشکی میزان نفوذپذیری نسبی غشا که بیانگر میزان نشت الکترولیت‌ها از سلول‌های برگ به دلیل خسارت به فسفولیپیدهای غشاء می‌باشد، افزایش یافت. بیشترین میزان نفوذپذیری نسبی غشاء در رقم پیشاهنگ در تیمار ۲۵درصد تأمین نیاز آبی (۳۷ درصد افزایش نسبت به شاهد) و کمترین میزان نفوذپذیری نسبی غشا در رقم نوتریفید در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های محتوای نسبی آب برگ نشان داد که میان سطوح تنش خشکی اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱). اعمال خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ در رقم‌های ارزن شد (جدول ۲). بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ در رقم نوتریفید در تیمار شاهد و کمترین مقدار در رقم ارزن پیشاهنگ در ۲۵ درصد تأمین نیاز آبی (۱۰ درصد کاهش نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول ۲).

شاخص کلروفیل (عدد SPAD) برگ بین ارقام و سطوح خشکی اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۱) با افزایش سطح خشکی شاخص کلروفیل کاهش یافت. اثر متقابل رقم و خشکی به‌طور معنی‌داری شاخص کلروفیل را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). بیشترین میزان در تیمار شاهد رقم نوتریفید و کمترین میزان در رقم پیشاهنگ و در ۲۵ درصد تأمین نیاز آبی (به میزان ۱۶/۸ درصد کاهش نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول۲).

نتایج نشان داد که بین رقم و سطوح خشکی از لحاظ پرولین برگ اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین اثرات متقابل رقم و خشکی صفت مذکور معنی‌دار بود (جدول ۱). میزان پرولین در هر دو رقم طی تنش خشکی همواره بیشتر از شاهد بود و با افزایش سطح خشکی میزان پرولین افزایش یافت (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین در رقم نوتریفید در ۲۵ درصد تأمین آب (به میزان ۶۲ درصد افزایش نسبت به شاهد) و کمترین میزان پرولین در رقم نوتریفید در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۲). ارقام و سطوح خشکی بر مقدار هدایت روزنه‌ای در سطح آماری یک درصد اثر معنی‌داری داشتند.

اثر متقابل رقم و خشکی نیز هدایت روزنه‌ای را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). میزان هدایت روزنه‌ای در هر دو رقم با افزایش سطوح تنش همواره کمتر از شاهد بود. بیشترین هدایت روزنه‌ای در رقم نوتریفید و تیمار شاهد و کمترین میزان هدایت روزنه‌ای در رقم پیشاهنگ در ۲۵ درصد تأمین آب ۶۷ درصد کاهش نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول ۲).

میان سطوح تنش خشکی و همچنین اثر متقابل رقم و خشکی از نظر پتانسیل اسمزی تفاوت وجود داشت و همچنین بین دو رقم در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۲). منفی‌ترین پتانسیل اسمزی در رقم نوتریفید در ۲۵ درصد تأمین آب (به میزان ۴۷ درصد کاهش نسبت به شاهد) و بیشترین میزان پتانسیل اسمزی در رقم پیشاهنگ در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

اعمال خشکی در مراحل مختلف سبب کاهش عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در دو رقم ارزن شد (جدول ۲). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ارقام و سطوح خشکی اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین اثر متقابل رقم و خشکی این صفت را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II رقم نوتریفید در تیمار شاهد و برای رقم پیشاهنگ در تیمار شاهد بود. میان ارقام و سطوح مختلف و اثر متقابل ارقام و سطوح خشکی تفاوت معنی‌دار از لحاظ فرود فتوشیمیایی (qP) وجود داشت (جدول ۱). اعمال خشکی بر دو رقم ارزن در مراحل مختلف سبب کاهش فرود فتوشیمیایی شد و در نتیجه کاهش فراهمی انرژی متابولیکی (ATP و NADPH) شد. بیشترین فرود فتوشیمیایی در رقم نوتریفید در ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی و کمترین در رقم پیشاهنگ و سطح تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی (کاهش ۱۳ درصدی نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول ۲). حداکثرعملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط برگ سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm) اثر سطوح تنش خشکی بر Fv/Fm معنی‌داری بود (جدول ۱). تفاوت معنی‌دار بین دو رقم مورد مطالعه و اثر متقابل رقم و سطوح خشکی مشاهده شد (جدول ۲). با افزایش تنش مقدار Fv/Fm کاهش یافت. رقم ارزن نوتریفید در تیمار شاهد

بیشترین و رقم پیشاهنگ درآخرین سطح تنش (کاهش ۲۷ درصدی نسبت به شاهد) کمترین مقدار را داشت (جدول ۲). میان سطوح تنش خشکی از نظر فرود غیر فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته (NPQ) کاهش معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). رقم‌های نوتریفید و پیشاهنگ از نظر NPQ نیز اختلاف معنی‌داری نشان دادند. همچنین اثر متقابل رقم و سطوح خشکی دارای تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۲). ارزن نوتریفید در سطح تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی بیشترین (افزایش ۵۶ درصدی نسبت به شاهد) و رقم پیشاهنگ در تیمار شاهد کمترین مقدار NPQ را نشان داد (جدول ۲).

ارقام و سطوح تنش خشکی بر ماده خشک کل در سطح آماری یک درصد اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۱). میزان ماده خشک در هر دو رقم با افزایش شدت تنش همواره کمتر از شاهد بود. ارزن نوتریفید از ماده خشک بیشتری نسبت به رقم پیشاهنگ برخوردار بود. بیشترین ماده خشک در رقم نوتریفید و تیمار شاهد و کمترین میزان ماده خشک در رقم پیشاهنگ و سطح ۲۵ درصد تأمین نیاز آبی (کاهش ۵۷ درصدی نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول ۲).

شاخص حساسیت به تنش (SSI) با استفاده از عملکرد ماده خشک کل در تیمار تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی در رقم پیشاهنگ (۱/۶۷) در گروه حساس و برای رقم نوتریفید (۰/۵۶) در گروه نیمه‌متحمل قرار داشت (جدول ۳). این صفت در سطح تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی در رقم نوتریفید در گروه نیمه‌متحمل و برای رقم پیشاهنگ (۱) نیمه‌حساس بود. در سطح تأمین ۲۵ درصد تبخیر از تشتک رقم نوتریفید (۱/۰۶) نیمه‌حساس و پیشاهنگ (۰/۸۶) در گروه نیمه‌متحمل قرار داشت.

نتایج نشان داد که از لحاظ کارایی مصرف آب آبیاری بین ارقام و سطوح تنش خشکی اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین اثر متقابل رقم و خشکی توانست کارایی مصرف آب را تحت تأثیر قرار دهد. بیشترین کارآیی مصرف آب آبیاری در ارزن نوتریفید در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی و کمترین کارآیی مصرف آب در ارزن پیشاهنگ در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد.

با توجه به نتایج اثرات متقابل دو فاکتور مورد بررسی، طی تنش خشکی صفات، محتوای نسبی آب برگ، RWC، شاخص کلروفیل، پرولین، هدایت روزنه‌ای، عملکرد کوآنتومی و حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II، فرود فتوشیمیایی، فرود غیر فتوشیمیایی، عملکرد ماده خشک، کارآیی مصرف آب و شاخص حساسیت به تنش، در رقم نوتریفید و صفت نفوذپذیری نسبی غشا در رقم پیشاهنگ افزایش نشان دادند.

نفوذپذیری نسبی غشاء در هر دو رقم (ارزن نوتریفید و پیشاهنگ) با افزایش شدت تنش خشکی بیشتر شد، ولی نفوذپذیری نسبی غشاء در ارزن نوتریفید در همه سطوح خشکی از افزایش کمتری نسبت به رقم پیشاهنگ برخوردار بود که می‌تواند با توانایی ژنتیکی آن رقم در تحمل به خشکی، توانایی پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی کارآمدتر این رقم مرتبط باشد که در نتیجه این مکانیسم‌ها خسارت کمتری به غشای سلول وارد شده و نشت الکترولیت‌ها کاهش می‌یابد. برهمین اساس محتوای نسبی آب در رقم حساس کاهش بیشتری نشان داد. نتایج مشابهی در آزمایش تأثیر تنش خشکی بر گیاه گندم (*Triticum aestivum*) توسط پاکنژاد (Paknezhad, 2007) گزارش شد. کاهش پتانسیل اسمزی در رقم متحمل (ارزن نوتریفید) را می‌توان به تجمع مولکول‌های آلی و یون‌های معدنی در اندام هوایی مربوط داشت. بدین معنی که یون‌ها و ترکیبات آلی در واکوئل‌ها ذخیره شده است. رقم نوتریفید قادر به حفظ بهتر پتانسیل اسمزی در شرایط تنش بود. نتایج به‌دست آمده با آزمایش‌های قبلی انجام شده توسط مارتین و همکاران (Martin *et al.*, 1993) و شانون و همکاران (Shannon *et al.*, 1998) مطابقت داشت. حفظ شاخص کلروفیل منجر به دوام فتوسنتز برگ می‌شود و تنش خشکی سبب به آسیب اکسیداتیو به غشاها (نشت الکترولیت‌ها) و خسارت به کلروپلاست‌ها و در نتیجه تجزیه کلروفیل و کاهش شاخص کلروفیل می‌گردد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش آب، زنجیره انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و در این وضعیت الکترون‌های حاصل از تجزیه آب، به سبب بازگشت به کاروفیل برانگیخته و تولید کلروفیل تریپلت از یک سو و یا نشت از زنجیره انتقال الکترون باعث تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و در نتیجه خسارت به غشاء سلولی به دلیل پراکسیده شدن چربی‌ها، اکسیداسیون پروتئین‌ها و تجزیه کلروفیل می‌شوند. به نظر می‌رسد شیر امنیتی فرود غیر فتوشیمیایی نتوانسته در شرایط تنش سبب اتلاف انرژی الکترون‌های برنگیخته از طریق چرخه زانتوفیل و تولید حرارت غیر تشعشعی شود. در آزمایش تنش خشکی روی گیاه ذرت (*Zea mays*) توسط پاری و همکاران (Parry *et al.*, 2002) نتایج مشابهی اعلام شد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای مشاهده شد (جدول ۴). احتمال دارد که با کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاهش فتوسنتز طی تنش خشکی، حفاظت کمتری از محتوای کلروفیل در برابر خسارت ناشی از تنش خشکی صورت گرفته باشد. نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی، رقم ارزن نوتریفید کاهش شاخص کلروفیل کمتری نسبت به رقم پیشاهنگ داشته است. گیاه در طی روز با بسته نگه داشتن روزنه‌ها تا حدی محتوی نسبی آب برگ را کنترل می‌نماید، بسته شدن روزنه‌ها باعث کاهش هدایت روزنه‌ای در نتیجه کاهش فتوسنتز و کاهش مصرف NADPH به‌عنوان عامل احیا و در نتیجه افزایش شدت خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو و به دنبال آن تخریب غشاهای پلاسمایی از جمله غشای کلروپلاست و همچنین اکسیداسون ترکیبات پروتئینی و کلروفیل می‌گردد. این نتایج با

گزارش اشلیمر و همکاران (Schlemmer *et al.*, 2005) مطابقت داشت. در این آزمایش با افزایش بیوسنتز پرولین طی تنش خشکی، پتانسیل اسمزی منفیتر شد. به نظر می‌رسد ساز و کار نقش پرولین به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی از یک سو، نقش آنتی‌اکسیدانتی و کمک به حفظ یکنواختی غشای سلول از طرف دیگر، در رقم نوتریفید به‌طور مؤثرتری در طی تنش خشکی عمل نموده است زیرا در رقم پیشاهنگ علی‌رغم افزایش معنی‌دار پرولین نشت الکترولیت‌ها کاهش پیدا نکرده است. هدایت روزنه‌ای با عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II و Fv/Fm همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۴). ارزن نوتریفید هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II بیشتری نسبت به رقم پیشاهنگ داشت. به نظر می‌رسد با بسته تر شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای میزان عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II و Fv/Fm به دلیل افزایش میزان فلورسانس کلروفیل و همچنین تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر کاهش یافت. در مطالعه‌ای تحت شرایط تنش خشکی در گیاه آفتابگردان، بیشینه کارایی کوآنتومی فتوسیستم II، میزان انتقال الکترون، تبادل گازی و جذب و تحلیل دی‌اکسید کربن کاهش یافت که با نتایج جواکوریا و همکاران (Joao-Correia *et al.*, 2006) مطابقت داشت. عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با شاخص کلروفیل و بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II بود. در شرایط تنش با کاهش کارایی جذب نور به‌وسیله آنتن فتوسیستم II، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II برای فرآیندهای فتوشیمیایی (احیای کوئینون A) و میزان حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II کاهش یافت ولی رقم نوتریفید توانست کارایی کوآنتومی فتوسیستم II را در شرایط تنش به‌طور کارآمدتری حفظ نماید، لذا شرایط تنش را بهتر تحمل نمود. هم‌چنین همبستگی بالای شاخص کلروفیل و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط تنش خشکی نشان داد با آسیب بیشتر به کلروفیل، کارایی آنتن‌های جمع‌آوری‌کننده نور و در نتیجه ظرفیت فتوسنتزی در شرایط تنش کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنتاج نمود که در شرایط تنش شدید خشکی، کاهش بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II می‌تواند ناشی از وقوع برخی آشفتگی‌ها در کلروپلاست بوده و کاهش شاخص کلروفیل نیز مؤید آن است زیرا فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در مرکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط داشته و می‌توان از آن به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری کارآیی فتوسنتز استفاده نمود. همبستگی بالایی بین بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II، فرود فتوشیمیایی (تولید ATP و NADPH) و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II نشان می‌دهد که عملکرد کوآنتومی بالاتر در شرایط تنش به‌طور غیرمستقیم نشان‌دهنده سلامت دستگاه فتوسنتزی و قدرت رویش بهتر گیاه بوده است. در آزمایش اثر سرما و تنش خشکی ناشی از آن در برنج نتایج مشابهی توسط حسیبی و همکاران (Hassibi *et al.*, 2007) گزارش شد. نتایج شاخص حساسیت به تنش نشان داد علی‌رغم اینکه در تیمار تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی، رقم نوتریفید نیمه‌متحمل و رقم پیشاهنگ نیمه‌حساس بود ولی با افزایش شدت خشکی رقم نوتریفید نیمه‌حساس بود به تنش ارزیابی شد. لازم به ذکر است ارزن نوتریفید نسبت به پیشاهنگ هم در شرایط غیرتنش و هم در شرایط تنش از رشد و عملکرد بهتری برخوردار بود لذا به نظر می‌رسد بتوان از این رقم در مناطقی که با محدودیت آب آبیاری مواجه می‌باشند برای تولید علوفه مناسب بهره جست. تنش خشکی تأثیر مستقیمی بر کاهش کلروفیل و میزان هدایت روزنه‌ای و در نتیجه عملکرد گیاه دارد و کاهش شاخص کلروفیل می‌تواند در نتیجه تخریب کلروفیل به‌واسطه محدودیت شدید آبی واقع گردد که به تبع آن کاهش فتوسنتز خالص اتفاق خواهد افتاد. کاهش میزان فتوسنتز می‌تواند نتیجه تأثیر خشکی بر عوامل روزنه‌ای (هدایت روزنه‌ای) و غیر روزنه‌ای (هم‌چون کاهش عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II) باشد. جانسون و همکاران (Jonson *et al.*, 2000)، لگ و همکاران (Legg *et al.*, 2000) و یاداوا و همکاران (Yadava *et al.*, 1989) نتایج مشابهی را گزارش نمودند.

بالا بودن بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II ارزن نوتریفید نشان می‌دهد که در شرایط تنش مقدار فتوسنتز بیشتری برخوردار بوده به‌طوری‌که عملکرد ماده خشک آن در شرایط تنش خشکی شدید نیز بیشتر از رقم پیشاهنگ بود. بنابراین در شرایط تنش خشکی در گیاه ارزن چنانچه محتوای کلروفیل و کارآیی دستگاه فتوسنتزی گیاه در جذب نور و تولید انرژی حفظ گردد عملکرد ماده خشک علوفه بیشتری نیز تولید خواهد شد. با نتایج درویش بلوچی (Darvish Bluchi, 2010) در آزمایش تنش خشکی بر گیاه ذرت مطابقت داشت. نسبت F_V/F_M معیاری از نحوه عملکرد فتوسنتز گیاهی است و مقدار این پارامتر برای اکثر گونه‌های گیاهی در شرایط معمول حدود ۰/۸۳ می‌باشد (Maxwell and Johnson, 2000). عملکرد ماده خشک با نفوذپذیری نسبی غشاء همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (جدول ۴).

جدول ۲- میانگین مربعات اثر کود سبز و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه خرفه در چین اول، دوم و مجموع دو چین

Table 2- Mean square of the effect of green manure and nitrogen on grain yield and its components of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in the first harvest, second and total harvests

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield			وزن هزار دانه 1000 seed weight		تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule		تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	
		مجموع دو چین Total harvests	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest	چین دوم Second harvest	چین اول First harvest
بلوک Replication	2	8919.77 ^{ns}	385.2 ^{ns}	6091.8 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	20.9 ^{ns}	38.4 ^{ns}	3407.1 ^{ns}	1203.9 ^{ns}
کود سبز Green manure (A)	3	46384.42 ^{ns}	18402.9 ^{ns}	30097.9 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	10.4 ^{ns}	68.3 ^{ns}	25772.4 ^{ns}	4002.6 ^{ns}
خطای اول Error a	6	117246.78	20501	98248.6	0.0001	0.00001	30.1	45.6	8006.2	6151.4
نیتروژن Nitrogen (B)	2	95621.87 ^{ns}	44878.9 **	13008.9 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	18.1 ^{ns}	28.7 ^{ns}	31659.4 **	4121.2 ^{ns}
کود سبز × نیتروژن (A×B)	6	45399.59 ^{ns}	15539.2 *	17109.6 $^{n.s}$	0.001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	29.2 ^{ns}	18.1 ^{ns}	5810.5 *	19151.8 ^{ns}
خطای دوم Error b	16	44008.19	5950.7	27962.4	0.00001	0.000001	11.3	43.7	1864.04	8400.9
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		13.14	19.02	14.05	5.78	3.09	11.89	24.43	13.73	23.12

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

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

جدول ۹- میانگین مربعات اثر کود سبز و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد علوفه خرفه درمجموع دو چین

Table 9- Mean square of the effect of green manure and nitrogen on forage yield and its components of common Purslane (*Protulaca oleracea* L.) in total harvests

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	نسبت وزن خشک برگ به ساقه Leaf/Stem ratio	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	عملکرد خشک برگ Dry yield of leaf	عملکرد خشک ساقه Dry yield of stem	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد تر برگ Fresh yield of leaf	عملکرد تر ساقه Fresh yield of stem
بلوک Replication	2	0.007 ns	0.03 ns	0.06 ns	0.03 ns	40.45 ns	2.09 ns	40.64 ns
کود سبز Green manure (A)	3	0.017 ns	0.18 ns	0.15 ns	0.02 ns	19.14 ns	1.24 ns	13.77 ns
خطای اول Error a	6	0.009	0.65	0.07	0.25	201.89	2.04	175.40
نیتروژن Nitrogen (B)	2	0.006 ns	1.18 **	0.36 **	0.69 *	172.26 **	9.49 **	109.81 *
کود سبز × نیتروژن (A×B)	6	0.007 ns	0.43 ns	0.05 ns	0.41 ns	55.95 ns	1.56 ns	44.42 ns
خطای دوم Error b	16	0.017	0.2	0.05	0.18	30.6	0.96	23.31
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		25.73	12.33	18.76	17	15.16	21.23	15.15

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

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

بالا رفتن نفوذپذیری نسبی غشاء پلاسمایی سلول‌های برگ به معنای از دست رفتن قدرت انتخابی غشاء سلولی در برابر ورود و خروج یون‌ها و در نتیجه ورود و خروج الکترولیت‌ها و تجمع بیشتر املاح در فضاهای بین سلول‌های بافت مزوفیل برگ است که خود منجر به کاهش بیشتر در فعالیت‌های فتوسنتزی و تولید انرژی کافی جهت رشد اندام‌های گیاهی می‌گردد. در شرایط تنش خشکی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر در سلول افزایش می‌یابند و منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشاهای بیولوژیکی می‌شوند. در نتیجه محتویات سلولی به بیرون نشت کرده و در نتیجه نشت الکترولیت‌ها هدایت الکتریکی آپوپلاست افزایش می‌یابد. با افزایش شدت تنش میزان عملکرد ماده خشک کاهش یافت. این کاهش در ارزن پیشاهنگ بیشتر از ارزن نوتریفید بود. عملکرد ماده خشک با هدایت روزنه‌ای و همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصله ارزن نوتریفید در شرایط تنش خشکی با حفظ هدایت روزنه‌ای و ادامه فعالیت‌های فتوسنتزی و در نتیجه جذب آب بهتر، به‌طور مؤثرتری نسبت به ارزن پیشاهنگ به تولید ماده خشک ادامه داده است. با افزایش شدت تنش خشکی، فتوسنتز خالص در هر دو رقم کاهش می‌یابد و عملکرد مادهٔ خشک نیز به‌طور معنی‌دار تحت تاثیر آبیاری قرار می‌گیرد، در بررسی واکنش ارزن مرواریدی، سورگوم (*Sorghum vulgare*) و ذرت به رژیم‌های آبیاری نتایج مشابهی توسط سینگ و سینگ (Singh and Singh, 1995) گزارش شد. کاهش ماده خشک می‌تواند مرتبط با کاهش هدایت روزنه‌ای و نیز کاهش در غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و یا تغییرات ایجاد شده در غلظت یونی باشد. همچنین عملکرد ماده خشک با شاخص کلروفیل، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II و Fv/Fm همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. همبستگی منفی و معنی‌دار نفوذپذیری نسبی غشاء و محتوای نسبی آب برگ نشان داد که در شرایط تنش به دلیل آسیب وارده به غشاء و افزایش نفوذپذیری و نشت الکترولیت‌ها، منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ و تغلیظ آپوپلاست ناشی از تجمع مواد آلی و معدنی و کاهش عملکرد ماده خشک گردید. نفوذپذیری نسبی غشاء با شاخص کلروفیل، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II، Fv/Fm، qP و NPQ همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۴). فرود غیر فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته، نشان‌دهنده اتلاف غیر تشعشعی (اتلاف حرارتی) انرژی جذب شده توسط فتوسیستم بوده و برطرف‌کننده برانگیختگی الکترون می‌باشد (Sheiber *et al*., 1986).

نتیجه‌گیری

ارزن نوتریفید نسبت به رقم پیشاهنگ هم در شرایط غیر تنش و هم در شرایط تنش از کارایی مصرف آب بهتری برخوردار بود و به‌نظر می‌رسد این رقم در شرایط محدودیت آب آبیاری بتواند از تولید علوفه مناسبی برخوردار باشد.

جدول ۳- نتایج تحمل یا حساسیت ارقام مورد آزمایش نسبت به تنش به روش فیشر و مائور (شاخص SSI)

Table 3- Tolerance or susceptibility results of the tested cultivars according to the method of Fisher and Muarer Stress Susceptibility Index (SSI)

ارقام Cultivars	SSI در تأمین ۷۵٪ نیاز آبی Provide 75% of water require		SSI در تأمین ۵۰٪ نیاز آبی Provide 50% of water require		SSI در تأمین ۲۵٪ نیاز آبی Provide 25% of water require	
نوتریفید (Nutrifeed)	0.56	نیمه‌متحمل (Semi tolerant)	0.94	نیمه‌متحمل (Semi tolerant)	1.06	نیمه‌حساس (Semi susceptible)
پیشاهنگ (Pishahang)	0.67	نیمه‌متحمل (Semi tolerant)	0.86	نیمه‌متحمل (Semi tolerant)	1.08	نیمه‌حساس (Semi susceptible)

References

1. Baker, N. R., and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany 55: 1607-1621.
2. Badbezanchi, M., and Boroomand nasab, S. 2007. Evaluation of different irrigation levels on sugar beet yield components in strip drip irrigation. Ninth Congress of irrigation and reduce evaporation. Society of Irrigation and Water Engineering. Kerman, Shahid Bahonar University. (in Persian with English abstract).
3. Bates, L. S., Waldern, R. P., and Tear, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.
4. Benes, S. E., Aragues, R., Grattan, S. R., and Austin, R. B. 1996. Foliar and root absorption of Na^+ and Cl^- in maize and barley. Implications for salt tolerance screening and the use of saline sprinkler irrigation. Plant and Soil 180: 75-86.

5. Blum, A. 1999. Towards standard assay of drought resistance in crop plants. In J.M. Ribaut and D. Poland (Eds). M. A strategic planning workshop, 21-25 June 1999. CIMMYT, El Batan, Mexico.
6. Darvish-Baluchi, M., Paknezhad, M., Kashani, A., and Ardakani, M. 2010. Effect of drought stress and foliar nutrition of some micronutrients on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content, RWC, membrane stability, and grain yield. Journal of Field Crop Science 41 (2): 543-531.
7. Fracheboud, Y. 2006. Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis. Institute of Plant Sciences ETH, Universitat Strass, CH-8092 Zurich.
8. Francheboud, Y., and Leipner, J. 2003. The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature and drought stress. In: De-Ell, J. R., P. M. A. Tiovonen (Eds.). Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. Wiley, j. New York, Boston: Kluwer Academic Publishers. pp 125-150.
9. Fisher, R. A., and Muarer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultiral Researches 29: 897-912.
10. Gholam, C., and Foursy, A., and FARES, K. 2002. Effect of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environmental and Experimental Botany Journal 47: 31-39.
11. Hassibi, P., Moradi, F., and Nabipour, M. 2007. Screening of rice genotypes for low temperature stress tolerance using chlorophyll fluorescence. Iranian Journal of Crop Science 9 (1): 14-31. (in Persian with English abstract).
12. Ibrahim, Y. M. 1985. Agronomical and physiological characters of pearl millet grown under a sprinkler irrigation gradient. Dissertation-abs-International. B-Sciences and Engineering 46: 1-15.
13. Joao-Correia, M., Leonor-osorio, M., Osorio, J., Barrote, I., Martins, M., and David, M. 2006. Influence of transient shad period on the effect of drought 0n photosynthesis, carbohydrate accumulation and lipid peroxidation in sun flower leaves. Environmental and Experimental Botany 58: 75-84.
14. Johnson, R., Frey, N. M., and Dale, N. 2002. Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. Crop Science 5: 728-731.
15. Johnson, G. N., Young, A. J., Scholes, J. D., and Horton, P. 1993. The dissipation of excess excitation energy in British plant species. Plant, Cell Environment 16: 673-679.
16. Kuznetsov, V. V., and Shevyakova, N. L. 1999. Proline under stress: Biological role metabolism and regulation. Russian Journal of Plant Physiology 46: 274-287.
17. Lawlor, D. W., and Cornic, G. 2002. Photosynthenic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant cell and Environment 25: 275-294.
18. Legg, B. J., Day, W. D., Lawlor, W., and Parkinson, K. J. 2000. The effects of drought on barley growth: models and measurements showing the relative importance of leaf area and photosynthetic rate. The Journal of Agricultural Science 92: 703-716.
19. Martinez, J. P., Lutls, S., Schanck, A., and Bajji, M. 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halmius* L. Plant Physiology 161: 1041-1051.
20. Martin, M., Micell, F., Morgan, J. A., Scalet, M., and Zebi, G. 1993. Synthesis of osmotically active substances in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. Journal of Agronomy and Crop Science 171: 176-184.
21. Masoumi, A., Kafi, M., Nabati, J., Khazaie, H. R., Davary, K., and Zare-Mehrjerdi, M. 2008. Effect of drought stress on water status and electrolyte leakage of leaves, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of two lots of Kochia (*Kochia scoparia*) at different developmental stages in saline condition. 484-476. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (3): 476-484.
22. Masjedi, M., Shokouhifar, A., and Alavii Fazel, M. 2008. Determine the most appropriate Summer irrigation of Corn (hybrid SC704) and the effect of drought stress on Yield using information the evaporation pan class A. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 12 (46): 550-543. (in Persian with English abstract).
23. Maxwell, K., and Johnson, G. N. 2000. Chlorophyll fluorescence- A practical guide. Experimenta Botany 51: 659-668.
24. Mehrabian moghadam, N., Arvin, M., Khajueenezhad, Gh., and Maghsudi, K. 2011. Effect of salicylic acid on the growth and yield of corn silage and grain in drought conditions on the farm. Journal of seeds and seedlings production 27: 41-55.
25. Paknejad, F., Nasri, M., and Tohidi Moghadam, H. R. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content, and grain yield of wheat cultivars. Journal Biological Science 6: 841-847. (in Persian with English abstract).
26. Parry, M. A. J., Andraloje, P. J., Khan, S., Lea, P. J., and Keys, A. J. 2002. Rubisco activity: Effects of drought stress. Annals of Botany 89: 833-839.
27. Quisenberry, K. S., and Reitz, L. P. 1987. Wheat and Wheat Improvement. American Society of Agronomy. Inc. Madison, Wisconsin USA.

28. Rezaei, A. 1996. The relationship between the quality of flour and High molecular weight glutenin subunits in wheat. Iranian Journal of Agricultural Sciences 5: 21-11. (in Persian with English abstract).
29. Ritchie, S. W., and Nguyen, H. T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105-111.
30. Schlemmer, M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F., and Schepers, J. S. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agronomy Journal 97: 86-95.
31. Shannon, M. C. 1998. Adaptation of plant to salinity. Advance Agronomy 60: 75-119.
32. Sheiber, V., and Schliwa, V. B. W. 1986. Continuous recording of photochemical and non- photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type ofmodulation fluorimeter. Photosynthetic Research 10: 51-62.
33. Singh, B. R., and Singh, D. P. 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. Field Crops Research 42: 57- 67.
34. Slatter, S., and Stuart, P. 1995. Nutrifeed Descirpition, Agronomy and management forage. Agronomy Notes. Pacific Seeds. Queensland Australia pp 72-84.
35. Yadava, U. 1989. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. Horticulture Science 21: 1449-1450.
36. Zhao, Y., Aspinall, D., and Paleg, L. G. 1992. Protection of membrane integrity in *Medicago salvia* L. by glycine betaine against the effects of freezing. Journal of Plant Physiology 140: 541-543.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 333-344

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۴۴-۳۳۳

Effect of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence and Forage Yield of Two Forage Millet Cultivars (*Pennisettum americanum var nutrifeed* and *Punicum sp var. pishahang*)

K. Najafi Babady[1] - P. Hassibi[2*]- H. Roshanfekr[2]– S. Broumand Nassab[3]

Received: 10-07-2016
Accepted: 28-02-2018

Introduction

Drought is dangerous to the successful production of agricultural products around the world. When drought occurs a combination of physical and environmental factors causes internal stress in plants and reduces production. Photosystem II plays an important role in higher plants to response the environmental factors. In recent years chlorophyll fluorescence techniques in ecophysiology have been considered as a rapid, sensitive and non-destructive method. Dry matter reduction can be due to cell swelling and pressure reduction because of reduced leaf area and photosynthetic pigments, especially chlorophyll. RWC is the best criteria of plant water status measurement. When plants affects by drought, salinity, low temperatures and other factors that reduce water potential of the cell sap they should increase their organic solute concentration to continue water absorption under stress conditions (osmotic adjustment). The aim of this study was investigating drought stress effects on photosynthesis and dry matter yield of two forage millet cultivars including Nutrifeed and Pishahang along with a discussion of some physiological characteristics and chlorophyll fluorescence change.

Materials and Methods

This experiment was carried out as factorial layout based on randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Shahid Chamran University in 2010-2011. First factor was two forage millet cultivars including Nutrifeed and Pishahang. The second factor was three water stress levels as mild, moderate and severe drought including providing 100, 75, 50 and 25% water requirement. The amount of water in each treatment based on the 50, 100, 150, and 200 mm evaporation from class A evaporation pan that located in meteorology synoptic station in the vicinity of the research farm was calculated. The crop coefficient (Kc) was determined based on evapotranspiration and soil water depletion treatments and then set the curve traced FC and soil moisture, the amount of water requirement was calculated and finally the volume of irrigation water for treatments was provided. Traits including stomatal conductance, relative concentration of chlorophyll SPAD-502 osmotic potential, relative permeability of the membrane, proline, relative water content and chlorophyll fluorescence of the last developed leaf (leaf ligule was observed) in two conditions light adapted and dark adapted leaves were measured.

Results and Discussion

Results showed that the effect of stress levels on all traits was significant. The highest and lowest yield of dry matter were observed in the control treatment of Nutrifeed cultivar and 25% water requirement supply of Pishahang cultivar, respectively. Proline and relative permeability of the membrane over drought stress was more than the control in both cultivars and proline increased with increasing drought levels. The highest and lowest relative permeability of the membrane were observed in the Pishahang cultivar at 25% moisture supply and the control treatment of Nutrifeed cultivar, respectively. As increasing the stress intensity, relative water content, dry matter yield, osmotic potential, stomatal conductance, Fv/Fm, and qP, decreased. Dry matter had significant positive correlation with stomatal conductance, relative water content, SPAD value, Quantum yield of

1- Former M.Sc student, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz
3- Professor, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz
(*- Corresponding Author Email: paymanhassibi@gmail.com)

PSII, and Fv/Fm. It should be noted that Nutrifeed cultivar compared to the Pishahang cultivar under both normal and stress conditions had better water use efficiency. So it seems that Nutrifeed cultivar could be used as a suitable forage under water deficit conditions.

Conclusions

It seems that Nutrifeed cultivar is a suitable fodder crop for livestock feed production in the areas with water restrictions.

Keywords: Fv/Fm, Osmotic potential, Quantum yield of PSII, Relative water content

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۵۴-۳۴۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 345-354

بررسی اثر محلول‌پاشی اتانول و متانول بر شاخص‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* c.v. Keshkeni luvelou)

محمد مقدم[1*]- رسول نریمانی[2]- قادر رستمی[3]- سپیده مجرب[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۳۱

چکیده

امروزه به دلیل اثرات مضر کودهای شیمیایی تمایل به استفاده از ترکیباتی با اثرات سوء کمتر، مورد توجه قرار گرفته است. ازاین‌رو به‌منظور تأثیر هیدروالکل‌ها بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، در سال ۱۳۹۴ آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی اتانول (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ حجمی)، متانول (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ حجمی)، مخلوط یکسان متانول و اتانول (۵، ۱۵ و ۲۵٪ حجمی) و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) بود. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح محلول‌پاشی ۴۰ درصد حجمی متانول در اکثر صفات مورفولوژیکی بر سایر سطوح برتری داشت. در بررسی صفات بیوشیمیایی، بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل، کارتنوئید و کلروفیل b مربوط به اثر متقابل محلول‌پاشی متانول و اتانول ۲۵٪ می‌باشد. همچنین بیشترین میزان کلروفیل کل و کلروفیل a با اتانول ۲۰٪ و بالاترین سطح قند با محلول‌پاشی با متانول ۱۰٪ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، قند، هیدروالکل‌ها

مقدمه

با توجه به اهمیت و نقش گیاهان دارویی در صنایع مختلف و افزایش مصرف جهانی، تقاضا برای تولید مواد اولیه دارویی باکیفیت بالا نیز افزایش‌یافته است (Omidbaigi, 2007). امروزه در کشور ما در مصرف کودها و سموم شیمیایی که یکی از دستاوردهای کشاورزی رایج است نوعی تجدیدنظر در حال جریان است، زیرا مشکلات زیست‌محیطی، کاهش تنوع زیستی، سلامت بوم‌نظام‌ها و کاهش کیفیت و بالاخره اثر سوء آن‌ها بر سلامت انسان‌ها غیرقابل انکار است، در نتیجه تلاش برای بالا بردن تولید زیست‌توده و ماده مؤثره آن‌ها بدون کاربرد نهاده‌های شیمیایی و استفاده از ترکیبات غیرشیمیایی با اثرات سوء کمتر به‌عنوان جایگزین مورد نیاز است (Koocheki and Khajeh Hosseini, 2008). باوجودی که برخی شواهد حاکی از بهبود کیفیت محصولات گیاهی به‌وسیله استفاده از محلول‌پاشی الکل‌ها بوده است (Zbiec *et al.*, ; Khosravi, 2011)، اما مطالعات مربوط به اثر این ترکیبات بر تولید گیاهان دارویی در ایران و سایر کشورها چندان مورد توجه قرار نگرفته است؛ بنابراین شناخت تأثیر محلول‌پاشی الکل‌ها بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی در نظام‌های پایدار و تعیین شرایط بهینه تولید آن‌ها نیازمند مطالعه و تحقیق است.

اتانول و متانول از ساده‌ترین فرآورده‌های گیاهی بوده که توسط اکثر گیاهان خصوصاً طی مراحل اولیه بزرگ شدن برگ‌ها در اثر دمتیلاسیون پکتین، تولید و به‌عنوان یک ترکیب فرار به‌سرعت از طریق روزنه‌های بافت برگ به محیط اطراف انتشار می‌یابند (Fall and Benson, 1996; Galbally and Kirstine, 2002; Lionetti *et al.*, 2012). متانول به‌صورت فرم آلدهید، اسید فرمیک و درنهایت CO_2 در گیاه اکسید شده و به‌صورت اسیدهای آمینه (سرین و متیونین) و کربوهیدرات‌ها در بافت‌های مختلف گیاهان C_3 سنتز می‌شوند (Nonomura and Benson, 1992; Galbally and Kirstine, 2002). همچنین پژوهش‌ها نشان داده است اتانول در بافت گیاهی به فرمالدهید و در نهایت به دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن داخلی منجر به افزایش راندمان فتوسنتزی می‌گردد (Khosravi, 2011). متابولیسم متانول، اتانول و تبدیل آن به قندها در برگ‌های گیاهان تیمار شده با آن‌ها

۱- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲، ۳ و ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: m.moghadam@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.57520

می‌تواند پتانسیل اسمزی برگ‌ها را تغییر داده و باعث افزایش فشار آماس و افزایش هدایت روزنه‌ای آن‌ها شود که این امر باعث افزایش سرعت آسیمیلاسیون و همچنین افزایش رشد گیاهان خواهد شد (Nonomura and Benson, 1992; Rajala *et al.*, 1998; Makhdum *et al.*, 2002). فتوسنتز، فرآیند اساسی جهت ساخت مواد آلی در گیاهان است و مقدار ماده خشک تولیدی با درجه کارایی فتوسنتزی گیاه و همچنین با نحوه تثبیت دی‌اکسیدکربن ارتباط مستقیم دارد. درنتیجه افزایش سرعت فتوسنتز برای بالا بردن ظرفیت تولید می‌تواند مفید باشد. امروزه جهت دستیابی به این امر از ترکیباتی نظیر متانول، اتانول، پروپانول، بوتانول و نیز اسیدهای آمینه‌ای نظیر گلیسین، گلوتامات و آسپاراتات می‌توان استفاده نمود (Safarzade Vishekaei, 2007). در بین این ترکیبات اتانول و متانول موادی کاملاً شناخته‌شده می‌باشند.

نتایج پژوهشگران نشان داد، محلول‌پاشی ترکیبی اتانول و متانول منجر به افزایش بیوماس و درنتیجه عملکرد گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) (Khosravi *et al.*, 2011) و بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) (Mousavi, 2014) گردید. در بررسی دیگری عملکرد دانه، وزن دانه‌ها و تعداد غلاف در بوته‌هایی از سویا که با متانول (۰، ۲۵ و ۵۰ درصد حجمی) تیمار شده بودند، به‌طور معنی‌دار در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش یافت. طی این بررسی مشخص شد که محلول‌پاشی متانول ۲۵ درصد حجمی بیشترین اثر را بر رشد و افزایش عملکرد سویا گذاشت (Le *et al.*, 1995). همچنین گزارش‌شده است که در گیاه توت‌فرنگی (*Fragaria× ananasa* cv. Gaviota)، محلول‌پاشی هیدروالکل‌ها به‌صورت ترکیبی ۱۵٪ اتانول و متانول، رشد گیاه را افزایش و عملکرد میوه را نیز متناسب با آن افزایش داد (Yavarpanah, 2015). در مقابل در پژوهشی دیگر بیان شد که محلول‌پاشی متانول (۰، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ درصد حجمی) تأثیر مثبتی بر عملکرد برنج نداشت (Abbasian, 2014). در بررسی اثر محلول‌پاشی متانول بر رشد گیاه اسطوخودوس (*Lavandula stoechas* L.)، متانول در سطح ۲۰٪ بیشترین تأثیر را بر وزن‌تر و خشک برگ داشته است (Bagheri, 2014).

در این راستا با توجه به اثرات مثبت اتانول و متانول برای تولید گیاهان سالم (بدون استفاده از نهاده‌های شیمیایی)، هدف از این مطالعه اثر محلول‌پاشی هیدروالکل‌ها بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان (رقم کشکنی لولو) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی اتانول و متانول بر عملکرد مورفولوژیکی و برخی صفات بیوشیمیایی ریحان، آزمایشی در طی بهار و تابستان ۱۳۹۴ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در شرایط کنترل‌شده واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا اجرا گردید. میانگین بارندگی سالیانه و میانگین سالیانه دما به‌ترتیب ۲۱۲ میلی‌متر و ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

این آزمایش به‌صورت گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار و ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌های اتانول (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ حجمی)، متانول (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ حجمی)، مخلوط یکسان متانول و اتانول (۵، ۱۵ و ۲۵٪ حجمی) و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) بود. در این آزمایش از بذر ریحان اصلاح‌شده رقم کشکنی لولو استفاده شد. ابتدا بذور سالم در گلدان‌هایی از جنس پلاستیک به ارتفاع ۳۰ و قطر دهانه‌ی ۳۰ سانتی‌متری و دارای زهکشی مناسب به‌صورت کپه‌ای در عمق ۱– ۰/۵ سانتی‌متری خاک و در پنج نقطه از گلدان در اواسط فروردین‌ماه کاشته شد. پس از سبز شدن بذرها، در مرحله دوبرگی تنک‌کردن صورت گرفت به‌طوری‌که در هر نقطه یک گیاهچه سالم (چهار بوته در هر گلدان) از بین آن‌ها انتخاب شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک استفاده شده در آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of the experiment soil

هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	اشباع کل اسیدیته (pH)	شن ٪ (Sand)	لای ٪ (Silt)	رس ٪ (Clay)	بافت خاک (Soil text)
1.2	7.9	29	30	41	لومی رسی (Clay loam)

ازآن‌جایی‌که محلول‌پاشی در اوج تابش نور یعنی در ساعات میانی روز به دلیل جذب حداکثر الکل‌ها و در روزهای بدون وزش باد و باران مناسب‌تر است، محلول‌پاشی ساعت ۲ بعدازظهر انجام گردید (Noor Husseini Niakan *et al.*, 2011). محلول‌پاشی در ۴ مرحله و به فاصله‌ی ۱۵ روز یک‌بار تا خیس شدن کامل گیاه صورت گرفت. اولین محلول‌پاشی در مرحله‌ی ۶–۴ برگی (گیاهچه‌ای)، دومین محلول‌پاشی ۳۵ روز پس از کاشت و در مرحله ۱۰–۸ برگی، سومین محلول‌پاشی در مرحلهٔ شروع تشکیل گل‌آذین و آخرین مرحله محلول‌پاشی در مرحله‌ی ۸۰ درصد گلدهی گیاه ریحان انجام گرفت و ۱۵ روز پس از آن کلیه گیاهان برداشت شدند.

ارزیابی صفات مورفولوژیکی

جهت تعیین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد ساقه گل‌دهنده، تعداد گره، فاصله میانگره، طول گل‌آذین، قطر ساقه و وزن‌تر برگ و ساقه، چهار بوته به‌طور تصادفی برای هر تکرار (هر تکرار شامل پنج بوته) انتخاب‌شده و اندازه‌گیری برای صفات موردنظر صورت گرفت. برای تعیین طول و عرض برگ با انتخاب تصادفی چهار برگ میانی از بوته‌های هر گلدان این صفات توسط کولیس برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان طول و عرض تیمار مربوطه یادداشت گردید. جهت تعیین وزن خشک برگ و ساقه، هر یک از اندام‌ها به‌طور جداگانه در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن خشک ثابت قرار داده شد.

ارزیابی صفات بیوشیمیایی

برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئید، ۰/۲گرم (۲۰۰ میلی‌گرم) برگ تازه از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته را جدا کرده و آن را در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۹٪ برای استخراج رنگ‌دانه‌ها ساییده، سپس به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه انجام گرفت (Lutts *et al.*, 1996). سپس عصاره استخراج‌شده را برداشته و با استفاده از اسپکتروفتومتر میزان جذب نور در طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۵۳ و ۶۶۶ نانومتر قرائت گردید. درنهایت مقدار کلروفیل با استفاده از روابط زیر به‌دست آمد.

$$CHLa=15.65\ A666 - 7.34\ A653$$
$$CHLb=27.05\ A653 - 11/21\ A666$$
$$Cx+c= 1000\ A470 - 2.860\ CHLa - 129.2\ CHLb$$
$$CHLt = CHLa + CHLb + Cx+c$$

CHLa: میزان کلروفیل a، CHLb: میزان کلروفیل b، Cx+c: کاروتنوئید کل، CHLt: کلروفیل کل

همچنین شاخص سبزینگی با دستگاه SPAD اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی کل عصاره برگ، ابتدا عصاره‌های متانولی با استفاده از متانول خالص در دمای اتاق تهیه شد و آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی کل بر اساس روش Moon and Terao (1998) و با ایجاد کمی تغییرات از طریق غیرفعال کردن رادیکال‌های آزادشده توسط ماده DPPH (2,2-Diphenyl-1-picryl-hydrazul) صورت پذیرفت. جذب محلول‌های حاصل و شاهد (حاوی کلیهٔ مواد غیر از نمونه) در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. درصد بازداری از DPPH با مقایسه نمونه‌های عصاره و نمونه شاهد و استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد.

$$\%\ AA: 1 - A_{517}\ (sample)/A_{517}\ (control) \times 100$$

فنل کل در عصاره برگ با معرف فولین سیکالتو با روش پیشنهادی Singleton and Rossi (1965) اندازه‌گیری شد. مقدار جذب محلول با استفاده اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. از اسید گالیک به‌عنوان استاندارد استفاده شد و مقدار ترکیبات فنلی کل بر اساس معادل میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن خشک بیان می‌شود.

برای اندازه‌گیری قند کل ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره تغلیظ شده با سه میلی‌لیتر معرف آنترون مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. میزان جذب نور هر یک از نمونه‌ها پس از سرد شدن در طول موج ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Sadasivam and Manickam, 1992). داده‌های حاصل از آزمایش بر اساس طرح آماری استفاده‌شده (طرح کاملاً تصادفی)، با استفاده از نرم‌افزار JMP8 تجزیه‌وتحلیل شدند و مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. رسم اشکال و برخی محاسبات با استفاده از نرم‌افزار Excel 2003 انجام گرفت.

نتایج و بحث

بررسی صفات مورفولوژیکی

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق حاکی از آن بود که اعمال تیمارها در ۲۱ شاخص مورد ارزیابی دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($P\leq0.01$) بودند (جدول ۲).

بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد گره، ساقه گل‌دهنده، طول و عرض برگ، فاصله میانگره، وزن تر برگ، وزن خشک برگ و ساقه، طول گل‌آذین و قطر ساقه مربوط به تیمار محلول‌پاشی متانول ۴۰٪ بود و بیشترین مقدار وزن تر ساقه از تیمار محلول‌پاشی با متانول ۳۰٪ به‌دست آمد (جدول ۳). در تحقیقی بر روی گیاه پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) مشاهده گردید که اعمال تیمار هیدروالکلی متانول با غلظت ۳۰٪ اگرچه باعث افزایش ارتفاع نسبت به گیاهان شاهد شده ولی باعث کاهش عملکرد دانه، تعداد و وزن دانه گردید (Makhdum *et al.*, 2002). در این تحقیق نیز میزان ارتفاع گیاه ریحان با محلول‌پاشی متانول ۳۰٪ افزایش یافت ولی بیشترین مقدار آن با محلول‌پاشی با تیمار هیدروالکلی متانول ۴۰٪ مشاهده گردید (جدول ۲). متانول بعد از محلول‌پاشی از طریق آنزیم متانول اکسیداز تبدیل به فرمالدهید و سپس تبدیل به فرمات (متانوئیک اسید) می‌شود. فرمات در مرحله بعد توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز تبدیل به دی‌اکسیدکربن شده و باعث افزایش دی‌اکسیدکربن درون سلولی در گیاه می‌شود (Nonomora *et al.*, 1992). بنابراین متانول به‌عنوان یک منبع کربن می‌تواند در افزایش آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز خالص نقش داشته باشد (Ehyaei *et al.*, 2010).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاه ریحان تحت شرایط محلول‌پاشی اتانول و متانول

Table 2- Analysis of variance for measured traits in basil under foliar application of ethanol and methanol

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean square									
		ارتفاع بوته Plant height	شاخص سبزینگی SPAD	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد گره Number of node	تعداد ساقه گل‌دهنده Number of flowering stem	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	فاصله میانگره Internode length	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن تر ساقه Stem fresh weight
محلول‌پاشی Foliar application	11	13.20**	1084.12**	13.41**	3.78**	4.77**	0.46**	0.16**	1.91**	24.08**	14.03**
خطا Error	24	4.46	10.51	2.96	0.34	2.37	0.10	0.04	0.13	0.57	0.51
CV%		7.20	25.64	24.90	12.53	24.64	16.66	13.83	26.48	30.19	26.75

**: اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد

**: Significant difference at 1% level

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاه ریحان تحت شرایط محلول‌پاشی اتانول و متانول

Table 2- Analysis of variance for measured traits in basil under foliar application of ethanol and methanol

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean square									
		وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	طول گل‌آذین Inflorescence length	قطر ساقه Stem diameter	آنتی اکسیدان غیر آنزیمی کل Antioxidant activity	فنل کل Total phenol	قند Sugar content	کارتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total chlorophyll	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
محلول‌پاشی Foliar application	11	0.57**	0.64**	8.51**	0.006**	77.77**	6.23**	3.86**	0.41**	2.78**	1.52**	0.65**
خطا Error	24	0.03	0.02	0.31	0.0004	17.22	0.28	1.02	0.06	0.09	0.03	0.08
CV%		25.43	21.94	24.83	18.66	10.65	18.60	23.90	17.22	9.23	11.32	8.64

**: اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد

**: Significant difference at 1% level

در بررسی صورت گرفته روی پنبه مشاهده شد که محلول‌پاشی متانول موجب افزایش طول ساقه فرعی و تعداد گره ساقه اصلی می‌شود (Makhdum *et al.*, 2002). در نخود (*Cicer arietinum*) بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در محلول‌پاشی۳۰٪ متانول مشاهده شد (Ehyaei *et al.*, 2010). همچنین در تحقیق بر روی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) مشاهده شد که بیشترین مقدار تولید انشعابات فرعی ساقه مربوط به تیمار متانول ۴۰٪ بوده است و با افزایش غلظت به میزان ۵۰٪، کاهش انشعابات فرعی مشاهده گردید (Khosravi, 2011) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد ولی تعداد شاخه جانبی، تعداد گره و ساقه گل‌دهنده در تیمار اتانول ۱۰٪، کمتر از شاهد بود؛ بنابراین به نظر می‌رسد که الکل‌ها با غلظت‌های متفاوت بر گونه‌های مختلف تأثیرات متفاوتی را اعمال می‌کنند. در تحقیقی بر روی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) مشخص شد محلول‌پاشی با کمترین و بیشترین غلظت هیدروالکل‌ها (۱۰ و ۴۰ درصد حجمی اتانول و متانول) باعث تأثیر منفی روی تعداد شاخه جانبی شده است (Nourafcan and Kalantari, 2017). بیشترین مقدار وزن خشک ساقه و برگ مربوط به تیمار متانول ۴۰٪ بود (جدول ۳). احتمالاً متانول با به تعویق انداختن پیری سبب افزایش دوره فعال فتوسنتزی می‌شود که در نهایت منجر به تولید بیشتر محصول در گیاه می‌گردد (Heins *et al.*, 1980). گیاهان تیمار شده با متانول می‌توانند فتوسنتز خالص خود و متعاقب آن راندمان تبدیل کربن در گیاه را بهبود بخشند (Benson *et al.*, 1992). در آزمایشی بر روی چغندرقند، بیشترین ماده خشک هوایی در تیمار ۳۰٪ درصد حجمی متانول گزارش شد (Zebic *et al.*, 2003) که با نتایج این تحقیق مشابه بود ولی کمترین وزن خشک برگ در محلول‌پاشی با اتانول ۲۰٪ مشاهده شد (جدول ۳). در مطالعه‌ای که بر روی گوجه‌فرنگی انجام شد؛ مشخص گردید گیاهانی که با متانول ۱۵٪ محلول‌پاشی شدند، دارای وزن خشک برگ بیشتری نسبت به تیمار

شاهد بودند (Row *et al.*, 1994) که با نتایج این تحقیق همخوانی نداشت. عکس‌العمل متفاوت برگ این دو گیاه (ریحان و گوجه‌فرنگی) به تیمارهای الکلی با غلظت‌های یکسان می‌تواند مربوط به اختلاف در ساختمان برگ و در فرآیند متابولیسم این دو گیاه به دلیل خصوصیات ژنتیکی متنوع باشد. در گیاهان تیمار شده با متانول آسیمیلاسیون نیتروژن افزایش می‌یابد (Abanda *et al.*, 2006). با افزایش میزان نیتروژن به‌طور قابل‌توجهی اندازه و تعداد برگ افزایش می‌یابد و تا حدود زیادی سبب افزایش مقدار نور جذب شده می‌شود (Muchow, 1990) که بر طبق نتیجه به‌دست آمده از این تحقیق، بیشترین طول و عرض برگ مربوط به محلول‌پاشی با متانول ۴۰ درصد بود. همچنین کمترین طول برگ مربوط به گیاهان شاهد و اتانول ۲۰ درصد و عرض برگ مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳). محلول‌پاشی متانول بر روی برگ گیاهان باعث فعال شدن ژن پکتین متیل استراز شده که به افزایش یون کلسیم در سلول‌های برگ و درنهایت بزرگ شدن برگ‌ها منجر می‌شود (Ramirez *et al.*, 2006). محلول‌پاشی متانول به‌طور غیرمستقیم سبب تحریک باکتری‌های متیلوتروف برگ گیاهان شده و این باکتری‌ها با تولید اکسین و سیتوکینین باعث تسریع روند رشد در گیاهان می‌شود (Ivanova *et al.*, 2001). بنابراین در ریحان تعداد ساقه گل‌دهنده با تیمار متانول ۴۰٪ بیشترین مقدار و اتانول ۱۰٪ کمترین مقدار را داشت. متانول سبب افزایش تولید هورمون جیبرلین می‌شود (Ivanova *et al.*, 2001). افزایش تولید این هورمون می‌تواند قطر ساقه را تحت تأثیر قرار دهد؛ که این مورد نیز باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار در قطر ساقه ریحان شد؛ به‌طوری‌که بیشترین قطر ساقه مربوط به تیمار متانول ۴۰٪ بود (جدول ۳).

بررسی صفات بیوشیمیایی

نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین میزان قند مربوط به محلول‌پاشی با متانول ۱۰٪ بود و افزایش غلظت متانول باعث کاهش آن می‌شود (جدول ۴). ازآن‌جایی‌که تیمار متانول باعث تولید دو مولکول سرین در گیاهان تحت تیمار می‌شود؛ بنابراین چنین وضعیتی باعث افزایش گلوگز، فروکتوز و دو برابر شدن ساکارز و درکل باعث افزایش عملکرد و میزان قند می‌شود (Ramirez *et al.*, 2006). محتوای کلروفیل (a، b و کل) و همچنین کاروتنوئید به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر تیمارهای اعمال‌شده قرار گرفتند (جدول ۴). متانول و اتانول به‌تنهایی و یا در ترکیب باهم در محلول‌پاشی روی ریحان اثر قابل‌توجهی داشتند. به این صورت که بیشترین مقدار کارتنوئید و کلروفیل b در ترکیب اتانول و متانول ۲۵٪ و بیشترین مقدار کلروفیل a و کل در تیمار اتانول ۲۰٪ مشاهده شد (جدول ۳). محتوای کلروفیل برگ یک عامل مهم در تعیین ظرفیت فتوسنتزی برگ می‌باشد. در آزمایش‌های مختلف یک همبستگی مثبت بین میزان فتوسنتز برگ و محتوای کلروفیل وجود دارد (Hesketh *et al.*, 1983). از سویی دیگر، تشکیل کلروفیل در حضور نور نیاز به هورمون سیتوکینین دارد. بنابراین الکل باعث افزایش محتوای سیتوکینین گیاه می‌شود.

جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح مختلف محلول‌پاشی اتانول و متانول بر صفات مورفولوژیکی گیاه ریحان

Table 3- The mean comparison of ethanol and methanol foliar application on morphological traits of basil

تیمار ٪ Treatment		ارتفاع Plant height (cm)	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد گره Number of node	تعداد ساقه گل‌دهنده Number of flowering stem	طول برگ Leaf length (cm)	عرض برگ Leaf width (cm)	فاصله میانگره Internode length (cm)
شاهد Control	0	34.15^{e}	15.13^{de}	8.66^{de}	7.11^{ef}	3.85^{de}	1.78^{d}	3.25^{bc}
اتانول Ethanol	10	38.31^{abcd}	13.76^{f}	7.66^{f}	6.66^{f}	4.54^{bc}	2.19^{bc}	3.40^{b}
	20	35.08^{cde}	14.50^{ef}	8.50^{def}	7.66^{ef}	3.91^{de}	2.04^{bcd}	2.25^{ef}
	30	38.54^{abc}	17.15^{c}	10.50^{ab}	10.66^{bcd}	4.33^{bcd}	1.90^{cd}	2.00^{f}
	40	38.44^{abcd}	15.65^{d}	8.17^{ef}	10.55^{bcd}	4.36^{bcd}	2.07^{bcd}	3.13^{bc}
متانول Methanol	10	34.95^{de}	15.03^{de}	9.22^{cd}	8.33^{def}	4.03^{cde}	1.91^{cd}	2.70^{cde}
	20	36.18^{cde}	18.85^{b}	10.55^{ab}	12.77^{ab}	4.12^{bcde}	2.20^{bc}	2.50^{def}
	30	36.74^{bcde}	18.33^{b}	9.22^{cd}	11.55^{abc}	4.63^{ab}	2.33^{ab}	4.70^{a}
	40	41.1^{a}	20.03^{a}	11.33^{a}	13.44^{a}	5.18^{a}	2.67^{a}	4.43^{a}
اتانول×متانول Ethanol× Methanol	5	36.96^{bcde}	19.20^{ab}	10.33^{b}	9.33^{cde}	3.67^{e}	2.02^{bcd}	3.40^{b}
	15	36.37^{cde}	17.03^{c}	9.66^{bc}	11.11^{abc}	4.20^{bcde}	2.28^{b}	3.10^{bcd}
	25	40.01^{ab}	19.20^{ab}	10.33^{b}	11.44^{abc}	4.07^{bcde}	2.09^{bcd}	2.86^{bcd}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال آماری پنج درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند

Means with same letters in each column are not significantly different at 5 (%) probability level according to LSD test

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح مختلف محلول‌پاشی اتانول و متانول بر صفات مورفولوژیکی گیاه ریحان

Table 3- The mean comparison of ethanol and methanol foliar application on morphological traits of basil

تیمار ٪ Treatment		وزن تر برگ Leaf fresh weight (g per plant)	وزن تر ساقه Stem fresh weight (g per plant)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g per plant)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g per plant)	طول گل‌آذین Inflorescence length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)
شاهد Control	0	7.28^{de}	4.41^{e}	1.04^{cdef}	4.06^{c}	2.89^{def}	0.24^{de}
اتانول Ethanol	10	6.36^{e}	5.63^{d}	1.13^{cde}	3.70^{cd}	3.00^{cde}	0.17^{f}
	20	5.01^{f}	7.83^{bc}	0.75^{f}	2.16^{e}	2.58^{g}	0.25^{cde}
	30	6.36^{e}	8.13^{bc}	0.89^{def}	3.47^{cd}	2.82^{efg}	0.28^{bc}
	40	8.12^{cd}	8.35^{b}	1.35^{bc}	4.36^{c}	2.85^{ef}	0.29^{b}
متانول Methanol	10	8.98^{bc}	5.95^{d}	1.18^{cd}	3.96^{c}	3.06^{cde}	0.24^{cde}
	20	8.74^{bc}	5.16^{de}	1.07^{cde}	4.41^{c}	3.14^{cd}	0.24^{cde}
	30	9.30^{bc}	9.42^{a}	1.61^{b}	6.48^{b}	3.48^{b}	0.27^{bcd}
	40	16.02^{a}	8.05^{bc}	2.32^{a}	10.45^{a}	4.23^{a}	0.36^{a}
اتانول×متانول Ethanol× Methanol	5	6.33^{e}	4.28^{e}	0.83^{ef}	2.71^{de}	2.68^{fg}	0.23^{e}
	15	9.75^{b}	7.51^{bc}	1.53^{b}	5.74^{b}	3.26^{bc}	0.23^{de}
	25	9.75^{b}	7.31^{c}	1.55^{b}	4.47^{c}	3.22^{c}	0.22^{e}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with same letters in each column are not significantly different at 5 (%) probability level according to LSD test.

جدول ٤- مقایسه میانگین سطوح مختلف محلول‌پاشی اتانول و متانول بر صفات بیوشیمیایی گیاه ریحان

Table 4- The mean comparison of ethanol and methanol foliar application on biochemical traits of basil

تیمار ٪ Treatment		آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی کل Antioxidant activity (%)	فنل کل Total phenol (mg.g^{-1}FW)	قند Sugar content (mg.g^{-1}FW)	کارتنوئید Carotenoid (mg.g^{-1}FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g^{-1}FW)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g^{-1}FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g^{-1}FW)	شاخص سبزینگی SPAD
شاهد Control	0	29.96^{ed}	6.17^{def}	0.0804^{bc}	0.77^{cd}	3.51^{cd}	2.45^{cd}	1.45^{bc}	29.80^{g}
اتانول Ethanol	10	35.40^{bcd}	6.31^{def}	0.0798^{d}	0.79^{cd}	4.24^{b}	3.25^{b}	1.00^{cdef}	76.35^{cde}
	20	41.10^{ab}	7.00^{cd}	0.0801^{bcd}	1.00^{bcd}	5.51^{a}	4.09^{a}	1.42^{bc}	55.37^{f}
	30	33.30^{cde}	8.11^{b}	0.0802^{bcd}	0.22^{e}	4.14^{b}	2.08^{e}	1.57^{ab}	86.75^{abc}
	40	36.30^{abcd}	7.85^{bc}	0.0800^{cd}	1.16^{abc}	2.39^{e}	2.26^{de}	1.13^{bcd}	74.35^{de}
متانول Methanol	10	37.93^{abc}	7.84^{bc}	0.0811^{a}	0.63^{de}	2.62^{e}	2.24^{de}	0.77^{def}	65.73^{ef}
	20	30.16^{de}	6.29^{def}	0.0799^{d}	0.81^{cd}	3.89^{bc}	2.73^{c}	1.04^{cde}	78.05^{cd}
	30	30.30^{de}	6.75^{d}	0.0806^{ab}	1.33^{ab}	3.62^{cd}	1.98^{ef}	1.34^{bc}	95.96^{ab}
	40	28.26^{e}	6.67^{de}	0.0800^{cd}	0.69^{d}	3.14^{d}	2.41^{cd}	0.56^{ef}	98.65^{a}
اتانول×متانول Ethanol× Methanol	5	27.03^{e}	5.72^{f}	0.0801^{bcd}	0.67^{d}	2.41^{e}	1.41^{g}	0.62^{ef}	71.50^{de}
	15	36.86^{abcd}	5.84^{ef}	0.0799^{cd}	1.42^{ab}	2.18^{e}	1.67^{fg}	0.51^{f}	88.06^{abc}
	25	42.80^{a}	10.95^{a}	0.0802^{bcd}	1.47^{a}	3.15^{d}	2.68^{c}	2.06^{a}	86.56^{bc}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح احتمال آماری پنج درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with same letters in each column are not significantly different at 5 (%) probability level according to LSD test.

آن‌هم به‌نوبه‌ی خود باعث افزایش میزان رنگ‌دانه کلروفیل و کارتنوئید می‌گردد (Ivanova *et al.*, 2001). با توجه به گزارش‌ها، متانول به فرمالدئید تبدیل و سپس با اکسیداسیون سریع به دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شود. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در برگ نقطه جبران دی‌اکسیدکربن را بالا می‌برد. متانول، فشار آماس، درصد قند و تورم سلول را افزایش و به توسعه برگ و افزایش کلروفیل و محتوای کاروتنوئید کمک می‌کند (Zbiec *et al.*, 2003). همچنین بیشترین مقدار بیوسنتز کلروفیل (شاخص سبزینگی) در ریحان مربوط به محلول‌پاشی با متانول ۴۰٪ و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) بود (جدول ۴) که مشابه با نتایج Khosravi (2011) است که بر طبق تحقیقات آن، مقدار بیوسنتز کلروفیل در بادرنجبویه با افزایش غلظت تیمار هیدروالکلی متانول به ۵۰٪ روند رو

به افزایشی را به دنبال داشته است. در این تحقیق اثر عصاره ریحان در جاروب کردن رادیکال‌های آزاد DPPH مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش حاکی از این بود که آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی کل و فنل کل تحت تأثیر محلول‌پاشی ترکیب اتانول و متانول ۲۵٪ بیشترین مقدار را داشت و کمترین مقدار مربوط به متانول ۴۰٪ بود. بنابراین کاربرد متانول و اتانول به تنهایی باعث کاهش معنی‌داری در این صفات می‌شود (جدول ۴). ارزیابی ترکیبات بیواکتیو آنتی‌اکسیدان در روغن ذرت نشان داد که قدرت به دام‌اندازی رادیکال‌های آزاد DPPH بیشترین همبستگی را با فنل کل و محتوای کاروتنوئید دارد (Qasimk *et al.*, 2010). در این تحقیق نیز همبستگی مثبتی بین فنل کل و آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی کل مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه سطح محلول‌پاشی ۴۰ درصد حجمی متانول در اکثر صفات بر سایر سطوح برتری نشان داد و در رابطه با صفات بیوشیمیایی بهترین تیمار استفاده ترکیبی اتانول و متانول می‌باشد. استفاده از متانول به‌عنوان عامل افزایش‌دهنده منبع کربن و راندمان فتوسنتزی می‌تواند تأثیر بسیار زیادی بر رشد و عملکرد گیاه ریحان رقم کشکنی لولو در گلدان داشته باشد. با توجه به این مطالب استفاده از محلول‌پاشی متانول اهمیت زیادی پیدا می‌کند. اگر زمینه کاربردی استفاده از متانول را بررسی کنیم، شاید با توجه به قیمت متانول و مقدار مصرف بالای آن در سطح وسیع مزرعه، استفاده از آن زیر سؤال برود؛ اما با توجه به مطالب گفته‌شده و ذکر مجدد این نکته که متانول می‌تواند عنصر کربن را که از عناصر ضروری و پرمصرف مورد نیاز گیاه است، تأمین کند. بنابراین می‌توان متانول را به‌عنوان یک کود در نظر گرفت و همان‌طور که در بسیاری از کشورها به کود یارانه تعلق می‌گیرد، در مورد متانول نیز می‌تواند همین رویه را در پیش گرفت. البته این موضوع در صورتی محقق خواهد شد که سودمندی استفاده از متانول در مورد گیاهان مختلف به‌خوبی به اثبات برسد که این موضوع مستلزم انجام آزمایش‌های بیشتری در شرایط مزرعه در آینده خواهد بود.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۲/۳۸۷۵۹ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است.

References

1. Abanda, D., Musch, M., Tschiersch, J., and Schawb, M. 2006. Molecular interaction between methylobacterium extorquens and seedling: growth promotion, methanol consumption and localization of the methanol emission site. Journal of Experimental Botany 57 (15): 4025-4032.
2. Abbasian, A., Mirshekari, B., Safarzadeh Vishekaei, M. N., Rashidi, V., and Aminpanah, H. 2014. Growth, yield, and yield component changes in response to methanol application on rice (*Oryza sativa* cv. shiroudi). Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences 4 (2): 361-369.
3. Bagheri, H. R., Ladan Moghadam, A. R., and Afshari, H. 2014. The effects of foliar application of methanol on growth and secondary metabolites in lavender. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 8 (2): 150-152.
4. Benson, A. A., and Nonomura, A. M. 1994. The path of carbon in photosynthesis: methanol inhibition of glycolic acid accumulation. Research Journal of Phytochemistry 34: 196.
5. Ehyaei, H. R., Parsa, M., Kafi, M., and Nasiri Mahalati, M. 2010. Effect of foliar application of methanol and irrigation regimes on yield and yield components of chickpea cultivars. Iranian Journal Pulses Research 1: 37-48. (in Persian with English abstract).
6. Fall, R., and Benson, A. A. 1996. Leaf methanol-The simplest natural product from plants. Journal of Trends Plant Science 1: 296-301.
7. Galbally, E., and Kirstine, W. 2002. The production of methanol by flowering plants and the global cycle of methanol. Journal of Atmospheric Chemistry 43: 195-229.
8. Heins, R. 1980. Inhibition of ethylene synthesis and senescence in carnation by ethanol. Journal of the American Society for Horticultural Science 105 (1): 141-144.
9. Hesketh, J. D., Orgen, W. L., Hageman, M. E., and Peters, D. B. 1981. Correlation among leaf CO_2-exchange rates, areas and enzyme activities among soybean cultivars. Photosynthesis Research 2: 21-30.
10. Ivanova, E. G., Dornina, N. V., and Trotsenko, Y. A. 2001. Aerobic methylobacteria are capable of synthesizing auxins. Microbiology 70: 392-397.
11. Khosravi, E. 2011. Effect of methanol and ethanol on yield and quality of *Melissa officinalis* L. Master's thesis. Department of Horticulture Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Karaj, Iran. (in Persian).
12. Khosravi, M. T., Mehrafarin, A., Naghdi Badi H. A., Haji Aghaee, R., and Khosravi, E. 2011. Effect of methanol and ethanol on yield of *Echinacea purpurea* at Karaj-Iran. Journal of Herbal Drugs 2 (2): 121-128. (in Persian with English abstract).

13. Koocheki, A. R., and Khajeh Hosseini, M. 2008. Modern Agronomy. Jihad-e- Daneshgahi of Mashhad Press. (in Persian).
14. Li, Y., Gupta, J., and Siyumbano, A. K. 1995. Effect of methanol on soybean photosynthesis and chlorophyll. Journal of Plant Nutrition 18: 1875-1880.
15. Lionetti, V., Cervone, F., and Bellincampi, D. 2012. Methyl esterification of pectin plays a role during plant-pathogen interactions and affects plant resistance to diseases. Journal of Plant Physiology 169: 1623-1630.
16. Lutts, S., Kinet J. M., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Journal of Annals of Botany 78: 389-398.
17. Makhdum, M. I., Malik, M. N. A., Din, S. U., Ahmad, F., and Chaudhry, F. I. 2002. Physiology response of cotton to methanol foliar application. Journal of Research (Science) 13: 37-43.
18. Moon, J. H., and Terao, J. 1998. Antioxidant activity of caffeic acid and dihydrocaffeic acid in lard and human low density lipoprotein. Journal of Agriculture and Food Chemistry 46: 5062-5065.
19. Mousavi, J., and Bazrgar, A. B. 2014. Effect of foliar application of methanol and ethanol on yield components and essential oil content of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences 4 (4): 381-386.
20. Muchow, R. C., Sinclair, T., and Rennetl, I. M. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. Agronomy Journal 82: 238-343.
21. Nonomura, A. M., and Benson, A. 1992. The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 89: 9794-9798.
22. Noor Husseini Niakan, S. A., Safarzadeh Vishkai, M. N., Aslani, A., and Vale Sheyda F. 2011. Effect of concentration methanol foliar application time on growth and yield of mungbean. Journal of Agricultural Research 3: 305-295.
23. Nourafcan, H., and Kalantari, Z. 2017. The effect of methanol and ethanol foliar application on peppermint morpho-physiological charactristics. Agroecology Journal 12 (4): 1-9. (in Persian with English abstract).
24. Omidbaigi, R. 2007. Production and processing of medicinal plants (Volume 1). Behnashr Publications. Tehran. (in Persian).
25. Qasim, A., Ashraff, M., and Anwar, F. 2010. Seed composition and seed oil antioxidant activity of maize under water stress. Journal of American Oil Chemistry Society 87: 1179-1187.
26. Rajala, A., Karkkainen, J., Peltonen, S., and Peltonen-Sainio, P. 1998. Foliar applications of alcohols failed to enhance growth and yield of C3 crop. Journal of Industrial Crops and Products 7: 129-137.
27. Ramirez, I. F., Dorta, V., Espinoza, E., Jimenez, A., and Mercado, 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: 30-44.
28. 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* L.). New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 22: 335-337.
29. Sadasivam, S., and Manickam, A. 1992. In: Biochemical Methods for Agricultural Sciences. Wiley Eastern Ltd., New Delhi. Pp.184-185.
30. Safarzade Vishkaei, M. 2007. Effects of methanol on growth and yield of peanut. Ph.D. thesis. Sciences and Research Unit, Islamic Azad University Tehran, Iran. 232 pp. (in Persian).
31. Singleton, V. L., and Rossi, J. A. 1965. Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic and phosphotungstic acid reagent. American Journal of Enology and Viticulture 16: 144-158.
32. Yavarpanah, Z., Alizadeh, M., and Seifi, E. 2015. Effects of foliar and root applications of hydro-alcoholic solutions on physiological and biochemical attributes and fruit yield and weight of strawberry. Journal of Plant Physiology and Breeding 5 (1): 47-54.
33. Zbiec, I. I., Karczmarczyk, S., and Koszanski, Z. 1999. Influence of methanol on some cultivated plants. Department of Plant Production and Irrigation. Agricultural University of Szczecin 73: 217-220.
34. Zbiec, I., Karczmarczyk, S., and Podsiadlo, C. 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU) 6 (1): 1-7.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 345-354

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۵۴-۳۴۵

Studying the Effect of Foliar Application of Methanol and Ethanol on Morphological and Biochemical Characteristics of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* c.v. Keshkeni luvelou)

M. Moghaddam[1*]- R. Narimani[2]- Gh. Rostami[3]- S. Mojarab[4]

Received: 15-07-2016
Accepted: 22-08-2017

Introduction

The side effects of chemical drugs has resulted in more attention of human to use medicinal plants and extract their ingredients for treated of many diseases. Iranian plateau have been introduced as an origin of many medicinal plants and according to the needs of pharmaceutical, food and cosmetic industries to medicinal plants as a raw materials, necessity of cultivation of medicinal plant species in the country is quite clear, because dependency to natural products and the indiscriminate exploitation of them will be extinction of this species. Basil (*Ocimum basilicum*) is a medicinal plant of the family of Lamiaceae, which it is very important in pharmaceutical industry, food and traditional medicine. Due to serious problems in the past decades resulting excessive application of chemical inputs and plant growth regulators to enhance agricultural production, nowadays, the need for new technologies to produce safe food and to protect environment has been of great interest to the international community. In this regard, the application of alcohols, especially ethanol and methanol solutions, to improve the performance of plants in the agricultural systems are important. Alcohols are the most important compounds in organic chemistry and they have wide frequency in the nature and are easily produced in the industry and chemical laboratories. In addition, use of foliar application of methanol and ethanol on the aerial parts of different plants propound as one of the newest strategies to increase growth and their yield. The objective of this experiment was evaluation of methanol and ethanol spraying effects on morphological and biochemical characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.).

Materials and Methods

This experiment was carried out as completely randomized design with three replications at the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, in 2015. Plants were foliar treated with four levels of ethanol (0, 10, 20 and 40% v/v), methanol (0, 10, 20 and 40% v/v), the same mixture of methanol and ethanol (5, 15 and 25% v/v), and control (without spraying).

Results and Discussion

The results of variance analysis showed that the effect of foliar application had significant effect (P<0.01) on measured indices, so that 40% methanol in the most of morphological characters is superior to the other levels. Alcohol treatments are effective to the growth and development of the vegetative organs of plants. Also, alcohol treatments can increase the carbohydrate accumulation and carbon dioxide concentration. Also, foliar application of methanol along with methanol that produces at leaves by pectin methyl esterase enzyme in cell wall development processes can increase cytokine in production and stimulation plant growth. In the biochemical traits, the most of antioxidant activity, phenol, carotenoids and chlorophyll b related to interaction of foliar application of methanol and ethanol 25%. Methanol increases turgor pressure, sugar content, cell swelling and helps to leaves development and increasing of chlorophyll and carotenoid content. Foliar application of methanol lead to increasing of FBPase enzyme activity such as enzymes that involve in control photosynthetic process. Ethanol converts to formaldehyde after penetrating to plant tissue and finally converts to

1- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Ferdowsi University of Mashhad
2, 3, 4- MSc of Horticultural Science, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: m.moghadam@um.ac.ir)

carbon dioxide. Produced carbon dioxide increases internal concentration of that at leaf and causes to increase of photosynthetic efficiency. Also the most of total chlorophyll and chlorophyll a with 20% ethanol treatment and the most level of sugar were achieved by foliar application with 10% methanol.

Conclusions

Generally in this study it can be concluded that foliar application of methanol and ethanol as a carbon source and biostimulant can increase the biomass and yield of Basil.

Keywords: Antioxidant activity, Hydroalcoholic, Sugar, Yield

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۶۸-۳۵۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 355-368

تعیین غلظت و اسیدیته بهینه ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم بر راندمان محلول‌پاشی گیاهچه‌های سیب‌زمینی

محمد کافی[1*] - بیژن سعادتیان[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۱

چکیده

نقش مؤثر سیلیسیم در بهبود خصوصیات گیاهی به اثبات رسیده است. ترکیبات حاوی این عنصر در غالب موارد به‌صورت برگ‌پاشی استفاده می‌شوند. از سویی، به نظر می‌رسد که اسیدیته محلول نقش مؤثری در کارایی این فرآیند ایفا نماید. لذا پژوهش حاضر جهت تعیین غلظت و اسیدیته بهینه ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم طی دو آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۲ انجام شد. در آزمایش تعیین غلظت بهینه، تیمارها شامل دو اندازه ذره سیلیسیم (نانو و میکرو) و غلظت‌های محلول‌پاشی در ۱۱ سطح (بدون محلول‌پاشی، آب مقطر+ مویان، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. تیمارهای آزمایش دوم شامل غلظت بهینه سیلیکات سدیم (۴۰۰ میلی گرم در لیتر)، آب مقطر و سه سطح اسیدیته (۵، ۷ و ۱۱/۳) برای غلظت بهینه سیلیسیم نانو و میکرو بود. نتایج آزمایش اول نشان داد که با افزایش غلظت سیلیسیم تا ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر صفات فتوسنتز، کلروفیل a و عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی افزایش معنی‌داری نشان داد. کاربرد سیلیسیم نانو و میکرو تا غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش پایداری غشای سلولی، کاهش تعرق برگی، افزایش کارایی مصرف آب، افزایش کلروفیل b و کارتنوئیدهای برگ سیب‌زمینی را در پی داشت و اثر نانو ذرات به‌طور معنی‌داری بیشتر از ذرات میکرو بود. اما در غلظت‌های بالا، هر دو اندازه ذرات سیلیسیم اثر منفی بر صفات مورد بررسی داشت. در آزمایش دوم، تأثیر نانو ذرات سیلیسیم در بهبود صفات شاخص پایداری غشای سلولی، کلروفیل b، میانگین وزن ریزغده و وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب ۵/۴، ۹/۷، ۹ و ۱۲ درصد بیشتر از ذرات میکرو بود. همچنین در تیمار محلول‌پاشی با اسیدیته ۵، صفات شاخص پایداری غشای سلولی، وزن خشک اندام هوایی و کارایی مصرف بیشترین افزایش را به‌ترتیب با ۸/۸، ۱۱/۶ و ۲۱/۳ درصد نسبت به اسیدیته ۱۱/۳ نشان دادند. کاهش اسیدیته محلول‌پاشی ذرات نانو و میکرو سیلیسیم از نظر آماری افزایش فتوسنتز، کاهش تعرق، افزایش عملکرد ریزغده و افزایش مقدار سیلیسیم اندام هوایی را نسبت به شاهد در پی داشت. در مجموع بهترین تیمار، غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم و اسیدیته ۵ بود.

واژه‌های کلیدی: شاخص پایداری غشاء سلولی، عملکرد ریزغده، فتوسنتز، کارایی مصرف آب، کلروفیل

مقدمه

هرچند سیلیسیم عنصری ضروری برای بسیاری از گیاهان محسوب نمی‌شود، اما اکثر گیاهان قادر به جذب سیلیسیم بوده و قابلیت جذب آنها در برخی موارد حتی تا ۱۰ درصد زیست توده نیز می‌رسد (Epstein, 1999). سیلیسیم در بسیاری موارد به‌عنوان یک عنصر مفید در علم تغذیه گیاهی شناخته می‌شود (Epstein, 1999; Tuna *et al.*, 2008; Haghighi and Pessarakli, 2013; Saadatian and Kafi, 2015). در برخی گزارشات عنوان شده که سیلیسیم در بهبود کارایی مصرف آب (Hu and Schmidhalter, 2005; Romero-Aranda *et al.*, 2006; Haghighi and Pessarakli, 2013)، افزایش فتوسنتز و کاهش اختلالات فیزیولوژیک (Adtina and Beasford, 1986; Samuels *et al.*, 1993; Romero-Aranda *et al.*, 2006; Tuna *et al.*, 2008; Shen *et al.*, 2010; Haghighi and Pessarakli, 2013) نقش مؤثری ایفا نموده و می‌تواند باعث افزایش تولید و کیفیت محصول شود (Cherif and Belanger, 1992; Samuels *et al.*, 1993; Nasri, *et al.*, 2008; Hashemi *et al.*, 2010; Saadatian and

۱- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.kafi@um.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.57918

Kafi, 2015). رسوب سیلیسیم در دیواره سلولی می‌تواند افزایش استحکام و تقویت دیواره را درپی داشته (Epstein, 1999) و سبب پایداری غشاءهای زیستی شود (Liang *et al.*, 1996; Haghighi and Pessarakli, 2013).

گزارشات نشان داده که کاربرد سیلیسیم در گندم (*Triticum aestivum* L.) کاهش درصد نشت الکترولیت، افزایش رطوبت نسبی و افزایش محتوای کلروفیل a، b و مجموع آنها را در پی داشته است (Tuna *et al.*, 2008). همچنین یافته‌ها حاکی از افزایش قابل ملاحظه عملکرد خیار (*Cucumis sativus*) در تیمارهای ۱۰۰ الی ۲۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم در لیتر بود (Cherif and Belanger, 1992). در ادامه، کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات سدیم در محلول غذایی، علاوه بر افزایش غلظت سیلیسیم در بافت ریشه و اندام‌های هوایی، بر صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه و ارتفاع گیاهان تیمار شده اثر مثبت و معنی‌داری داشت (Mohaghegh *et al.*, 2010). محلول‌پاشی سیلیسیم با غلظت ۶ در هزار سیلیکات سدیم نیز ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک کلزا (*Brassica napus L.*) را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Nasri *et al.*, 2008).

در حال حاضر کشت بافت یکی از روش‌های جدید برای تکثیر غده‌های بذری سالم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) است که بسیار انعطاف‌پذیر بوده و منجر به تولید تعداد زیادی غده می‌شود (Lim *et al.*, 2004; Ozturk and Yildirim, 2010). پرورش گیاهچه‌های سیب‌زمینی جهت تولید ریزغده‌ها در محیط هیدروپونیک و بسترهای کشت صورت می‌گیرد. اگرچه تمامی عناصر غذایی مورد نیاز در این روش از طریق استفاده از محلول‌های غذایی تأمین می‌گردد، اما نقش تغذیه‌ای سیلیسیم به‌عنوان یک عنصر مفید در تولید ریزغده‌ها مورد توجه قرار نگرفته است (Saadatian and Kafi, 2015).

امروزه جهت گسترش استفاده از نانو مواد به‌ویژه سیلیسیم در بخش کشاورزی تلاش‌هایی صورت گرفته است. در این رابطه گزارشات نشان داده که وزن خشک اندام هوایی و ریشه، میزان کلروفیل و کارتنوئید ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو و میکرو سیلیکون به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در هر یک از سطوح سیلیکون، اثر نانو ذرات در بهبود صفات به‌طور معنی‌داری بیشتر از ذرات میکرو بود (Zare *et al.*, 2016). در آزمایشی دیگر، بیشترین مقادیر صفات حداکثر فلورسانس کلروفیل، عملکرد کوانتومی فتوسیستم Π، عملکرد و تعداد ریزغده سیب‌زمینی در غلظت ۰/۳ میلی‌مولار ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم افزوده شده به محلول غذایی به‌دست آمد (Saadatian and Kafi, 2015). تأثیر مثبت نانو ذرات سیلیسیم بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاهچه‌های گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) نیز تحت تنش شوری گزارش شده است (Haghighi and Pessarakli, 2013).

علی‌رغم عدم وجود اطلاعات کافی پیرامون اثر اسیدیته محلول بر کارایی جذب آن، این موضوع یکی از فاکتورهای تعیین‌کننده در مطالعات مرتبط با برگ‌پاشی عناصر و ترکیبات مختلف است و می‌تواند نقش مؤثری در تغییر نتایج داشته باشد (Wójcik, 2004). از سویی دیگر، در حالی‌که نتایج پیشین حاکی از اثرات سمیت گیاهی غلظت‌های بالای نانو ذرات بوده (Haghighi and Pessarakli, 2013; Saadatian and Kafi, 2015)، اما تحقیقی در زمینه تعیین غلظت بهینه نانو ذرات سیلیکات سدیم برای محلول‌پاشی سیب‌زمینی صورت نگرفته است. لذا در این پژوهش تعیین غلظت و اسیدیته بهینه ذرات سیلیکات سدیم از طریق بررسی پارامترهای فتوسنتزی، رنگدانه‌ها، عملکرد و اجزای عملکرد ریزغده‌ها انجام شد و در سطوح بالاتر، کاربرد نانو ذرات بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد سیب‌زمینی داشت

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور تعیین غلظت بهینه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت دو مرحله‌ای و در سال ۱۳۹۲ انجام شد. آزمایش اول به‌صورت فاکتوریل دو عاملی و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل شکل متداول سیلیکات سدیم در کنار نانو ذرات سیلیکات سدیم و غلظت‌های محلول‌پاشی در ۱۱ سطح (بدون محلول‌پاشی، آب مقطر+ مویان، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. هر تکرار شامل چهار بوته بود. اسیدیته ناشی از انحلال سیلیکات سدیم برای تیمارها توسط دستگاه pH متر ثبت گردید (جدول ۱). به هر یک از تیمارهای سیلیکات سدیم، مویان سیتوگیت با غلظت دو در هزار اضافه شد (Rashed Mohassel *et al.*, 2011). محلول‌پاشی در طی دو مرحله شروع استولون‌دهی و شروع غده‌دهی انجام شد.

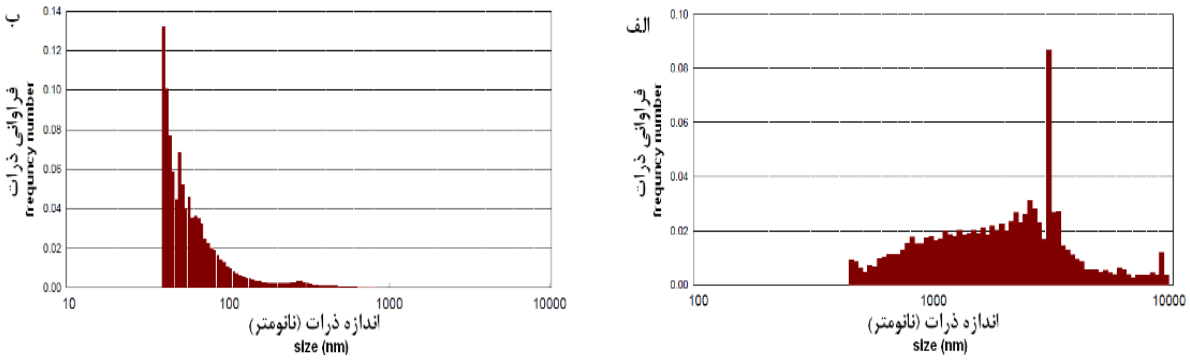
از طریق کشت گره سیب‌زمینی عاری از ویروس رقم آگریا در محیط درون شیشه‌ای، گیاهچه‌های سیب‌زمینی تولید شد. هر بوته گیاهچه در گلدان پلاستیکی با قطر دهانه و ارتفاع ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر قرار گرفت. بستر کشت با ترکیب پرلیت، کوکوپیت و ماسه به نسبت‌های ۴:۳:۳ تهیه شد. نیمی از بستر ابتدا و نیم دیگر طی فصل اضافه شد. تعیین میانگین قطر ذرات نانو و میکرو توسط اشعه ایکس و با دستگاه تعیین اندازه ذرات (PSA) مدل VASCO3 ساخت شرکت Cor Douan فرانسه (دقت اندازه‌گیری در بازه ۶

میکرون تا ۱ نانومتر) بود (شکل۱). میانگین قطر ذرات نـانو و میکـرو استفاده شده در آزمایش به‌ترتیب ۶۸ و ۲۳۷۱ نانومتر بود (Saadatian and Kafi, 2015). درجه خلوص هر دو اندازه ذرات ۹۹ درصد، جامد بی‌رنگ با جرم مولی ۱۲۲/۰۶ گرم بود. ذرات میکرو به‌صورت گرانول و ذرات نانو به‌صورت پودری بود.

جدول ۱- اسیدیته محلول‌های آزمایش اول

Table 1- Solutions pH of first experiment

اندازه ذرات Particle size	غلظت سیلیکات سدیم Concentration of sodium silicate (mg l^{-1})									
	آب مقطر Distilled water	100	200	300	400	500	600	700	800	900
میکرو Micro	7.5	10.75	11.10	11.20	11.30	11.43	11.48	11.53	11.56	11.62
نانو Nano	7.5	10.81	11.10	11.17	11.32	11.34	11.47	11.51	11.56	11.61



شکل ۱- نتایج حاصل از اندازه‌گیری قطر ذرات میکرو (الف) و نانو (ب) سیلیکات سدیم توسط دستگاه PSA

Figure 1- Results of diameter measured of micro (a) and nano (b) particles of sodium silicate with particle size analyzer

به‌منظور تغذیه گیاهچه‌های سیب‌زمینی از محلول غذایی هوگلنـد تغییر یافته استفاده شد (جدول ۲). محلول غذایی در طی فصل رشد و با فواصل زمانی هفت روز و به مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر بـه هـر گیاهچـه اضافه شد. دمای روز و شب گلخانه به‌ترتیـب ۲±۲۴ و ۲±۱۸ درجـه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰ درصد تنظـیم شـده بـود (Haghighi and Pessarakli, 2013). نور ورودی به گلخانه نور طبیعی خورشـید بود و مقدار آن به‌طور متوسط در سـاعت ۱۴ ظهـر روز آفتـابی ۱۲۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه بود. که توسط نورسنج نقطه‌ای اندازه‌گیری و ثبت گردید.

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی و غلظت‌های محلول غذایی هوگلند تصحیح شده

Table 2- Chemical components and concentrations of modified Hoagland solution

ترکیب شیمیایی Chemical component	غلظت mg l^{-1}	ترکیب شیمیایی Chemical component	غلظت mg l^{-1}	ترکیب شیمیایی Chemical component	غلظت mg l^{-1}
NH_4NO_3	800	$Ca(NO_3)_2$	1180	KNO_3	490
$MgSO_4$	505	KH_2PO_4	68	H_3BO_3	2.86
$MnCl_2$	1.81	$ZnSO_4$	0.22	$CuSO_4$	0.05
Na_2MoO_4	0.12	Na-Fe-EDTA	42	-	-

یک هفته پس از محلول‌پاشـی دوم و همزمـان بـا هفتـه هشـتم انتقال گیاهچه‌ها، در هر تکرار یک بوته انتخاب و از بالا به پـایین دو بـرگ کـاملاً توسـعه‌یافتـه علامـت‌گـذاری شـد. سـپس پارامترهـای فتوسنتزی برگ‌ها شامل فتوسنتز خالص و تعـرق بـا دسـتگاه IRGA مدل LCi Consol تعیین شد. کارایی مصرف آب از تقسـیم فتوسـنتز به تعرق به‌دست آمـد (Haghighi and Pessarakli, 2013). سـپس برگ بالای علامت‌گذاری شده برای تعیین کلروفیـل a، کلروفیـل b، کارتنوئیدها و برگ پایینی آن نیز برای تعیین شاخص پایداری غشـای سلولی استفاده شد. از طریق استخراج رنگدانه‌ها با متانول ۹۹ درصد و در طـول مـوج‌هـای ۴۷۰، ۶۵۳ و ۶۶۶ نـانومتر بـا اسـتفاده از

اسپکتروفوتومتر Jenway UV/Vis مدل ۶۳۰۵، محتوای کلروفیل a، b (Arnon, 1949) و کاروتنوئیدها (Lichtenthaler and Wellburn, 1983) اندازه‌گیری شد. دومین برگ بالایی علامت‌گذاری شده از هر تکرار جدا و به مدت ۲۴ ساعت در داخل ویال‌های حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفت. سپس هدایت‌الکتریکی اولیه (EC_1) اندازه‌گیری شد. در ادامه ویال‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۳ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ بار اتوکلا شده و پس از سردشدن، هدایت‌الکتریکی ثانویه (EC_2) قرائت و شاخص پایداری غشاء توسط معادله ۱ به‌دست آمد (Sairam, 1994).

$$MI = [(1-(EC1/EC2)]\times 100$$ معادله (۱)

پس از حدود ۹۰ روز از انتقال گیاهچه‌ها به محیط کشت، گیاهچه‌های سیب‌زمینی کف‌بر شده و بخش هوایی آن به آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ انتقال یافت. سپس وزن خشک اندام هوایی با ترازوی دارای دقت یک هزارم گرم اندازه‌گیری شد. پس از تخلیه بستر گلدان‌ها، تعداد ریزغده هر بوته شمارش و وزن ریزغده‌ها و عملکرد هر بوته توسط ترازوی با دقت یک هزارم گرم تعیین شد. اندازه‌گیری غلظت سیلیسم اندام هوایی سیب زمینی با استفاده از روش رنگ‌سنجی مولیبدات توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۶۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Elliot and Snyder, 1991). تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت. در صورت عدم معنی‌داری اثرات در تجزیه واریانس، از ارائه نتایج آن صرف‌نظر شد. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD انجام شد.

آزمایش دوم به‌صورت فاکتوریل دو عاملی و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل غلظت بهینه سیلیکات سدیم نانو و میکرو (۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و شاهد (آب مقطر) و سه سطح اسیدیته (اسیدیته ناشی از انحلال غلظت بهینه سیلیسیم نانو و میکرو در آب (pH=۱۱/۳)، pH=۷ و pH=۵) برای آب و دو اندازه ذره بود. به‌منظور تنظیم اسیدیته محلول‌ها از اسید کلریدریک یک صدم نرمال استفاده شد. تمامی مراحل تهیه گیاهچه، کشت، محلول‌پاشی، اندازه‌گیری صفات و تجزیه تحلیل داده‌ها مشابه آزمایش اول انجام گرفت.

نتایج و بحث

آزمایش تعیین غلظت بهینه ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم

محلول‌پاشی غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذارت سیلیکات سدیم بیشترین تأثیر مثبت را بر شاخص پایداری غشای سلولی برگ گیاهچه‌های سیب‌زمینی داشت. با افزایش غلظت نانو ذرات تا سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، شاخص پایداری غشای سلولی در مقایسه با تیمارهای بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با آب مقطر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود، اما با افزایش غلظت نانو ذرات از سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، پایداری غشای سلولی برگ سیب‌زمینی کاهش معنی‌داری نشان داد، به‌طوری‌که در سطوح بالاتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مقادیر به‌دست آمده به‌طور معنی‌داری کمتر از شرایط عدم مصرف سیلیکات سدیم بود (جدول ۴). کاربرد ذرات میکرو سیلیکات سدیم در سطوح ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر تأثیر مثبت و معنی‌داری بر پایداری غشای سلولی برگ سیب‌زمینی داشت. اما در سطوح بالاتر، محلول‌پاشی سیلیکات سدیم میکرو سبب کاهش شاخص پایداری غشای سلولی شد. به‌طوری‌که در بالاترین غلظت نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی ۹/۵ درصد افت داشت. اگرچه تأثیر مثبت غلظت‌های مشابه نانو ذرات تا سطح ۲۰۰ میلی‌گرم لیتر در مقایسه با ذرات میکرو ۱۰ درصد بالاتر بود، اما به‌طور کلی در سطوح بالاتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، تأثیر منفی نانو ذرات بر شاخص پایداری غشای سلولی بیشتر از ذرات میکرو بود (جدول ۴).

تحقیقات بسیاری نشان‌دهنده تأثیر مثبت غلظت‌های بهینه سیلیسیم بر افزایش پایداری غشای سلولی است. گزارشات از تأثیر معنی‌دار سیلیسیم بر کاهش درصد نشت الکترولیت برگ گندم در هر دو شرایط تنش شوری و عدم تنش حکایت داشته (Tuna *et al.*, 2008)، در ادامه یافته‌ها نشان‌دهنده تأثیر مثبت ذرات میکرو و نانو سیلیکات سدیم بر پایداری غشای سلولی برگ‌های سیب‌زمینی در غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۶ میلی‌مولار بود. همچنین در سطوح بالاتر، اثرات منفی نانو ذرات بر شاخص پایداری غشای سلولی مشاهده شد (Saadatian and Kafi, 2015) که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت داشت. محققان در رابطه با نقش سیلیسیم بر پایداری غشای سلولی، رسوب سیلیسیم در دیواره سلولی را موجب افزایش استحکام و تقویت دیواره دانسته (Epstein, 1999) و آن را عاملی در جهت افزایش پایداری غشاهای زیستی می‌دانند (Liang *et al.*, 1996; Haghighi and Pessarakli, 2013). اما همانطور که نتایج نشان داده این عنصر در سطوح غلظت مناسب چنین تأثیر مثبتی را بر شاخص پایداری غشای سلولی خواهد داشت.

فتوسنتز برگ تیمار نانو ذرات در مقایسه با ذرات میکرو به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۲،a). فتوسنتز برگ در سطوح ۲۰۰ الی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). به‌طوری‌که بالاترین مقدار آن در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد که در مقایسه با تیمارهای بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با آب مقطر به‌ترتیب ۳۸ و ۱۸ درصد بیشتر بود. اما در سطوح ۵۰۰ الی ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر، فتوسنتز برگ در مقایسه با سطوح پایین‌تر (۱۰۰ الی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم)

کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). یافته‌های محققان نشان داده که تغذیه با غلظت بهینه سیلیسیم، از طریق افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم Π نقش مؤثری در بهبود فتوسنتز برگ سیب‌زمینی دارد (Saadatian and Kafi, 2015). در ادامه نیز گزارش شده که غلظت مناسب سیلیکات سدیم فتوسنتز برگ گیاهچه‌های موز (*Musa sapientum*) را افزایش داد (Asmar *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای دیگر، غلظت بهینه ۱ میلی‌مولار نانو ذرات سیلیسیم بیشترین تأثیر را بر فتوسنتز برگ گوجه‌فرنگی داشت و در سطوح بالاتر اثر منفی نانو ذرات بر فتوسنتز مشاهده شد (Haghighi and Pessarakli, 2013) که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. همچنین عنوان شده که کاربرد سیلیسیم جهت تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوزبی فسفات کربوکسیلاز در برگ لازم است. این آنزیم سوخت و ساز دی‌اکسید کربن را تنظیم کرده و در نتیجه کارایی تثبیت دی اکسید کربن توسط گیاهان را افزایش می‌دهد و در نهایت منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه می‌شود (Adtina and Beasford, 1986). اما همانطور که از نتایج این تحقیق و سایر مطالعات (Mohaghegh *et al.*, 2010; Haghighi and Pessarakli, 2013; Saadatian and Kafi, 2015) برمی‌آید، سیلیسیم در غلظت‌های مناسب سبب تأثیرات مثبت بر چرخه فتوسنتزی و عوامل درونی آن می‌شود.

با کاربرد تیمارهای ۱۰۰ الی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات سیلیکات سدیم تعرق برگ گیاهچه‌های سیب‌زمینی کاهش معنی‌داری در مقایسه با تیمار بدون محلول‌پاشی داشت. اما با کاربرد سطوح بالاتر نانو ذرات، تعرق برگی به‌تدریج افزایش یافت به‌طوری‌که در تیمارهای ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر مقدار آن در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی به‌ترتیب ۱۵، ۱۸ و ۲۰ درصد بالاتر بود (جدول ۴). اگرچه محلول‌پاشی غلظت‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات میکرو تعرق برگ سیب‌زمینی را در مقایسه با سطح بدون محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری کاهش داد، اما در سطوح بالاتر تأثیر ذرات میکرو بر صفت یاد شده مثبت بود (جدول ۴). مقایسه سطوح محلول‌پاشی دو اندازه ذره نشان می‌دهد که در هر یک از سطوح ۱۰۰ الی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، اثر کاهشی نانو ذرات بر تعرق برگی در مقایسه با ذرات میکرو به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده است. اما در غلظت‌های ۸۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر تعرق برگی تیمار نانو ذرات به‌ترتیب ۱۲ و ۱۶ درصد بیشتر از تیمار میکرو بود (جدول ۴). در آزمایش انجام شده تحت شرایط تنش ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، تعرق برگ گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی تحت تیمار ۱ میلی‌مولار نانو سیلیسیم افزایش معنی‌داری نشان داد. اما غلظت ۲ میلی‌مولار سیلیسیم نانو هر دو صفت را به کمترین مقدار رساند، اگرچه روند تغییرات تعرق در تحقیق حاضر برخلاف نتایج فوق‌الذکر بود، اما روند معکوس تغییرات صفت تعرق در دو سطح غلظت سیلیسیم نشان‌دهنده تأثیر متفاوت سطوح مختلف سیلیسیم بر تعرق برگی و وجود حد بهینه برای کاربرد سیلیسیم در تغذیه گیاهی است (Haghighi and Pessarakli, 2013).

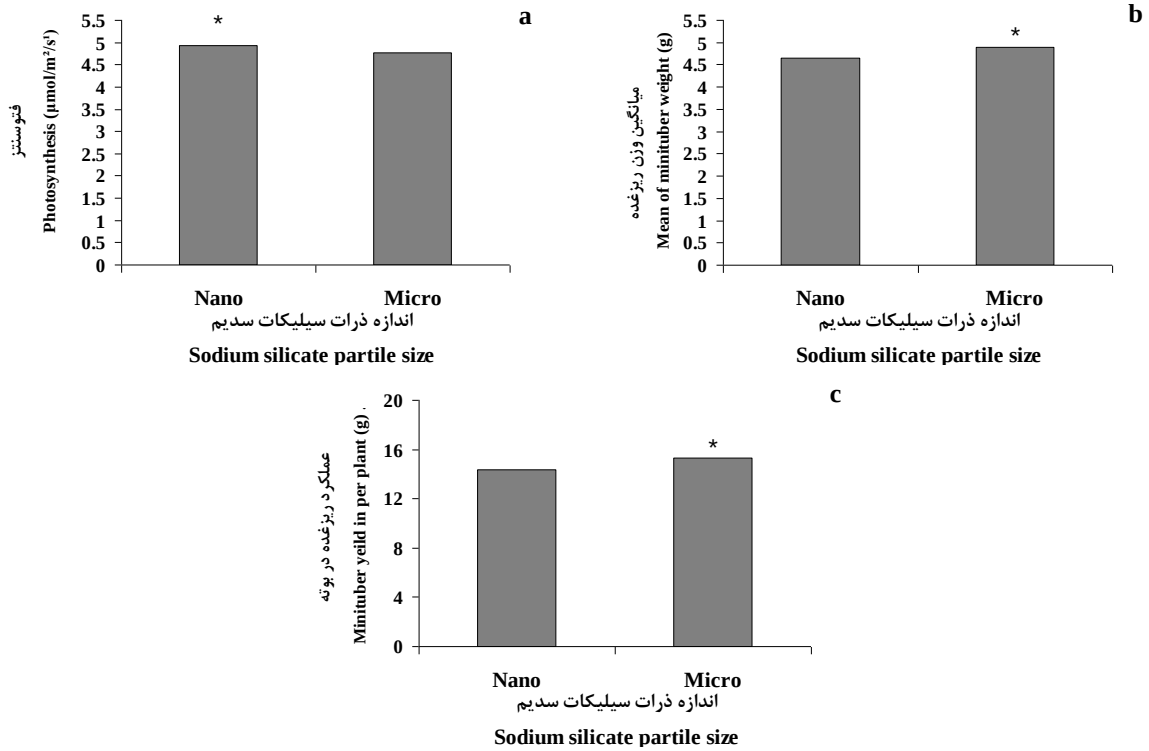
بیشترین کارایی مصرف آب در تیمارهای ۲۰۰ الی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات سیلیکات سدیم به‌دست آمد و از این نظر اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای یاد شده وجود نداشت. محلول‌پاشی ذرات میکرو تنها در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب برگ سیب‌زمینی را نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی موجب شد (جدول ۴). علی‌رغم تأثیر بالاتر نانو ذرات نسبت به ذرات میکرو بر کارایی مصرف آب در هریک از تیمارهای ۱۰۰ الی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، افزایش غلظت نانو ذرات از سطوح یاد شده سبب تأثیر منفی بیشتر نسبت به ذرات میکرو بر صفت یاد شده گردید (جدول ۴). یافته‌های دیگر نیز نشان‌دهنده افزایش کارایی مصرف آب لحظه‌ای در تنش شوری با مصرف سیلیسیم در گیاه شورزیست *Spartina densiflora* (Mateos-Naranjo *et al.*, 2013) و گوجه‌فرنگی (Haghighi and Pessarakli, 2013) بود. همچنین در آزمایشی دیگر کارایی مصرف آب لحظه‌ای گوجه‌فرنگی با افزودن سیلیسیم به محلول غذایی هوگلند، افزایش نشان داد (Romero-Aranda *et al.*, 2006). در ادامه، کارایی مصرف آب لحظه‌ای گیاهچه‌های موز نیز در اثر مصرف سیلیسیم بهبود یافت (Asmar *et al.*, 2013).

بیشترین غلظت کلروفیل a به‌ترتیب با ۳۲ و ۳۸ درصد افزایش نسبت به تیمار صفر در تیمارهای ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم به‌دست آمد. اما با افزایش غلظت سیلیکات سدیم از سطوح یاد شده، مقدار کلروفیل a کاهش معنی‌داری نشان داد به‌طوری‌که در بالاترین سطح، غلظت کلروفیل a نسبت به تیمارهای صفر و آب مقطر به‌ترتیب ۱۴ و ۲۶ درصد افت نشان داد (جدول ۳). محلول‌پاشی هر دو اندازه ذرات سیلیکات سدیم تا غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل b نسبت به تیمارهای عدم کاربرد سیلیسیم شد (جدول ۴). اما با افزایش غلظت هر دو اندازه ذره نانو و میکرو، غلظت کلروفیل b کاهش معنی‌داری نسبت به تیمارهای صفر (عدم محلول‌پاشی) و آب مقطر نشان داد (جدول ۴). با افزایش غلظت سیلیکات سدیم نانو و میکرو تا سطح ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت کارتنوئید برگ به‌ترتیب با ۹۶ و ۷۴ در رشد نسبت به سطح صفر، افزایش معنی‌داری نشان داد. اما با افزایش غلظت هر دو اندازه ذره غلظت کارتنوئیدها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که بالاترین غلظت کاربرد هر دو اندازه ذره نانو و میکرو غلظت کارتنوئیدهای برگ سیب‌زمینی تنها ۳ و ۱۱ درصد بالاتر از تیمار صفر بود (جدول ۴).

جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح محلول‌پاشی سیلیکات سدیم در صفات فتوسنتز، کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد ریزغده گیاهچه‌های سیب‌زمینی

Table 3- Mean comparison of foliar application levels of sodium silicate on seedling potato photosynthesis, chlorophyll, yield and yield components of minitubers

غلظت سیلیکات سدیم Sodium silicate concentration ($mg\ l^{-1}$)	فتوسنتز Photosynthesis ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)	غلظت کلروفیل a Chlorophyll a ($mg\ g^{-1}FW$)	تعداد ریزغده در بوته Minituber number per plant	میانگین وزن ریزغده Mean of mini-tuber weight (g)	عملکرد ریزغده Mini-tuber yield (g per plant)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g per plant)
Zero	4.79	0.382	3.12	4.682	14.40	1.495
water	4.76	0.445	2.91	4.698	13.56	1.482
100	5.10	0.464	3.12	5.273	16.34	1.458
200	5.24	0.465	3.35	4.965	16.56	1.457
300	5.27	0.503	3.44	4.819	16.51	1.528
400	5.49	0.527	3.36	4.952	16.55	1.518
500	4.59	0.466	3.15	4.830	15.18	1.516
600	4.70	0.430	3.06	4.559	13.97	1.499
700	4.24	0.429	3.15	4.389	13.80	1.486
800	4.70	0.375	2.74	4.874	13.36	1.431
900	4.51	0.327	2.79	4.586	12.76	1.455
LSD 5%	0.352	0.035	0.347	0.467	1.02	0.037



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر اندازه ذرات سیلیکات سدیم بر صفات فتوسنتز برگ (a)، میانگین وزن ریزغده (b) و عملکرد ریزغده در بوته (c). علامت ستاره (*) نشان‌دهنده برتری تیمار مورد نظر با آزمون LSD در سطح پنج درصد است.

Figure 1- Mean comparison effects of sodium silicate size on leaf photosynthesis (a), mean of mini-tuber weight (b) and mini-tuber yield in plant (c). Symptom star was indicated performance of treatment with LSD 5 %.

اگرچه روند تغییرات دو اندازه ذره مشابه بود، اما بیشترین غلظت کارتنوئیدهای برگ در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم نانو ذرات به‌دست آمد

(جدول ۴). مشابه نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، مطالعه بر روی گیاه گوجه‌فرنگی نیز نشان داد که در شرایط شور، غلظت ۱ میلی‌مولار ذرات سیلیسیم نانو و میکرو تأثیر مثبت بر محتوای کلروفیل برگ داشت (Haghighi and Pessarakli, 2013) همچنین گزارشات نیز حاکی از افزایش معنی‌داری محتوای کلروفیل a، b و مجموع آنها در برگ گندم (Tuna *et al.*, 2008) و کلزا (Hashemi *et al.*, 2010) در هر دو شرایط تنش شوری و عدم تنش در غلظت بهینه سیلیسیم بود. در ادامه یافته‌های آزمایشی دیگر مبین تأثیر مثبت غلظت‌های مناسب ذرات نانو و میکرو سیلیکون بر میزان کلروفیل و کارتنوئید ذرت بود. همچنین در هر یک از سطوح سیلیکون اثر نانو ذرات در بهبود صفات مرتبط با رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (Zare *et al.*, 2016) که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت داشت.

علی‌رغم تغییرات صفت تعداد ریزغده در بوته، کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم تأثیر معنی‌داری بر صفت فوق‌الذکر در مقایسه با تیمارهای صفر (عدم محلول‌پاشی) و آب مقطر نداشت و حتی در تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر تعداد ریزغده در بوته در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی از نظر آماری کمتر بود (جدول ۳). میانگین وزن ریزغده در تیمار ذرات میکرو سیلیکات سدیم نسبت به نانو ذرات به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۲، b). تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم تأثیر مثبت و معنی‌داری بر میانگین وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی داشت. اما در سایر سطوح سیلیکات سدیم نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۳). بیشترین عملکرد ریزغده سیب‌زمینی در تیمار میکرو سیلیکات سدیم با ۶/۲ درصد افزایش نسبت به نانو ذرات به‌دست آمد (شکل ۲، c). کاربرد برگی تیمارهای ۱۰۰ الی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی را در مقایسه با عدم محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری افزایش داد و بین تیمارهای سیلیکات سدیم در سطوح غلظت یاد شده تفاوت آماری وجود نداشت (جدول ۳). با افزایش غلظت سیلیکات سدیم از ۵۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی ۱۶ درصد کاهش نشان داد. به‌طوری‌که در دو غلظت بالای سیلیکات سدیم عملکرد ریزغده در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری کمتر بود (جدول ۳).

اگرچه بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم به‌دست آمد، اما کاربرد سیلیکات سدیم تا غلظت ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در صفات یاد شده نگردید و حتی در غلظت‌های ۸۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر وزن خشک اندام هوایی سیب‌زمینی نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی از نظر آماری کاهش معنی‌دار نشان داد (جدول ۳).

مشابه نتایج به‌دست آمده، وزن خشک اندام هوایی ذرت تحت تأثیر کاربرد غلظت‌های مناسب نانو و میکرو ذرات سیلیکون به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Zare *et al.*, 2016). همچنین محلول‌پاشی سیلیسیم با غلظت بهینه ۶ در هزار سیلیکات سدیم عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کلزا را در شرایط مزرعه‌ای به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Nasri, *et al.*, 2008). مطابق با نتایج حاضر، محققان دیگر نیز گزارش کردند که کاربرد غلظت‌های بهینه ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم تأثیر مثبت بر عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی داشته و افزایش مقادیر سیلیسیم از حد بهینه تأثیر منفی بر عملکرد خواهد داشت. همچنین یافته‌های ایشان نشان داد که عملکرد ریزغده با افزایش غلظت ذرات میکرو به‌طور معنی‌داری بیشتر شد. اما تأثیر مثبت ذرات نانو بر صفت یاد شده تا سطح ۰/۳ میلی‌مولار بود. به‌طور کلی اثرات مثبت کاربرد نانو ذرات به دلیل کارایی جذب بالا، در غلظت‌های پایین ظهور یافت. اما در سطوح بالاتر، بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد سیب‌زمینی اثرات فیتوتوکسینی داشت (Saadatian and Kafi, 2015). در رابطه با افزایش عملکرد گیاه در حضور غلظت بهینه سیلیسیم عنوان شده که این عنصر از طریق بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی، رشد و عملکرد را بهبود می‌دهد (Samuels *et al.*, 1993). در ادامه، محققان تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گیاه را به‌دلیل رسوب آن در پهنای برگ و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ مرتبط دانسته‌اند (Adtina and Beasford, 1986). در آزمایش حاضر نیز روند تغییرات مشابه فتوسنتز، کلروفیل با وزن خشک اندام هوایی و عملکرد ریزغده، این موضوع را تأیید می‌نماید.

با افزایش غلظت هر دو اندازه ذرات سیلیکات سدیم، غلظت و مقدار سیلیسیم در اندام هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد (جدول ۴). بین اندازه ذرات در هر یک از سطوح تیماری ۱۰۰ الی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری در غلظت سیلیسیم اندام هوایی مشاهده نشد. اما در هر یک از سطوح غلظت ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت سیلیسیم اندام هوایی تیمار محلول‌پاشی نانو ذرات به‌ترتیب ۲، ۳، ۵، ۴ و ۶ درصد بیشتر از ذرات میکرو بود. همچنین بالاترین غلظت سیلیسیم موجود در اندام هوایی گیاهچه‌های سیب‌زمینی (۳/۰۳ گرم در گرم وزن خشک)، در تیمار ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات به‌دست آمد (جدول ۴). اگرچه با افزایش غلظت هر دو اندازه ذرات سیلیکات سدیم، مقدار سیلیسیم موجود در اندام هوایی افزایش معنی‌داری در مقایسه با هر یک از تیمارهای عدم محلول‌پاشی و آب مقطر نشان داد، اما بین تیمار نانو و میکرو در اکثر سطوح محلول‌پاشی تفاوت آماری وجود نداشت و تنها در هر یک از تیمارهای ۴۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر مقدار

سیلیسیم اندام هوایی تیمار نانو در مقایسه با تیمار میکرو افزایش معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل اندازه ذرات سیلیکات سدیم و سطوح غلظت در صفات شاخص پایداری غشا، تعرق، کارایی مصرف آب، رنگدانه‌ها، غلظت و محتوای سیلیسیم اندام هوایی گیاهچه‌های سیب زمینی

Table 4- Mean comparison of interaction between sodium silicate size and concentration levels on membrane stability index. Transpiration, water use efficiency, pigments, concentration and amount of Si in shoots of seedling potato

اندازه ذرات سیلیکات سدیم Particle size of sodium silicate	غلظت Concentration ($mg\ l^{-1}$)	صفات Trails						
		شاخص پایداری غشای سلولی Membrane stability index (%)	تعرق Transpiration ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	کارایی مصرف آب Water use efficiency ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg\ g^{-1}FW$)	غلظت کارتنوئیدها Carotenoids ($mg\ g^{-1}FW$)	غلظت Si در اندام هوایی Si concentration in shoot ($mg\ g^{-1}DW$)	مقدار سیلیسیم در اندام هوایی Si amount in shoot (g)
نانو Nano	Zero	59.9	2.96	1.62	0.483	0.378	1.50	2.24
	water	59.6	3.19	1.49	0.509	0.362	1.51	2.24
	100	70.8	2.57	2.13	0.579	0.512	1.68	2.45
	200	72.9	2.19	2.55	0.643	0.575	1.84	2.69
	300	66.9	2.06	2.68	0.651	0.641	1.89	2.91
	400	61.5	2.2	2.48	0.563	0.739	2.32	3.61
	500	55.1	2.35	2.06	0.525	0.521	2.43	3.66
	600	42.1	3.00	1.59	0.539	0.537	2.61	3.89
	700	37.3	3.42	1.29	0.458	0.466	2.85	4.22
	800	42.0	3.49	1.28	0.423	0.368	2.90	4.10
	900	42.1	3.55	1.25	0.416	0.391	3.03	4.40
میکرو Micro	Zero	59.9	2.96	1.62	0.483	0.378	1.50	2.24
	water	59.6	3.19	1.49	0.509	0.362	1.51	2.24
	100	60.5	2.69	1.81	0.538	0.469	1.67	2.43
	200	62.5	2.95	1.68	0.632	0.674	1.83	2.66
	300	66.7	2.99	1.69	0.594	0.611	1.92	2.91
	400	66.4	2.59	2.14	0.638	0.658	2.30	3.40
	500	48.4	3.12	1.39	0.533	0.490	2.40	3.66
	600	51.5	3.10	1.50	0.468	0.452	2.54	3.83
	700	50.0	3.57	1.14	0.442	0.452	2.72	4.06
	800	45.8	3.08	1.61	0.429	0.428	2.80	4.06
	900	50.1	2.97	1.55	0.444	0.420	2.85	4.16
LSD 5%		5.44	0.380	0.260	0.0499	0.0627	0.053	0.123

همانطور که نتایج نشان داده، افزایش غلظت محلول‌های سیلیکاته نانو و میکرو افزایش جذب را در بخش هوایی سیب‌زمینی در پی داشته است. در این رابطه محققان بیان داشتند که بین غلظت پاشش مواد معدنی بر روی سطح برگ و سرعت جذب آنها توسط سلول‌های اپیدرمی همبستگی بسیار زیادی وجود دارد (Wójcik, 2004).

به‌طور کلی در فاز اول، با افزایش غلظت سیلیکات سدیم تا ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر صفات فتوسنتز، کلروفیل a و عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی افزایش معنی‌داری نشان داد. اما در سطوح بالاتر، مقادیر صفات یاد شده کاهش نشان داد. کاربرد برگی سیلیکات نانو و میکرو تا غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش پایداری غشای سلولی، کاهش تعرق برگی، افزایش کارایی مصرف آب، افزایش کلروفیل b و کارتنوئیدهای برگ سیب‌زمینی را در پی داشت. اما با افزایش غلظت هر دو اندازه ذرات سیلیکات سدیم اثر مثبت آنها بر صفات کاهش یافت. اگرچه با افزایش غلظت محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، غلظت و مقدار سیلیسیم در تیمارهای نانو و میکرو افزایش یافت، اما با توجه به نتایج حاصل از صفات بیوشیمیایی، فتوسنتزی و عملکرد ریزغده، افزایش سیلیسیم در بافت گیاهی تا غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هر دو اندازه ذره تأثیر مثبتی بر گیاهچه‌های سیب‌زمینی در پی داشت. از این رو در فاز بعدی آزمایش غلظت بهینه به‌دست آمده مورد استفاده قرار گرفت.

آزمایش تعیین اسیدیته بهینه سیلیکات سدیم

بیشترین شاخص پایداری غشای سلولی در تیمار نانو ذرات سیلیکات سدیم به‌دست آمد (جدول ۵). همچنین تحت تأثیر افزایش اسیدیته محلول، شاخص پایداری غشای سلولی کاهش نشان داد و در اسیدیته ۱۱/۳ این تفاوت معنی‌دار بود (شکل ۳، a).

اسیدیته ۱۱/۳ و ۵ آب، فتوسنتز برگ را در مقایسه با اسیدیته ۷ به‌ترتیب ۱۸ و ۲۷ درصد تقلیل داد (جدول ۶). در هر یک از سطوح اسیدیته محلول، تفاوت آماری بین ذرات نانو و میکرو از نظر فتوسنتز برگ وجود نداشت. اما در هر یک از تیمارهای نانو و میکرو، اسیدیته‌های ۷ و ۵ در مقایسه با اسیدیته ۱۱/۳ مقادیر فتوسنتز بالاتری داشت (جدول ۶). آب دارای اسیدیته ۵ در مقایسه با اسیدیته‌های دیگر آن، تعرق برگ گیاهچه‌های سیب زمینی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. در هر یک از سطوح اسیدیته محلول، تعرق برگی تیمارهای نانو و میکرو سیلیکات سدیم در مقایسه با آب به‌طور معنی‌داری کمتر بود. اما بین تیمارهای نانو و میکرو در هر سطح اسیدیته از این نظر تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۶). کارایی مصرف آب ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم در مقایسه با آب به‌ترتیب ۸۰ و ۸۵ درصد بالاتر بود و تفاوتی بین دو اندازه ذره در صفت یاد شده مشاهده نشد (جدول ۶). کاهش اسیدیته محلول باعث افزایش کارایی مصرف آب برگ سیب‌زمینی شد و در اسیدیته ۵ این کارایی به حداکثر مقدار خود رسید (شکل ۳، b).

غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات سیلیکات سدیم نسبت به آب به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. اما تیمار ذرات میکرو از نظر صفات یاد شده تفاوتی با تیمار آب نشان نداد (جدول ۶). میانگین وزن ریزغده‌های سیب‌زمینی در تیمار نانو ذرات در مقایسه با تیمارهای آب و ذرات میکرو به‌ترتیب ۱۱ و ۱۲ درصد بالاتر بود و از این نظر با هر یک از تیمارهای یاد شده اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۶). در تیمار آب، کاهش اسیدیته اثر منفی بر تولید ریزغده سیب‌زمینی داشت. اما در تیمارهای نانو و میکرو سیلیکات سدیم، با کاهش اسیدیته محلول افزایش معنی‌دار عملکرد ریزغده در بوته حاصل شد. به‌طوری‌که تیمار ۵ بیشترین مقادیر صفت یاد شده را در هر دو اندازه ذره به خود اختصاص داد. همچنین در اسیدیته یاد شده، عملکرد ریزغده سیب‌زمینی تیمار نانو ذرات با ۲۰ درصد اختلاف نسبت به تیمار میکرو برتری داشت (جدول ۶). وزن خشک اندام هوایی تیمار نانو ذرات در مقایسه با هر یک از تیمارهای آب و میکرو به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که در تیمارهای محلول‌پاشی با اسیدیته ۵ و ۷، وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با تیمار ۱۱/۳ افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۳، c).

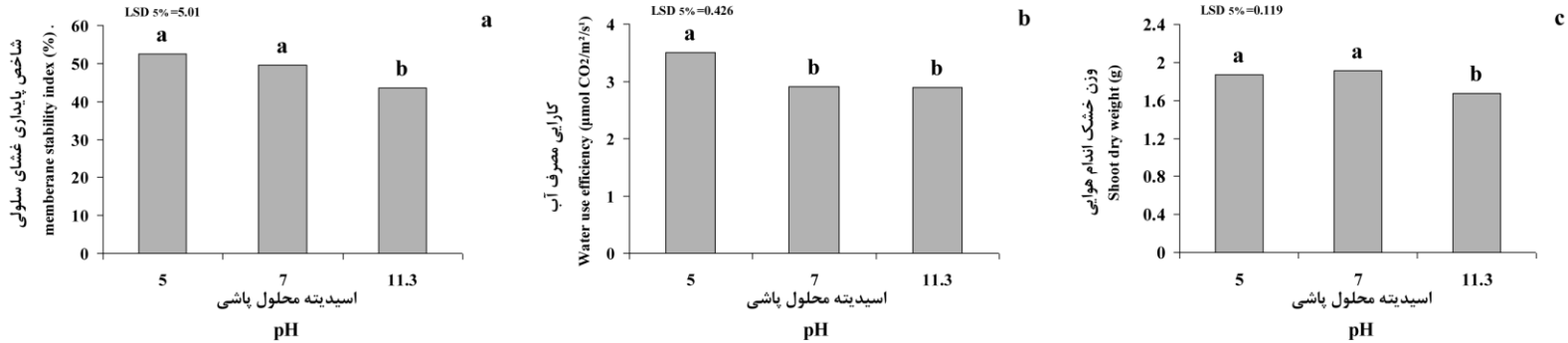
اگرچه با کاهش اسیدیته آب از ۱۱/۳ به ۷ و ۵ غلظت سیلیسیم اندام هوایی به‌ترتیب ۲۰ و ۲۷ درصد کاهش نشان داد، اما در هر یک از تیمارهای نانو و میکرو سیلیکات سدیم تغییر معنی‌داری بین سطوح اسیدیته از این نظر مشاهده نشد. همچنین نتایج مؤید افزایش معنی‌دار غلظت سیلیسیم اندام هوایی در اثر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم نانو و میکرو در اسیدیته‌های مورد آزمایش بود نسبت به آب بود (جدول ۶). برخلاف غلظت، مقدار سیلیسیم در بین تیمارهای نانو و میکرو و سطح اسیدیته تغییرات مشهودی نشان داد. به‌طوری‌که در هریک از سطوح اندازه ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم، محلول‌پاشی اسیدیته‌های ۷ و ۵، مقدار سیلیسیم تجمع‌یافته در اندام هوایی را در مقایسه با اسیدیته ۱۱/۳ به‌طور میانگین ۷ و ۹ درصد افزایش نشان داد و بین سطوح ۵ و ۷ اسیدیته در هر سطح اندازه ذره، تفاوت آماری مشاهده نشد (جدول ۶).

نتایج حاصل از آزمایش دوم حاکی از تأثیر مثبت کاهش اسیدیته محلول سیلیکاته نانو و میکرو بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد ریزغده سیب‌زمینی بود. در این رابطه محققان عنوان داشته‌اند که از لایه واکسی کوتیکولی تا لایه پکتینی برگ یک شیب افزایشی حاصل از بار منفی، عامل ایجادکننده یک گرادیان الکتروشیمیایی است که

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نوع تیمار محلول‌پاشی بر صفات شاخص پایداری غشاء، کارایی مصرف آب، غلظت رنگدانه‌ها، میانگین وزن ریزغده و وزن خشک اندام هوایی گیاهچه‌های سیب‌زمینی

Table 5- Mean comparison effect of spraying type on membrane stability index, water use efficiency, pigments concentration, mean of mini-tuber weight and soot dry weight of seedling potato

نوع تیمار محلول‌پاشی Foliar application treatments	صفات Trials						
	شاخص پایداری غشای سلولی Membrane stability index (%)	کارایی مصرف آب Water use efficiency ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg\ g^{-1}FW$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg\ g^{-1}FW$)	کارتنوئیدها Carotenoids ($mg\ g^{-1}FW$)	میانگین وزن ریزغده Mean of mini-tuber weight (g)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)
Water	43.6	2.0	0.70	0.29	0.107	5.05	1.76
Micro Si	48.3	3.6	0.77	0.31	0.111	5.17	1.74
Nano Si	53.7	3.7	0.85	0.34	0.121	5.64	1.95
LSD 5%	5.01	0.42	0.088	0.037	0.0108	0.460	0.119



شکل۳- مقایسه میانگین اثر اسیدیته محلول‌پاشی بر صفات پایداری غشای سلولی (a)، کارایی مصرف آب (b) و وزن خشک اندام هوایی (c) گیاهچه‌های سیب‌زمینی. میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون LSD ندارند.

Figure 2- Mean comparison of foliar application acidity effect on membrane stability index (a), water use efficiency (b), and shoot dry weight (c) of seedling potato. The means of similar letters not significant difference with LSD 5%.

لذا حرکت و انتقال کاتیون‌ها در سراسر پوسته کوتیکولی برگ در محلول‌های دارای بار مثبت‌تر آسان‌تر است (Franke, 1967; Tyree, 1990; Mengel, 2002) اگرچه در ترکیبات مختلف، مقدار اسیدیته برای افزایش کارایی جذب برگی متفاوت گزارش شده (Wójcik, 2004). اما در این راستا، مقدار بهینه اسیدیته محلول‌های به‌کار رفته برای بالاترین مقدار جذب برگی اکثر ترکیبات غذایی بین ۳ الی ۵/۵ است گزارش شده است (Kannan, 1980). با توجه به این یافته‌ها می‌توان عنوان داشت که کاهش اسیدیته محلول سیلیکاته سبب افزایش بار مثبت و در نتیجه حرکت آسان‌تر آن در لایه‌های برگی و افزایش کارایی نفوذ و جذب در برگ سیب‌زمینی شده است. لذا باتوجه به نتایج حاصل از این تحقیق اسیدیته ۵، اسیدیته بهینه هر دو اندازه ذرات سیلیکاته نانو و میکرو بود و در اندازه نانو علی‌رغم افزایش کارایی جذب باز هم کاهش اسیدیته توانست اثر مثبت بر بهبود فرآیند جذب و انتقال در بخش هوایی سیب‌زمینی داشته باشد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع تیمار و اسیدیته بر صفات فتوسنتز، تعرق، عملکرد ریزغده، غلظت و مقدار سیلیسیم اندام هوایی گیاهچه‌های سیب زمینی

Table 6- Mean comparison of interaction effects of spraying type and acidity on photosynthesis, transpiration, mini-tuber yield, concentration and amount of Si in seedling potato shoot

تیمار محلول‌پاشی Foliar application treatment	pH	صفات Trials				
		فتوسنتز Photosynthesis ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)	تعرق Transpiration ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	عملکرد ریزغده Mini-tuber yield (g per plant)	غلظت Si در اندام هوایی Si concentration in shoot	مقدار سیلیسیم در اندام هوایی Si amount in shoot (g)
Water	11.3	4.5	2.75	25.8	1.36	2.1
	7	5.5	2.62	23.7	1.08	2.06
	5	4.0	1.69	21.4	0.99	1.81
Micro Si ($400\ mg\ l^{-1}$)	11.3	4.6	1.37	24	1.84	3.02
	7	5.6	1.78	25.4	1.8	3.15
	5	5.5	1.35	26.7	1.81	3.31
Nano Si ($400\ mg\ l^{-1}$)	11.3	5.2	1.43	24.8	1.82	3.31
	7	5.7	1.67	27.5	1.75	3.65
	5	6.1	1.53	29.8	1.85	3.57
LSD 5%		0.63	0.301	2.47	0.166	0.251

نتیجه‌گیری

محلول‌پاشی سیلیکات سدیم تا غلظت بهینه ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر تأثیر مثبتی بر پارامترهای فتوسنتزی، رنگدانه‌ها و عملکرد اجزای عملکرد ریزغده‌های سیب‌زمینی داشت. نانو ذرات سیلیکات سدیم در مقایسه با ذرات میکرو در غلظت‌های کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در غالب صفات مورد بررسی اثر مثبت بالاتری داشت. اما در غلظت‌های بالاتر سیلیکات سدیم اثرات سمیت گیاهی بر گیاهچه‌های سیب‌زمینی داشت و کاربرد ذرات نانو تأثیر منفی بیشتری نشان داد. اسیدیته محلول سیلیکات سدیم در اثرات فیزیولوژیک، فتوسنتزی و عملکرد گیاهچه‌های سیب‌زمینی بسیار مؤثر بود. کاهش اسیدیته محلول‌پاشی ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم از ۱۱/۳ به ۷ و ۵ افزایش فتوسنتز، کاهش تعرق، افزایش عملکرد غده و افزایش مقدار سیلیسیم اندام هوایی را در پی داشت. در مجموع اسیدیته ۵، اسیدیته بهینه هر دو اندازه ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم بود و در این اسیدیته بیشترین اثرات مثبت سیلیسیم در گیاهچه‌های سیب‌زمینی به‌دست آمد.

سپاسگزاری

از حوزه معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی و حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد جهت تأمین اعتبار این تحقیق با کد ۲/۳۸۷۸۷ قدردانی می‌شود.

References

1. Adtina, M. H., and Beasford, R. T. 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. Journal Annual of Botany 58: 343-351.
2. Arnon, D. 1949. Copper enzyme polyphenoloxides in isolated chloroplast in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.
3. Asmar, A., Castro, E. M., Pasqual, M., Pereira, F. J., and Soares, J. D. R. 2013. Changes in leaf anatomy and

photosynthesis of micropropagated banana plantlets under different silicon sources. Scientia Horticulturae 161: 328-332.
4. Cherif, M., and Belanger, R. R. 1992. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long english cucumber. Journal of Plant Disease 76 (10): 1008-1011.
5. Epstein, E. 1999. Silicon, Annual Review. Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 641-664.
6. Elliot, C. L., and Snyder, G. H. 1991. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. Agricultural and Food Chemistry 39: 1118-1119.
7. Franke, W. 1967. Mechanisms of foliar penetration of solutions. Annual review. Plant Physiology 18: 281-300.
8. Haghighi, M., and Pessarakli, M. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulture 161: 111-117.
9. Hashemi, A., Abdolzadeh, A., and Sadeghipour, H. R. 2010. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. Soil Science and Plant Nutrition 56 244-253.
10. Hu, Y., and Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168: 541-549.
11. Kannan, S. 1980. Mechanisms of foliar uptake of plant nutrients: accomplishments and prospects. Journal of Plant Nutrient 2: 717-735.
12. Lichtenthaler, H. K., and Wellburn, A. R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.
13. Liang, Y. C., Shen, Q. R., Shen, Z. G., and Ma, T. S. 1996. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. Journal of Plant Nutrition 19. 173-183.
14. Lim, T. H., Cheol, S. Y., Choi, S. P., and Dhital, S. 2004. Application of giberelic acid and paclobutrazol for efficient production of potato (*Solanum tuberosum* L.) minitubers and their dormancy breaking under soilless culture system. Journal of Korea Society Horticulture Science 45 (4): 189-193.
15. Mateos-Naranjo, E., Andrades-Moreno, L., and Davy, A. J. 2013. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. Plant Physiology and Biochemistry 63: 115-121.
16. Mengel, K. 2002. Alternative or complementary role of foliar supply in mineral nutrition. Acta Horticalture 594: 33-48.
17. Mohaghegh, P., Shirvani, M., and Ghasemi, S. 2010. Silicon application effects on yield and growth of two cucumber genotypes in hydroponics system. Journal of Science technology and greenhouse culture 1 (1): 35-40. (in Persian with English abstract).
18. Nasri, M., Khalat bari, M., Pak nejad, F., Hasanpor, J., and Kasraie, P. 2008. Effect of different levels of silic spraying and plant density on some quantitative characterestics of rapeseed (*Hyola-42*) in varamin condition. Iranian agricultural science 315-325. (in Persian with English abstract).
19. Ozturk, G., and Yildirim, Z. 2010. A comparison of field performances of minitubers and micro tubers used in seed potato production. Turkish Journal of Field Crops 15 (2): 141-147.
20. Rashed Mohassel, M. H., Aliverdi, A., and Rahimi, S. 2011. Optimizing dosage of sethoxydim and fenoxaprop-p-ethyl with adjuvants to control wild oat. Industrial Crops and Products 34: 1583-1587.
21. Romero-Aranda, M. R., Jurado, O., and Cuartero, J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. Journal of Plant Physiology 163: 847-855.
22. Saadatian, B., and Kafi, M. 2015. Study of nutritional role of silicon nano-particles on physiological characteristics of minituber potato production. Journal of Plant Production Research 22: 173-189. (in Persian with English abstract).
23. Sairam, R. K. 1994. Effect of moisture stress on physiological activities of two con-trasting wheat genotypes. Indian Journal. Experimental of Biology 32: 594-597.
24. Samuels, A. L., Glass, A. D. M., Ehret, D. L., and Menzies, J. G. 1993. The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: Changes in surface characteristics. Journal of Annual Botany 72: 433-440.
25. Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E., and Li, J. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. Journal of Plant Physiology 167: 1248-1252.
26. Tuna A. L., Kaya, C., Higgs, D., Murillo-Amador, B., Aydemir, S., and Girgin, A. R. 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. Environmental Experiment of Botany 62: 10-16.
27. Tyree, M. T., Scherbatskoy, T. D., and Tabor, C. A. 1990. Leaf cuticles behave as asymetric membranes. Evidence from the measurement of diffusion potentials. Plant Physiology 92: 103-109.
28. Wójcik, P. 2004. Uptake of mineral nutrients from foliar fertilization (Review). Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 12: 201-218.
29. Zare, H. R, Ghanbarzadeh, Z., Behdad, A., and Mohsenzadeh, S. 2016. Effect of silicon and nano silicon on reduction of damage caused by salt stress in maize (*Zea mays*) seedlings. Iranian Journal of plant biology 7 (26): 59-74. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 355-368

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۶۸-۳۵۵

Determination of Optimal Acidity and Concentration of Nano and Micro Sodium Silicate on Efficiency of Foliar Application of Potato Plantlets

M. Kafi[1*]- B. Saadatian[2]

Received: 03-08-2016
Accepted: 01-03-2017

Introduction

Silicon (Si) is one of the most abundant elements in Earth's crust. It has been regarded as an essential element in a number of species of the Poaceae and Cyperaceae, however it has not been possible to demonstrate that it is essential to all higher plants because direct evidence is still lacking that it is part of the molecule of an essential plant constituent or metabolite. Recently, the role of Si in plant metabolism has received increasing attention. It has been suggested that Si may be involved in metabolic or physiological and/or structural activity in higher plants in normal condition and exposed to abiotic and biotic stresses. In many researches, it has been found that Si improved water use efficiency, photosynthesis, membrane stability index and yield in crops. The use of nano-compound material has been given a lot of attention by the agricultural researchers, especially by those who examine the characteristics of the seeds, although the exact mechanism of their actions is not well understood. Nanomaterials, because of their tiny size, show unique characteristics. Previous work reported that nano sodium silicate was affected on physiological and yield of potato seedlings in greenhouse. Acidity was determinant factor in foliar application of solutions. However, studies have not been paid attention to this factor.

Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications at the faculty of agriculture's research greenhouse, Ferdowsi University of Mashhad, in 2013. Plantlets of Agria cv. produced from nodal tissue culture in Murashinge and Skoog (MS) medium. After 25 days, Free disease and uniform plantlets exported to plastic pots with 12 cm diameter and 30 cm height. Perlite, cocopite and sand with 3:3:4 ratios, formed the substrate. Potato plantlets were fed with corrected Hoagland solution. In the first experiment, Treatments were particle size of sodium silicate (nano and micro) and eleven concentrations (Non-spraying, Distilled water, 100, 200, 300, 400, 500, 600,700, 800 and 900 mg l^{-1}). The pH of Concentrations were measured and was in the range of 7.5 (distilled water) and 11.6. In the second experiment, the optimal concentrations nano and micro particles of first experiment and three pH levels (5, 7 and 11.3) were used. In both experiments, membrane stability index, photosynthesis parameters, chlorophyll a, b and cartenoids, shoot dry weight, silicon concentration and amount, yield and yield components of minituber were measured.

Results and Discussion

In the first experiment, the results showed that with increasing silicon concentration up to 400 mg l^{-1}, photosynthesis, chlorophyll a and yield of potato minituber, significantly increased. Membrane stability index increased, transpiration reduced, water use efficiency increased, chlorophyll a and cartenoids of potato leaves increased as a result of nano and micro silicon foliar application up to 400 mg $l^{-1}$and effects of nano particles on traits more than of micro particles. But, both of silicon particle sizes had a negative effect on traits in higher concentrations. In second experiment, effect of nano silicon particles to improve membrane stability index, chlorophyll b, mean of minituber weight and shoot dry weight traits was higher than the micro particles by 5.4, 9.7, 9 and 12 percentages, respectively. Also, membrane stability index, shoot dry weight and water use efficiency trials, improved in foliar application with pH 5 compared to 11.3 by 8.8, 6.11 and 21.3 percentage, respectively. Reducing the acidity of nano and micro-particles sprayed silicon was caused to increasing of photosynthesis, decreasing of transpiration, increasing of silicon amount of shoot significantly.

1- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Ph.D Student of Crop physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.kafi@um.ac.ir)

Conclusions

Optimal concentration was obtained to foliar application of nano and micro Sodium silicate particles. Overall, the best treatments were 400 mg l^{-1} sodium silicate and pH=5.

Keywords: Chlorophyll, Membrane stability index, Minituber yield, Photosynthesis, Water use efficiency

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۸۰-۳۶۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 369-380

اثر فاصله خطوط کشت و میزان بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزای پاییزه رقم اُکاپی در روش کشت مسطح در مقایسه با کشت جوی پشته‌ای

محمد یزداندوست همدانی[۱*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۹

چکیده

به‌منظور مقایسه روش کشت مسطح با کشت جوی‌پشته‌ای و همچنین تعیین بهترین فاصله خطوط کشت و میزان بذر در کشت مسطح کلزای پاییزه، این مطالعه در دو سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان اجرا گردید. ۱۲ تیمار کشت مسطح (چهار فاصله خطوط کاشت ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر در ترکیب با سه مقدار بذر ۶، ۸ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار)، به‌همراه یک تیمار کشت جوی‌پشته‌ای (۲ خط کشت بر روی یک پشته، فاصله پشته‌ها ۶۰ سانتی‌متر و با مقدار بذر ۸ کیلوگرم در هکتار)، به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. تراکم بوته در واحد سطح بین روش‌های کشت و همچنین در مقادیر مختلف بذر و فواصل خطوط متفاوت بود. متوسط عملکرد دانه در کشت مسطح (۴۳۸۱ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری، حدود ۱۸ درصد، نسبت به کشت جوی‌پشته‌ای (۳۷۲۶ کیلوگرم در هکتار) بیشتر بود. در روش کشت مسطح، تغییر فاصله خطوط کاشت اثرات معنی‌داری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد داشت. بیشترین عملکرد دانه (۴۶۶۷ کیلوگرم در هکتار) از فاصله خطوط ۱۵ سانتی‌متر به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر نداشت. کاربرد مقدار بذر ۶ تا ۱۰ کیلوگرم در هکتار در روش کشت مسطح تأثیر معنی‌داری بر عملکردهای بیولوژیک و دانه نداشت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، آرایش کاشت، تراکم بوته، کلزای زمستانه

مقدمه

زراعت کلزا (*Brassica napus* L.) نسبت به مدیریت مزرعه و انجام عملیات زراعی حساسیت و واکنش زیادی نشان می‌دهد. در این بین، انتخاب سیستم کشت، میزان بذر و تنظیم فاصله بین خطوط کشت تأثیر زیادی بر عملکرد دارد (Kutcher *et al*., 2013). میزان بذر و فاصله خطوط کشت عوامل اساسی برای دستیابی به تراکم گیاهی مطلوب هستند و ایجاد تراکم گیاهی مطلوب یکی از مهمترین عواملی است که بر عملکرد دانه کلزا تأثیرگذار است (Yazdifar and Rameeh, 2009).

تراکم گیاهی در کلزا با کنترل اجزای عملکرد دانه، عملکرد تک بوته را تعیین می‌کند. توزیع یکنواخت گیاهان در واحد سطح شرط لازم برای پایداری عملکرد است. گاهی اوقات کلزا در فاصله خطوط عریض کشت می‌شود تا امکان کولتیواتورزنی مکانیکی فراهم گردد. با این‌حال، در اکثر مناطقی که برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش استفاده می‌شود، فاصله خطوط باریکتر مورد توجه است (Ozer, 2003). کشت گیاهان در ردیف‌های باریک منجر به‌کاهش تبخیر از سطح خاک، جلوگیری از رشد علف‌های هرز، کاهش ورس و بهبود جذب مواد غذایی از خاک می‌شود. به‌علاوه هرچه فاصله بین ردیف‌های کاشت کمتر و فاصله روی ردیف‌ها بیشتر شود، توزیع گیاهان یکنواخت‌تر شده، رقابت بین گیاهان کاهش‌یافته و در نهایت عملکرد دانه افزایش می‌یابد (Andrade and Calvino, 2002).

گیاهانی که در فاصله ردیف‌های خیلی زیاد رشد می‌کنند ممکن است استفاده مناسبی از عوامل طبیعی مانند نور، آب و مواد غذایی نداشته باشند، در فواصل خطوط بسیار باریک نیز رقابت درون ردیفی و بین ردیفی تشدید می‌گردد. بنابراین تنظیم فاصله خطوط کاشت به‌منظور دستیابی به حداکثر تولید، اهمیت بسیار زیادی دارد (Yazdifar and Rameeh, 2009).

نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که فاصله ردیف کاشت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه کلزا داشته و فاصله ردیف‌های کاشت

۱- عضو هیئت علمی بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mh.yazdandoost@areeo.ac.ir)

باریکتر مزّیت بیشتری داشته‌اند، به‌عنوان نمونه در مطالعه‌ای با سه رقم کلزای بهاره، فاصله ردیف‌های ۱۵تا ۵۰ سانتی‌متری مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که حداکثر عملکرد دانه از فاصله ردیف‌های کمتر (۱۵ سانتی‌متر) به‌دست آمد (Atlasi-Pak *et al*., 2006). همچنین در مقایسه سه فاصله خطوط کشت ۱۲، ۱۸ و ۲۴ سانتی‌متر نیز گزارش شده است که عملکرد دانه در فاصله خطوط ۱۲ سانتی‌متر بیشتر بود و با افزایش فاصله خطوط کشت به ۱۸ و ۲۴ سانتی‌متر کاهش یافت (Yazdifar and Rameeh, 2009). در برخی مطالعات دیگر نیز نتایج مشابهی حاصل شده و فاصله ردیف‌های باریکتر عملکرد دانه بیشتری تولید کردند که این افزایش عملکرد به توزیع یکنواخت‌تر گیاهان و رقابت کمتر نسبت داده شد (Sincik *et al*., 2010; Kutcher *et al*., 2013).

بر خلاف این گزارش‌ها، در کانادا واکنش چهار رقم بهاره کلزا نسبت به چهار فاصله ردیف کاشت از ۷/۵ تا ۳۰ سانتی‌متر، طی سه سال بررسی و گزارش شد که عملکرد دانه و درصد روغن دانه تحت تأثیر فاصله ردیف قرار نگرفت (Johnson and Hanson, 2003). در مطالعه دیگری که به‌منظور تعیین فاصله خطوط کشت و میزان بذر مناسب ارقام مختلف کلزای بهاره انجام شد، در بین سه فاصله کشت ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متر، فاصله کشت ۳۵ سانتی‌متر بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در بوته را تولید کرد و عملکرد بالاتری داشت (Hosseini-Imani and Nasiri, 2004).

کاربرد مقادیر مختلف بذر در مطالعات مختلف، نتایج متفاوتی داشته است از جمله در مطالعه ارقام زمستانه کلزا در ترکیه، گزارش شده است که عملکرد دانه در میزان بذر ۸ تا ۱۶ کیلوگرم در هکتار تفاوت نداشت (Sincik *et al*., 2010). نتایج مطالعه دیگری نیز نشان داد که افزایش میزان بذر از ۳/۲ تا ۹/۶ کیلوگرم در هکتار تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه ارقام کلزا نداشت (Kutcher *et al*., 2013). امّا برخی محققان گزارش کردند که با افزایش میزان مصرف بذر از ۴ تا ۱۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه کلزا افزایش یافت و بیشترین عملکرد دانه از میزان بذر ۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (Zarei-Siahbidi *et al*., 2013).

آرایش کاشت و توزیع بوته‌ها در سطح زمین تحت تأثیر سیستم آبیاری قرار دارد. در سیستم آبیاری نشتی، کشت کلزا اغلب به‌صورت جوی و پشته‌ای انجام می‌شود که در این روش معمولاً دو خط کاشت در سطح یک پشته کشت می‌شوند. در این حالت، خطوط کشت در روی یک پشته به‌هم نزدیک بوده (۱۳ تا ۱۵ سانتی‌متر)، ولی فاصله با پشته مجاور بسیار بیشتر است (حدود ۴۵ تا ۴۷ سانتی‌متر). این وضعیت باعث ایجاد غیر یکنواختی در فاصله خطوط کشت و توزیع نامتقارن بوته‌ها در سطح زمین می‌شود. در سالیان اخیر، سیستم‌های آبیاری تحت فشار در سطح کشور توسعه‌یافته و این امکان را به‌وجود آورده است که بتوان با حذف جوی پشته و انجام کشت مسطح، فاصله خطوط کشت را تغییر داد و آرایش کاشت یکنواخت‌تری را در مزارع کلزا پیاده نمود. هدف از این مطالعه مقایسه کشت جوی‌پشته‌ای با کشت مسطح و پاسخ به‌این سوال بوده است که آیا با توجه به تغییر سیستم‌های آبیاری از نشتی به تحت فشار و بارانی، تغییر سیستم کشت از جوی پشته به مسطح چقدر لازم و ضروری است؟ تفاوت عملکرد دانه بین دو سیستم کشت چقدر است؟ و آیا کشاورزان می‌توانند از کارنده‌های جوی‌پشته کار که از قبل تهیه کرده‌اند و در اختیار اکثر آنها می‌باشد، استفاده کنند یا بهتر است کارنده مسطح‌کار تهیه کنند.

مواد و روش‌ها

آزمایش از پاییز سال ۱۳۹۰ به‌مدت دو سال زراعی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، ایستگاه اکباتان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۷۵۸ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه آزمایش بر اساس طبقه‌بندی دومارتن در اقلیم نیمه خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه در اقلیم خشک و خیلی سرد قرار دارد. بر اساس داده‌های آماری ۲۵ ساله ایستگاه هواشناسی اکباتان، میانگین بلند مدت بارندگی سالیانه ۳۰۰ میلی‌متر و تعداد روزهای یخبندان ۱۲۷ روز در سال می‌باشد.

در این مطالعه ۱۳ تیمار شامل ۱۲ تیمار کشت مسطح (چهار فاصله خطوط کاشت ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر در ترکیب با سه مقدار بذر ۶، ۸ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار)، به‌همراه یک تیمار کشت جوی‌پشته‌ای که روش مرسوم منطقه است (فاصله پشته‌ها ۶۰ سانتی‌متر با ۲ خط کاشت بر روی یک پشته و با مقدار بذر ۸ کیلوگرم در هکتار)، به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم بهاره، استفاده از سیکلوتیلر جهت خرد کردن کلوخه‌ها و تسطیح زمین به‌وسیله ماله در اوایل شهریور ماه هر سال انجام شد. خاک مزرعه لوم شنی بود و بر اساس نتایج آزمون خاک معادل ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره و ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریبل در هکتار، به‌ترتیب برای سال اول و دوم آزمایش مصرف شد. یک سوم کود اوره و تمام کود سوپر فسفات تریبل در زمان کاشت به‌طور یکنواخت در کل قطعه آزمایش پخش شد. باقیمانده کود اوره در دو نوبت در مراحل ساقه‌رفتن و ابتدای گلدهی به‌صورت سرک مصرف شد. هر واحد آزمایشی به‌عرض ۲/۴ متر و به‌طول ۵ متر بود. رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم زمستانه و آزاد گرده‌افشان اُکاپی تولید سال ۱۳۹۰ و با قوه نامیه ۹۰ درصد بود. عملیات کاشت در سال اول و دوم به‌ترتیب در تاریخ‌های ۲۷ و ۲۵ شهریورماه به‌صورت دستی و نخستین آبیاری روز بعد با استفاده از سیستم آبیاری بارانی (کلاسیک نیمه ثابت) انجام شد.

کود ازته باقیمانده در هنگام شروع ساقه‌رفتن و اوایل غنچه‌دهی در دو نوبت به‌صورت سرک مصرف شد. برای مبارزه با شته مومی از سم متاسیستوکس با غلظت ۱/۵ در هزار در ابتدای مرحله گلدهی استفاده شد. در زمان رسیدگی از هر واحد آزمایشی ۵ بوته به‌صورت تصادفی از سطح خاک قطع شده و ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و تعداد خورجین در بوته اندازه‌گیری شدند. تعداد دانه در خورجین در ۳۰ خورجین از هر کرت شمارش شد. در زمان رسیدگی، پس از حذف حاشیه، از خطوط میانی هر کرت در سطحی معادل ۱ متر مربع، بوته‌ها کف‌بُر شده و پس از شمارش دقیق تعداد بوته در واحد سطح، به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و سپس عملکرد بیولوژیک در هر کرت اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه از برداشت محصول سطحی معادل ۶ متر مربع در هر کرت تعیین گردید. وزن هزار دانه بر اساس شمارش ۵ نمونهٔ ۲۰۰ عددی از محصول هر کرت تعیین شد.

در پایان دو سال آزمایش تجزیه واریانس مرکب ابتدا به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و با تقسیم اثر تیمار، روش کشت جوی‌پشته‌ای در برابر تیمارهای کشت مسطح مقایسه گردید، سپس به‌منظور تعیین اثرات اصلی میزان بذر و فاصله خطوط و اثر متقابل آنها در روش کشت مسطح، ۱۲ تیمار مربوطه به‌صورت آزمایش فاکتوریل تجزیه شدند. میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. برای انجام محاسبات آماری از برنامه‌ی کامپیوتری SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش نشان داد که روش کشت جوی‌پشته‌ای و مسطح از نظر تراکم نهایی بوته اختلاف بسیار معنی‌داری داشتند (جدول ۱). تراکم بوته در کشت جوی‌پشته‌ای ۷۱/۷ و متوسط تراکم بوته در کشت مسطح ۹۳/۲ بوته در متر مربع بود، بنابراین در کشت مسطح تراکم بوته حدود ۳۰ درصد بیشتر بود (جدول ۳). در روش کشت جوی‌پشته‌ای دو خط کاشت با فاصله حدود ۱۵ سانتی‌متر در رأس یک پشته قرار دارند و فاصله پشته‌ها از یکدیگر ۶۰ سانتی‌متر است. این حالت باعث می‌شود تعداد خطوط کاشت در واحد سطح زمین کاهش یافته و در نتیجه تراکم بوته و رقابت بین گیاهان در خطوط کشت بیشتر می‌شود. افزایش رقابت، افزایش تلفات بوته‌ها و در نهایت کاهش تراکم در واحد سطح را به‌دنبال دارد، حال آن‌که در روش کشت مسطح، تعداد خطوط کشت در واحد سطح زمین بیشتر بوده، در نتیجه فاصله بین گیاهان در روی خطوط افزایش یافته و با کاهش رقابت، بوته‌های بیشتری در واحد سطح زمین استقرار یافتند.

نتایج تجزیه فاکتوریل تیمارهای کشت مسطح (جدول ۲) نشان داد که تراکم بوته در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر فاصله خطوط کشت و مصرف میزان بذر قرار گرفت. با افزایش فاصله خطوط کشت، تراکم بوته کاهش یافت و فواصل خطوط باریکتر (۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر) به‌طور معنی‌داری نسبت به‌فواصل خطوط عریض‌تر (۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر) تراکم بیشتری داشتند (جدول ۳). چنین استنباط می‌شود که در یک میزان بذر ثابت، در فواصل خطوط باریکتر، فاصله بین بوته‌ها در روی خطوط کشت بیشتر شده و رقابت بین آنها کاهش یافته و باعث کاهش تلفات بوته گردیده است. در تأیید این موضوع، محققین دیگری نیز گزارش کردند که با افزایش فاصله خطوط کشت از ۲۳ به۶۱ سانتی‌متر تراکم بوته ۲۶ درصد کاهش یافت (Kutcher *et al.*, 2013).

افزایش مصرف بذر باعث افزایش تراکم بوته گردید. کمترین تعداد بوته در هر متر مربع (۷۳/۲ بوته) از میزان بذر ۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و با مصرف ۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار، تراکم بوته به ۱۱۵/۰ بوته در هر متر مربع رسید. همانند این آزمایش در مطالعه دیگری نیز با افزایش میزان بذر مصرفی از ۳/۲ تا ۹/۶ کیلوگرم در هکتار، تراکم بوته از ۶۰ تا ۱۳۶ بوته در متر مربع افزایش پیدا کرد (Kutcher *et al.*, 2013).

با افزایش تراکم بوته، رقابت بین گیاهان افزایش یافته و توانایی گیاه برای استفاده از عوامل محیطی و تولید ماده خشک به‌تدریج کاهش می‌یابد و در تراکم‌های زیاد میزان تلفات زمستانه بوته‌ها افزایش پیدا می‌کند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که آرایش کاشت نقش مهمی در استقرار تعداد بوته مطلوب در واحد سطح داشته است و در یک میزان بذر ثابت، تغییر فاصله ردیف کشت و آرایش بوته‌ها در واحد سطح، می‌تواند در تراکم بوته نهایی تأثیرگذار باشد، به عبارت دیگر آرایش بوته‌ها در واحد سطح و تراکم بوته در ارتباط با یکدیگر هستند.

ارتفاع بوته در روش کشت جوی‌پشته‌ای و مسطح تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۱)، همچنین اثر فاصله خطوط کشت و میزان‌های مختلف بذر نیز بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جداول ۲ و ۳). در برخی مطالعات دیگر نیز گزارش شده است که تغییر فاصله ردیف کاشت (Hossein-Zadeh *et al.*, 2007; Yazdifar and Rameeh, 2009) و مقادیر بذر ۶ تا ۱۰ کیلوگرم تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت (Keihanian *et al.*, 2012).

تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در بوته بین کشت مسطح و جوی‌پشته‌ای در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۱) و در کشت جوی‌پشته‌ای به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت مسطح بود (به‌ترتیب ۶/۱ در برابر ۵/۰ شاخه فرعی و ۹۰/۶ در برابر ۷۳/۷ خورجین). به‌نظر می‌رسد تراکم بوته کمتر در کشت جوی‌پشته‌ای، باعث افزایش تعداد شاخه‌های جانبی و تعداد خورجین در هر بوته گردیده است.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب برخی صفات زراعی و عملکرد دانه کلزا در روش کشت جوی‌پشته‌ای و مسطح با میزان بذر و فاصله ردیف‌های مختلف

Table 1- Combined analysis of variance for some agronomic traits and seed yield of winter oilseed rape in ridge and flat planting systems with different seeding rates and row spacing

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات MS								
			تعداد بوته در متر مربع	ارتفاع بوته	شاخه فرعی در بوته	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	شاخص برداشت
		d.f	Plant per m^2	Plant Height	Branch per plant	Pod per plant	Seed per pod	1000-seed weight	Biological yield	Seed yield	Harvest index
Year	سال	1	46.15^{ns}	7680.46**	107.5**	27421.9**	2514.9**	47.92**	330229985.3**	11167000.2**	2.92^{ns}
Rep (year)	تکرار (سال)	4	34.77	78.81	0.31	41.77	3.51	0.046	10027328.7	30759.83	9.35
Treatment	تیمار	12	2210.39**	29.00^{ns}	2.02**	509.83**	3.98^{ns}	0.21**	19888771.2**	569678.79**	5.78^{ns}
Ridge vs. Flat	پشته‌ای در برابر مسطح	1	1437.61**	12.51^{ns}	7.10**	1595.13**	5.83^{ns}	1.61**	65564285.3**	2374894.12**	12.32^{ns}
Year × Treatment	سال × تیمار	12	10.15^{ns}	48.88^{ns}	0.76*	38.59^{ns}	2.39^{ns}	0.10**	5427265.0^{ns}	194984.12^{ns}	1.70^{ns}
Error	اشتباه آزمایش	48	43.99	41.14	0.37	59.19	2.89	0.026	7681623	185949.44	4.56
C.V. (%)	ضریب تغییرات		7.2	7.15	12.0	10.3	8.2	3.8	13.2	9.9	10.2

* and **: Significant at the 5 and 1 percent probability levels, respectively

ns: Not significant

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: غیر معنی‌دار

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب برخی صفات زراعی و عملکرد دانه کلزا با میزان بذر و فاصله ردیف مختلف در روش کشت مسطح

Table 2- Combined analysis of variance for some agronomic traits and seed yield of winter oilseed rape with different seeding rates and row spacing in flat planting system

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات MS								
			تعداد بوته در متر مربع	ارتفاع بوته	شاخه فرعی در بوته	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	شاخص برداشت
		d.f	Plant per m^2	Plant Height	Branch per plant	Pod per plant	Seed per pod	1000-seed weight	Biological yield	Seed yield	Harvest index
Year	سال	1	34.72 ^{ns}	7527.64 **	97.77 **	25353.77 **	2306.33 **	46.59 **	290231505.9 **	9843077.78 **	2.35 ^{ns}
Rep (Year)	تکرار (سال)	4	31.05	80.84	0.17	57.74	4.45	0.061	9807063.0	20898.15	10.73
Row spacing (R)	فاصله خط	3	610.28 **	44.51 ^{ns}	1.44 *	402.35 **	0.50 ^{ns}	0.20 **	33431405.9 *	1148238.54 **	2.26 ^{ns}
Year × R	سال × فاصله خط	3	2.13 ^{ns}	18.81 ^{ns}	0.35 ^{ns}	16.24 ^{ns}	5.16 ^{ns}	0.007 ^{ns}	5267283.7 ^{ns}	77594.36 ^{ns}	2.03 ^{ns}
Seed rate (S)	میزان بذر	2	10557.06 **	1.84 ^{ns}	5.30 **	1350.43 **	0.17 ^{ns}	0.06 ^{ns}	1274352.8 ^{ns}	102330.25 ^{ns}	0.13 ^{ns}
Year × S	سال × میزان بذر	2	15.39 ^{ns}	14.01 ^{ns}	0.46 ^{ns}	108.71 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.31 **	14230003.9 ^{ns}	645520.56 *	2.18 ^{ns}
R × S	فاصله خط × میزان بذر	6	168.83 **	33.06 ^{ns}	0.37 ^{ns}	102.48 ^{ns}	6.67 ^{ns}	0.032 ^{ns}	14133249.7 ^{ns}	135312.54 ^{ns}	10.27 ^{ns}
Year × R × S	سال×فاصله خط× میزان بذر	6	13.24 ^{ns}	69.46 ^{ns}	1.18 *	32.78 ^{ns}	2.14 ^{ns}	0.032 ^{ns}	3089630.8 ^{ns}	124375.48 ^{ns}	1.63 ^{ns}
Error	اشتباه آزمایش	44	45.54	44.10	0.38	57.73	3.03	0.025	8293760.7	193157.21	4.79
C.V. (%)	ضریب تغییرات		7.2	7.4	12.3	10.3	8.3	3.6	13.6	10.1	10.5

* and **: Significant at the 5 and 1 percent probability levels, respectively.

ns: Not significant

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: غیر معنی‌دار

جدول ۳ - مقایسه میانگین برخی صفات زراعی و عملکرد دانه کلزا در روش کشت جوی و پشته و مسطح با میزان بذر و فاصله ردیف‌های مختلف

Table 3- Mean comparison for some agronomic traits and seed yield of winter oilseed rape in ridge and flat planting systems with different seeding rates and row spacing

		تعداد بوته در متر مربع	ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی در بوته	خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	شاخص برداشت
		Plant per m^2	Plant Height (cm)	Branch per plant	Pod per plant	Seed per pod	1000-seed weight (g)	Biological yield (kg ha^{-1})	Seed yield (kg ha^{-1})	Harvest index
روش کاشت Planting method										
Ridge planting	پشته‌ای	71.7 b	91.1 a	6.1 a	90.6 a	19.9 a	3.77 b	18136.0 b	3726.4 b	20.5 a
Flat planting	مسطح	93.2 a	89.6 a	5.0 b	73.7 b	20.9 a	4.31 a	21171.2 a	4381.2 a	20.9 a
فاصله خطوط Row spacing (cm)										
15		99.3 a	88.3 a	4.8 b	67.8 c	21.0 a	4.42 a	22379.7 a	4667.4 a	21.15 a
20		96.4 a	88.5 a	4.8 b	72.5 bc	20.8 a	4.32 a	21929.6 a	4485.7 ab	20.68 a
25		90.7 b	91.7 a	4.9 b	75.1 ab	21.0 a	4.32 a	21082.7 ab	4291.5 bc	20.57 a
30		86.3 b	89.8 a	5.4 a	79.1 a	20.7 a	4.17 b	19292.7 b	4080.3 c	21.29 a
میزان بذر Seeding rate (kg ha^{-1})										
6		73.2 c	89.7 a	5.4 a	81.7 a	20.9 a	4.33 a	20939.7 a	4327.8 a	20.9 a
8		91.4 b	89.8 a	5.1 a	72.3 b	20.9 a	4.25 a	21400.5 a	4454.0 a	20.9 a
10		115.0 a	89.3 a	4.5 b	66.9 c	20.8 a	4.34 a	21173.3 a	4361.8 a	20.8 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

در شرایط کشت مسطح نیز تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در بوته تحت تأثیر تغییر فاصله خطوط کشت و میزان بذر قرار گرفتند (جدول ۲). با افزایش فاصله خطوط، تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در هر بوته افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد شاخه فرعی و خورجین در هر بوته (۵/۴ شاخه و ۷۹/۱ خورجین) از فاصله خطوط کشت ۳۰ سانتی‌متری حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با خطوط کشت باریکتر داشتند (جدول ۳). افزایش میزان بذر مصرفی باعث کاهش معنی‌دار در تعداد شاخه فرعی و خورجین در هر بوته گردید (جدول ۳).

در برخی مطالعات دیگر نیز گزارش شده است که افزایش فاصله ردیف باعث افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در بوته گردیده است (Ozer, 2003; Hosseini-Imani and Nasiri, 2004). کاهش تعداد شاخه‌های فرعی در فواصل باریک را می‌توان به‌کاهش میزان نفوذ نور در بخش پایین پوشش گیاهی و عدم فعالیت جوانه‌های تشکیل‌دهنده‌ی شاخه نسبت داد (Rabiei, 2011). تغییر تعداد شاخه‌های فرعی با تغییر در تعداد خورجین در بوته همراه است و همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری بین این دو صفت وجود داشت (جدول ۴) که سایر محققان نیز به‌آن اشاره کرده‌اند (Hossein-Zadeh *et al*., 2007). در مطالعه دیگری اثر فاصله ردیف کاشت بر تعداد خورجین در گیاه، معنی‌دار گزارش شده و بیان گردید که ردیف‌های عریض‌تر به‌دلیل افزایش تعداد شاخه فرعی، بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشتند (Rabiei, 2011). تعداد خورجین در بوته از صفات بسیار مهمی است که عملکرد دانه به‌شدت به‌آن وابسته است، زیرا از یک طرف در برگیرنده تعداد دانه بوده و از سوی دیگر با تأمین قسمتی از مواد فتوسنتزی مورد نیاز بر وزن دانه‌ها تأثیرگذار است. پس از مرحله گلدهی با کاهش سطح برگ بوته، خورجین‌های سبز نقش مهمی در فتوسنتز گیاه دارند (Eilkaei and Emam, 2003). به‌عبارت دیگر دو جزء اصلی عملکرد یعنی تعداد دانه و وزن دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در این مطالعه تراکم بوته با تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در بوته همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۴). در مطالعات متعدد دیگر نیز به‌کاهش تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد خورجین در گیاه با افزایش میزان مصرف بذر اشاره شده است (Angadi *et al*., 2003; Keihanian *et al*., 2012; Zarei-Siahbidi *et al*., 2013).

تغییر تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در هر بوته را می‌توان با تراکم بوته مرتبط دانست بدین گونه که ایجاد تراکم گیاهی بیشتر در واحد سطح از طریق افزایش مصرف بذر یا فواصل خطوط باریکتر، باعث رقابت بیشتر بین گیاهان شده و منجر به‌کاهش تعداد شاخه فرعی و خورجین در هر بوته گردیده است.

متوسط تعداد دانه در خورجین بین دو روش کشت جوی‌پشته‌ای و مسطح اختلاف معنی‌داری نداشت و در روش کشت مسطح نیز تعداد دانه در خورجین تحت تأثیر تغییر فاصله خطوط کشت و میزان بذر مصرفی قرار نگرفت (جداول ۱ و ۳). در برخی مطالعات دیگر نیز گزارش شده است که میزان بذر (Keihanian *et al*., 2012; Zarei-Siahbidi *et al*., 2013)، تراکم بوته (Roozbahani *et al*., 2013) و فاصله ردیف‌های کشت (Hossein-Zadeh *et al*., 2007) تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در خورجین نداشت. هرچند برخی محققین معتقدند که تعداد دانه در خورجین بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Rao and Mendham, 1991)، اما گزارشاتی نیز وجود دارد که افزایش فاصله ردیف کاشت، باعث افزایش تعداد دانه در خورجین گردیده است (Ozer, 2003) و در گزارش دیگری با افزایش فاصله ردیف و میزان بذر، تعداد دانه در خورجین به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Faraji, 2004).

وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد بین دو روش کشت متفاوت (جدول ۱) و در روش کشت مسطح (۴/۳۱ گرم) بیشتر از کشت جوی‌پشته‌ای (۳/۷۷ گرم) بود (جدول ۳). از آنجایی‌که در روش کشت جوی‌پشته‌ای، متوسط تعداد خورجین در هر بوته بیشتر بود و تعداد دانه در خورجین نیز تفاوت معنی‌دار نداشت، بنابراین کشت جوی‌پشته‌ای دارای تعداد دانه بیشتری در هر بوته بوده است که به‌نظر می‌رسد همین عامل باعث گردید تا وزن هزار دانه در کشت جوی‌پشته‌ای نسبت به‌کشت مسطح به‌طور معنی‌داری کمتر گردد.

وزن هزار دانه تحت تأثیر فاصله خطوط کشت قرار گرفت و با افزایش فاصله خطوط کشت به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری که فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متری با ۴/۱۷ گرم کمترین وزن هزاردانه را داشت. اما کاربرد مقادیر بذر ۶ تا ۱۰ کیلوگرم در هکتار تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت (جداول ۱ و ۳). در برخی مطالعات دیگر نیز نتایج مشابهی به‌دست آمده است، در بررسی سه فاصله ردیف ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متری بر عملکرد کلزای بهاره گزارش شد که با افزایش فاصله کاشت، وزن هزار دانه کاهش یافت (Rabiei, 2011). اما مطالعاتی نیز وجود دارد که گزارش نموده‌اند فاصله ردیف ۱۵ تا ۴۵ سانتی‌متر و تراکم‌های مختلف بوته بر وزن هزار دانه تأثیر معنی‌داری نداشت (Ozer, 2003). در برخی مطالعات دیگر نیز اشاره شده است که وزن هزار دانه تحت تأثیر میزان مصرف بذر قرار نگرفت (Keihanian *et al*., 2012; Zarei-Siahbidi *et al*., 2013).

همبستگی بین وزن هزار دانه با تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در بوته منفی و معنی‌دار بود (جدول ۴). وزن هزار دانه آخرین جزء عملکرد است و روند تغییرات آن به‌مقدار زیادی تحت تأثیر دیگر

اجزای عملکرد قرار می‌گیرد (Sarmadnia and Koocheki, 1994). از طرف دیگر بیان شده است که وزن هزار دانه به‌میزان هیدرات کربن ذخیره شده در شروع پر شدن دانه و ژنوتیپ گیاه بستگی دارد (Eilkaei and Emam, 2003). بنابراین به‌نظر می‌رسد که در روش کشت جوی‌پشته‌ای و نیز در فاصله خطوط عریض‌تر، با افزایش تعداد خورجین در بوته و ثابت بودن تعداد دانه در هر خورجین، تعداد دانه در بوته افزایش یافته و در نتیجه تخصیص مواد فتوسنتزی به‌دانه‌های موجود کاهش یافت.

عملکردهای دانه و بیولوژیک در روش کشت مسطح و جوی‌پشته‌ای در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کشت مسطح با متوسط عملکرد دانه ۴۳۸۱/۲ کیلوگرم در هکتار نسبت به‌کشت جوی‌پشته‌ای (با عملکرد ۳۷۲۶/۴ کیلوگرم در هکتار) حدود ۱۸ درصد برتری عملکرد داشت. در مورد عملکرد بیولوژیک نیز کشت مسطح برتری معنی‌دار و مشابهی داشت (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد در روش کشت مسطح، با توزیع یکنواخت‌تر گیاهان در واحد سطح و کاهش رقابت بین آنها، فضای مناسب‌تری برای رشد در اختیار گیاهان قرار گرفته است که افزایش عملکردهای بیولوژیک و دانه را به‌دنبال داشت.

در روش کشت مسطح، تغییر فاصله خطوط کاشت تأثیر معنی‌داری بر عملکردهای بیولوژیک و دانه به‌ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد داشت (جدول ۲). بیشترین مقادیر عملکردهای بیولوژیک و دانه از فاصله خطوط باریکتر (۱۵ سانتی‌متری) حاصل شد و با افزایش فاصله خطوط کشت عملکردهای بیولوژیک و دانه به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کردند، به‌طوری‌که در فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر نسبت به۱۵ سانتی‌متر، عملکردهای بیولوژیک و دانه به‌ترتیب حدود ۱۳/۸ و ۱۲/۶ درصدکاهش یافتند (جدول ۳).

نتایج سایر محققین نیز بیانگر آن است که با کاهش فواصل ردیف، عملکرد دانه افزایش می‌یابد. از جمله در مطالعه فاصله ردیف‌های ۱۵ تا ۵۰ سانتی‌متر در ارقام بهاره کلزا، حداکثر عملکرد دانه در فاصله ردیف‌های کمتر (۱۵ سانتی‌متر) به‌دست آمد و اعلام شد که فواصل ردیف کمتر منجر به‌افزایش راندمان مصرف نور، افزایش تولید ماده خشک و عملکرد دانه گردید (Atlasi-Pak *et al.*, 2006). افزایش عملکرد دانه در ردیف‌های باریکتر نسبت به‌ردیف‌های عریض‌تر به‌دلیل توزیع یکنواخت‌تر گیاهان در سطح زمین است که باعث توزیع مناسبتر تابش خورشیدی در سطح پوشش گیاهی شده و در نتیجه باعث کاهش رقابت بین گیاهان می‌شود (Andrade and Calvino, 2002; Ozer, 2003).

کاربرد مقدار بذر ۶ تا ۱۰ کیلوگرم در روش کشت مسطح بر عملکردهای بیولوژیک و دانه تأثیر معنی‌داری نداشت (جداول ۲ و ۳). در برخی گزارشات دیگر نیز اشاره شده است که کلزا نسبت به‌میزان مصرف بذر انعطاف‌پذیری زیادی دارد به‌طوری‌که با فراهم بودن عواملی همانند نور، آب و تغذیه مناسب می‌تواند از طریق تغییر در توسعه شاخه‌های جانبی و سایر اجزای عملکرد، تغییرات تعداد گیاه در واحد سطح را جبران کند (Angadi *et al.*, 2003). در مطالعات دیگری نیز از کاربرد مقادیر بذر ۸ تا ۱۶ کیلوگرم در هکتار (Sincik *et al.*, 2010) و یا ۳/۲ تا ۹/۶ کیلوگرم در هکتار (Kutcher *et al.*, 2013) نتایج مشابهی به‌دست آمده است. این محققین نیز قدرت جبران‌پذیری بین اجزای عملکرد کلزا را عامل عدم اختلاف بین میزان بذرها دانستند.

با این حال در برخی مطالعات دیگر گزارشات متفاوتی ارائه شده است، از جمله اینکه در کلزای پاییزه با افزایش مصرف بذر از ۴ تا ۱۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین عملکرد از بیشرین مقدار بذر به‌دست آمد. افزایش مصرف بذر باعث کاهش تعداد شاخه فرعی و خورجین در بوته گردید ولی عملکرد دانه از طریق افزایش تعداد بوته در واحد سطح جبران گردید (Zarei-Siahbidi *et al.*, 2013). در مقابل محققین دیگر از کاربرد ۶ تا ۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار گزارش دادند که بیشترین عملکرد دانه از کمترین مقدار بذر مصرفی (۶ کیلوگرم در هکتار) حاصل شده است (Keihanian *et al.*, 2012).

نتایج متفاوتی که در آزمایشات مختلف به‌دست آمده است، می‌تواند ناشی از چندین عامل باشد. اول اینکه در برخی مطالعات ارقام بهاره و در برخی دیگر ارقام زمستانه مورد استفاده بوده‌اند، نوع رقم مورد استفاده نیز متفاوت بوده است و ممکن است واکنش ارقام مختلف نسبت به‌تغییرات تراکم و میزان بذر متفاوت باشد، برخی ارقام تراکم‌پذیری کمتر و برخی دیگر تراکم‌پذیری بیشتری داشته باشند. دوم اینکه در بیشتر مطالعات با کاربرد مقدار بذرهای متفاوت، تراکم نهایی بوته بررسی و گزارش نشده است، بنابراین ممکن است در کاربرد مقادیر زیاد بذر، تلفات بوته‌ها نیز بیشتر بوده و در نهایت از نظر تراکم بوته بین مقادیر مختلف بذر تفاوت چندانی وجود نداشته است.

در مطالعه حاضر عملکرد دانه با ارتفاع بوته، تعداد دانه در خورجین، شاخص برداشت و تراکم گیاهی همبستگی معنی‌داری نداشت. همبستگی بین عملکرد دانه با وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیکی مثبت و معنی‌دار و با تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در بوته منفی و معنی‌دار بود (جدول ۴).

از نظر شاخص برداشت تفاوت معنی‌داری بین دو روش کشت مشاهده نشد (جدول ۱). عملکرد دانه و بیولوژیک در کشت مسطح برتری معنی‌دار و مشابهی داشت و این امر باعث عدم اختلاف شاخص برداشت بین دو روش کشت گردید (جدول ۳). در روش کشت مسطح، تغییر فاصله خطوط کاشت و کاربرد مقادیر بذر ۶ تا ۱۰ کیلوگرم بر شاخص برداشت اثر معنی‌داری نداشت (جداول ۲ و ۳). در مطالعه دیگری با افزایش فاصله ردیف از ۲۰ به۳۰ سانتی‌متر، شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این محققین گزارش کردند

که افزایش فاصله ردیف بر عملکرد دانه تأثیری نداشت، امّا عملکرد بیولوژیک را افزایش داد که منجر به‌کاهش شاخص برداشت گردید (Hossein-Zadeh *et al*., 2007).

جدول ٤- ضرایب همبستگی ساده بین برخی صفات زراعی مورد بررسی

Table 4- Correlation coefficients between some agronomic traits

			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Plant Height	ارتفاع بوته	(1)	1.00								
Branch per plant	شاخه فرعی در بوته	(2)	0.23	1.00							
Pods per plant	خورجین در بوته	(3)	0.09	0.84**	1.00						
Seeds per pod	دانه در خورجین	(4)	-0.02	-0.28	-0.27	1.00					
1000-seed weight	وزن هزار دانه	(5)	-0.33	-0.64*	-0.56*	0.25	1.00				
Seed yield	عملکرد دانه	(6)	-0.31	-0.63*	-0.66*	0.05	0.76**	1.00			
Biological yield	عملکرد بیولوژیک	(7)	-0.43	-0.48	-0.43	-0.18	0.69**	0.83**	1.00		
Harvest index	شاخص برداشت	(8)	0.30	-0.08	-0.22	0.44	-0.06	0.02	-0.53	1.00	
Plant density per m^2	تراکم گیاهی	(9)	-0.31	-0.86**	-0.82**	0.01	0.41	0.41	0.36	-0.03	1.00

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: Significant at the 5 and 1 percent probability levels, respectively.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش و مقایسه روش کشت جوی‌پشته‌ای با مسطح نشان داد که تعداد خطوط کشت و در نتیجه الگوی توزیع گیاهان در واحد سطح، بین دو روش کشت متفاوت بود. در روش کشت جوی‌پشته‌ای، به‌دلیل تجمع گیاهان در سطح پشته و کاهش فاصله بین گیاهان در روی خطوط کشت، رقابت بین آنها افزایش یافت که باعث کاهش تراکم نهایی بوته در واحد سطح شد. تراکم کمتر بوته، منجر به‌افزایش شاخه‌دهی و تولید تعداد بیشتری خورجین در هر بوته گردید که خود منجر به‌کاهش وزن هزار دانه شد. افزایش شاخه‌دهی و تولید خورجین بیشتر در روش کشت جوی‌پشته‌ای نتوانست کمبود تراکم را جبران کند و در نهایت عملکرد دانه کاهش یافت. در کشت مسطح تراکم بوته، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت جوی‌پشته‌ای بود.

در روش کشت مسطح، فاصله خطوط باریکتر برتری معنی‌داری نشان دادند. در فاصله خطوط باریکتر، تعداد خطوط کشت در واحد سطح بیشتر بود، این عامل باعث شد تا برای مقدار ثابتی از بذر مصرفی، فاصله بین بوته‌ها در روی خطوط کشت افزایش یابد، به‌دلیل توزیع یکنواخت‌تر بوته‌ها در واحد سطح و در نتیجه رقابت کمتر بین بوته‌ها، تراکم نهایی در واحد سطح زمین افزایش یافت، با افزایش تراکم نهایی بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد خورجین در هر بوته کاهش یافت، اما در نهایت، افزایش وزن هزار دانه باعث تولید عملکرد دانه بیشتر گردید. ضمن اینکه عملکرد بیولوژیک بیشتر در فاصله خطوط باریکتر، پتانسیل لازم برای پرکردن دانه‌ها و افزایش وزن هزار دانه را ایجاد کرد. با توجه به‌نتایج حاصل به‌نظر می‌رسد کشت مسطح کلزا در فواصل ردیف ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر و با مقدار بذر ۶ کیلوگرم در هکتار جهت کشت ارقام پاییزه کلزا قابل توصیه می‌باشد.

References

1. Andrade, F. H., and Calvino, P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. Agronomy Journal 94: 975-980.
2. Angadi, S. V., Cutforth, H. W., McConkey, B. G., and Gan, Y. 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semi-arid conditions. Crop Science 43: 1358-1366.

3. Atlasi–Pak, V., Mamaghani, R., Mesgarbashi, M., and Nabipour, M. 2006. Effect of planting arrangement on radiation use efficiency and dry matter accumulation in three spring rapeseed varieties. Scientific Journal of Agriculture 29 (4): 139-152. (in Persian with English abstract).
4. Eilkaei, M. N., and Emam, Y. 2003. Effect of plant density on yield and yield components in two winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. Iranian Journal of Agricultural Science 34 (1): 509-515. (in Persian with English abstract).
5. Faraji, A. 2004. Effect of row spacing and seed rate on yield and yield components of rapeseed cv. Quantum in Gonbad. Seed and plant 20 (3): 297-314. (in Persian with English abstract).
6. Hosseini-Imani, S., and Nasiri, M. 2004. Study and determination of suitable row spacing and seeding rate of oilseedrape cultivars in rice field. Rice Research Institute of Iran (in Persian with English abstract).
7. Hossein Zadeh, M. H., Isfahani, M., Rabiei, B., and Rabiee, M. 2007. Effect of row spacing on grain yield and its components and radiation use efficiency in four rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars grown in paddy fields in Guilan. Iranian Journal of Crop Sciences 9 (3): 263-281. (in Persian with English abstract).
8. Johnson, B. L., and Hanson, B. K. 2003. Row-spacing interactions on spring canola performance in the Northern Great Plains. Agron. J. 95: 703-708.
9. Keihanian, A. M., Mobasser, H. R., Sam-Daliri, M., Bakhshipour, S., and Mohammadi, S. 2012. Effect of seeding rate and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative traits of rapeseed as second crop after rice in Mazandaran. Crop physiology Journal. Azad University, Ahvaz branch. 4 (15): 43-57. (in Persian with English abstract).
10. Kutcher, H. R., Turkington, T. K., Clayton, G. W., and Harker, K. N. 2013. Response of herbicide-tolerant canola (*Brassica napus* L.) cultivars to four row spacings and three seeding rates in a no-till production system. Can. J. Plant Sci. 93: 1229-1236.
11. Ozer, H. 2003. Sowing data and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. Eur. J. Agron. 19: 453-463.
12. Rabiei, M. 2011. Effect of row spacing and nitrogen fertilizer rates on grain yield and agronomic characteristics of rapeseed cv. Hayola 308 as second crop in paddy fields of Guilan in Iran. Seed and Plant. 27-2 (4): 399-415. (in Persian with English abstract).
13. Yazdifar, S. and Rameeh, V. 2009. Effects of row spacing and seeding rates on some agronomical traits of spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Central Eur. J. Agric. 10: 115-122.
14. Rao, M. S. S., and Mendham, N. J. 1991. Comparison of canola (*B. campestris* and *B. napus*) oilseed rape using different growth regulators, plant population densities and irrigation treatments. J. Agric. Sci. Camb. 177: 177-187.
15. Roozbahani, A., Azadi, A., and Sadeghi, M. 2013. Evaluation the effect of planting date and plant density on yield, yield component and oil of fall rape oil seed in Karaj. Journal of agronomy and plant breeding 9 (1): 91-101. (in Persian with English abstract).
16. Sarmadnia, Gh., and Koocheki, E. 1994. Crop physiology. Jihad-e-Daneshghahi of Mashhad University Publications. 470 p. (in Persian with English abstract).
17. Sincik, M., Goksoy, A. T., and Turan, Z. M. 2010. Influence of sowing properties on winter oilseed rape in a sub-humid Mediterranean environment. Not. Bot. Hortic. Agrobot. Cluj. 38: 171-175.
18. Zarei-Siahbidi, A., Rezaei-Zad, A., and Niazi-Fard, A. 2013. Effect of seeding rate and nitrogen fertilizer on seed yield and its components of oilseed rape cv. Opera. Seed and plant 29 (4): 429-441. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 369-380

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۸۰-۳۶۹

Effect of Row Spacing and Seeding Rate on Seed Yield and Yield Components of Winter Oilseed Rape cv. Okapi in Flat versus Ridge Planting

M. Yazdandoost Hamedani[1*]

Received: 23-01-2017
Accepted: 30-12-2017

Introduction

Rapeseed shows great sensitivity to farm management and agronomic operations. Specially, planting method, seeding rate and row spacing have big effects on yield. The seeding rate and row spacing are critical factors for achieving optimum plant density and this is one of the most important factors affecting the seed yield of rapeseed. In addition, uniform distribution of plants per unit area is required for yield sustainability. Rapeseed is planted in narrow and wide row spacing. With decreasing in row spacing and increasing of distance between plants, plants distribution becomes more uniform, competition between plants is reduced and finally, seed yield increases. In cold and semi-cold areas of Iran, rapeseed is planted as an irrigated crop. Plants arrangement and distribution in surface area are affected by irrigation system, too. In furrow irrigation, rapeseed is planted only on the upper level of the ridges and thus plant distribution is non-uniform. With the using of sprinkler systems, flat planting is possible and plant arrangement becomes more uniform.

Materials and Methods

In order to compare the flat with ridge planting and to determine the best row spacing and seeding rate in flat planting of winter rapeseed, a field experiment was conducted in Hamedan Agriculture and Natural Resources Research Center in 2011-2013 cropping seasons. Combination of four row spacing (15, 20, 25 and 30 centimeters) with three seeding rates (6, 8 and 10 kg ha^{-1}) in flat planting method and check treatment (ridge planting with two rows on each ridge using 8 kg ha^{-1} seeding rate), totally 13 treatments, were studied in a Randomized Complete Block design with three replications during the growing season and in harvest time, some agronomic traits such as number of plants per m^2, plant height, number of branches and pods per plant, seeds per pod, 1000-seed weight, biological and seed yield and harvest index were measured. RCBD and factorial analysis of variance were done using SAS software and mean comparison was carried out using Duncan's multiple range test 5% probability level.

Results and Discussion

The plant densities between flat and ridge planting, seeding rates and row spacing were different because of difference in plant arrangement. Ridge planting (check treatment) had the highest plant height, number of branches and pods per plant, and the lowest 1000-seed weight and seed yield in comparison with flat planting treatments. In flat planting, seed yield and yield components significantly affected by row spacing. Row spacing of 15-20 centimeters produced the highest seed yield. In flat planting, using of 6-10 kg seeds per hectare had not significant effects on biological and seed yield. Narrower than the wider row spacing increased grain yield due to more uniform distribution of plants in the ground, Which leads to better absorption of solar radiation in plant canopy and consequently reduce competition between plants.

1- Scientific member, Seed and Plant Improvement Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran
(*- Corresponding Author Email: mh.yazdandoost@areeo.ac.ir)

Conclusions

The results of this experiment showed that in ridge planting, competition between plants increased and final plant density reduced. In contrast, flat planting had more uniform arrangement that decreased inter and intra row competition, increased plant density per unit area and finally produced higher biological and seed yield. Average seed yield in flat planting method was 4381 kg ha^{-1} which was about 18% higher than ridge planting. Based on these results, it seems that flat planting with 15-20 cm row spacing and 6-10 kg ha^{-1} could be used for winter oilseed rape.

Keywords: Planting arrangement, Plant density, Sprinkler irrigation, Winter oilseed rape

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۹۲-۳۸۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 381-392

بررسی سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای: کودهای ارگانیک، غیرارگانیک و تلفیقی، بر چگونگی تغییرات پروتئین دانه گندم

الهام امجدیان[۱*] - احمد قنبری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴

چکیده

گندم یک منبع مهم پروتئینی و تغذیه‌ای برای جوامع بشری بوده، که میزان پروتئین دانه به‌عنوان مهم‌ترین جزء تعیین‌کننده کیفیت دانه، نقش مهمی در کیفیت و ارزش غذایی محصول و هم‌چنین نان تولیدی آن دارد. این پژوهش به‌منظور بررسی چگونگی تغییرات (افزایش و یا کاهش) میزان پروتئین دانه گندم (*Triticum aestivum* L.)، تحت کاربرد سیستم‌های مختلف تغذیه کودی، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۳- ۱۳۹۲، در پژوهشکده کشاورزی وابسته به دانشگاه زابل اجرا شد. تیمارها شامل: T_1. شاهد، T_2. کود دامی، T_3. کود ورمی‌کمپوست، T_4. کود شیمیایی NPK، T_5. کود ورمی‌کمپوست+کود نیتروکسین، T_6. کود دامی+کود نیتروکسین، T_7. کود دامی+کود شیمیایی NPK، (با نسبت‌های مساوی) در بررسی عملکرد دانه، شاخص‌برداشت، نیتروژن خاک، نیتروژن دانه، پروتئین دانه، درصد رطوبت، خاکستر و ماده آلی دانه مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد استفاده از سیستم‌های مختلف کودی بر تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ($P\leq$۰/۰۱)، معنی‌دار بود. استفاده از کودهای دامی و شیمیایی به‌صورت تلفیقی، شاخص برداشت و عملکرد دانه را نسبت به سایر تیمارها، افزایش داد. بیشترین و کمترین میزان غلظت نیتروژن دانه با مقادیر ۲/۴۱ و ۱/۶۲ درصد و میزان پروتئین دانه با مقادیر ۱۴ و ۹/۴۴ درصد به‌ترتیب به تیمار کودهای شیمیایی و شاهد اختصاص یافت، به‌طوری که استفاده از کودهای شیمیایی موجب افزایش ۰/۴۸ درصدی پروتئین دانه، نسبت به شاهد گردید. بر این اساس نیتروژن یکی از مهم‌ترین عواملی می‌باشد که تأثیر به‌سزایی در میزان پروتئین دانه داشته و تولید محصول به‌مقدار زیادی تحت کاربرد این عنصر قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: کودهای آلی، کودهای تلفیقی دامی و شیمیایی، کودهای شیمیایی، کیفیت دانه، نیتروژن

مقدمه

مدیریت کودی، فرآیند مهمی است که ترکیب مناسب کودی را جهت تولید محصولات کشاورزی با کمترین میزان تلفات غذایی را به ارمغان می‌آورد. انتخاب یک مدیریت کودی بستگی به برنامه‌های زیست‌محیطی جهت جلوگیری از آلودگی‌های زمین، آب و هوا دارد که بایستی یک مدیریت کودی مناسبی را گسترش و توسعه داد (Delogu *et al*., 1998). کاربرد وافر غلات که یکی از مهم‌ترین منابع غذایی جوامع بشری می‌باشد، سبب شده که در بسیاری از مناطق، محصول این گیاهان زراعی به‌عنوان یک منبع مهم پروتئین در نظر گرفته شود، بنابراین حجم بالای پروتئین بخش عمده‌ای از نیازهای غذایی انسان را فراهم می‌سازد (Lemon, 2007). گندم (*Triticum aestivum* L.)، یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود، هم‌چنین یکی از منابع اصلی پروتئین و انرژی بوده، که به‌عنوان اساسی‌ترین بخش غذا در بیشتر کشورهای جهان مصرف می‌شود و به‌دلیل داشتن ارزش غذایی بالا، تنوع و مرغوبیت فرآورده‌های آن جهت فراهم ساختن بیش از نصف پروتئین جهان در سطح وسیع کشت می‌شود (Rahnema, 2008). ارزش غذایی دانه گندم به ترکیبات شیمیایی آن به‌ویژه ارزش بیولوژیکی پروتئین‌ها بستگی دارد، به‌طوری که در مقیاس وسیع جهانی، ۶۰ درصد پروتئین به‌دست آمده از غلات تأمین می‌گردد، که در این میان نقش گندم بسیار زیاد و از بیشترین میزان اهمیت برخوردار می‌باشد (Nour Mohammadi, 1998). درصد پروتئین موجود در دانه به‌عنوان معیاری جهت نوع مصرف گندم استفاده می‌گردد. میزان پروتئین دانه حاصل برآیند اثرات ژنتیکی، محیطی و میزان نیتروژن قابل دسترس می‌باشد (Pennock *et al*., 1990). بنابراین به‌عنوان یکی از

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران
۲- استاد و عضو هیأت علمی گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: amjadian3617@gmail.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.62633

مهم‌ترین اجزای تعیین‌کننده کیفیت دانه محسوب می‌گردد، که نقش مهمی در به‌حداکثر رسانیدن کیفیت و ارزش غذایی محصول دارد و علاوه بر این، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل موجود در تجارت جهانی گندم به‌شمار می‌رود (Blanco *et al*., 2006; Joppa *et al*., 1997). محققین طبق نتایج مطالعات خود بیان نمودند که افزایش میزان پروتئین دانه در غلات در اثر استفاده از کودهای نیتروژنه و ژنتیک می‌باشد (Blanco *et al*., 2006). کود دامی توأم با کودهای شیمیایی موجب افزایش پروتئین دانه می‌شود (Ghani *et al*., 2000). کاربرد توأم کودهای نیتروکسین و دامی نسبت به یکدیگر حالت سینرژیستی ایجاد نموده به این‌صورت اثر همدیگر را در افزایش دادن میزان پروتئین دانه تقویت و در واقع مضاعف می‌نمایند (Kafi and Mahdavi Damghani, 2000; Masson and Brennan, 1998). کودهای دامی از طریق فراهم نمودن جذب آب و عناصر غذایی، سبب بهبود، افزایش فتوسنتز و عملکرد شده، که در نهایت منجر به افزایش شاخص برداشت می‌شود (Darzi *et al*., 2006). نیتروژن یکی از عناصر اصلی در افزایش عملکرد اقتصادی دانه در غلات محسوب می‌گردد (Delogu, 1998). ترکیب کودهای بیولوژیک با کودهای شیمیایی برعملکرد دانه در مقایسه با کودهای بیولوژیک به‌صورت مجزا به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد، به این دلیل که کودهای بیولوژیک به‌صورت مجزا نمی‌توانند اثر کودهای شیمیایی را در عملکرد دانه داشته باشند (Amiri Farsani *et al*., 2012). پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تغییرات پروتئین دانه گندم، تحت تأثیر سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای، کودهای شیمیایی، آلی (دامی و ورمی‌کمپوست)، نیتروکسین و تلفیق هر یک از آن‌ها با یکدیگر و به‌منظور به‌دست آوردن بیشترین میزان پروتئین دانه گندم، که یکی از مهم‌ترین اجزای تعیین‌کننده کیفیت دانه، ارزش غذایی محصول و نان تولیدی گندم محسوب می‌شود، اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌منظور بررسی چگونگی تغییرات پروتئین دانه گندم تحت کاربرد سیستم‌های مختلف کودی، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل (چاه‌نیمه)، که در ۳۵ کیلومتری زابل و در موقعیت جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد اجرا شد. از نظر آب و هوایی دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم و خشک بوده که بر اساس طبقه‌بندی کوپن و آمبرژه جزء آب و هوای بیابانی، گرم و خشک به‌شمار می‌رود. میانگین بارندگی در منطقه ۶۳ میلی‌متر و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه به‌طور متوسط ۴۵۸۷ میلی‌متر بوده که بیش از ۷۸ برابر بارندگی سالانه منطقه می‌باشد. تیمارها کودی شامل: T_1. شاهد یعنی هیچ نوع کود و یا ماده‌ای اضافه نشده است. T_2. کود دامی، T_3. کود ورمی‌کمپوست، T_4. کودهای شیمیایی NPK، T_5. ورمی‌کمپوست توأم با نیتروکسین، T_6. کود دامی توأم با کود نیتروکسین، T_7. کود دامی توأم با کودهای شیمیایی NPK، بوده است، که با نسبت‌های مساوی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. کودهای دامی و ورمی‌کمپوست هر یک به‌میزان ۴۰ تن در هکتار، کودهای شیمیایی NPK، به میزان ۱۰۰-۱۴۰-۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، کود نیتروکسین به میزان ۵ لیتر در هکتار و کودهای تلفیقی به‌صورت ۱/۲ کود خالص بود. عملیات زراعی انجام شده شامل: شخم، دیسک جهت خرد کردن کلوخه‌ها، هرس، تسطیح و ایجاد جوی و پشته بوده که ابتدا زمین مورد نظر در آبان ۹۲، یک شخم عمیق زده شد و سپس توسط دیسک کلوخه‌ها خرد گردید و به کرت‌هایی تقسیم شدند و با ایجاد فارو (ایجاد جوی و پشته)، جوی اصلی به‌وسیله نهرکن و جوی و پشته محل کشت توسط نیروی کارگر آماده شد. بذر گندم مورد استفاده، رقم سیستان و کشت رایج منطقه بوده و فاصله بین هر واحد آزمایشی ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی دارای ۱۰ ردیف کاشت و فاصله بین ردیف‌ها ۷۰ سانتی‌متر بوده که پس از قسمت‌بندی واحدهای آزمایشی کود دامی، ورمی‌کمپوست و شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم، با نسبت‌های مساوی مورد استفاده قرار گرفتند. به‌طوری که فسفر و پتاسیم به‌صورت کامل و نیتروژن به‌صورت اوره در سه مرحله اضافه گردید در مرحله اول نصف نیتروژن قبل از کاشت بذر به کرت‌های آزمایشی اضافه شد و ۱/۲ نصف باقیمانده کود نیتروژن در مرحله پنجه‌زنی و ۱/۲ نصف دیگر آن در مرحله ظهور سنبله با خاک مخلوط شدند. بعد از آن اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام و مراحل بعدی دور آبیاری با توجه به نیاز گیاه در نظر گرفته شد. نمونه خاک جهت سنجش خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، در عمق ۳۰ سانتی‌متری، با استفاده از دستگاه نمونه‌برداری صورت گرفت و یک نمونه مرکب به آزمایشگاه انتقال داده شد که نتایج در جدول ۱ قید شده است. هم‌چنین در جدول ۲، تجزیه شیمیایی کود دامی و کود ورمی‌کمپوست نشان داده شده است. نمونه‌برداری از گیاه جهت سنجش خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه با استفاده از پلات ۱× ۱ مترمربع در کرت‌های مورد مطالعه به‌طور تصادفی برداشت بوته‌ها از سطح خاک صورت گرفت، در این مطالعه عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد خاکستر، پروتئین دانه، غلظت نیتروژن دانه و نیتروزن خاک، ماده آلی و رطوبت دانه مورد بررسی قرار گرفتند. نیتروژن دانه و نیتروژن خاک با استفاده از دستگاه کجلدال و معادله (۱) محاسبه گردید. پروتئین دانه با استفاده از معادله (۲) تعیین شد (McDonald, 1997). خاکستر، با استفاده از آون و کوره مورد سنجش قرار گرفت (Jones, 2001). جهت محاسبه تجزیه و تحلیل داده‌های آماری حاصل از انجام آزمایشات مذکور، ابتدا

به نرم‌افزار اکسل منتقل و بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، نتایج با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS، نسخه ۹/۱ مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن LSR، در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردیدند. محاسبه ضرایب همبستگی بین صفات، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS، هم‌چنین جهت رسم جداول و شکل‌ها، از نرم‌افزار ورد و اکسل استفاده گردید.

(معادله ۱) اسید / ۱۰۰۰× گرم وزن نمونه = درصد نیتروژن
۱۰۰۰/ ۱۰۰ × ۱۴× نرمالیته

(معادله ۲) فاکتور پروتئین × درصد نیتروژن = درصد پروتئین

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physico-chemical characteristics of studied experimental soil site

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی Ec	اسیدیته pH	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	آهن Fe	روی Zn
	($ds.m^{-1}$)		(%)	(ppm)					
رسی‌شنی (Sandy Clay)	3.18	7.41	0.04	9	146	1.13	7.26	5.30	1.25

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Chemical characteristics of organic fertilizers used in experiment

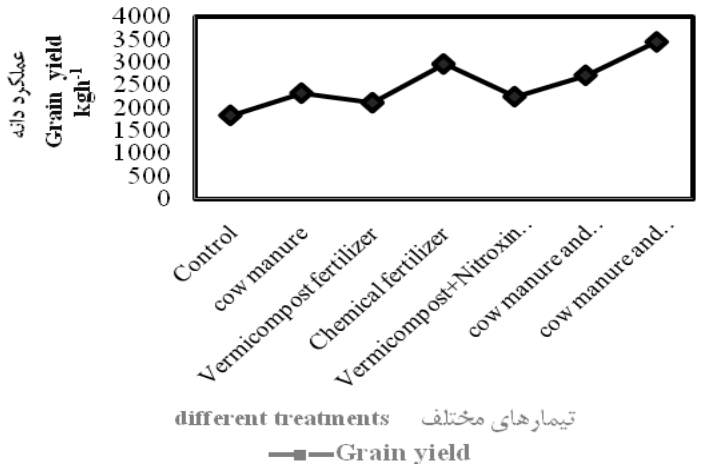
کودها Fertilizers	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	آهن Fe	روی Zn	سدیم Na
	(%)	(ppm)						
کود دامی (Cow manure fertilizer)	2.26	0.64	2.04	1.42	0.44	1856.13	20.85	0.15
کود ورمی‌کمپوست (Vermicompost fertilizer)	1.6	1.10	1.5	-	-	-	-	-

نتایج و بحث

عملکرد دانه

عملکرد دانه تابعی از بر هم‌کنش بین عملکرد و اجزای عملکرد می‌باشد، که تحت تأثیر عملیات مدیریتی گیاهان زراعی قرار می‌گیرد (Farhad *et al*., 2009). سیستم‌های مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد برمیزان عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). بیشترین و کمترین عملکرد دانه با مقادیر ۳۴۴۰ و ۱۸۳۵ کیلوگرم در هکتار (جدول ۴)، به‌ترتیب به تیمارهای کود دامی توأم با کودهای شیمیایی و شاهد بدون کود تعلق داشت (شکل ۱). دلیل افزایش عملکرد در سیستم‌های تلفیقی را می‌توان، در اثر بیشترین تطبیقی که بین نیتروژن قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه وجود دارد، دانست. کودهای آلی موجب بهبود ساختمان خاک و فراهم نمودن برخی عناصرغذایی کم‌مصرف شده و کودهای معدنی سبب فراهمی عناصر ضروری گیاه و افزایش عملکرد دانه می‌گردند، بنابراین استفاده از کودهای تلفیقی می‌تواند علاوه بر فراهم نمودن عناصر غذایی ماکرو، شرایطی را برای جذب عناصرغذایی میکرو ایجاد نمایند، هم‌چنین بهبود شرایط فیزیکی و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و رشد و توسعه ریشه را نیز به‌دنبال دارند. استفاده از کودهای نیتروژنه بر واکنش‌های بیوشیمیایی، فتوسنتز و افزایش طول دوره رشد و اجزای عملکرد دانه مؤثر بوده، و تأثیر آن بر میزان عملکرد اقتصادی دانه امری آشکار است. سایر محققین طبق نتایج مطالعاتی که انجام دادند بیان نمودند، استفاده از سیستم تلفیقی کود دامی توأم با کودهای شیمیایی موجب افزایش عملکرد اقتصادی دانه می‌شود (Redda and Abay, 2015; Enujeke, 2013; Nandhagopal, 1995; Mooleki, 2004). کودهایی که دارای نیتروژن می‌باشند در بهبود کیفیت دانه، همچنین در افزایش عملکرد اقتصادی دانه نقش مفیدی را ایفا می‌نمایند (Gholamie parshokohi *et al*., 2011; Lioyd *et al*., 1997). با افزایش نیتروژن از ۳۰ به ۹۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه در حدود ۸۹۰ کیلوگرم در هکتار افزایش

می‌یابد (Pilbeam *et al*., 1997).



شکل ۱- مقایسه عملکرد دانه درتیمارهای کودی

Figure 1- Comparison of grain yield in fertilizer treatments

شاهد، کود دامی، کود ورمی کمپوست،کود شیمیایی، کود ورمی کمپوست+ نیتروکسین، کود دامی + نیتروکسین،کود شیمیایی+ کود دامی

Control, manure, Vermicompost fertilizer, Chemical fertiliz, Vermicompost + Nitroxin fertilizer, manureand Nitroxin fertilizer, manure and chemical fertilizer

شاخص برداشت

شاخص برداشت نمایانگر چگونگی توزیع مواد پرورده بین اندام‌های رویشی و دانه گیاه می‌باشد که می‌توان گفت، هر عاملی که منجر به تغییر در مقادیر این توزیع گردد، موجبات تغییر در شاخص برداشت را فراهم می‌سازد. برآورد میزان شاخص برداشت کارایی فیزیولوژیکی گیاهان زراعی را جهت اختصاص ماده خشک به اندام اقتصادی گیاه بیان می‌نماید (Farhad *et al*., 2009). سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای بر شاخص برداشت، اثر معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۳). بیشترین و کمترین میزان شاخص برداشت با مقادیر ۳۷/۱۴ و ۲۹/۹۸ درصد به‌ترتیب به سیستم تلفیقی کود دامی توأم با کودهای شیمیایی و کود دامی خالص اختصاص داشت (جدول ۴). افزایش شاخص برداشت می‌تواند به‌دلیل کاربرد استفاده از کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن باشد (Tavassoli *et al*., 2011). استفاده از کود اوره اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت دارد (Babaeian *et al*., 2010; Sadeghi *et al*., 2009). کودهای شیمیایی به صورت مجزا نسبت به سیستم تلفیقی کودهای شیمیایی توأم با کود دامی از کمترین میزان شاخص برداشت برخوردار بود، که می‌توان علت پایین بودن شاخص برداشت در کودهای شیمیایی به صورت مجزا، نسبت به کودهای شیمیایی توأم با کود دامی را چنین بیان نمود که این تیمار پیش از این که شاخص برداشت را افزایش دهد، عملکرد بیولوژیکی یا زیست‌توده را افزایش داده است با این وجود سبب تحریک رشد رویشی در گیاه می‌شود و افزایش قطر، ارتفاع شاخه‌های اصلی و فرعی را نیز به‌دنبال دارد به‌عبارت دیگر افزایش شاخص برداشت در تیمارهایی که ماکزیمم شاخص برداشت را نشان دادند می‌تواند به‌دلیل کاهش بیشتر بخش‌های رویشی گیاه باشد. بنابراین کاهش شاخص برداشت می‌تواند به‌دلیل افزایش عملکرد بیولوژیکی یا زیست‌توده نسبت به عملکرد دانه باشد در واقع بین عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت رابطه معکوسی وجود دارد (Shahsawari and Saffari, 2006). افزایش صفت مذکور در غلات به‌علت افزایش عملکرد دانه می‌باشد (Hurd, 1969) و بین این دو رابطه مثبتی وجود دارد (Fischer *et al*., 1997). بنابراین با عنایت به این‌که افزایش نیتروژن متناسب با افزایش عملکرد دانه و بیولوژیکی را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد، لذا عادی به نظر می‌رسد که ضمن افزایش میزان نیتروژن مصرفی گیاه با کاهش شاخص برداشت روبه‌رو شود (Zebart and Sheard, 1992).

درصد نیتروژن خاک

تیمارهای کودی در سطح احتمال یک درصد برمیزان تجمع نیتروژن خاک اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۳). بیشترین و کمترین میزان غلظت نیتروژن با مقادیر ۰/۵۲ و ۰/۳۵درصد به‌ترتیب به تیمارهای کودهای شیمیایی و شاهد عدم مصرف کود اختصاص داشت. به‌طوری که کودهای شیمیایی موجب افزایش ۴۸/۷۸ درصدی غلظت نیتروژن نسبت به شاهد شد. بعد از تیمار توصیه شده کودهای شیمیایی، کود تلفیقی دامی توأم با کودهای شیمیایی و بعد از آن، کود

دامی خالص به‌ترتیب با مقادیر ۰/۵۰ و ۰/۴۸ درصد بیشترین میزان تجمع نیتروژن در خاک را نسبت به سایر تیمارهای کودی داشت (جدول ۴). استفاده از کودهای شیمیایی به‌دلیل دارا بودن مقادیر قابل توجهی نیتروژن قابل جذب، سبب می‌شوند تا نسبت به سایر تیمارهای کودی از بیشترین میزان غلظت نیتروژن برخوردار باشند. افزایش نیتروژن در کود دامی به این دلیل است که کودهای دامی به‌تدریج تجزیه شده و عناصرغذایی را به خاک وارد می‌کنند بنابراین موجب افزایش نیتروژن خاک می‌گردند، که با نتایج مطالعات انجام شده توسط سایر محققین مطابقت داشت (Kolata *et al*., 1992). کودهای آلی ضمن افزایش مواد آلی در خاک، سبب بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک می‌گردند و هم‌چنین غلظت عناصرغذایی را در خاک افزایش می‌دهند (Golchin *et al*., 2007). تیمار کود ورمی‌کمپوست موجب افزایش غلظت نیتروژن خاک نسبت به شاهد بدون دریافت کود می‌شود (Jahan *et al*., 2011). غلظت نیتروژن خاک در تیمار توصیه شده کود گاوی و کمپوست به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد بدون دریافت هیچ‌گونه کودی افزایش می‌یابد (Brahimi *et al*., 2008). افزودن کود کمپوست به خاک نه‌تنها نیتروژن قابل دسترس خاک را به‌دلیل مصرف میکروارگانیسم‌های خاک کاهش می‌دهد، بلکه با افزایش ذخیره نیتروژنی خاک منجر به بهبود شرایط رشد رویشی در گیاه می‌شود (Allahdadi *et al*., 2011).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در تیمارهای مختلف کودی مورد مطالعه

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) characteristics of wheat affected by different fertilizer treatments

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پروتئین دانه Grain Protein	نیتروژن دانه Grain Nitrogen	نیتروژن خاک Soil Nitrogen	خاکستر دانه Ash	ماده آلی دانه Grain Organic matter	رطوبت دانه Grain moisture	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	0.0010^{ns}	0.00004^{ns}	0.00012^{ns}	0.000061^{ns}	0.000076^{ns}	0.000033^{ns}	183.196^{ns}	0.3940^{ns}
تیمار Treatment	6	12.23^{**}	0.36^{**}	0.010^{**}	1.9194^{**}	1.92^{**}	12.66^{**}	912861.251^{**}	108.66^{**}
خطا Error	12	0.0032	0.00010	0.00049	0.00022	0.0002317	0.00010	643.516	0.9340
ضریب‌تغییرات Cv ٪	-	0.49	0.52	4.94	1.07	0.01	0.10	1.007	2.79

ns و **: به‌ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح آماری یک درصد می‌باشند

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

جدول ٤- مقایسات میانگین صفات مورد بررسی گندم در تیمارهای مختلف کودی مورد مطالعه

Table 4- Mean comparison characteristics of wheat affected by different fertilizer treatments

تیمار Treatment	پروتئین دانه Grain Protein	نیتروژن دانه Grain Nitrogen	نیتروژن خاک Soil Nitrogen	خاکستر Ash	ماده آلی Organic matter	رطوبت دانه Grain moisture	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
	(٪)						($kg.h^{-1}$)	(٪)
T_1	9.44e	1.62e	0.35e	0.47f	99.53a	7.42g	1835g	47.186a
T_2	13.12b	2.25b	0.48abc	2.41a	97.59f	13.29a	2320.33d	29.98e
T_3	9.79d	1.68d	0.44c	0.48f	99.52a	10.57b	2110.67f	31.64cde
T_4	14a	2.41a	0.52a	1.93c	98.07d	7.64f	2956.65b	30.86ed
T_5	10.43c	1.79c	0.40d	0.74e	99.26b	9.52c	2244.33e	33.05c
T_6	10.43c	1.79c	0.46bc	1.68d	98.32c	8.52d	2710c	32.15cd
T_7	13.97a	2.40a	0.50ab	1.97b	98.02e	8.37e	3440a	37.14b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر صفت، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارد

Means in each column, Following the Same letter (S) are not Significantly different at the 5% level of probability

T_1: شاهد، T_2: کود دامی، T_3: کود ورمی‌کمپوست، T_4: کود شیمیایی، T_5: کود ورمی‌کمپوست+ نیتروکسین، T_6: کود دامی+ نیتروکسین، T_7: کود شیمیایی+ کود دامی

T_1: Control, T_2: cow manure, T_3: Vermicompost fertilizer, T_4: Chemical fertilizer, T_5: Vermicompost+Nitroxin fertilizer, T_6: Cow manure and Nitroxin fertilizer, T_7: Cow manure and chemical fertilizer

درصد نیتروژن دانه

سیستم‌های مختلف کودی برغلظت نیتروژن دانه در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). بیشترین و کمترین میزان نیتروژن موجود در دانه با مقادیر ۲/۴۱ و ۱/۶۲درصد به‌ترتیب به تیمارهای کودهای شیمیایی و شاهد بدون دریافت کود اختصاص داشت (جدول ۴). بعد از تیمار کودهای شیمیایی، سیستم تلفیقی کود دامی توأم با کودهای شیمیایی و کود دامی به‌صورت مجزا از بیشترین میزان نیتروژن در دانه برخوردار بود (شکل ۲). بنابراین دلیل این امر را می‌توان این‌گونه بیان نمود که کودهایی که حاوی نیتروژن هستند مقدار جذب توسط گیاه افزایش می‌یابد. در نتیجه سبب افزایش غلظت نیتروژن و پروتئین دانه خواهد شد. کودهای آلی موجب افزایش مواد آلی و هوموس خاک می‌شوند که با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، از شستشوی نیتروژن جلوگیری به‌عمل می‌آورند و موجب می‌شوند که نیتروزن بیشتر جذب و در دسترس گیاه قرار گیرد. محققین طبق نتایج مطالعات خود گزارش نمودند که استفاده از کودهای شیمیایی و آلی به شدت بر نیتروژن گیاه تأثیرگذار می‌باشد (Singh *et al*., 2005). نیتروژن موجود در دانه شاخصی از درصد پروتئین دانه و یکی از مهم‌ترین صفات در تعیین کیفیت آن می‌باشد (Noorbakhsh and Hajjabbasi, 1998). کودهای شیمیایی در حضور کودهای آلی و کودهای زیستی از بیشترین میزان نیتروژن دانه برخوردار می‌باشند (Akbari *et al*., 2010). کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار و کودهای بیولوژیکی در فراهم نمودن عنصر مذکور در گیاه نقش داشته و بر این صفت اثرگذار می‌باشند (Pati *et al*., 1995).

درصد پروتئین دانه

سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای در سطح احتمال یک درصد برمیزان تجمع پروتئین در دانه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). بیشترین و کمترین میزان پروتئین دانه با مقادیر ۱۴ و ۹/۴۴ درصد به‌ترتیب به تیمارهای کودهای شیمیایی و شاهد بدون دریافت هیچ‌گونه کودی اختصاص داشت، که به‌ترتیب در کلاسه آماری a و e قرار گرفتند (جدول ۴). بعد از تیمار کودهای شیمیایی به‌صورت مجزا سیستم تلفیقی کود دامی توأم با کودهای شیمیایی از بیشترین میزان پروتئین در دانه با مقادیر ۱۳/۹۷ درصد نسبت به سایر تیمارهای کودی، برخوردار بود (شکل ۲). دلیل این امر را می‌توان این‌گونه بیان نمود، کودهایی که دربردارنده نیتروژن می‌باشند موجب افزایش جذب توسط گیاه می‌شوند، که این امر موجب افزایش غلظت نیتروژن دانه و در نهایت پروتئین موجود در دانه خواهد شد. سیستم تلفیقی کودهای دامی و شیمیایی، نه‌تنها از دسترس خارج شدن نیتروژن جلوگیری به‌عمل می‌آورند، بلکه به‌علت وجود کود دامی می‌توانند نیتروژن کثیری را در اختیار گیاه قرار دهند، بنابراین میزان پروتئین دانه در تیمارهای به‌کارگیری کود تلفیقی حاصل از کود دامی توأم با کودهای شیمیایی نسبت به تیمارهای کودی دیگر در حد ماکزیمم بود. پژوهش‌گران با توجه به نتایج مطالعات خود گزارش نمودند، با افزایش یافتن میزان نیتروژن، پروتئین در دانه نیز افزایش می‌یابد (Strong, 1982; Terman *et al*., 1969; Shahsawari and Saffari, 2006). سایر محققین با توجه به کودهای شیمیایی مورد استفاده در مطالعات خود بیان نمودند، فسفر موجب افزایش میزان پروتئین دانه در آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) می‌گردد (Amanullah and Khan, 2011). کودهای شیمیایی و نیتروکسین، سبب افزایش پروتئین دانه می‌شوند (Shakeri *et al*., 2013). در پژوهش حاضر سیستم تلفیقی کودهای بیولوژیک همراه با کود دامی موجب افزایش میزان پروتئین دانه نسبت به شاهد بدون دریافت کود شد، دلیل این امر را می‌توان این‌گونه تبیین نمود، که سیستم تلفیقی کودهای دامی و نیتروکسین اثر همدیگر را در افزایش نمودن پروتئین دانه مضاعف می‌نمایند، کودهای بیولوژیکی موجب به حداکثر رسانیدن فعالیت‌های آنزیمی شده و شرایط را برای تجمع نیتروژن در خاک مهیا می‌سازند، که این امر موجب افزایش پروتئین در دانه می‌گردد. سایر محققین طبق نتایج مطالعات خود گزارش نمودند، مصرف بی‌نهایت نیتروژن در سطوح بالاتر، میزان پروتئین دانه کاهش می‌یابد (Khajehpour, 1997). بنابراین با افزایش یافتن مقادیری از کود نیتروژن، بخشی از کل نیتروژن به جای این‌که به اسیدهای‌آمینه یا پروتئین‌ها مبدل گردد به‌صورت یون‌های نیترات در گیاه معطوف می‌شود (Emam and Niknejad, 1993). محققین طبق نتایج بررسی‌های خود تبیین نمودند، با مصرف کود نیتروژن در اواخر فصل رشد گیاه، میزان پروتئین دانه به حداکثر مقدار خود می‌رسد (Knowles *et al*., 1994).

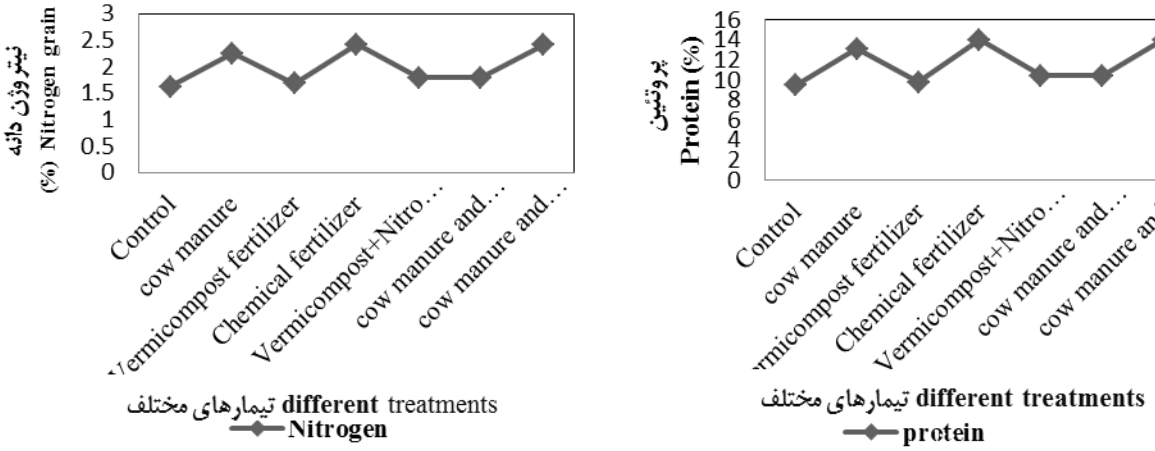
درصد رطوبت دانه

رطوبت، به‌مقدار آبی اطلاق می‌گردد که در یک نمونه از گندم (آرد گندم)، موجود باشد (Amini *et al*., 2012). سیستم‌های مختلف کودی برمیزان رطوبت دانه از اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). بیشترین و کمترین میزان رطوبت دانه با مقادیر ۱۳/۲۹ و ۷/۴۲ درصد به‌ترتیب به تیمارهای کود دامی و شاهد بدون دریافت هیچ‌گونه کودی اختصاص داشت. بعد از تیمار کود دامی، کود ورمی‌کمپوست که در کلاسه آماری b و تیمار تلفیقی کود ورمی‌کمپوست توأم با کود نیتروکسین که در کلاسه آماری c قرار دارد به‌ترتیب با مقادیر ۱۰/۵۷ و ۹/۵۲ درصد، از بیشترین میزان رطوبت دانه برخوردار می‌باشند (جدول ۴). دلیل این امر را می‌توان

این‌گونه بیان نمود، کودهای دامی از مواد آلی زیادی برخوردار می‌باشند که ظرفیت نگهداری آب در خاک را به حداکثر ممکن می‌رسانند که این امر موجب نگهداری و جذب عناصرغذایی به‌ویژه نیتروژن می‌گردد. در واقع نقصان نیتروژن سبب کاستن پتانسیل آب و به حداکثر رسانیدن اسید آبسیزیک اسید در گیاه می‌گردد (Schlemmer *et al*., 2005). بنابراین اگر وضعیت تغذیه‌ای گیاه از لحاظ نیتروژن و سایر عناصر ضروری مانند فسفر مناسب باشد، حساسیت سلول‌های محافظ روزنه و به تبع آن روزنه‌ها، به اسید آبسیزیک اسید کاهش می‌یابد (Homayuni, 2008). هم‌چنین میزان پروتئین دانه که صفت برجسته‌ای از میزان نیتروژن مورد نیاز گیاه بوده، نمایانگر وضعیت رطوبت موجود در دانه می‌باشد. هرچه میزان رطوبت بیشتر باشد درصد ماده خشک در گیاه به حداقل می‌رسد. سایر محققین طبق نتایج مطالعات خود بیان نمودند، استفاده از کودهای دامی با تعادلی که بین عناصرغذایی موجود در خاک ایجاد می‌کنند، موجب می‌شوند که ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک را، به بیشترین میزان برسانند، و در نهایت رطوبت مناسبی را برای گیاه از این طریق فراهم می‌سازند (Khalid and Ali, 2006).

درصد خاکستر دانه

اثر سیستم‌های مختلف کودی برمیزان درصد خاکستر دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین و کمترین میزان خاکستر دانه با مقادیر ۲/۴۱ و ۰/۴۷درصد ماده خشک به‌ترتیب به تیمارهای کود دامی و شاهد بدون کود اختصاص داشت (جدول ۴). قابل ذکر است که میزان خاکستر دانه با توجه به‌میزان رطوبت بیان می‌شود. خاکستر از بقایای مواد معدنی بوده که پس از سوزاندن آرد گندم به‌دست می‌آید. هرچه میزان خاکستر دانه بیشتر باشد گیاه مواد معدنی بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد (Fateh, 2008; Amini *et al*., 2012). خاکستر به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در رنگ آرد شناخته می‌شود، آردی که خاکستر زیادی داشته باشد اغلب برای برخی فرآورده‌های آن غیرقابل مصرف می‌باشد. بنابراین میزان خاکستری که ایجاد شده، هرچه کمتر باشد نمایانگر کیفیت در گیاهان می‌باشد. به‌طورکلی میزان خاکستر را به‌عنوان معیاری جهت سنجش کیفیت در گیاهان زراعی می‌توان شناخت که در اغلب گیاهان این میزان متفاوت می‌باشد (Omidbeighy, 2007). بنابراین بر این اساس محققین با انجام یکسری از مطالعات خود در این مورد بیان نمودند، تلفیق کودهای شیمیایی توأم با کودهای بیولوژیک موجب افزایش میزان خاکستر در دانه می‌شود (Meshkani *et al*., 2014). مصرف کود شیمیایی نیتروژنه، موجب افزایش درصد خاکستر در گیاه سورگوم (*Sorghum sudanense* L.)، می‌گردد (Javadi *et al*., 2011). در مطالعات برخی دیگر از محققین افزایش یافتن کودهای نیتروژنه حداقل میزان تأثیر را نسبت به سیستم‌های کودی دیگر در خاکستر تولیدی دارند (Aghaalikhani *et al*., 2007).



شکل ۲- مقایسه نیتروژن دانه و پروتئین دانه در تیمارهای کودی

Figure 2- Comparison of grain nitrogen and grain protein in fertilizer treatments

شاهد، کود دامی، کود ورمی کمپوست،کود شیمیایی، کود ورمی‌کمپوست+ نیتروکسین، کود دامی + نیتروکسین،کود شیمیایی+ کود دامی

Control, manure, Vermicompost fertilizer, Chemical fertilizer, Vermicompost + Nitroxin fertilizer, manureand Nitroxin fertilizer, manure and chemical fertilizer

درصد ماده آلی دانه

ماده آلی دانه تحت کاربرد سیستم‌های مختلف کودی قرار گرفت و دارای اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۳). بیشترین و کمترین میزان ماده آلی دانه با مقادیر ۹۹/۵۲ و ۹۹/۵۳ درصد و ۹۷/۵۹ درصد به‌ترتیب به تیمار شاهد بدون دریافت کود و کود ورمی‌کمپوست و تیمار کود دامی اختصاص داشت (جدول

۴). در واقع به ترکیبات کربنی موجود در گیاه مواد آلی گفته می‌شوند، که طی مراحل مختلف تغذیه برجای می‌مانند. محققین طبق نتایج مطالعات خود گزارش نمودند که مواد آلی دارای درصد کمی از عناصرغذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد (Amini *et al*., 2012).

ضرایب همبستگی بین درصد خاکستر، مواد آلی، رطوبت و پروتئین دانه گندم

با استناد به نتایج حاصل از جدول ۵ ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه، می‌توان اذعان نمود که درصد خاکستر با درصد مواد آلی، همبستگی منفی و معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد داشته است. این نتایج بیانگر این است که با افزایش میزان درصد خاکستر درصد مواد آلی کاهش می‌یابد. درصد پروتئین با درصد خاکستر همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار و با درصد مواد آلی همبستگی منفی و معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داده است. در اینجا با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌داری که بین پروتئین و خاکستر دانه وجود دارد نشان‌دهنده آن است که با افزایش پروتئین، میزان خاکستر افزایش می‌یابد، اما افزایش پروتئین در مورد مواد آلی موجود در دانه با توجه به همبستگی منفی که بین این دو وجود دارد موجب کاهش مواد آلی دانه خواهد شد. درصد خاکستر با درصد مواد آلی همبستگی منفی و معنی‌داری را در سطح یک درصد داشته است، به‌طوری که با افزایش یکی دیگری کاهش می‌یابد، در واقع با افزایش میزان خاکستر دانه درصد مواد آلی در دانه کاهش خواهد یافت.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین درصد پروتئین، خاکستر، رطوبت بذر، موادآلی دانه

Table 5- Correlation coefficients between protein grain, ash, moisture, organic matter grain

	درصد پروتئین دانه Grain protein	درصد خاکستر Ash	درصدرطوبت دانه Grain moisture	درصد مواد آلی دانه Grain organic matter
درصد پروتئین (Grain protein)	1	0.90^{**}	0.024^{ns}	-0.89^{**}
درصد خاکستر (Ash)		1	-0.072^{ns}	-0.99^{**}
درصد رطوبت دانه (Grain moisture)			1	0.07^{ns}
درصد مواد آلی دانه (Grain organic matter)				1

ns و **: به‌ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح آماری یک درصد می‌باشند.

ns and **: Are significant at 1 percent probability levels, and non-significant

نتیجه‌گیری

پروتئین از نظر، ایجاد کیفیت در دانه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد و تولید نان، فرآیند مهمی است که به آن بستگی دارد. نتایج این پژوهش نشان داد اثر سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای برمیزان پروتئین دانه، عملکرد دانه و سایر صفات مورد مطالعه در سطح یک درصد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. نیتروژن دانه و خاک تحت تأثیر کودهای شیمیایی قرار گرفت و موجب افزایش ۰/۴۸ درصدی نیتروژن نسبت به شاهد عدم دریافت کود گردید. استعمال کودهای دامی موجب افزایش ۱/۰۷ درصدی رطوبت دانه، کود تلفیقی دامی و شیمیایی، موجب افزایش ۰/۸۷درصدی عملکرد دانه، و کودهای شیمیایی موجب افزایش ۰/۴۸ درصدی پروتئین دانه نسبت به شاهد عدم دریافت کود شد. نیتروژن در افزایش پروتئین دانه مؤثر می‌باشد، به این علت که نیتروژن یکی از مهم‌ترین اجزای سازنده اسیدهای‌آمینه بوده و اسیدهای‌آمینه به‌عنوان یک واحد سازنده پروتئین در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین نیتروژن در پروتئین دانه نقش مهمی را ایفا می‌کند. قابل ذکر است که در این پژوهش، پس از کودهای شیمیایی، سیستم تلفیقی کود دامی و شیمیایی نسبت به سایر سیستم‌های تغذیه‌ای، نتیجه بهتری را برمیزان پروتئین دانه و هم‌چنین عملکرد اقتصادی دانه داشت، که موجب افزایش میزان آن‌ها در دانه شد، بنابراین می‌توان بیان نمود که اعمال سیستم تلفیقی، کودهای دامی و شیمیایی ضمن این‌که اثر هم‌دیگر را مضاعف می‌نمایند، سبب جذب و در دسترس قرار گرفتن عناصرغذایی مورد نیاز گیاه می‌شود و محیط مساعدی را جهت فعالیت میکروارگانیسم‌ها مهیا می‌سازد. بنابراین نسبت به مصرف جداگانه هر یک از آنها شرایط مناسب‌تری را برای رشد گیاه فراهم می‌آورد. استعمال کودهای شیمیایی به‌صورت مجزا نمی‌تواند دقیقاً متضمن تولید محصول با کمیت و کیفیت خوب باشد. مصرف زیاد کودهای شیمیایی می‌تواند

اثرات نامناسبی را از طریق از دسترس خارج شدن و آبشویی در ساختمان خاک، و آلودگی‌هایی را در آب و هوا ایجاد می‌کنند و کارایی مصرف کودها کاهش می‌یابد، اما چنان‌چه کودهای شیمیایی به‌همراه کود دامی به‌صورت تلفیقی مورد استفاده قرار گیرد، علاوه بر این‌که به عملکردهای قابل توجهی می‌توان دست یافت، بلکه شرایط مناسب‌تری را جهت بهبود کیفیت دانه فراهم می‌سازد، در نتیجه اثرات مفید و مؤثری را برکارایی مصرف کودها خواهند داشت. به‌طور کلی این نتایج را می‌توان، نویدبخش تولید گندم، با جایگزین و مصرف کم کودهای شیمیایی، در صورت استفاده از سیستم تلفیقی کود دامی توأم با کودهای شیمیایی دانست. بنابراین با به حداقل رسانیدن مصرف کودهای شیمیایی می‌توان در پیش‌برد سلامت جوامع‌بشری و به سمت اهداف کشاورزی پایدار پیش رفت. بر این اساس پیشنهاد می‌گردد، جهت حفظ سلامت جوامع‌بشری و کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد جداگانه کودهای شیمیایی، می‌توان از سیستم تلفیقی، به‌عنوان راهکاری مؤثر جهت نیل به آماج کشاورزی پایدار استفاده نمود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله لازم دانسته از پرسنل محترم پژوهشکده کشاورزی چاه‌نیمه، وابسته به دانشگاه زابل کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

References

1. Agha alikhani, M., Ahmed, I., and Modares Sanavie, A. D. 2007. The effect of planting density and nitrogen rates on yield and forage quality of pearl millet research and construction 77: 27-20.
2. Akbari, P., Ghalavand, A., and Modarres Sanavi, S. A. M. 2010. Effects of different nutrition systems (organic, chemical and intergrated) and bio-fertilizer on yield and other growth traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Sustainable Agriculture 1 (1): 83-93. (in Persian with English abstract).
3. Allahdadi, I., Memari, A., Akbari, Gh., and Lotfifar, O. 2011. Effect of different amounts of municipal solid waste compost on soil properties and nutrient concentration and growth of corn yield. Plant Production Technology 11 (1). (in Persian with English abstract).
4. Amanullah, M., and Khan, W. 2011. Interactive effect of potassium and phosphorus on grain quality and profitability of sunflower in northwest of pakistan. Science Direct an International Journal Pedosphere 21 (4): 532-538.
5. Amini, M., Amini, M., Project, A., and Yahyavi, M. 2012. Wheat Trade and Science. First Edition. 174p.
6. Amiri Farsani, F., Chorom, M., and Enayatzamir, N. 2012. The effects of biological and chemical fertilizers and soil mineral nitrogen forms much of global wheat yield in two soils. the third national conference on environmental protection and environmental planning. 9pp.
7. Babaeian, M., Esmailiyan, Y., Ghanbari, A., and Ahmadian, A. 2010. The effect of different levels of manure and chemical fertilizers and drought at the end of the growing season on quantitative and qualitative characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Agricultural Sciences 3 (12): 27-39. (in Persian).
8. Blanco, A., Simeone, R., and Gadaleta, A. 2006. Detection of QTL for grain protein content in durum wheat (*Triticum aestivum* L.). Theor Appl Genet 112: 1195-1204.
9. Brahimi, N., Efuoni, M., Karami, M., and Rzayynzhad, Y. 2008. Residual and cumulative effect of organic fertilizers on nitrogen, phosphorus, and potassium in the soil and wheat. Science and technology of agriculture and natural resources 12 (46): 805-803.
10. Darzi, M. T., Ghalavand, A., Rejali, F., and Sefidkon, F. 2006. Study effect of biofertilizers on yield and yield components of Foeniculum vulgar. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 22 (4): 276-282.
11. Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., Falcis, D. De., Maggiore, T., and Stanca, A. M. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. European Journal of Agronomy 9: 11-20.
12. Enujeke, E. C. 2013. Response of grain weight of maize to variety, organic manure and inorganic fertilizer in Asaba area of delta state. Asian Journal of Agriculture and Rural Development 3 (5): 234-248.
13. Farhad, W., Saleem, M. F., Cheema, M. A., and Hammad, H. M. 2009. Effect of poultry manure levels on the productivity of spring maize (*Zea mays* L.). Journal of Animal and Plant Sciences 19 (3): 122-125.
14. Fateh, E. 2008. Effects of organic and chemical fertilizers on forage yield and quality of globe artichoke (*Cynara scolymus* L.). Journal plant physiology 150: 1036-1045.
15. Fischer, R. A., Rees, D., Sayer, Z. M., LU, Condon, A. G., and Larque Saavedra, A. 1997. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Science Society of America 38: 1467-1475.
16. Ghani, A., Hussain, M., and Hassan, A. 2000. Interactive effect of nitrogen and water stress on leaf area of sunflower. Pak. Journal of Biological Sciences 3: 989-990.
17. Gholamie Parshokohie, M., Saifzadeh, A., Kohie Ghoshkhaneh, A., and Rashidie, M. 2011. The effect of plant

density and nitrogen fertilizer on biomass and grain yield of maize (*S.C* 704) in Saveh region. The first national conference on new issues in agriculture. Islamic Azad University. 5p. (in Persian).
18. Golchin, A., Clich, S., and Jvdanzadh, M. 2007.The role of organic matter in soils of arid and semi-arid improved physicochemical properties. Proceedings of the Tenth Congress of Soil Science Iran, Karaj. 451-450.
19. Homayun, H. 2008. Physiology Agricultural Plants Parseh. Institute of Azad higher education. Fifth Edition. 239.
20. Hurd, E. A. 1969. A method of breeding for yield of wheat in semi-arid climates. Euphytica 18 (2): 217-226.
21. Emam, Y., and Niknejad, M. 1993. Introduction to the Physiology of Crop Yield (Authored by Robert Hay and Andrew Walker). Shiraz University Press, Shiraz, Iran 576 pp.
22. Jahan, M., Nasirie Mahalatie, M., Amirie, M., Aqhavanie shajary, M., and Tahamie, S. M. 2011. Replacement with organic fertilizers and biological chemical inputs in terms of green pea and clover cover crop in ecological cultivation of summer squash (*Cucurbita pepo* L.). National Conference on Agriculture, Islamic Azad University Varamin-Führer. 1735-1726. (in Persian).
23. Javadi, H., Saberi, M. H., Azari Nasrabady, A., and Khosravi, S. 2011. Effect of nitrogen application rates and methods of quantitative and qualitative characteristics of sorghum speed feed machines feed. Journal of Agricultural Research 8 (3): 392-384.
24. Jones, J. B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, Boca Raton, FL. 27-160p.
25. Joppa L. R., Du, C., Hart, G. E., and Hareland, G. A. 1997. Mapping a QTL for grain protein in tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L,) using a population of recombinant inbred lines. Crop Sciences 37: 1586-1589.
26. Kafi, M., and Mahdavi Damghani, A. 2000. Plant Mechanisms to Environmental Stresses. Publication of Ferdowsi University.
27. Karmaka. S., Lague, C., Agnew, J., and Landry, H. 2007. Integrated decision support system (Dss) for manure management. A review and perspective. Computers and Electronics 57: 190-201.
28. Khajehpour, D. F. 1997. Principles of Agriculture. (second edition). Isfahan University of technology publications.
29. Kim, N. I., and Paulsen, G. M. 1986. Response of yield attributes of isogenic tall, semi dwarf, and double dwarf winter wheats to nitrogen fertilizer and seeding rates. Crop Science. 156 (3): 197-205.
30. Knowles, T. C., Hipp, B. W., Graff, P. S., and Marshall, D. S. 1994. Timing and rate of topdress nitrogen for rainfed. winter wheat. J. prod. agric. 7: 216-220.
31. Kolata, E., Beeresniewics, A., Krezel, J., Nowosielshi, L., and Slow, O. 1992. Slow release ferti-lizers on organic carriers as the source of N for vegetable crops production in the open field. Acta-Horticulture 339: 241-249.
32. Lemon, J. 2007. Nitrogen management for wheat protein and yield in the sperance portzone. Department of Agriculture and Food Publisher. 25 pp.
33. Lloyd, A., Webb, J., Archer, J. R., and Bradly, R. S. 1997. Urea as a nitrogen fertilizer for cereals. Journal of Agronomy Science. (cambridge) 128: 263-271.
34. Meshkani, M., Armin, M., and Jamimoini, A. M. 2014. Study of morphological and physiological reactions herb borage (*Borago officinalis* L.) under use of biological and chemical fertilizers. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants. Successive Number 1 (3): 67-57. (in Persian with English abstract).
35. Masson, M. G., and Brennan, R. F. 1998. Comparison of growth respouse and nitrogen uptake by canola and wheat following application of nitrogen fertilizer. Journal of Plant Nutrition 21: 1483-1499.
36. McDonald, C. 1997. Methods of Protein Analysis and Variation in Protein Results.
37. Mooleki, S., Schoenau, J., Chales, J. L., and Wen, G. 2004. Effect of rat, frequency and incorporation of freed lot cattle manure on soil nitrogen availability, crop performance and nitrogen use efficiencyn in east-central Saskachwan. Canadian Journal of Soil Science 84: 199-210.
38. Nandhagopal, A., Subramanian, K. S., and Gopalan, A. 1995. Response of sunflower hybrids to nitrogen and phosphorus under irrigated condition. Madras Agricultural Journal 82: 80-83.
39. Nour Mohammadi, Gh., Siadat, A., and Kashani, A. 1998. The Cultivation of Grain Crops. Shahid Chamran of University. 443 p.
40. Omidbeighy, R. 2007. Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants. Volume I, 4 edition, Astan Quds Razavi Publications. 283 pages.
41. Pati, B. A., Sengupta, S., and Chjandra, A. K. 1995. Impact of selected phyllospheric diazotrophs on the growth of wheat seedlings and assay of the growth substances produced by the diazotrophs. microbiol. res. 150: 121-127.
42. Pennock, D. J., and Jong, E. De. 1990. Spatial pattern of soil redistribution in boroll landscapes, southern Saskachwan, Canada. Soil Science 150: 867-873.
43. Pilbeam, C. J., Mcneil, A. M., Harris, H. C., and Swift, R. S. 1997. Effect of fertilizer rate and from on the recovery of nlabelled fertilizer applied to wheat in syria. Journal of agricultural Science. (cambridge) 128: 415-424.
44. Rahnema, A. 2008. Plant Physiologist. Puran research publications. First Edition. Page 123-139.
45. Redda, A., and Abay, F. 2015. Agronomic performance of integrated use of organic and inorganic fertilizers on rice (*Oryza sativa* L.) in tselemti district of north-western tigray, ethiopia. Journal of Environment and Earth

Science. ISSN 2224-3216 5 (9): 30-41.
46. Sadeghi, M., Mirshekari, B., Baser Kouchehbagh, S. A., and Allahyari, N. 2009. The effects of biological and chemical nitrogen fertilizers performance consumption of nitrogen and the harvest index two varieties of autumn wheat. The new findings agriculture 3 (2): 190-202. (in Persian).
47. Schlemmer, M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F., and Schepers, J. S. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agronomy Journal 97: 106-112.
48. Shahsawari, N., and Saffari, M. 2006. The effect of different levels of nitrogen on the function and elements of the varieties of wheat in Kerman. Pajouhesh & Sazandegi No 66: 82-87PP. (in Persian).
49. Shakeri, A., Amini Dehaghi, M., Tabatabaei, S. A., and Modares Sanavi, S. 2013. Effect of chemical fertilizer and biofertilizer on seed yield, its components, oil and protein percent in sesame varietes. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 22 (1): 71-85. (in Persian with English abstract).
50. Singh, S. P., Baragli, K., Joshi, A., and Chaudhry, S. 2005. Nitrogen reception in leaves of tree and shrub seedling in response to increasing soil fertility. Curr. Aci. 89 (2): 389-396.
51. Strong, W. 1982. Effect of late application of nitrogen on the yield and protein content of wheat. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 22 (115) 54-61.
52. Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ramazan, D., and Mousavi Nik, S. M. 2011. Effect of organic and chemical fertilizers on qualitative and quantitative characteristics of pearl millet Panicum (*miliaceum* L.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping. Journal of Ecophysiology of Crops and Weeds 4 (15): 1-16. (in Persian).
53. Tejada, M., Gonzalez, J. L., Garcia-Martinez, A. M., and Parrado, J. 2008. Effect of different green manres on soil biological properties and maize yield. Bioreso Technal. 99: 1758-1767.
54. Terman, G. L., Ramig, R. E., Dreier, A. F., and Olson, R. A. 1969. Yield-protein relationships in wheat grain, as affected by nitrogen and water. Soil Science Society of America 61 (5): 755-759.
55. Yazdani, F. 2013. Agricultural Crop Physiology. Publications Modaresane Sharif. first edition.
56. Zebart, B. J., and Sheard, R. W. 1992. Influence of rate timing of nitrogen fertilization on yield and quality of red winter wheat in ontario. Plant Science 72: 13-19.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 381-392

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۹۲-۳۸۱

Investigating Different Systems of Nutrition: Organic Fertilizers, Inorganic and Blended, on How Wheat Grain Protein Changes

E. Amjadian[1*]- A. Ghanbari[2]

Received: 15-02-2017
Accepted: 25-11-2017

Introduction Fertilizer management is an important process as appropriate blend of fertilizer for agricultural production is quite important. The choice of fertilizer management for environmental programs depends on the prevention of pollution of land and the climate, so fertilizer management is suitable for adaptation to development. The use of abundant amount of cereals, as one of the most important food sources in human societies, has led to the use of these plants as an important source of protein in many areas, so a major part of protein of human needs provide.

Materials and Methods In this research, in order to investigate the changes of wheat protein in different fertilizer application systems, a completely randomized block design with three replications was carried out in 2014-2015 in Agricultural Research Station of Zabol University (Chahnymh), 35 km Zabol. In terms of geographical location of 61 degrees and 41 minutes east longitude and 30 degrees, 54 minutes north latitude and altitude of 480 meter of sea level. The weather of this station is cold and dry in winters, and hot and dry in summers, that according to category coupons and amberger ingredient weather warm and dry is considered. Treatments contains: T_1: Control (no fertilizer), T_2: Cow manure, T_3: Vermicompost fertilizer, T_4: Chemical fertilizer, T_5:Vermicompost+Nitroxin fertilizer, T_6: cow manure and Nitroxin fertilizer, T_7: cow manure and chemical fertilizer. Study traits including: The grain yield, harvest index, ash, protein, grain nitrogen and nitrogen soil, moisture, organic matter was perched study. Nitrogen at grain and soil by Kjeldahl using equation (1) was calculated. Grain protein using equation (2) was appointed. Ash, with use of the oven and the grill was evaluated. Direction calculation the analysis of statistical data obtained at first to software excel transmit and after assurance of normality of data, the results with using the of statistical software SAS, version 9.1, and variance analysis, by means test Duncan, at the level % 5 were compared.

Results and Discussion According to the results of Anova Table, the effect of different fertilizer systems, on grain nitrogen, at 1 percent probability level was positive and showed significant difference. Organic fertilizer, increases organic matter and humus soil. By increasing the cation exchange capacity, Nitrogen leaching is prevented. Nitrogenous fertilizers cause increasing grain nitrogen and protein according to the results of the analysis of variance and can be acknowledged by the seed protein under different fertilizer systems which were significant at the 1 percent level. The data showed that the highest protein content of 14% was related to the chemical fertilizer and the minimum protein was 9.44%, was for control (no fertilizer).

The researchers with attention to results of their studies reported, with increasing nitrogen, protein increases. Chemical fertilizers in the presence of organic fertilizers and bio-fertilizers, resulted in the highest grain nitrogen amount. The use of nitrogen chemical fertilizer, increased ash in sorghum (*Sorghum sudanense* L.).

Conclusions The use of manure increased uptake of moisture, and therefore, reduced the amount of dry matter in the grain. Chemical fertilizers, especially nitrogen, are one of the most important components of the amino acids, and amino acids are known as a unit producer of protein, so it has important impact on grain protein amount.

Keywords: Blended manure and chemical fertilizers, Chemical fertilizer, Nitrogen, Organic fertilizers, Quality seeds

1- Knowledge Master Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran
2- Professor, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran
(*- Corresponding Author Email: amjadian3617@gmail.com)

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۰۴-۳۹۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 393-404

ارزیابی ویژگی‌های فیزیولوژیک و زراعی مرتبط با تحمل به خشکی درکلزای بهاره

بهمن پاسبان اسلام[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴

چکیده

مطالعه با هدف شناسایی برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و زراعی مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی کلزای بهاره اجرا گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه خسروشاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی طی دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اجرا گردید. فاکتور اصلی تنش کمبود آب با سطوح: بدون تنش، تنش از زمان گل‌دهی و از خورجین‌دهی تا رسیدگی و فاکتور فرعی ژنوتیپ شامل: RGS003، ظفر، ساری گل، زرفام و دلگان بودند. نتایج نشان دادند بروز خشکی از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی باعث افزایش معنی‌دار دمای برگ و کاهش معنی‌دار مقدار نسبی آب برگ (RWC)، هدایت روزنه، شاخص کلروفیل برگ، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، درصد روغن، عملکرد دانه و روغن گردید ولی بیشترین تأثیرپذیری به‌هنگام وقوع تنش از مرحله گل‌دهی بود. بنابراین تأمین آب در این مرحله اولویت بیشتری خواهد داشت. کمبود آب با اثر کاهشی روی همه اجزای عملکرد باعث افت عملکرد دانه گردید. همبستگی‌های معنی‌داری بین دمای برگ، RWC ، شاخص کلروفیل برگ و هدایت روزنه با همدیگر و با عملکرد دانه و روغن و اجزای عملکرد دانه دیده شد. شاخص‌های مذکور از کارایی قابل قبولی در شناسایی اثرات کمبود آب روی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا برخوردار بودند. ژنوتیپ RGS003 با کسب بیشترین مقدار نسبی آب برگ، هدایت روزنه و شاخص کلروفیل برگ، همواره بیشترین عملکرد دانه و روغن را به خود اختصاص داد و برای کشت در شرایط مواجه با کمبود آب قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: دمای برگ، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، مقدار نسبی آب برگ، هدایت روزنه

مقدمه

کمبود آب در کلزا (*Brassica napus* L.) با کاهش پتانسیل آب برگ، باعث افت تورم سلولی، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز شده و در نهایت رشد و تولید محصول دچار آسیب می‌گردد (Kumar and Singh, 1998). ارزیابی رشد و عملکرد کلزا، گندم، جو و نخود در خاک شور همراه با اثرات تنش خشکی نشان داد که کلزا و جو تحت تنش در مقایسه با شرایط عادی افت عملکرد دانه کمتری داشتند (Grewal, 2010). نتایج ارزیابی ژنوتیپ‌های کلزا برای تحمل به خشکی در مهاباد آذربایجان غربی حاکی از آن است که بین ژنوتیپ‌ها تنوع معنی‌داری برای تحمل به خشکی وجود داشته و آنها در دو گروه متحمل و حساس گروه‌بندی می‌شوند. این امر نشان‌دهنده پتانسیل موجود برای اصلاح کلزا جهت توسعه کشت در مناطق مواجه با خشکی است (Khalili *et al.*, 2012).

با توسعه کمبود آب روزنه‌های برگ به‌صورت فزاینده‌ای بسته شده، تعرق کاهش یافته و دمای تاج پوشش برگ افزایش می‌یابد (Rao and Mendham, 1991). همبستگی معنی‌داری بین تنظیم اسمزی و هدایت روزنه و نیز دمای تاج پوشش برگ در کلزا گزارش شده است (Kumar and Singh, 1998). خنک شدن تعرقی (تفاوت دمای تاج پوشش برگ و هوا) می‌تواند شاخص مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی کلزا در شرایط فزاینده کمبود آب خاک باشد (Singh *et al.*, 1985). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و هدایت روزنه در کلزا گزارش شده است (Kumar and Singh, 1998). چنانچه مقدار نسبی آب برگ (RWC) بالا باشد، گیاه تورم سلولی خود را حفظ کرده و رشد آن تداوم می‌یابد (Rao and Mendham, 1991). با توجه به وجود همبستگی بالا بین جذب آب و مقدار نسبی آب برگ در کلزا، با قرار گرفتن گیاه در معرض تنش خشکی، جذب آب توسط ریشه افت کرده و مقدار نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Pasban Eslam *et al.*, 2000). به‌نظر می‌رسد

۱- دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: b_ pasbaneslam@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.62800

مقدار نسبی آب برگ بتواند شاخص مناسبی برای پیش‌بینی توان بالاتر جذب و یا حفظ آب توسط گیاه با وجود شرایط فزاینده کمبود آب خاک باشد.

زمان بروز تنش خشکی و شدت آن بر بسیاری از صفات زراعی کلزا همچون تعداد دانه در خورجین، وزن دانه‌ها، تعداد و طول خورجین‌ها مؤثر بوده و موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Sheikh *et al.*, 2006). به‌طور معمول در شرایط خشکی آخر فصل ارقامی از کلزای پاییزه که عملکرد دانه بالاتری داشتند، دارای ساقه بلندتری هم بودند (Miri *et al.*, 2008). کلزاهای با ارتفاع بوته بیشتر با داشتن برگ بیشتر در طول ساقه و در نتیجه سطح فتوسنتزکننده بالاتر عملکرد بیشتری نشان دادند (Sheikh *et al.*, 2006). در کلزا کاهش مقدار آب در مرحله گل‌دهی موجب کاهش تعداد خورجین‌ها در بوته می‌گردد ولی تنش پس از مرحله گل‌دهی، کاهش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین را سبب می‌شود. آبیاری تکمیلی در کلزا سبب طولانی‌تر شدن دوره گل‌دهی و باعث افزایش تعداد خورجین‌های بوته و تعداد دانه در خورجین می‌گردد (Golypour *et al.*, 2005). کمبود آب در مراحل رشد رویشی، گل‌دهی و پرشدن دانه کلزا، شاخص برداشت را به‌طور معنی‌داری کاهش داد در حالی‌که تأمین آب کافی به‌ویژه در مراحل گل‌دهی و توسعه خورجین‌ها، باعث افزایش تعداد دانه در خورجین گردید (Jensen *et al.*, 1996). گزارش شده در شرایط تنش کم آبی اعمال شده در مرحله ساقه‌دهی در میان اجزای عملکرد دانه، میزان تأثیرپذیری تعداد دانه در خورجین بیشتر از دیگر اجزای عملکرد بود (Daneshmand *et al.*, 2006). نتایج حاصل از یک مطالعه روی ژنوتیپ‌های پاییزه کلزا نشان داد که تنش خشکی آخر فصل با کاهش تعداد خورجین در بوته، عملکرد دانه را کاهش داد (Pasban Eslam, 2014). نتایج حاصل از ارزیابی ژنوتیپ‌های متعلق به گونه‌های *Brassica napus* L. و *B. juncea* L. در شرایط گرم و خشک روشن ساخت که رابطه بین عملکرد دانه با تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین در بوته و با وزن هزار دانه مثبت و معنی‌دار بود (Gunasekera *et al.*, 2006). در آزمایش دیگری تنش در مرحله گل‌دهی مقدار روغن را کاهش داد (Mendham and Salisbury, 1995). همچنین تنش خشکی در اواخر فصل رشد، موجب کاهش درصد روغن دانه‌ها در کلزا شده است (Sinaki *et al.*, 2007). نتایج حاصل از بررسی دو رقم کلزای بهاره در منطقه گنبد نشان داد در شرایط محدودیت آب طی مرحله زایشی، بین دمای هوا و عملکرد دانه همبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد (Faraji *et al.*, 2009).

هدف از این پروژه شناسایی برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و زراعی مناسب برای استفاده در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی کلزای بهاره و بررسی اثرات کمبود آب از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی روی عملکرد و اجزای عملکرد دانه بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در ایستگاه خسروشاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی طی دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اجرا شد. این ایستگاه (۴۶ درجه و ۲ دقیقه شرقی، ۳۷ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی) در سیستم اقلیم‌بندی کوپن سرد و نیمه خشک است. همچنین منطقه زمستان‌هایی با روزهای یخبندان دارد. میانگین دراز مدت بارندگی سالانه ۲۷۰ میلی‌متر می‌باشد. بخش عمده بارندگی در بازه زمانی نیمه دوم پاییز تا نیمه اول بهار رخ می‌دهد. میانگین حداقل و حداکثر دمای سالانه به‌ترتیب ۲/۷۸ و ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد است. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۳۴۷ متر می‌باشد. مشخصات آب و هوایی ایستگاه طی دوره آزمایش در جدول ۱ آمده است. خاک محل آزمایش لوم رسی بوده و دارای ۱/۵ درصد ماده آلی بود (جدول ۲).

مطالعه در قالب طرح آماری کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کشت در ۱۵ فروردین ماه سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ انجام گردید. عامل‌های آزمایش شامل تنش کمبود آب به‌عنوان عامل اصلی با سه سطح: بدون تنش، تنش از مرحله گل‌دهی تا رسیدگی و تنش از مرحله خورجین‌دهی تا رسیدگی و عامل فرعی ژنوتیپ در پنج سطح شامل: RGS003 (سازگار با آب و هوای متوسط رس) ظفر (متحمل به سرما و نسبتاً دیررس)، ساری گل (حساس به سرما و دیررس)، زرفام (حساس به سرما و متوسط رس) و دلگان (متحمل به گرما، متحمل به بیماری قارچی اسکلروتینیا و زودرس) بودند. فاصله خطوط کاشت ۲۴ سانتی‌متر و میزان بذر هشت کیلوگرم در هکتار بوده و در نهایت تراکم ۷۵ بوته در متر مربع تثبیت شد. هر کرت شامل شش ردیف به‌طول پنج متر بود. برای جلوگیری از نشت آب بین کرت‌ها و بین تکرارها دو متر فاصله ایجاد شد. تنش با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A اعمال گردید. در دوره اعمال تنش برای سطوح بدون تنش، آبیاری در زمان ۸۰ میلی‌متر تبخیر و برای تیمارهای تنش، آبیاری در زمان ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک انجام گرفت (Daneshmand *et al.*, 2006 and Shargi *et al.*, 2011). در هر دو سال آزمایش کوددهی مزرعه بر پایه نتایج آزمون خاک (جدول ۲) با استفاده از کود نیتروژن‌دار اوره به‌مقدار ۱۴۳ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله قبل کاشت و غنچه‌دهی، سولفات پتاسیم به‌مقدار ۲۴ کیلوگرم در هکتار به‌صورت K_2O و سوپر فسفات تریپل به‌مقدار ۲۱ کیلوگرم در هکتار به‌صورت P_2O_5 قبل از کاشت صورت گرفت. طی سال‌های آزمایش در زمان روزت با استفاده از سم سوپر گالانت با غلظت یک در هزار برعلیه علف‌های هرز نازک برگ مبارزه شد. چون تناوب سال قبل گندم بوده و با علف‌های هرز پهن برگ مبارزه گردیده است، مشکلی از نظر این نوع علف‌های هرز در مزرعه دیده نشد. همچنین در شروع خورجین‌دهی برای مبارزه با آفت

شته مومی، مزرعه با سم پریمکارب (Pirimicarb) با غلظت یک در هزار سمپاشی گردید.

برای تعیین مقدار نسبی آب برگ (RWC) از هر نمونه برگ برداشت شده سه دیسک به قطر ۲۰ میلی‌متر جدا گردیده و بلافاصله وزن شدند (وزن تر)، سپس نمونه‌ها به مدت چهار ساعت در آب مقطر دوبار تقطیر با دمای حدود ۵ درجه سانتی‌گراد و نور اندک غوطه‌ور شده و پس از گرفتن آب روی آنها با کاغذ صافی، وزن شدند (وزن تورم کامل) سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و وزن شدند (وزن خشک). در نهایت مقدار نسبی آب برگ از رابطه: وزن خشک- وزن تورم کامل/ وزن خشک- وزن تر = RWC محاسبه گردید. دمای برگ با استفاده از دماسنج مادون قرمز مدل T۲-۸۲۵ ساخت کارخانه تستو (Testo) ایتالیا اندازه‌گیری شد (Kumar and Singh, 1998). هدایت روزنه‌های برگ نیز با استفاده از دستگاه پورومتر پخشی مدل AP4 ساخت انگلستان اندازه‌گیری شد (Kumar and Singh, 1998). شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (Minolta Moel: SPAD-502) ساخت کشور ژاپن اندازه‌گیری گردید. تعیین مقدار نسبی آب برگ، دمای برگ و هدایت روزنه بین ساعات ۱۱ تا ۱۴ انجام گردید. صفات مذکور در اواسط مراحل رشدی گل‌دهی و خورجین‌دهی اندازه‌گیری شدند.

برای تعیین تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. به‌هنگام رسیدگی محصول پس از حذف حاشیه‌ها، تمامی کرت‌ها برداشت و عملکرد دانه، وزن هزار دانه و درصد روغن دانه‌ها تعیین شدند. برداشت پس از رسیدگی وزنی، سال اول آزمایش در تاریخ ۱۵ و سال دوم در ۲۷ تیر ماه انجام گردید. در هر دو سال آزمایش زمان رسیدگی فیزیولوژیک رقم RGS003 و دلگان به‌ترتیب ۵ و ۶ روز زودتر از سایر ارقام بود. درنهایت تجزیه داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد با نرم‌افزار آماری MSTATC و تعیین همبستگی صفات به‌روش پیرسون با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS Ver.16 ۱۶صورت گرفت. درصد روغن داده‌ها با دستگاه NMR مدل A ۲۵- H ۲۰ -۱۸ ساخت کارخانه بروکر کشور کانادا در بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تعیین شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی ایستگاه تحقیقات کشاورزی خسروشاه در طول فصل رشد سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

Table 1- Mean of minimum, maximum and total air temperature and sum of precipitation of Khosrowshah Agricultural Research Station in 2015 and 2016 growing seasons

سال	ماه‌های سال	میانگین دمای حداقل (°C)	میانگین دمای حداکثر(°C)	میانگین کل دما (°C)	مجموع بارندگی
Year	Month of year	Mean of minimum temperature (°C)	Mean of maximum temperature (°C)	Mean of total temperature (°C)	Sum of precipitation (mm)
2015	April	4.3	16.2	10.3	37.6
	May	8.0	21.9	14.9	50.6
	June	14.2	30.0	22.1	3.5
	July	19.7	35.2	27.4	0.0
2016	April	4.8	13.5	9.1	50.7
	May	9.1	23.1	16.1	37.5
	June	12.7	27.5	20.1	17.2
	July	18.4	33.0	26.0	10.8

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2- Some of physicochemical traits of experimental soil

اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	رس	سیلت	شن
pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	Organic carbon (%)	Nitrogen (%)	Phosphorus ($mg\ kg^{-1}$)	Potassium (%)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
8.2	6.2	0.26	0.03	16	218	33	28	39

نتایج و بحث

بین دو سال آزمایش اختلاف معنی‌داری از نظر دمای برگ، شاخص کلروفیل برگ، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، درصد روغن دانه، عملکرد دانه و روغن دیده شد (جدول ۳). این موضوع می‌تواند در اثر تفاوت شرایط آب و هوایی دو سال آزمایش به‌ویژه در میانگین کل دما و مجموع بارندگی به‌ترتیب در دوره گل‌دهی و پرشدن دانه بوده باشد. در سال دوم آزمایش میانگین کل دما در خرداد ماه حدود دو درجه سانتی‌گراد کمتر از سال اول بود که باعث افت تعرق و کاهش نیاز آبی می‌گردد. همچنین در سال دوم آزمایش در اوایل تیر ماه (دوره پرشدن دانه) ۱۰/۸ میلی‌متر بارندگی رخ داد ولی تیر سال اول فاقد بارندگی بود (جدول ۱). اثر تنش خشکی روی همه صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. اثر متقابل سال با تنش خشکی صرفاً روی دمای برگ معنی‌دار بود. بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در همه صفات بررسی شده به غیر از دمای برگ و تعداد خورجین در بوته وجود داشت. اثر متقابل سال با ژنوتیپ روی وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تنش خشکی با ژنوتیپ روی مقدار نسبی آب برگ، هدایت روزنه، شاخص کلروفیل برگ، عملکرد دانه و روغن معنی‌دار بود. اثر متقابل سه‌گانه سال، تنش خشکی و ژنوتیپ روی تعداد دانه در خورجین، عملکرد دانه و روغن معنی‌دار گردید (جدول ۳).

بروز تنش خشکی از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی باعث افزایش معنی‌دار دمای برگ و کاهش معنی‌دار تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و درصد روغن دانه گردید ولی بیشترین افت تعداد خورجین در بوته زمانی بود که تنش کمبود آب از مرحله گل‌دهی بروز می‌کرد (جدول ۴). کمبود آب در این مرحله باعث ریزش گل‌ها و خورجین‌های تازه تشکیل یافته می‌شود. نشان داده شده است که زمان بروز تنش خشکی و شدت آن بر بسیاری از صفات زراعی کلزا همچون تعداد دانه در خورجین، وزن دانه‌ها، تعداد و طول خورجین‌ها مؤثر بوده و موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Sheikh *et al.*, 2006). گزارش شده است کمبود آب در مراحل رشد رویشی، گل‌دهی و پرشدن دانه کلزا، شاخص برداشت را به‌طور معنی‌داری کاهش داد در حالی‌که تأمین آب کافی به‌ویژه در مراحل گل‌دهی و توسعه خورجین‌ها، باعث افزایش تعداد دانه در خورجین گردید (Jensen *et al.*, 1996). زمان بروز تنش خشکی و شدت آن بر بسیاری از صفات زراعی کلزا همچون تعداد دانه در خورجین، وزن دانه‌ها، تعداد و طول خورجین‌ها مؤثر بوده و موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Sinaki *et al.*, 2007).

بیشترین وزن هزار دانه در سال اول آزمایش به زرفام و سال دوم به RGS003 تعلق گرفت ولی ظفر همواره کمترین وزن هزار دانه را داشت (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد علت این امر زودرس بودن رقم ظفر و بنابراین داشتن زمان کمتر برای پرشدن دانه‌ها باشد. تنش خشکی همواره باعث کاهش مقدار نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌های برگ و شاخص کلروفیل برگ در ژنوتیپ‌های کلزا گردید ولی میزان این کاهش درصورت بروز تنش از مرحله گل‌دهی بیشتر بود. در هر دو شرایط عادی و کمبود آب، همواره بیشترین مقادیر این شاخص‌ها به ژنوتیپ RGS003 به‌عنوان ژنوتیپ سازگار با آب و هوای گرم و خشک تعلق داشت و دلگان معمولاً کمترین مقادیر را داشت (جدول ۶). نتایج مطالعه ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که بروز کمبود آب از مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه باعث کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل a و b در برگ‌ها می‌گردد ولی میزان این کاهش در شرایط بروز تنش از مرحله گل‌دهی بیشتر بود (Dine *et al.*, 2011). تنش خشکی در اغلب تیمارهای آزمایش باعث کاهش تعداد دانه در خورجین گردید و این کاهش در شرایط بروز تنش از مرحله گل‌دهی شدیدتر بود (جدول ۷). به نظر می‌رسد علت آن سقط دانه‌ها در اثر کمبود آب و کاهش فتوسنتز و انتقال کمتر فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها باشد. کمترین مقادیر هدایت روزنه نیز در شرایط بروز تنش از مرحله گل‌دهی دیده شد (جدول ۶). در هر دو سال آزمایش و همه ژنوتیپ‌ها بیشترین عملکردهای دانه و روغن در شرایط بدون تنش به‌دست آمد و کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار عملکرد شد ولی این افت عملکرد در شرایط بروز تنش از مرحله گل‌دهی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۷). نتایج نشان دادند که هر دو مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی در کلزای بهاره از نظر نیاز آبی بحرانی بوده و بروز کمبود آب در هر یک از این مراحل باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و روغن می‌گردد. البته حساسیت کلزا در مرحله گل‌دهی به‌مراتب بیشتر بود. به‌نظر می‌رسد درصورت محدودیت منابع آب، آبیاری در مرحله گل‌دهی اولویت بیشتری داشته باشد. بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، RGS003 در تمام شرایط آبی و سال‌های آزمایش بیشترین عملکرد دانه و روغن را به خود اختصاص داد. به‌طور کلی بیشترین عملکرد دانه و روغن به‌ترتیب با مقادیر ۱۱۲۰ و ۴۶۶ کیلوگرم در هکتار در شرایط بدون تنش خشکی از RGS003 به‌دست آمد. در سال اول آزمایش در شرایط بدون تنش همه ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و روغن در یک گروه آماری قرار گرفتند ولی در سال دوم بیشترین عملکردها را RGS003 و دلگان کسب کرد. در شرایط بروز تنش از مرحله گل‌دهی، بیشترین عملکردها به RGS003 و زرفام در سال اول و RGS003 و ظفر در سال دوم آزمایش مربوط بود. درصورتی‌که تنش خشکی از مرحله خورجین‌دهی بروز می‌کرد، RGS003 و ظفر عملکردهای بیشتری داشتند (جدول ۷). درنهایت چنین استنباط می‌گردد که ژنوتیپ RGS003 با داشتن مقادیر بالاتر مقدار نسبی آب و هدایت روزنه و شاخص کلروفیل در برگ‌ها همواره از بالاترین عملکرد دانه و روغن برخوردار بوده و برای کشت بهاره در

اقلیم‌های با احتمال بروز تنش خشکی از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی قابل توصیه است. نتایج تحقیقات روی ارقام بهاره کلزا در کرج نیز نشان داد که در کشت‌های به‌هنگام ژنوتیپ‌های RGS003، ظفر، ساری گل و طلایه عملکرد دانه بالایی داشتند (Roudi and Shirani Rad, 2014).

همبستگی منفی و معنی‌داری بین دمای برگ با همه صفات مورد مطالعه دیده شد. همبستگی بین مقدار نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌های برگ و شاخص کلروفیل برگ با دمای برگ منفی و با سایر صفات مورد مطالعه مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۸). همچنین آهنگ تغییر این شاخص‌ها بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با تغییرات عملکرد دانه و روغن هم‌سو بودند (جدول ۶). شاخص‌های مذکور از کارایی قابل قبولی در بازتاب اثرات تنش خشکی روی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا برخوردار بوده و می‌توان از آنها در شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی کلزای بهاره استفاده نمود. وجود همبستگی معنی‌دار بین تنظیم اسمزی و هدایت روزنه و نیز دمای تاج پوشش برگ در کلزا گزارش شده است (Kumar and Sink, 1998). همبستگی بین تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه با عملکرد دانه و روغن مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی بین درصد روغن و عملکرد دانه با عملکرد روغن نیز مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۸). چنین استنباط می‌گردد که هر سه قسمت از عملکرد دانه شامل تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه از نقش اساسی در شکل‌گیری عملکرد دانه برخوردار بودند و عملکرد روغن نیز از هر دو صفت عملکرد دانه و درصد روغن دانه تأثیر معنی‌داری پذیرفته است. نتایج بررسی ژنوتیپ‌های کلزا در منطقه گنبد نشان داد بین تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین با عملکرد دانه همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری وجود دارد (Faraji, 2013). در گیاهان کلزا تعداد خورجین در بوته اثر معنی‌داری روی عملکرد دانه دارد. این ویژگی توسط بقای شاخه‌ها، غنچه‌ها، گل‌ها و خورجین‌های جوان پشتیبانی می‌شود (Diepenbrock, 2000). نتایج حاصل از ارزیابی ژنوتیپ‌های متعلق به گونه‌های *B. napus* L. و *B. juncea* L. در شرایط گرم و خشک نشان داد که رابطه بین عملکرد دانه با تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین در بوته و با وزن هزار دانه مثبت و معنی‌دار بود (Gunasekera *et al.*, 2006).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده روی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا تحت تنش خشکی طی دو سال زراعی ۱۳۹٤ و ۱۳۹۵

Table 3- Analysis of variance for measured traits of spring genotypes of rapeseed under drought stress during 2015 and 2016

میانگین مربعات Mean squares						
منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	دمای برگ Leaf temperature	مقدار نسبی آب برگ Relative water content	هدایت روزنه Stomatal conductance	شاخص کلروفیل برگ Leaf chlorophyll index	تعداد خورجین در بوته Pod number per plant
سال Year (Y)	1	67.947**	0.001	0.001	8.711*	453.378**
تکرار/ سال Rep./Y	4	5.147	0.001	0.001	2.044	83.911
تنش خشکی Drought stress (A)	2	221.189**	0.141**	0.058*	1477.544**	2035.678**
سال × تنش خشکی Y×A	2	4.460	0.001	0.001	3.011	56.678
خطای اصلی $Error_1$	8	3.560	0.001	0.001	0.894	29.728
ژنوتیپ Genotype (B)	4	1.180	0.010**	0.012**	96.417**	100.350
سال × ژنوتیپ Y×B	4	2.194	0.001	0.001	0.294	44.072
تنش خشکی × ژنوتیپ A×B	8	1.851	0.400**	0.001**	23.767**	38.400
سال × تنش خشکی × ژنوتیپ Y×A×B	8	1.381	0.001	0.001	1.344	22.456
خطای فرعی $Error_2$	48	1.112	0.001	0.0003	2.139	48.206
ضریب تغییرات C.V.(%)	–	4.08	3.08	1.72	5.46	12.72

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and **, Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۳

Table 3 continue

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares				
		تعداد دانه در خورجین Grain number per pod	وزن هزار دانه 1000 grains weight	عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن Oil percent	عملکرد روغن Oil yield
سال (Y) Year	1	67.600**	0.022	145282.844**	11.881*	30160.455**
تکرار/ سال Rep./Y	4	16.444	0.013	27098.844*	2.903	5819.323*
تنش خشکی (A) Drought stress	2	102.480**	2.431**	1402088.078**	43.680**	285315.505**
سال × تنش خشکی Y×A	2	26.609*	0.040	22442.144	7.862	1865.463
خطای اصلی $Error_1$	8	4.335	0.010	6443.844	1.919	961.740
ژنوتیپ (B) Genotype	4	15.249*	0.194**	110036.194**	4.590*	21263.579**
سال × ژنوتیپ Y×B	4	5.160	0.143**	33208.94**	1.442	6030.442**
تنش خشکی × ژنوتیپ A×B	8	6.035	0.034	31003.161**	2.190	5713.726**
سال × تنش خشکی × ژنوتیپ Y×A×B	8	15.886*	0.039	25867.561**	0.647	4065.183**
خطای فرعی $Error_2$	48	5.579	0.026	5745.539	1.290	1222.038
ضریب تغییرات C.V.(%)	-	9.75	5.67	9.76	2.81	11.06

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and **, Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ٤- میانگین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا در سطوح مختلف تنش خشکی

Table 4- Mean of measured traits on spring genotype of rapeseed under different drought stress levels

سطح تنش خشکی Drought stress level	دمای برگ Leaf temperature (°C)	تعداد خورجین در بوته Pod number per plant	وزن هزار دانه 1000 grains weight (g)	درصد روغن Oil percent
بدون تنش Non-stressed	22.7	63.4	3.2	41.7
تنش از مرحله گل‌دهی Stress from flowering	27.7	47.0	2.6	39.3
تنش از مرحله خورجین‌دهی Stress from pod formation	27.0	53.3	2.7	40.2
LSD 5%	1.123	3.246	0.059	0.824

جدول ٥- میانگین صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های بهاره کلزا طی دو سال زراعی ۱۳۹٤و ۱۳۹۵

Table 5- Mean of measured traits on spring genotypes of rapeseed during 2015 and 2016

سال Year	۱۳۹٤ 2015					۱۳۹۵ 2016					
ژنوتیپ Genotype	RGS003	ظفر Zafar	ساری گل Sarigol	زرفام Zarfam	دلگان Dalgan	RGS003	ظفر Zafar	ساری گل Sarigol	زرفام Zarfam	دلگان Dalgan	LSD 5%
وزن هزار دانه 1000 grains weight (g)	2.9	2.7	2.7	3.1	2.9	2.9	2.7	2.8	2.8	2.8	0.153

جدول ٦- میانگین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا در سطوح مختلف تنش خشکی

Table 6- Mean of measured traits on spring genotypes of rapeseed under different drought stress levels

سطح تنش خشکی Drought stress level	ژنوتیپ Genotype	مقدار نسبی آب برگ Relative water content	هدایت روزنه Stomatal conductance ($cm.s^{-1}$)	شاخص کلروفیل برگ Leaf chlorophyll index
بدون تنش Non-stressed	RGS003	0.797	0.723	37.67
	ظفر Zafar	0.792	0.672	34.33
	ساری گل Sarigol	0.785	0.660	36.50
	زرفام Zarfam	0.767	0.707	36.00
	دلگان Dalgan	0.785	0.670	28.50
تنش از مرحله گل‌دهی Stress from flowering	RGS003	0.695	0.643	24.33
	ظفر Zafar	0.605	0.590	19.17
	ساری گل Sarigol	0.613	0.562	24.33
	زرفام Zarfam	0.695	0.608	18.17
	دلگان Dalgan	0.643	0.592	19.17
تنش از مرحله خورجین‌دهی Stress from pod formation	RGS003	0.737	0.668	26.83
	ظفر Zafar	0.693	0.652	24.50
	ساری گل Sarigol	0.655	0.612	26.17
	زرفام Zarfam	0.710	0.633	25.33
	دلگان Dalgan	0.687	0.618	22.67
LSD 5%	-	0.036	0.020	1.698

جدول ۷- میانگین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا در سطوح مختلف تنش خشکی طی دو سال زراعی ۱۳۹٤و ۱۳۹۵

Table 7- Mean of measured traits on spring genotypes of rapeseed under different drought stress levels during 2015 and 2016

سال Year	سطح تنش خشکی Drought stress level	ژنوتیپ Genotype	تعداد دانه در خورجین Grain number per pod	عملکرد دانه Grain yield (kg h^{-1})	عملکرد روغن Oil yield (kg h^{-1})
۱۳۹۴	بدون تنش	RGS003	25.5	1120	466
2015	Non-stressed	Zafar ظفر	26.1	1051	430
		Sarigol ساری گل	24.1	1102	454
		Zarfam زرفام	26.2	1069	449
		Dalgan دلگان	25.9	1078	452
	تنش از مرحله گل‌دهی	RGS003	21.5	764	312 f-
	Stress from flowering	Zafar ظفر	25.3	588	234
		Sarigol ساری گل	23.7	579	238
		Zarfam زرفام	24.3	745	302
		Dalgan دلگان	23.2	403	157
	تنش از مرحله خورجین‌دهی	RGS003	25.8	954	396
	Stress from pod formation	Zafar ظفر	25.2	778	316
		Sarigol ساری گل	27.0	533	217
		Zarfam زرفام	26.0	745	300
		Dalgan دلگان	26.4	741	295
۱۳۹۵	بدون تنش	RGS003	22.3	1153	481
2016	Non-stressed	Zafar ظفر	28.0	808	337
		Sarigol ساری گل	27.7	803	334
		Zarfam زرفام	24.7	910	386
		Dalgan دلگان	27.3	1099	469
	تنش از مرحله گل‌دهی	RGS003	20.0	671	274
	Stress from flowering	Zafar ظفر	19.3	694	262
		Sarigol ساری گل	22.3	498	193
		Zarfam زرفام	21.3	542	204
		Dalgan دلگان	20.7	567	215
	تنش از مرحله خورجین‌دهی	RGS003	21.7	700	290
	Stress from pod formation	Zafar ظفر	25.7	696	274
		Sarigol ساری گل	18.7	526	207
		Zarfam زرفام	23.7	633	249
		Dalgan دلگان	27.0	744	293
LSD 5%		-	3.878	124.4	57.39

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه روی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا (میانگین سال‌های ۱۳۹٤ و ۱۳۹۵)

Table 8- Correlation coefficients among studied traits on spring genotypes of rapeseed (mean 2015 and 2016)

صفات Traits	دمای برگ Leaf temperature (1)	مقدار نسبی آب برگ Relative water content (2)	هدایت روزنه Stomatal conductance (3)	شاخص کلروفیل برگ Leaf chlorophyll index (4)	تعداد خورجین در بوته Pod number per plant (5)	تعداد دانه در خورجین Grain number per pod (6)	وزن هزار دانه 1000 grains weight (7)	عملکرد دانه Grain yield (8)	درصد روغن Oil percent(9)	عملکرد روغن Oil yield (10)
2	-0.89**									
3	-0.80**	0.90**								
4	-0.91**	0.81**	0.80**							
5	-0.87**	0.76**	0.72**	0.88**						
6	-0.64**	0.63*	0.46	0.53*	0.67**					
7	-0.88**	0.86**	0.78**	0.74**	0.78**	0.54*				
8	-0.91**	0.91**	0.90**	0.80**	0.77**	0.61*	0.88**			
9	-0.83**	0.87**	0.85**	0.82**	0.71**	0.51	0.78**	0.87**		
10	-0.91**	0.92**	0.90**	0.81**	0.77**	0.60*	0.89**	0.99**	0.89**	

* و** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **, Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

نتیجه‌گیری

وقوع تنش خشکی از هر دو مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی باعث افزایش معنی‌دار دمای برگ و کاهش معنی‌دار مقدار نسبی آب برگ، هدایت روزنه، شاخص کلروفیل برگ، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و روغن گردید. ولی خشکی واقع شده از مرحله گل‌دهی، باعث افت بیشتر مقادیر این صفات شد. بنابراین اثرات منفی خشکی روی جنبه‌های فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی و محصول‌دهی کلزای بهاره در مرحله گل‌دهی شدیدتر بود. به‌طور کلی درصورت محدودیت منابع آب، آبیاری در مرحله گل‌دهی دارای اولویت بیشتری خواهد بود. صفات فیزیولوژیک دمای برگ، مقدار نسبی آب برگ، هدایت روزنه و شاخص کلروفیل برگ از کارایی قابل قبولی در بازتاب اثرات تنش خشکی روی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا برخوردار بوده و می‌توان از آنها در شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی کلزای بهاره استفاده نمود. اثرات منفی خشکی رخ داده از مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی روی عملکرد دانه از طریق کاهش همه اجزای عملکرد بود. همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد روغن با عملکرد دانه و درصد روغن دانه، نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده هر دو صفت در تولید روغن می‌باشد. نتایج آزمایش حاکی از آن است که در شرایط بدون تنش، همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه عملکردهای قابل قبولی داشتند ولی در شرایط کمبود آب، RGS003 به‌عنوان یک ژنوتیپ سازگار با آب و هوای گرم و خشک و متوسطرس، در شرایط کشت بهاره عملکرد دانه و روغن به‌مراتب بیشتری کسب کرد و برای کشت در شرایط ناپایدار منابع آبی مناسب‌تر است.

References

1. Daneshmand, A., Shirani-Rad, A. H., Darvish, F., Ardakani, A., Zarei, G., and Ghooshchi, F. 2006. Effect of drought stress on qualities and quantities of yield, yield components and relative water content in rapeseed cultivars. Geological Society of America Abstracts with Programs, Speciality. Meeting 3. p. 19.
2. Din, J., Khan, S. U., Ali, L., and Gurmani, A. R. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. Animal and Plant Science Journal 21: 78-82.
3. Diepenbrock, W., 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. Field Crops Research 67: 35-49.
4. Faraji, A. 2013. The role of analysis components to determine seed yield of canola (*Brassica napus* L.) in Gonbad area. Journal of Plant Production 20: 217-233. (in Persian with English abstract).
5. Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A., and Shirani Rad, A. H. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation.

Agriculture Water Management 96: 132-140.
6. Golypour, A., Latifi, N., Ghassemiegolezani, K., Alyari, H., and Moghaddam, M. 2005. Comparison of growth and seed yield of oilseed rape cultivars in rainfed condition of Ghorgan. Agricultural Science and Natural Resources 11: 5-14. (in Persian with English abstract).
7. Grewal, H. S. 2010. Water uptake, water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barley, canola and chickpea plants on asodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity. Agriculture Water Management 97: 148-156.
8. Gunasekera, C. P., Martin, L. D., Siddique, K. H. M., and Walton, G. H. 2006. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*B. napus* L.) in Mediterranean-type environments 1. Crop growth and seed yield. European Journal of Agronomy 25: 1-12.
9. Jensen, C. R., Mogensen, V. O., Mortensen, G., Fieldsend, J. K., Milford, G. F. J., Andersen, M. N., and Thage, J. H. 1996. Glucosinolate, oil and protein contents of field -grown rape affected by soil drying, and evaporative demands. Field Crops Research 47: 93-105.
10. Khalili, M., Naghavi, M. R., Aboughadareh, A., and Talebzadeh, S. J. 2012. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in spring canola cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Agriculture Science 4 (11): 78-85.
11. Kumar, A., and Singh, D. P. 1998. Use of physiological indices as screening technique for drought tolerance in oil seed Brassica species. Annual of Botany 81: 413-420.
12. Mendham, N. J., and Salisbury, P. A. 1995. Physiology: Crop development, growth and yield. In: Kimber, D. and Mc Gregor, D. I. (eds). Brassica oil seeds. CAB International. London. Pp: 11-67.
13. Miri, H. R., Emam, Y., and Mohammadi, N. M. 2008. Evaluation of some of seed yield related physiological traits. Agriculture Science 17: 101-117. (in Persian with English abstract).
14. Pasban Eslam, B. 2014. Study of some physiological indices, seed yield and its components of rapeseed varieties under drought stress. Journal of Plant production 20: 149-162. (in Persian with English abstract).
15. Pasban Eslam, B., Shakiba, M. R., Neyshabouri, M. R., Moghaddam, M., and Ahmadi, M. R. 2000. Evaluation of physiological indices as screening technique for drought resistance in oilseed rape. Procceding Pakestan Academic Science Journal 37: 143-152.
16. Rao, M. S. S., and Mendham, N. J. 1991. Soil-plant-water relation of oilseed rape (*Brassica napus* and *B. campestris*). Journal of Agricultural Science Cambridg 117: 197-205.
17. Roudi, D., and Shirani Rad, A. H. 2014. Introduction of cold tolerant spring oilseed rape cultivars in late cultivation. Seed and Plant Improvement Institute. Karaj. Pp. 14-15. (in Persian with English abstract).
18. Sharghi, Y., Shirani Rad, A. H., Ayeneh Band, A., noormohammadi, G., and Zahedi, H. 2011. Yield and yield components of six canola (*Brassica napus* L.) cultivars affected by planting date and water deficit stress. African Journal of Biotechnology 10 (46): 9309-9313.
19. Sheikh, F., Toorchee, M., Valizadeh, M., Sakiba, M. R., and Pasban Eslam, B. 2006. Evaluation of drought tolerance in spring oilseed rape (*Brassica sp.*). Agricultural Science 15: 163-174. (in Persian with English abstract).
20. Sinaki, J. M., Majidi, E., Shirani Rad, A. H., Noormohammadi, G., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stage of canola (*Brassica napus* L.). American Journal of Agriculture Environmental Science 2: 417-422.
21. Singh, D. P., Singh, P., Kumar, A., and Sharma, H. C. 1985. Transpirational cooling as a screening technique for drought tolerance in oilseed brassicas. Annual Botany 56: 815-820.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 393-404

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۰۴-۳۹۳

Evaluation of Physiological and Agronomic Characteristics Related to Drought Tolerance in Spring Rapeseed

B. Pasban Eslam[1]*

Received: 21-02-2017
Accepted: 25-11-2017

Introduction: Among the different environmental stresses, drought is a major limitation in reducing crop yields. Rapeseed is a plant adaptable to areas with limited rainfall during winter and spring and dry air at flowering, grain filling and maturity stages. Water deficit stress during pod filling stage in rapeseed reduces the number of grains per m^2, oil percent and grain yield. Positive and significant correlations were reported among grain yield with pod numbers per plant and grain number in a pod in winter genotypes of canola, under normal and drought stress conditions. Strong negative relationship between grain yield and canopy temperature during reproductive stage of *Brassica napus* L. genotypes have been reported. The results of studying rapeseed genotypes under drought stress indicated that the chlorophyll *a* and *b* content of all genotypes declined due to drought stress at flowering and grain filling stages, but greater reduction in grain yield was observed when stress was imposed at flowering stage. The objectives of this study were to recognize some of the physiological and agronomic characteristics related to drought tolerance in spring genotypes of rapeseed and to study the grain and oil yields and yield components relations under normal and water deficit stress conditions.

Materials and Methods: The experiment was carried out in the East Azarbaijan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (46°2′E, 37°58′N, 1347 m a.s.l.) with semi-arid and cold climate according to Koppen climatic classification system, during 2015 and 2016 cropping seasons. The experiment was conducted as split plot based on a randomized complete blocks design with three replications. The experimental factors were drought stress with three levels: non-stressed and drought stress from flowering and pod formation stages and genotype in 5 levels: RGS003, Zafar, Sarigol, Zarfam and Dalgan. Each plot consisted of 6 rows in 5 meters. Plants were harvested on the 5^{th} and 17^{th} of July during the first and second years of experiment respectively. During harvest time, in order to control boarder effects, plants from the sides of each plot were removed. Measured traits were leaf temperature, relative water content, stomatal conductance, leaf chlorophyll index, pod number per plant, grain number per pod, 1000- grains weight, grain yield and grain oil percent. Ten plants in each plot were used to determine grain yield components. Moreover, seed oil content was determined by NMR (nuclear magnetic resonance) method.

Results and Discussion: Occurring drought around flowering and pod formation stages led to a significant increase in leaf temperature and significant decrease in leaf relative water content, stomatal conductance, leaf chlorophyll index, pod number per plant, grain number per pod, 1000 grains weight, oil percent, grain and oil yields. But the effects of drought from flowering stage were too hard. Therefore, in case of water resources limitation, irrigation during flowering stage will be more important than pod formation stage. RGS003 genotype with higher relative water content, stomatal conductance and leaf chlorophyll index and lower leaf temperature, indicated the highest grain and oil yields. The highest grain and oil yields with 1120 and 466 Kg h^{-1} respectively were obtained from RGS003 under non-stress condition. Also RGS03 in all water conditions indicated higher yields and could be used to cultivate in areas with normal and limited irrigation water resources. The significant correlations among leaf temperatures, relative water content, stomatal conductance and leaf chlorophyll index with each other and grain and oil yields and yield components were seen. It seems that these traits can be used to select drought tolerant spring genotypes of rapeseed.

Conclusions: It can be concluded that spring rapeseed is more sensitive to occurring drought stress from flowering than from pod formation stage. Thus, water supply at flowering stage could be more effective in rapeseed yield production. Leaf temperatures, relative water content, stomatal conductance and leaf chlorophyll index can be used to screen high yielding spring genotypes of rapeseed for late season water deficit condition.

Keywords: Grain yield, Leaf chlorophyll index, Leaf temperatures, Relative water content, Stomatal conductance

1- Associate Professor of Crop and Horticultural Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
(*- Corresponding Author Email: b _ pasbaneslam@yahoo.com)

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۱۹-۴۰۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 405-419

ارزیابی زمان تغذیه برگی بوریک اسید و سولفات روی بر غلظت عناصر و عملکرد روغن کلزا در منطقه سیستان

محمد فروزنده[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۲

چکیده

به منظور ارزیابی محلول‌پاشی بوریک اسید و سولفات روی در مراحل رویشی و زایشی بر غلظت عناصر و عملکرد روغن کلزا در منطقه سیستان در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل (چاه نیمه) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل محلول‌پاشی در چهار سطح شامل شاهد (عدم محلول‌پاشی)، اسید بوریک (غلظت ۲ گرم در لیتر)، سولفات روی (غلظت ۲ گرم در لیتر) و سولفات روی+ اسید بوریک (غلظت ۲+ ۲ گرم در لیتر) و زمان محلول‌پاشی در سه سطح محلول‌پاشی در مراحل رشد رویشی (۹۰ روز پس از کاشت)، زایشی (۱۲۰ روز پس از کاشت) و رویشی+ زایشی بودند. نتایج نشان داد نوع محلول‌پاشی به‌جز بر عدد اسپد بر تمام صفات مورد بررسی تأثیر معنی‌داری داشت. زمان محلول‌پاشی بر همه صفات مورد بررسی به‌جز وزن هزار دانه و عدد اسپد تأثیر معنی‌دار داشت. بیشترین عملکرد دانه (۲۶۱۰ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد روغن (۱۵۶۹/۶ کیلوگرم در هکتار) و درصد پروتئین دانه (۴۲/۲ درصد) در تیمار محلول‌پاشی اسید بوریک+ سولفات روی در هر دو مرحله رویشی و زایشی مشاهده شد که به‌ترتیب نسبت به شاهد ۶۶/۸، ۷۶/۷ و ۵۲/۸ درصد افزایش نشان داد. بیشترین میزان جذب نیتروژن دانه و کاه به‌ترتیب به میزان ۶/۷ و ۲/۹ درصد از محلول‌پاشی اسید بوریک+ سولفات روی در هر دو مرحله رویشی و زایشی به‌دست آمد. محلول‌پاشی توأمان بور و روی موجب افزایش غلظت این عناصر در دانه کلزا به میزان ۳۶/۳ و ۳۹/۲ درصد نسبت به شاهد شد. بر اساس این نتایج محلول‌پاشی بور و روی در هر دو مرحله رویشی و زایشی گیاه، سبب افزایش عملکرد دانه و روغن و کیفیت دانه کلزا در منطقه سیستان شد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، درصد روغن، سولفات روی، محلول‌پاشی، نیتروژن کاه و دانه

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) گیاهی از خانواده چلیپاییان[2] است که دارای تیپ‌های رشد بهاره، پاییزه و یکی از مهمترین دانه‌های روغنی می‌باشد (Sarmadnia and Kouchaki, 1993). ویژگی‌های خاص این گیاه و سازگاری آن با شرایط آب و هوایی اکثر نقاط کشور سبب شده است که توسعه کشت آن به‌عنوان نقطه امید تأمین روغن خام مورد نیاز و رهایی از وابستگی ۹۳ درصدی آن به شمار رود. به طوری که در حال حاضر زراعت این محصول نقطه ثقل طرح‌های افزایش تولید دانه‌های روغنی به حساب می‌آید (Shariati and Ghazi Shahni Zadeh, 2001). در ایران نیز افزایش جمعیت، افزایش مصرف سرانه روغن و تغییر ذائقه مردم، سبب وابستگی شدید کشور به واردات روغن شده است.

نحوه تغذیه کلزا یکی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد دانه، درصد روغن و کیفیت دانه آن می‌باشد. یکی از راه‌های افزایش تولید، تغذیه بهینه گیاه است. در کشاورزی متداول، نیاز تغذیه‌ای گیاهان به کمک کودهای شیمیایی عمدتاً نیتروژنی، فسفاته و پتاسه تأمین می‌شود. اگرچه کودهای شیمیایی از لحاظ تهیه و استفاده مناسب هستند اما کارخانجات تولیدکننده این کودها به انرژی فوق‌العاده زیادی نیاز دارند (Pimentel and Dazhong, 1990). بنابراین وابستگی به این نهاده غیر قابل تجدید سبب ایجاد ناپایداری در تولیدات کشاورزی می‌گردد (Pimentel and Patzek, 2005). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داد که استفاده از ریزمغذی‌ها تأثیر معنی‌داری بر اجزای عملکرد، درصد و عملکرد روغن کنجد (*Sesamus indicum* L.) داشته است

۱- مربی، پژوهشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
(*- نویسنده مسئول: Email: m.forozandeh@uoz.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.62455
2- Brassicaceae

(Ahmadi *et al.*, 2012).

روی، عنصری است که در مقادیر کم و حیاتی برای گیاه لازم است تا اجازه فعالیت‌های فیزیولوژیک را به گیاه بدهد. این فعالیت‌ها نقش مهمی در فرآیندهای فتوسنتز و تشکیل قند، سنتز پروتیین، حاصلخیزی، رشد و مقاومت در برابر بیماری دارند. کمبود روی با تضعیف فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه، باعث کاهش محصول و افت کیفیت آن می‌شود. کاربرد روی در مرحله هشت برگی به صورت محلول‌پاشی، موجب افزایش تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سویا (*Glycine Max* L.) گردید (Jamsom *et al.*, 2009). در آزمایشی اعلام گردید محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت یک درصد باعث افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و درصد روغن آفتابگردان (*Helianthus.annuus* L.) نسبت به سایر تیمارها شد (Baniabbass Shahri *et al.*, 2012). بیشترین عملکرد سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) با میانگین ۴۸۵ کیلوگرم در هکتار نیز از محلول‌پاشی در مرحله ۱۰۰ درصد گلدهی به‌دست آمد (Moosazadeh *et al.*, 2010). در گزارشی تیمار محلول‌پاشی سولفات روی، بیشترین تعداد کپسول در بوته کنجد را به خود اختصاص داد (Ostad, 2014). اثر زمان محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی بر کلیه ویژگی‌های مورد مطالعه به استثنای شاخص کلروفیل برگ و عملکرد دانه در بوته کنجد معنی‌دار شد (Ostad, 2014).

بور نیز نقش مهمی در جوانه‌زنی و رشد لوله گرده دارد. اگر کمبود بور وجود داشته باشد گل‌ها به دلیل عدم لقاح می‌ریزد و یا به میوه‌های کوچک تبدیل می‌شوند (Castr and Sotomayor, 1997). همچنین بور جزء عناصری است که حد کفایت و سمیت آن بسیار به‌هم نزدیک است. مقدار بور در گیاه ۵ تا ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است ولی باید توجه داشت که این مقدار در گیاهان و خاک‌های مختلف متغیر است. مقدار بور بیش از ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گیاهان موجب سمیت و خشکی گیاه می‌گردد (Salardini, 2003). بور دارای مشکلات بسیاری ازجمله بر هم خوردن تعادل غذایی و جلوگیری از جذب دیگر عناصر است که سبب بروز علایم و مشکلات در محصول می‌شود. در آزمایش بیان شد کاربرد تمام سطوح روی و بور باعث افزایش جذب نیتروژن و پتاسیم در دانه ذرت (*Zea mays*) شد (Farshid, 2008). همچنین محققان گزارش کردند اگر تنها افزایش غلظت روی دانه مطرح باشد، محلول‌پاشی روی، زمانی که افزایش عملکرد محصول مد نظر باشد، مصرف خاکی و هنگامی‌که هر دو پارامتر مهم باشند ترکیبی از مصرف خاکی و محلول‌پاشی مفید خواهد بود (Yilmaz *et al.*, 1997). برای بر طرف نمودن کمبود بور و حصول بیشترین مقدار عملکرد در لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris*)، محلول‌پاشی برگی اسیدبوریک با غلظت ۰/۰۲۵ درصد در دو نوبت یک و دو ماه پس از سبز شدن، توصیه شده است. افزایش غلظت محلول‌پاشی از ۰/۱ درصد به ۰/۴ درصد منجر به سمیت و کاهش عملکرد لوبیا چیتی شده است (Hosseini, 2016).

روغن مهم‌ترین جزء دانه‌های روغنی تا حدود زیادی تحت تأثیر کود دهی معدنی قرارد می‌گیرد لذا کاهش در مقدار روغن استحصالی ممکن است در نتیجه کمبود عناصر غذایی باشد. نتایج نشان دادند که کاربرد نیتروژن، درصد روغن دانه را در ارقام کلزا کاهش و کاربرد روی درصد روغن را در دانه‌های کلزا افزایش داد (Olama *et al.*, 2013). محلول‌پاشی سولفات روی، اسید بوریک و همچنین محلول‌پاشی توأم سولفات روی و اسید بوریک باعث افزایش قابل توجه ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum*) در مقایسه با تیمار شاهد شد (Ostad, 2014). در گزارشی دیگر از کاربرد توأم بور، روی و گوگرد، بیشترین میزان جذب عناصر بور، روی و گوگرد دانه کلزا به‌دست آمد (Habibi *et al.*, 2016). در بررسی محلول‌پاشی توأم اسید بوریک و سولفات روی با غلظت‌های به‌ترتیب دو در هزار و سه در هزار در مراحل ابتدای ساقه رفتن و ابتدای گلدهی در افزایش کیفیت دانه کلزا توصیه گردیده است (Khiavi *et al.*, 2010).

با توجه به اهمیت کاربرد ریز مغذی‌های روی و بر در خانواده براسیکاسه و برنامه خودکفایی در تأمین روغن کشور، این پژوهش به منظور ارزیابی زمان محلول‌پاشی اسید بوریک و سولفات روی بر غلظت عناصر نیتروژن، روی، بور و عملکرد روغن کلزا در شرایط آب و هوایی منطقه سیستان صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی۹۴- ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل اجرا گردید. موقعیت جغرافیایی محل آزمایش ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۴۹۸/۲ متر از سطح دریا قرار دارد. از نظر آب و هوا، دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. متوسط بارندگی در آن ۵۸/۹ میلی‌متر در سال، متوسط دمای سالانه آن ۲۲ درجه سانتی‌گراد و متوسط تبخیر سالانه آن ۴۸۶۵ میلی‌متر است.

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل: الف- زمان محلول‌پاشی در سه سطح شامل محلول‌پاشی در مرحله رشد رویشی (ساقه رفتن، مطابق با ۹۰ روز پس از کاشت)، رشد زایشی (۳۰ درصد گلدهی، مطابق با ۱۲۰ روز پس از کاشت) و محلول‌پاشی در هر دو مرحله رشد رویشی و زایشی و ب- محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها در چهار سطح شامل شاهد (عدم محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی عنصر بور با

غلظت ۲ گرم در لیتر، محلول‌پاشی روی با غلظت ۲ گرم در لیتر و محلول‌پاشی توأم روی و بور با غلظت ۲+ ۲ گرم در لیتر بودند. رقم مورد استفاده Hyola 401 بود. عنصر بور از منبع اسید بوریک (۱۷٪) و عنصر روی از منبع سولفات روی (۲۲٪) استفاده شد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح در اوایل آبان انجام شد و قبل از کاشت از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه مرکبی تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical analysis

بافت خاک Texture	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی OC	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH
-	ppm						٪				$Ds.m^{-1}$	-
لوم شنی Sandy loam	6.07	0.91	1.29	6.52	190	2.6	13	42	45	0.39	6.36	8.12

عملیات کاشت در تاریخ ۲۰ آبان ماه انجام پذیرفت. کودهای شیمیایی پایه شامل نیتروژن (از منبع اوره) ۷۰ کیلوگرم در مرحله سه برگی، ۱۵۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۸۰ کیلوگرم در مرحله غنچه‌دهی کامل، کود فسفره (سوپرفسفات تریپل) ۱۰۰ کیلو گرم و کود پتاسه (سولفات پتاسیم) ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شد. هر کرت آزمایشی به طول شش و عرض دو متر شامل چهار تیمار که هر تیمار ۴ ردیف کاشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف چهار سانتی‌متر بود. عملیات داشت شامل وجین، آبیاری و سله‌شکنی به‌طور منظم انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت انجام و به‌منظور حصول اطمینان از سبز شدن یکنواخت آبیاری دوم به فاصله سه روز پس از آبیاری اول انجام شد. آبیاری‌های بعدی در فواصل ۱۰ روزه و عملیات وجین علف‌های هرز نیز در سه مرحله و به صورت دستی انجام شد. در طول دوره رشد گیاه از کاشت تا برداشت از هیچ نوع علف‌کشی استفاده نشد.

در مرحله رسیدگی کامل، گیاه از سطح خاک برداشت شد و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بوته، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت مورد بررسی قرار گرفت. قبل از برداشت تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و میانگین آن برای ارتفاع بوته ثبت شد. پس از حذف اثر حاشیه از یک کوادرات ۱ متر مربعی استفاده شد، بوته‌ها کف بر و سپس غلاف‌های آن جدا شد و عملکرد نهایی به‌دست آمد. برای تعیین عملکرد بیولوژیک نمونه‌های برداشت شده در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و سپس توزین شد. وزن هزار دانه بر حسب گرم به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ محاسبه شد. برای اندازه‌گیری عدد اسپد[1]، در مرحله پر شدن دانه از هر گیاه سه برگ انتهایی (سه نقطه از هر برگ)، توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD 502 Plus قرائت و میانگین آن به‌دست آمد. اندازه‌گیری درصد روغن دانه به‌وسیله سوکسله صورت پذیرفت. ابتدا ۲ گرم از نمونه‌های پودر شده، پس از قرار گرفتن در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت، وزن و در کارتوش سلولزی ریخته شد. حلال مورد استفاده پترولیوم اتر بود و مدت زمان روغن‌گیری ۴/۵ ساعت و درجه منبع حرارتی مطابق نقطه جوش حلال تنظیم گردید. عملکرد روغن دانه از معادله (۱) به‌دست آمد.

نیتروژن به روش کلدال و با استفاده از معادله (۲) محاسبه و درصد پروتئین از حاصلضرب درصد نیتروژن در ۶/۲۵ تعیین گردید (Olama *et al.*, 2013). سنجش بور از روش آزومتین- اچ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۴۲۰ نانومتر انجام شد (Wolf, 1974). غلظت عنصر روی به‌وسیله دستگاه جذب اتمی از روش سوزاندن خشک و هضم با اسید کلریدریک برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک قرائت شد (Emami, 1996).

(معادله ۱)

$$\text{عملکرد روغن} = \frac{\text{عملکرد دانه} \times \text{درصد روغن}}{100}$$

(معادله ۲)

$$\text{درصد نیتروژن} = \frac{(cc)\ \text{حجم اسید مصرفی} \times 0/0014}{\text{وزن نمونه (گرم)}} \times 100$$

داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1.3 نسخه portable تجزیه و با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه میانگین داده‌ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد این صفت تحت تأثیر زمان محلول‌پاشی ($p \leq 0.05$) و نوع محلول‌پاشی ($p \leq 0.01$)

1- SPAD Value

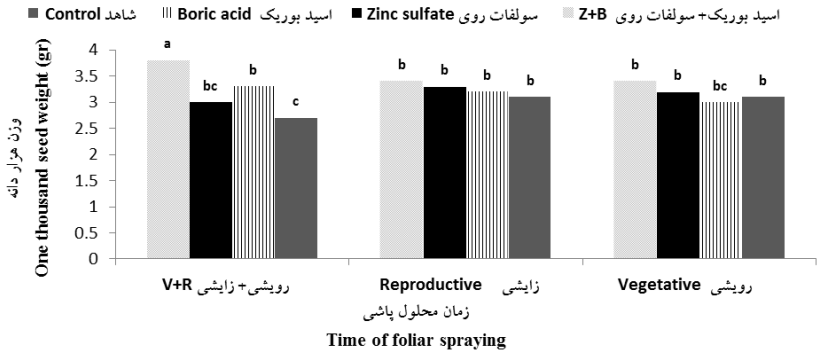
قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۷۰/۷ سانتی‌متر از محلول‌پاشی در مراحل رویشی و زایشی به‌دست آمد (جدول ۳). در بررسی اثر غلظت و زمان محلول‌پاشی کود نیتروژن در ارقام کلزا، بیشترین ارتفاع بوته از تیمار محلول‌پاشی توأم در مراحل ساقه رفتن و گلدهی گزارش گردید (Rabiee *et al.*, 2013). در کاربرد انواع مختلف کود نیز بیشترین و کمترین میزان صفت مذکور به‌ترتیب در تیمار کاربرد توام اسید بوریک و سولفات روی (۷۵/۲ سانتی‌متر) و شاهد (۵۶/۲ سانتی‌متر) مشاهده گردید (جدول ۳)، که مؤید تأثیر مثبت کاربرد عناصر بور و روی بر رشد رویشی بود. کمبود روی به علت تأثیر سوء بر بیوسنتز اکسین می‌تواند باعث کاهش ارتفاع بوته و عملکرد آن شود (Khalili Mahale and Rashidi, 2008). برهمکنش زمان و نوع محلول بر ارتفاع بوته تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

وزن هزار دانه

میانگین وزن هزار دانه کلزا به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر کاربرد کودهای بور و روی و برهمکنش بین آن‌ها قرار گرفت، اما زمان محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت. کاربرد توأم اسید بوریک و سولفات روی بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۳/۵ گرم را تولید کرد که نسبت به شاهد (عدم کاربرد) ۲۵/۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). بر اساس نتایج برهمکنش تیمارها بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۳/۸ گرم از کاربرد اسید بوریک+ سولفات روی در مراحله رویشی+ زایشی مشاهده شد (شکل ۱). رشد دانه‌های کلزا به عرضه مواد فتوسنتزی و آب وابسته است اما دوام رشد دانه در کلزا تا حدود زیادی توسط دمای محیط تعیین می‌شود (Azizi *et al.*, 2011). افزایش وزن هزار دانه با مصرف عناصر ریزمغذی به دلیل اثرات مثبت این عناصر بر انتقال آسیمیلات، فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی، تشکیل کلروفیل و بهبود رشد گیاه می‌باشد (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009). در گزارشی با به‌کارگیری عناصر گوگرد، بور و روی در کلزا، بیشترین وزن هزار دانه از تیمار گوگرد+ بور+ روی به‌دست آمد (Habibi *et al.*, 2016). نتایج مشابهی روی ذرت مشاهده شده است (Mohseni *et al.*, 2004).

عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، عملکرد دانه تحت تأثیر زمان و نوع محلول‌پاشی و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج برهمکنش داده‌ها نشان داد به‌ترتیب بیشترین (۲۶۱۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۸۴۴/۶ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه از تیمار کاربرد اسید بوریک+ سولفات روی در مرحله رویشی+ زایشی و شاهد حاصل گردید (شکل ۲). افزایش عملکرد در محلول‌پاشی مرحله رویشی+ زایشی نسبت به سایر تیمارها را می‌توان به بیشتر بودن ارتفاع بوته، اجزای عملکرد و عملکرد بیولوژیک در این تیمار نسبت داد. در آزمایشی حداکثر عملکرد کلزا از محلول‌پاشی در مراحل انتهایی رشد (ساقه‌رفتن+ قبل از گلدهی) مشاهده شده است (Rabiee *et al.*, 2013). همچنین محققان اعلام کردند استفاده از محلول‌پاشی سولفات روی در مرحله گلدهی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود عملکرد دانه کلزا داشته باشد (Omidian *et al.*, 2012). افزایش عملکرد دانه، ماده خشک گیاه و جذب بور در کلزا در ارتباط با کاربرد بور گزارش شده است (Malhi *et al.*, 2003). عملکرد دانه کلزا با افزایش توأم سطوح اسید بوریک و سولفات روی، به‌طور تصاعدی افزایش یافت (Khiavi *et al.*, 2010).



شکل ۱- برهمکنش زمان و نوع محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه

Figure 1- Interaction time and type of spraying on one thousand seed weight

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده کلزا تحت تأثیر زمان و نوع محلول‌پاشی

Table 2- Variance analysis for measured traits of rapeseed under time and type of foliar spraying

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	وزن هزار دانه One thousand seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	عدد اسپد SPAD reading	درصد پروتئین دانه Seed protein percentage	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield
تکرار (Replication)	2	124.2	0.043	2506.7	42063.1	2136.4	34.43	44.3	1.91	1331
زمان محلول‌پاشی Time of foliar spraying (A)	2	248.5 *	0.016 ns	2702877.5 **	110980.7 ns	8925.2 **	4.5 ns	122.3 *	236.2 **	777789.2 **
نوع محلول‌پاشی Type of foliar spraying (B)	3	559.2 **	0.546 **	268774.9 **	697674.1 **	4352.4 *	32.38 ns	194.5 **	176 **	212583.1 **
A×B	6	139.6 ns	0.166 *	419171.6 **	12903.7 ns	2586.9 ns	21.53 ns	57.9 *	193.2 **	179138.9 **
خطا (Error)	22	78.3	0.04	16687.1	87350.8	1204.2	26.1	22.9	0.9	4446.1
ضریب تغییرات (%) CV	-	13.4	6.6	6.5	18.2	27.3	12.6	14.3	2.1	7.2

ns، * و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

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

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده کلزا تحت تأثیر زمان و نوع محلول‌پاشی

Table 3- Variance analysis for measured traits of rapeseed under time and type of foliar spraying

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد نیتروژن دانه Seed nitrogen percentage	درصد نیتروژن کاه Straw nitrogen percentage	میزان جذب روی در دانه Zinc uptake content in seed	میزان جذب روی در کاه Zinc uptake content in straw	میزان جذب بور در دانه Boron uptake content in seed	میزان جذب بور در کاه Boron uptake content in straw
تکرار Rep	2	1.13	0.001	61.13	78.1	2.7	2.7
زمان محلول‌پاشی Time of foliar spraying (A)	2	3.13 *	0.69 **	1337.4 **	546.6 **	162.7 **	162.7 **
نوع محلول‌پاشی Type of foliar spraying (B)	3	4.98 **	1.19 **	3419 **	2690.8 **	441.1 **	441.1 **
A×B	6	1.48 *	1.41 **	134.2 *	56.1 ns	56.4 **	56.4 **
خطا Error	22	0.5	0.08	1337.4	456.6	162.7	162.7
ضریب تغییرات (%) CV	-	14.3	16.4	16.2	26.3	7	12.2

ns، * و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد

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

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های اندازه‌گیری شده کلزا

Table 4- Mean comparison measured characteristics of rapeseed

صفات Treatment	ارتفاع بوته Plant height	وزن هزار دانه One thousand seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	عدد اسپد SPAD reading	درصد پروتئین دانه Seed protein percentage	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield
	cm	g	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	%	-	-	-	kg ha^{-1}
Time of foliar spraying زمان محلول‌پاشی									
مرحله رویشی (Vegetative stage)	61.6 b	3.1 a	1438.6 c	1512.1 a	96.9 b	39.9 a	30.4 b	43.1 b	626.4 c
مرحله زایشی (Reproductive stage)	65.7 ab	3.2 a	2142.2 b	1663.4 a	150.4 a	40.3 a	32.6 ab	43.6 b	1026.1 b
رویشی + زایشی (V + R)	70.7 a	3.2 a	2342.2 a	1690.6 a	132.9 a	41.1 a	36.7 a	51 a	1099.4 a
Type of foliar spraying نوع محلول‌پاشی									
شاهد (Control)	56.2 c	2.9 b	1769.8 c	1356.4 b	139.9 ab	39.5 a	26.3 b	42.6 c	756.1 d
اسید بوریک (Boric acid)	64.6 bc	3.1 b	2158.3 a	1438 b	150.8 a	38.3 a	35.7 a	44.6 b	960.3 b
سولفات روی (Zinc sulfate)	68 ab	3.1 b	1902 b	1730.9 a	110.6 b	41.6 a	34.6 a	44.1 b	842.2 c
اسید بوریک + سولفات روی (B + Z)	75.2 a	3.5 a	2067.4 a	1963 a	105.8 b	42.5 a	36.3 a	52.4 a	1110.6 a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with at least one similar letter in each column, are not significantly different (p≤0.05) based on Duncan multiple range test.

جدول ٥- مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های اندازه‌گیری شده کلزا

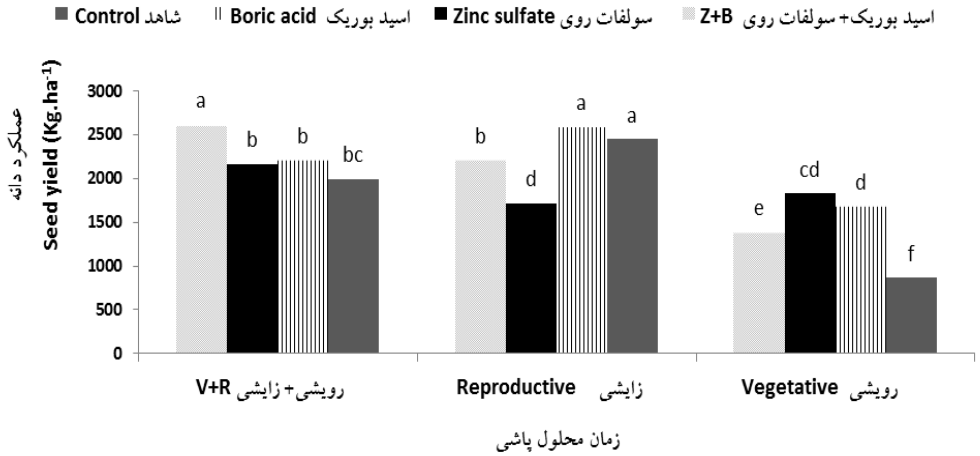
Table 5- Mean comparison measured characteristics of rapeseed

صفات Treatment	درصد نیتروژن دانه Seed nitrogen percentage	درصد نیتروژن کاه Straw nitrogen percentage	میزان جذب روی در دانه Zinc uptake content in seed	میزان جذب روی در کاه Zinc uptake content in straw	میزان جذب بور در دانه Boron uptake content in seed	میزان جذب بور در کاه Boron uptake content in straw
	-	-	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg.kg^{-1}
Time of foliar spraying زمان محلول‌پاشی						
مرحله رویشی (Vegetative stage)	4.8 b	1.5 b	31.7 b	24.2 b	12.6 c	5.5 c
مرحله زایشی (Reproductive stage)	5.2 ab	1.6 b	46.4 a	34.1 a	17.5 b	10.5 b
رویشی + زایشی (V + R)	5.8 a	2 a	52.2 a	37.1 a	19.8 a	12.7 a
Type of foliar spraying نوع محلول‌پاشی						
شاهد (Control)	4.2 b	1.2 b	27.5 c	18.5 c	10.1 d	3.1 d
اسید بوریک (Boric acid)	5.7 a	1.7 a	28.7 c	20.5 c	19.4 b	12.4 b
سولفات روی (Zinc sulfate)	5.5 a	2 a	48.9 b	32.2 b	11.8 c	4.7 c
اسید بوریک + سولفات روی (B + Z)	5.8 a	2 a	68.7 a	56.1 a	25.2 a	18.2 a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with at least one similar letter in each column, are not significantly different (p≤0.05) based on Duncan multiple range test.

وجود آب کافی و مساعد بودن شرایط آب و هوایی منطقه سیستان در طول فصل رشد کلزا، سبب سبز شدن یکنواخت و زمستان گذرانی مطلوب گردید. علاوه بر این محلول‌پاشی مناسب در زمان رویشی و زایشی (مطابق با ۹۰ روز پس از کاشت+ ۱۲۰ روز پس از کاشت) به خصوص مقارن با زمان گل‌دهی، مانع از ریزش گل‌ها و عقیم شدن آن‌ها شد و در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه گردید.



شکل ۲- برهمکنش زمان و نوع محلول‌پاشی بر عملکرد دانه

Figure 2- Interaction time and type of spraying on seed yield

عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها عملکرد بیولوژیک تنها تحت تأثیر نوع محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، شاخص برداشت نیز تحت تأثیر زمان محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و نوع ریز مغذی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیشترین بیوماس تولیدی از کاربرد توأم اسید بوریک+ سولفات روی با میانگین ۱۹۶۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد، به‌طوری‌که کاربرد سولفات روی با میانگین ۱۷۳۰/۹ کیلوگرم در هکتار نیز در رتبه بعدی قرار گرفت اما از لحاظ آماری با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند و کمترین مقدار صفت مذکور نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). تأثیر سودمندی محلول‌پاشی روی و بور بر عملکرد بیولوژیک توسط سایرین نیز گزارش شده است (Ziaeyan and Rajaie, 2009). افزایش ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد دانه اصلی‌ترین عامل افزایش عملکرد بیولوژیک بوده است. بر اساس روابط منبع و مخزن، با توجه به رشد نامحدود بودن کلزا با افزایش سن گیاه، حرکت مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های در حال رشد (دانه و خورجین) افزایش می‌یابد. همچنین بعد از پر شدن دانه‌ها و قبل از رسیدگی فیزیولوژی، به علت پیری برگ‌ها، با مکانیزم انتقال مجدد مقدار زیادی نشاسته و قند از برگ‌ها برداشت و به دانه منتقل می‌شود. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که بیوماس تولیدی تحت تأثیر زمان محلول‌پاشی طی دو سال زراعی قرار نگرفت (Khazaie *et al.*, 2011).

همچنین کاربرد بور به طرز بسیار معنی‌داری باعث افزایش سطح برگ، محتوی کلروفیل و شدت فتوسنتز در برگ‌ها و در نتیجه افزایش تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (Nasef *et al.*, 2006). افزایش عملکرد زیستی کلزا در محلول‌پاشی توأم بور و روی گزارش شده است (Azizi *et al.*, 2011).

در بین زمان‌های محلول‌پاشی، بیشترین شاخص برداشت از کاربرد اسید بوریک+ سولفات روی در مراحل رویشی+ زایشی به‌دست آمد که با کاربرد در مرحله زایشی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). نتایج نشان داد با کاربرد اسید بوریک بیشترین شاخص برداشت به‌دست آمد. محلول‌پاشی سولفات روی و تیمار اسید بوریک+ سولفات روی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و در رتبه دوم قرار گرفت (جدول ۴). برهمکنش تیمارها برصفت فوق تأثیر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

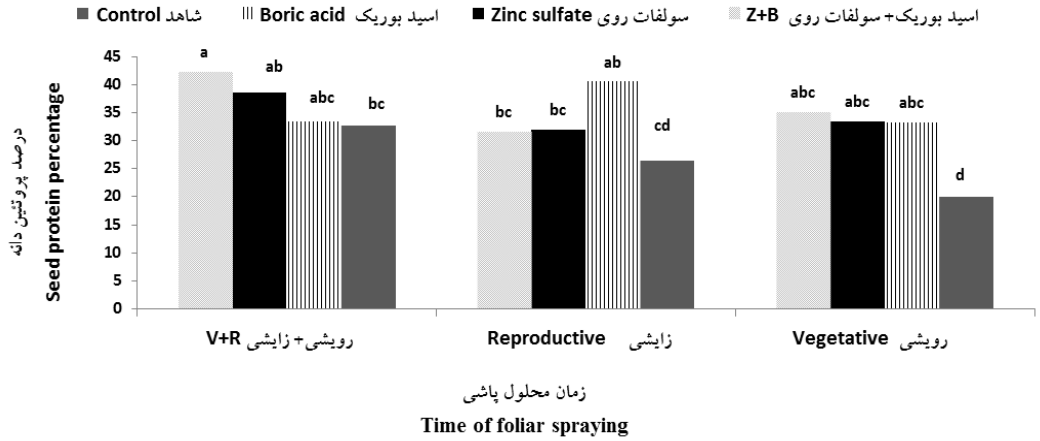
عدد اسپد

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها تأثیر تیمارهای آزمایشی و برهمکنش بین آن‌ها بر عدد اسپد معنی‌دار نبود (جدول ۲). مشابه این نتایج، اثر زمان محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی بر کلیه ویژگی‌های مورد مطالعه کنجد به استثنای شاخص کلروفیل برگ و عملکرد دانه در بوته معنی‌دار شد (Ostad, 2014).

درصد پروتئین دانه

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که تأثیر زمان و نوع محلول‌پاشی به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود. برهکمنش بین تیمارها نیز در سطح احتمال ۵ معنی‌دار شد (جدول ۲). براساس نتایج برهمکنش تیمارها بیشترین درصد پروتئین دانه کلزا از کاربرد توام اسید بوریک+ سولفات روی در مرحله رویشی+ زایشی مشاهده شد. در این آزمایش کمترین درصد پروتئین مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۳). به دلیل تأثیر مستقیم عناصر روی و بور در هر پروسه بیان ژن و سنتز پروتئین، افزایش محتوی پروتئین بذر با کاربرد این عناصر توجیه می‌گردد (Cakmak, 2000).

کمبود روی سبب جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود که باعث صدمات اکسیداتیو به مولکول‌های پروتئین، کلروفیل و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Bybordi and Mamedov, 2010). کاهش در محتوی پروتئین در اثر کمبود روی در گیاه به علت کاهش در میزان RNA گیاه است (Lohry, 2007). در گزارشی کاهش درصد پروتین کلزا با محلول‌پاشی روی در مرحله ساقه‌دهی در مقایسه با گلدهی بیان شده است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (Omidian *et al.*, 2012).



شکل ۳- برهمکنش زمان و نوع محلول‌پاشی بر درصد پروتئین دانه

Figure 3- Interaction time and type of spraying on seed protein percentage

درصد روغن

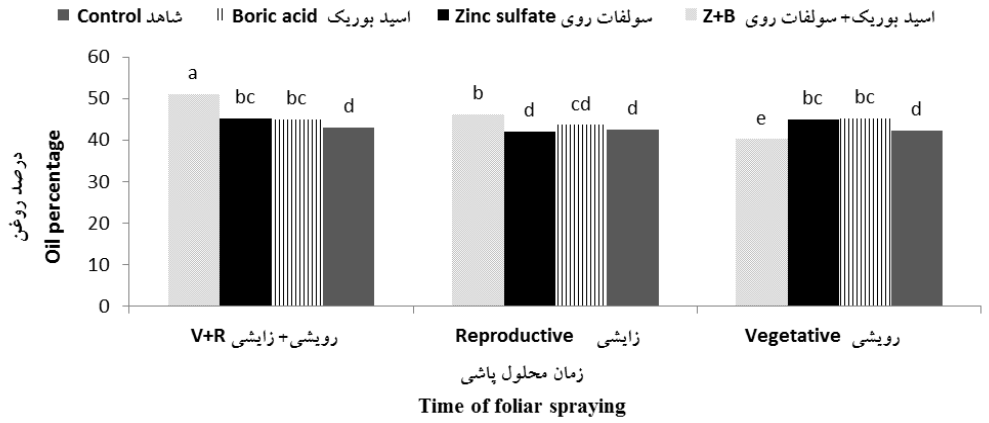
دانه‌های کلزا حاوی درصد زیادی روغن فاقد کلسترول بوده، بنابراین هدف تغذیه با مواد معدنی، افزایش درصد روغن دانه‌ها می‌باشد (Habibi *et al.*, 2016). در این بررسی تأثیر زمان، نوع محلول‌پاشی و برهمکنش بین تیمارها بر درصد روغن دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس نتایج برهمکنش داده‌ها، به‌ترتیب بیشترین (۵۱ درصد) و کمترین (۴۰ درصد) درصد روغن از تیمار محلول‌پاشی اسید بوریک+ سولفات روی در مرحله رویشی+ زایشی (۹۰ روز پس از کاشت+ ۱۲۰ روز پس از کاشت) و رویشی (۹۰ روز پس از کاشت) به‌دست آمد (شکل ۴) که نشانگر تأثیر مثبت عناصر بور و روی بر درصد روغن است.

کاربرد عنصر روی باعث افزایش متابولیسم چربی‌ها می‌شود و از این طریق درصد روغن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثر افزاینده محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر روغن دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گزارش شده است (Kamaraki and Galavi, 2012). کاربرد تیمار بور+ روی+ گوگرد سبب افزایش ۹/۸ درصدی روغن کلزا نسبت به شاهد شد (Rabiee *et al.*, 2013). بیشترین میزان روغن دانه در رقم محلی گلرنگ نیز از محلول‌پاشی سولفات روی در مرحله گلدهی و شاخه‌دهی به‌دست آمد (Moradi Telavat *et al.*, 2015). نتایج مشابهی مبنی بر افزایش درصد روغن دانه کلزا در محلول‌پاشی عنصر روی در گیاه کلزا گزارش شده است (Bybordi and Mamedov, 2010).

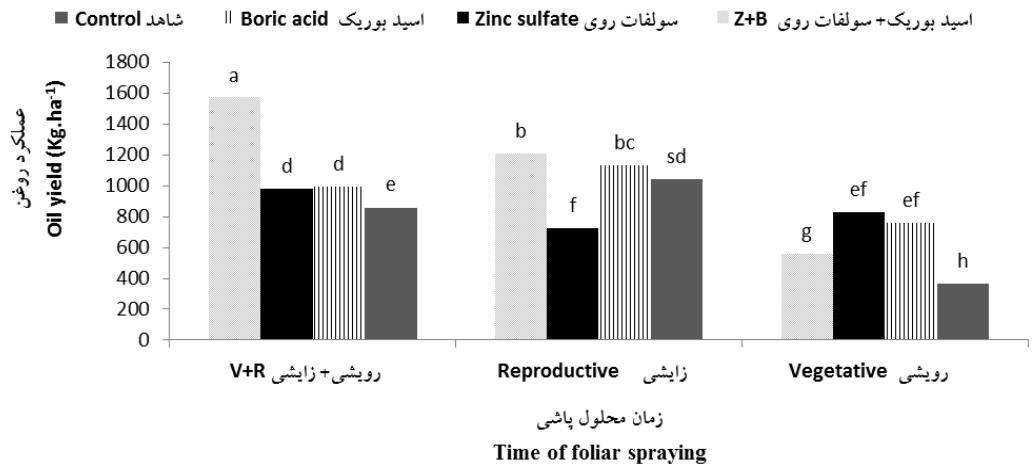
عملکرد روغن

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) عملکرد روغن تحت تأثیر زمان و نوع محلول‌پاشی و برهمکنش بین آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد روغن کلزا با میانگین ۱۵۶۹/۶ کیلوگرم در هکتار از تیمار اسید بوریک+ سولفات روی در زمان رویشی+ زایشی مشاهده شد (شکل ۵). با توجه به نتایج، با مصرف سولفات روی+ اسید بوریک، عملکرد دانه و میزان روغن دانه افزایش یافته و باعث افزایش عملکرد روغن شده است، مطابق این یافته‌ها، اعلام گردیده، بین مصرف عناصر روی و بور با

عملکرد روغن همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری‌که با کاربرد این عناصر از طریق افزایش درصد روغن و عملکرد دانه منجر به افزایش عملکرد روغن می‌شود (Habibi *et al.*, 2016).



شکل ٤- برهمکنش زمان و نوع محلول‌پاشی بر درصد روغن دانه
Figure 4- Interaction time and type of spraying on seed oil percentage



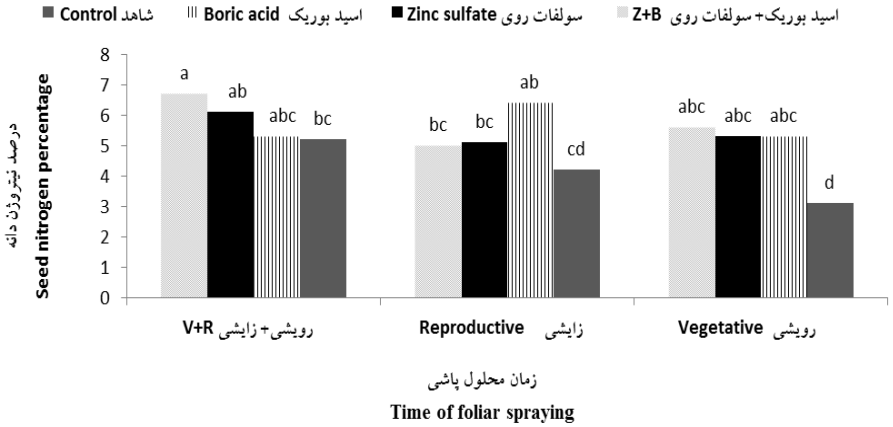
شکل ٥- برهمکنش زمان و نوع محلول‌پاشی بر درصد عملکرد روغن
Figure 5- Interaction time and type of spraying on oil yield

درصد نیتروژن دانه و کاه

درصد نیتروژن دانه و کاه کلزا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر زمان، نوع محلول و برهمکنش بین آن‌ها قرار گرفت. برهمکنش تیمارها برای نیتروژن دانه و کاه به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس نتایج برهمکنش تیمارها، بیشترین درصد نیتروژن دانه با میانگین ۶/۷ درصد از کاربرد اسید بوریک+ سولفات روی در مرحله رویشی+ زایشی به‌دست آمد (شکل ۶). همچنین بیشترین درصد نیتروژن کاه با میانگین ۲/۹ درصد از کاربرد اسید بوریک در مرحله رویشی+ زایشی مشاهده شد (شکل ۷). این بهبود در پارامتر کیفیت با توجه به افزایش سطح روی و بور، ممکن است به نقش آن در افزایش رشد و تجمع ماده خشک منجر شود که سبب افزایش بیشتر جذب مواد مغذی می‌گردد. مطابق این نتایج، گزارش گردید که کاربرد روی به صورت محلول‌پاشی، غلظت نیتروژن دانه و کاه گندم (*Triticum aestivum* L.) را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Seadh *et al.*, 2009).

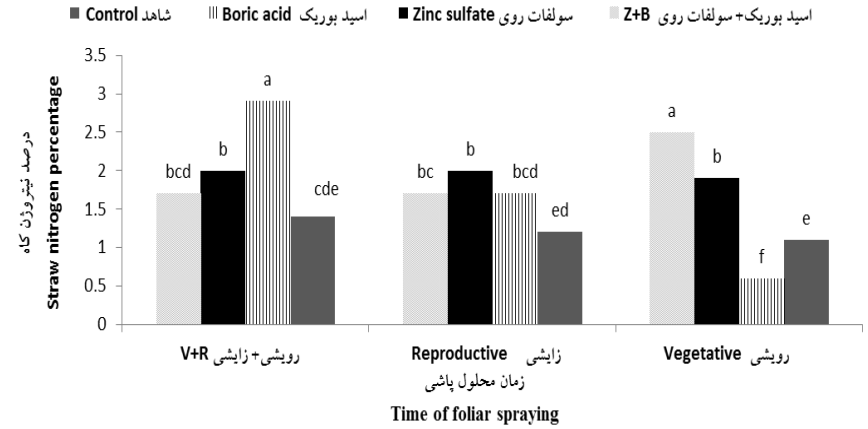
بور بر متابولیسم ترکیبات نیتروژن در گیاه مؤثر بوده و در اثر کمبود آن ترکیبات نیتروژن محلول، مخصوصاً نیترات در گیاه تجمع می‌یابد (Malakouti and Motesharezadeh, 1999). همچنین بور در گلدهی، میوه‌دهی، متابولیسم ازت، انتقال و عمل هورمون‌ها و تقسیم سلولی نقش اساسی دارد. در آزمایشی میزان

کربوهیدرات‌های برگ تحت تأثیر کاربرد اسید بوریک افزایش یافت (Mashayekhi and Atashi, 2012). با محلول‌پاشی اسیدبوریک، غلظت بور و به دنبال آن میزان هیدرات کربن و انرژی بیشتری ایجاد شده و با تأثیر بر سنتز اکسین‌ها افزایش رشد ریشه و اندام رویشی را سبب می‌شود (Nyomora and Brown, 1997). با افزایش کاربرد روی، درصد نیتروژن دانه و کاه کلزا نیز روند افزایشی داشت (Olama *et al.*, 2013).



شکل ٦- برهمکنش زمان و نوع محلول‌پاشی بر درصد نیتروژن دانه

Figure 6- Interaction time and type of spraying on seed nitrogen percentage



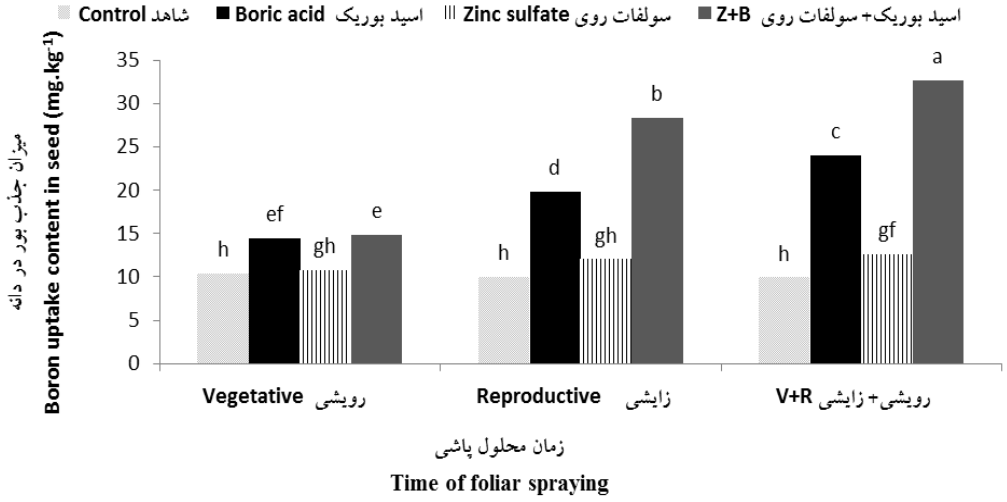
شکل ۷- برهمکنش زمان و نوع محلول‌پاشی بر درصد نیتروژن کاه

Figure 7- Interaction time and type of spraying on straw nitrogen percentage

میزان جذب بور و روی در دانه

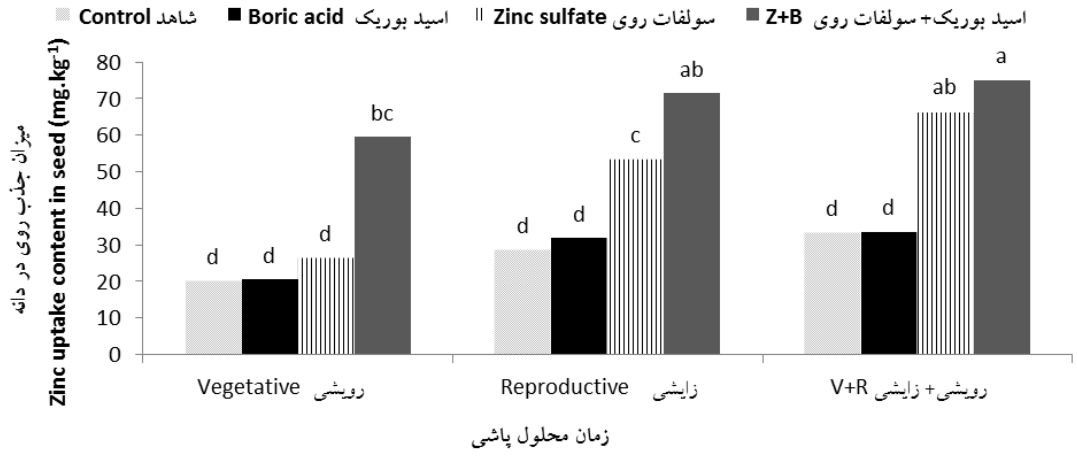
نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد تأثیر محلول‌پاشی بور و روی و زمان آن در سطح احتمال یک درصد بر صفات فوق معنی‌دار بود (جدول ۳). تأثیر برهمکنش تیمارها نیز برای جذب روی در سطح احتمال پنج درصد و برای جذب بور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین میزان جذب بور و روی در دانه به‌ترتیب با میانگین ۳۲/۶ و ۷۵/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم از محلول‌پاشی اسید بوریک+ سولفات روی در تیمار رویشی+ زایشی به‌دست آمد (شکل ۸ و ۹).

نتایج نشان داد محلول‌پاشی عناصر در مرحله رویشی+ زایشی، ۶/۶۹ درصد غلظت بور و ۷۲/۹ درصد غلظت روی را نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) افزایش داد (جدول ۵). احتمالاً متفاوت بودن جذب عناصر در دانه به قابلیت تحرک عناصر در گیاه بستگی دارد (Khiavi *et al.*, 2010). منگل (Mengel, 1980) بیان نمود که عناصر روی، فسفر و منیزیم در بیشتر گیاهان زراعی از قابلیت تحرک خوبی برخوردار هستند و به اندام‌های زایشی گیاه منتقل می‌شوند.



شکل ۸- برهمکنش زمان و نوع محلول‌پاشی بر جذب بور در دانه

Figure 8- Interaction time and type of spraying on boron uptake in seed



شکل ۹- برهمکنش زمان و نوع محلول‌پاشی بر میزان جذب روی در دانه

Figure 9- Interaction time and type of spraying on zinc uptake in seed

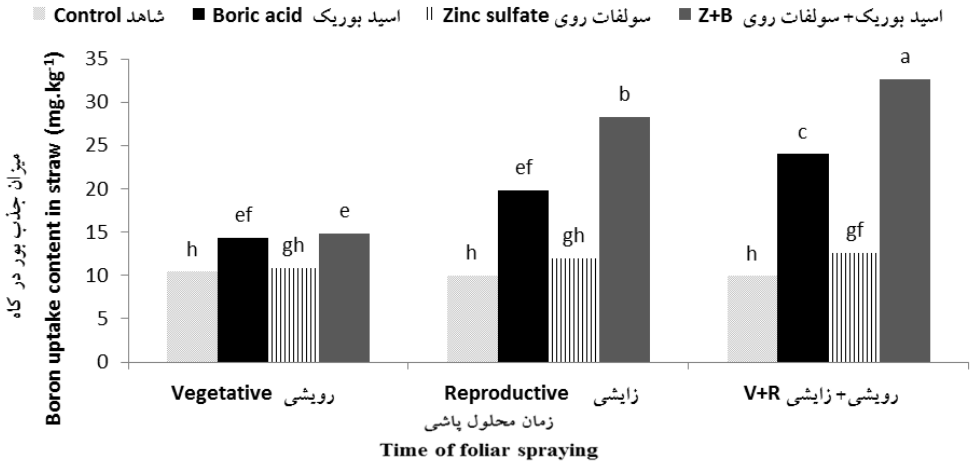
در نتایج مشابهی بیشترین میزان جذب سه عنصر بور، روی و گوگرد در دانه کلزا از تیمار ترکیب سه‌گانه این عناصر گزارش شده و علت این افزایش در تیمار ترکیبی را به اثر متقابل و رابطه هم‌افزایی بین عناصر نسبت داده‌اند (Habibi *et al.*, 2016). همچنین در گزارشی کاربرد روی به صورت محلول‌پاشی، غلظت روی دانه و کاه و کلش و ریشه کلزا را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Olama *et al.*, 2013). کاربرد کود روی موجب افزایش غلظت روی در دانه می‌شود و کاربرد عنصر بور نیز موجب افزایش غلظت این عنصر در دانه می‌شود اما تأثیر آن بر دانه، معمولاً زیاد محسوس نیست (Mohseni *et al.*, 2013).

میزان جذب بور و روی در کاه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) محلول‌پاشی عناصر بور و روی و زمان محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر صفات فوق معنی‌دار بود. تأثیر برهمکنش تیمارها فقط بر میزان جذب بور درسطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

براساس مقایسه میانگین برهمکنش داده‌ها بیشترین میزان جذب بور در کاه از تیمار محلول‌پاشی اسید بوریک+ سولفات روی در زمان رویشی+ زایشی با میانگین ۲۵/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد و کاربرد اسید بوریک+ سولفات روی در تیمار محلول‌پاشی در زمان زایشی در رتبه دوم قرار گرفت (شکل ۱۰). در بین عناصر نیز کاربرد توأم اسید بوریک و سولفات روی با میانگین ۵۶/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم، بیشترین میزان جذب روی در کاه حاصل شد که نسبت به

شاهد ۶۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). حسینی (Hosseini, 2016) گزارش داد بالاترین غلظت بور برگ (۴۳/۵۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) کلزا در بین سطوح محلول‌پاشی از تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۰/۴ درصد اسید بوریک در دو نوبت یک و دو ماه پس از سبز شدن حاصل شده که نسبت به تیمار شاهد ۴۱ درصد افزایش نشان داد.



شکل ۱۰- برهمکنش زمان و نوع محلول‌پاشی بر میزان جذب بور در کاه

Figure 10- Interaction time and type of spraying on boron uptake in straw

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد بیشترین عملکرد دانه (۲۶۱۰ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد روغن (۱۵۶۹/۶کیلوگرم در هکتار) و بیشترین درصد پروتئین دانه کلزا (۴۲/۲ درصد) از تیمار کاربرد اسید بوریک+ سولفات روی در مرحله رویشی+ زایشی حاصل گردید. محلول‌پاشی به میزان ۲ گرم در لیتر اسید بوریک و سولفات روی در دو نوبت ۹۰ و ۱۲۰ روز پس از کاشت سبب افزایش عملکرد دانه، پروتئین، روغن و همچنین افزایش میزان جذب بور و روی در دانه و کاه کلزا می‌گردد و برای مناطق مشابه با منطقه اجرای طرح قابل توصیه است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه زابل که هزینه مالی این طرح پژوهشی (PR-UOZ97-7) را برعهده داشت قدردانی می‌گردد.

References

1. Ahmadi, J., Seyfi, M. M., and Amini. M. 2012. Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesamus indicum* L.) varieties. Electronic Journal of Crop Production (EJCP) 5 (3): 115-130. (in Persian with English abstract).
2. Azizi, K. H., Norouzian, A., Heydari, S., and Yaghubi, M. 2011. The study of effect of zinc and boron foliar application on yield, yield components, seed oil and protein content and growth indices of rapeseed *(Brassica napus* L.*)* in Khorramabad climatic conditions Journal of agronomy science 3 (5): 1-16. (in Persian with English abstract).
3. Baniabbass Shahri, Z., Zamani, G. R., and Sayyari Zahan, and M. H. 2012. Effect of drought stress and zinc sulfate foliar application on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences 4 (2): 165-172. (in Persian with English abstract).
4. Bybordi, A., and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae 2 (1): 94-103.
5. Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist 146: 185-205.
6. Castr, J., and Sotomayor, C. 1997. The influence of boron and zinc sprays bloomtime on almond fruit set. Acta Horticulturae 402-405.
7. Emami, A. 1996. Leaf analysis methods. Technical Bulletin No. 982. Soil and Water Research Institute. Tehran. Iran. (in Persian).
8. Farshid, A. 2008. Effect of zinc and boron on yield and concentration of nitrogen, phosphorous and potassium in

the corn grain. Journal of Sustainable and Agriculture Production Science 5 (2): 134-153. (in Persian with English abstract).
9. Habibi, M., Majidian, M., Shoja, T., and Rabiee, M. 2016. Effects of S, B and Zn, on seed yield, nutrient concentration and seed quality of rapeseed (*Brassica napus* L.) Journal of Oil Plant. Production 2 (2): 1-12. (in Persian with English abstract).
10. Hosseini, S. M. 2016. Effect of Different Levels and Application Methods of Boric Acid on Yield and Protein Content of Common Bean. Iranian Journal of Soil Research 29 (4): 383-510. (in Persian with English abstract).
11. Jamsom, M., Galeshi, S., Pahlavani, M. H., and Zeinali, E. 2009. Evaluation of zinc foliar application on yield components, seed yield and seed quality of tow soybean cultivar in summer cultivation. Journal of Plant Production 16 (1): 17-28.
12. Kamaraki, H., and Galavi, M. 2012. Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on qualitative traits of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Quarterly Agroecology 4 (3): 201-206. (in Persian with English abstract).
13. Khalili Mahale, J., and Rashidi, M. 2008. Effect of Foliar Application of Micro Nutrients on Quanititative and Qualitative Characteristics of 704 Silage Corn in Khoy. Seed and Plant Improvement Journal 24 (2): 281-293. (in Persian with English abstract).
14. Khazaie, H. R., Eyshi Rezaie, E., and Bannayan, M. 2011. Application times and concentration of humic acid impact on aboveground biomass and oil production of hyssop (*Hyssopus officinalis*). Journal of Medicinal Plants Research 5 (20): 5148-5154.
15. Khiavi, M., Khorshidi, M. B., Ismaeili, M., Azarabadi, S., Faramarzi, A., and Emaratpardaz, J. 2010. Effect of Foliar Application of Boron and Zinc on Yield and Some Qualitative Characteristics of Two Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars. Water and Soil Science 20 (3): 31-45. (in Persian with English abstract).
16. Lohry, R. 2007. Micronutrients: functions, sources and application methods. Indiana CCA Conf. Proceedings.
17. Malakouti, M., and Motesharezadeh, B. 1999. The trend of consumption of fertilizers in Iran (goals and policies), Technical Bulletin No. 64, Train and equip the human resources department, Ministry of Agricultural Jehad. (in Persian).
18. Malhi, S. S., Raza, M., Schoenau, J. J., Mermut, A. R., Kutcher, R., Johnston, A. M., and Gill, K. S. 2003. Feasibility of boron fertilization for yield, seed quality and B uptake of canola in northeastern Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science 83 (1): 99-108.
19. Mashayekhi, K., and Atashi, S. 2012. Effect of foliar application of boron and sucrose on biochemical parameters of "Camarosa" strawberry. Journal of Plant Production 19 (4): 157-171. (in Persian).
20. Mengel, D. B. 1980. Role of micronutrients in efficient crop production. Indian Cooperative Extension Service. New Delhi, India.
21. Moezardalan, M., and Firuzabadi, G. H. 1997. Fruit trees nutrition. Jahad publication institute dependent on Univ. Jahad. 259p. (in Persian).
22. Mohseni, M., Haddadi M. H., and Valiolahpor, R. 2013. Investigating of boron and zinc compound application on corn seed set in Mazandaran environment, Iran. New Finding in Agriculture 7 (2): 177-185. (in Persian with English abstract).
23. Mohseni, S. H., Ghanbari, A., Mansuji, A. M., Ramzanpor, M. R., and Mohseni, M. 2004. Investigating effect of micronutrient on quality and quantity of 647 and 704 seed corn. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, university of Zabol, Iran. (in Persian with English abstract).
24. Moosazadeh, M., Baradaran, R., and Seghatol Eslami, M. J. 2010. Response of Winter Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Canopy, Leaf Chlorophylland Yield to Nitrogen Fertilizer Application Methods. Iranian Journal of Field Crops Research 8 (1): 42-48. (in Persian with English abstract).
25. Moradi Telavat, M. R., Roshan, F., and Siadat, S. A. 2015. Effect of foliar application of zinc sulfate on minerals contenet, seed and oil yields of two safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Crop Science 17 (2): 153-164. (in Persian with English abstract).
26. 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 (*Carthamustinctorius* L.) grown under water deficit stress. Indian Crops Production 30 (1): 82-92.
27. Nasef, M. A., Badran, N. M., and Abd El-Hamide, A. F. 2006. Response of peanut to foliar spray with boron and/or rhizobium inoculation. Journal of Applied Sciences Research 2 (12): 1330-1337.
28. Nyomora, A. M. S., and Brown, P. H. 1997. Fall foliar applied Boron increases tissue Boron concentration and nut set of Almond. Journal of the American Society for Horticultural Science 22 (3): 405-410.
29. Olama, V., Ronaghi, A. M., Karimian, N. A., Yasrebi, J., Hamidi, R., and Tavajjoh, M. 2013. Comparison of yield, yield components and seed quality (oil and protein content) of two rapeseed cultivars as affected by different levels of soil-applied nitrogen and zinc. Journal of Science and Technology Greenhouse Culture 4 (16): 83-98. (in Persian).

30. Omidian, A., Siadat, S. A., Naseri, R., and Moradi, M. 2012. Effect of foliar application of zinc sulphate on grain yield, oil and protein content in four rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Science 14 (1): 16-28. (in Persian with English abstract).
31. Ostad, E. 2014. Effect of foliar application time of zinc sulfate and boric acid on yield, yield components and seed oil content of sesame. Msc thesis in agronomy, Islamic Azad University, Savzevar branch, Iran. (in Persian with English abstract).
32. Pimentel, D., and Dazhong, W. 1990. Technological changes in energy use in U.S. agricultural production. Pp. 147-163.
33. Pimentel, D., and Patzek, T. W. 2005. Ethanol production using corn, switch-grass, and wood: Biodiesel production using soybean and sunflower. Natural Resources Journal 14: 65-76.
34. Qranjik, A., and Galeshi, S. 2001. Effect of nitrogen spray on yield and yield component of wheat. Agriculture and Natural Resource Journal 8 (2): 87-98. (in Persian with English abstract).
35. Rabiee, M., Kavosi, M., ShokriVahed, H., and Tousi Kehal, P. 2013. Effect of Concentration and Time of Foliar Spraying of Nitrogen Fertilizer on Grain Yield and Important Traits of Rapeseed (*Brassica napus* L.) cv. Hyola 401. Journal of Science and Technology, Water and Soil Science 17 (63): 43-53. (in Persian with English abstract).
36. Salardini, A. 2003. Soil fertility. University of Tehran press. Tehran. Iran. (in Persian).
37. Sarmadnia, G. H., Kouchaki, A. 1993. Crops Physiology. Mashhad Jihad Daneshgahi Publ. 458p. (in Persian).
38. Seadh, S. E., El-Abady, M. I., El-Ghamry A. M., and Farouk, S. 2009. Influence of micronutrients foliar application and nitrogen fertilization on wheat yield and quality of grain and seed. Journal Biological Sciences 9 (8): 851-858.
39. Shariati, S., and Ghazi Shahni Zadeh, P. 2001. Rapeseed. Ministry of Jehad-e- Keshavarzi Publ. Iran, 81p. (in Persian).
40. Wolf, B. 1974. Improvement in the azomethine-H method for the determination of boron. Communication in Soil Science and Plant Anal. 5: 39-44.
41. Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gulekin, I., Ka ranlink, S., Bagci, S. A., and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. Journal of Plant Nutrition 20: 461-471.
42. Ziaeyan, A. H., and Rajaie, M. 2009. Combined effect of zinc and boron on yield and nutrients accumulation in corn. International Journal of Plant Production 3 (3): 35-44.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 405-419

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۱۹-۴۰۵

Evaluation of Rapeseed Oil Yield under Different Spraying Time of Boric acid and Zinc sulfate in Sistan Region

M. Forouzandeh[1*]

Received: 07-02-2017
Accepted: 13-03-2018

Introduction: Rapeseed oil is the third source of vegetable oil in the world. It is considered as safe oil nutrition, due to its lowest and moderate content of saturated and unsaturated fatty acids, respectively. According to the latest statistical reports, its farming area are extending every year (has extended from 60 to 200 thousand hectares, in last year). Using of fertilizers in appropriate time and amount plays key role in production of high quality and quantity agricultural products. Therefore, in this research yield components and seed quality parameters have studied for revealing the best time of boric acid and zinc sulfate fertilization.

Materials and Methods: All of analysis steps were conducted in the Agricultural Research Institute, University of Zabol, Iran (UOZ). The boric acid and zinc sulfate spray effects on vegetative and reproductive stages of rapeseed were studied in a complete randomized block in factorial arrangement with three replications. Treatments were included foliar spraying in four levels: control (no spraying), boric acid (2 g l^{-1}), zinc sulfate (2 g l^{-1}) and both boric acid + zinc sulfate (2+2 g l^{-1}), and also time of foliar spraying were at 90 days after planting (vegetative stage), 120 days after planting (reproductive stage) and both vegetative+ reproductive stages. They were evaluated characteristics such as plant height, thousand–seed weight, seed yield, biological yield, harvest index, SPAD number, protein percentage, oil yield and percentage, seed and straw nitrogen percentage, boron uptake content in seed and straw, and finally zinc uptake content in seed and straw. Nitrogen, protein, Boron and zinc amounts were determined by keldal method, multiplying the percentage of nitrogen in 6.25, Azomtin-H method using spectrophotometer at 420 nm, and atomic absorption, respectively. Also, SPAD number value and oil content were measured by chlorophyll meter SPAD 502 Plus model and Soxhlet extractor, respectively. Statistical analyses were performed using SAS software and the means comparison was done using Duncan test at the 5% probability level.

Results and Discussion: Time of foliar spraying of vegetative+ reproductive showed significant different with other treatments for the most of study characteristics. The time of foliar spraying effect was significant on all of characteristics except thousand seed weight and SPAD number. Also type of foliar spraying showed significant effect on all of characteristics except SPAD number. It was observed Maximum seed yield (2610 kg ha^{-1}), oil yield (1569.6 kg ha^{-1}) and seed protein percentage (42.2%), respectively, in boric acid+ zinc sulfate and vegetative+ reproductive stage that increased 66.8%, 76.7% and 52.8% in compared to control. The maximum magnitude of seed and straw nitrogen uptake content with rate 6.7% and 2.9% were obtained from boric acid+ zinc sulfate in vegetative+ reproductive stage. Spraying of boron and zinc increased concentration of these nutrients with rate 36.3% and 39.2% in compared with control respectively.

Conclusions: The results of this study indicated, foliar spraying of both boric acid+ zinc sulfate (2+2 g l^{-1}) in 90 days after planting (vegetative stage) and 120 days after planting (reproductive stage) stages in order to produce Rapeseed in this region and similar climate conditions are recommended.

Keywords: Oil percentage, Seed and straw nitrogen, Seed protein, Spraying, Zinc sulfate

1- Instructor, Agricultural Research Institute, University of Zabol, Zabol, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.forozandeh@uoz.ac.ir)

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۳۴-۴۲۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 421-434

اثر مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی حفاظتی و گیاه پوششی خلر (*Lathyrus Sativus*) بر عملکرد کدو (*Cucurbita pepo* L.) و برخی شاخص‌های کیفیت خاک

اسماعیل اسفندیاری اخلاص[۱]- محسن نائل[۲*]- جواد حمزه ئی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳

چکیده

در سال‌های اخیر به‌کارگیری خاک‌ورزی‌های حفاظتی، نهاده‌های طبیعی و درون‌مزرعه‌ای جهت تولید پایدار نظام‌های کشاورزی و بهبود سلامت خاک و گیاه مورد توجه روزافزون محققان قرار گرفته است. به منظور بررسی اثر نظام‌های مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی خلر (*Lathyrus Sativus*) بر عملکرد کدو تخمه کاغذی (*Cucurbita pepo* L.)، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و تخلخل خاک آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا گردید. تیمارها تلفیق سه نوع مدیریت خاک‌ورزی، شامل NT: بدون خاک‌ورزی (کاشت مستقیم بذر در زمین زراعی)، MT: خاک‌ورزی حداقل (شخم با چیزل + دیسک) و CT: خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان‌دار + دیسک) در دو نوع مدیریت گیاه پوششی شامل C1: با گیاه پوششی خلر و C0: بدون گیاه پوششی که برای چهار سال متوالی اعمال شده‌اند، بودند. نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد دانه، تعداد دانه در میوه، قطر میوه، عملکرد میوه، وزن هزاردانه، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی، تخلخل و جرم مخصوص ظاهری خاک تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی قرار گرفتند؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفات در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی خلر (NT-C1 و MT-C1) و کمترین مقدار در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی (CT-C0) مشاهده شد. بیشترین عملکرد دانه کدو (۱۴۲ گرم بر متر مربع) مربوط به تیمار MT-C1 و بیشترین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی (۳۴۱۳ $\mu g\ \rho NP\ g^{-1}\ h^{-1}$) در تیمار NT-C1 مشاهده شد. همچنین کمترین عملکرد دانه (۱۱۵ گرم در متر مربع) و کمترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی (۱۸۶۱ $\mu g\ \rho NP\ g^{-1}\ h^{-1}$) در تیمار CT-C0 به‌دست آمد. در مجموع، تلفیق گیاه پوششی خلر با خاک‌ورزی حفاظتی (بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل)، مناسب‌ترین مدیریت برای دستیابی به عملکرد بیشتر کدو تخمه کاغذی و همچنین بهبود فعالیت آنزیم فسفاتاز و تخلخل خاک در این منطقه شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم فسفاتاز قلیایی، تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، شخم حفاظتی، عملکرد دانه

مقدمه

شدت بحران‌های بوم‌شناختی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی پیشرفته در دهه‌های اخیر، باعث افزایش توجه به کشاورزی پایدار به‌عنوان راهی برای حفظ منابع طبیعی تجدیدناپذیر مانند خاک شده است. امروزه یکی از عواملی که امنیت غذایی مردم را به مخاطره می‌اندازد کاهش سریع حاصلخیزی خاک است. در سال‌های اخیر، محققان تلاش‌های زیادی جهت بررسی عوامل مؤثر بر کاهش حاصلخیزی خاک و میزان تولید انجام داده‌اند (Samadani and Mmontazeri, 2009). تخمین‌ها نشان می‌دهد که تقریباً ۴۰ درصد از مزارع دنیا حاصلخیزی خود را از دست داده‌اند که این امر در تولید ۱۶ درصد از مزارع اثر معنی‌دار داشته است. علت این تنزل بسیار پیچیده است و ممکن است شامل، عملیات کشاورزی که باعث نابودی خاک می‌شود، کاشت پیوسته یک گیاه زراعی در مزارع و کود ناکافی و یا عدم استفاده از کودهای آلی باشد (Samadani and Mmontazeri, 2009). از جمله عملیات کشاورزی که تأثیر مثبت زیادی بر عملکرد محصول، حاصلخیزی و کیفیت خاک دارد، کاربرد مدیریت‌هایی است که با تولید کود سبز و حفظ مانده‌های گیاهی در

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
(*- نویسنده مسئول: (Email: moh_nael@yahoo.com
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.63807

سطح خاک از اختلاط بیش از حد با خاک جلوگیری می‌کند. از این مدیریت‌ها می‌توان به خاک‌ورزی حفاظتی و استفاده از گیاهان پوششی اشاره کرد. خاک‌ورزی حفاظتی مانند بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل، به آن دسته از عملیات خاک‌ورزی گفته می‌شود که طی آن کمترین آسیب به منابع خاک و آب وارد گردد و شامل روش‌ها و تکنیک‌هایی برای کاشت محصول روی مانده‌ها و کلش به‌جامانده از محصول قبلی می‌باشد. در روش خاک‌ورزی حداقل حدود ۳۰ درصد بقایا و در بدون خاک‌ورزی تمام بقایای زراعت قبل به‌صورت دست نخورده در سطح خاک باقی می‌ماند (Uhart and Andrade, 1995). به طورکلی خاک‌ورزی حفاظتی، مزیت‌هایی مانند: کاهش مصرف انرژی، کاهش فرسایش آبی و بادی، نیاز به نیروی کار کمتر، نیاز به سرمایه گذاری کمتر در ماشین‌آلات، افزایش ذخیره رطوبتی، مواد آلی خاک، فراهم‌سازی امکان کشت دوم و همچنین افزایش حاصلخیزی و عملکرد محصول را به دنبال دارند (Omidi, 2006).

ماده آلی کلید حاصلخیزی و باروری خاک است. از راهکارهای دیگر افزایش حاصلخیزی خاک استفاده از گیاهان پوششی و یا کود سبز می‌باشد. گیاهان پوششی به گونه‌هایی اطلاق می‌شود که از آن‌ها برای افزایش مواد آلی خاک، حفظ و یا افزایش قابلیت دسترسی سایر گیاهان به عناصر غذایی، بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، جلوگیری از فرسایش خاک و در مواردی برای کاهش مشکلات ناشی از عوامل بیماری خاک‌زاد و کنترل علف‌های هرز استفاده می‌شود (Bond *et al.*, 2003; Liebman and Davis, 2000). استفاده از گیاهان پوششی برای بهبود حاصلخیزی خاک به‌عنوان عامل مهمی در کشاورزی پایدار از دیر زمان مورد توجه بوده است. تثبیت نیتروژن و یا جذب بقایای نیتروژن مصرف شده در گیاهان زراعی قبلی، مزیت کلیدی کشت گیاهان پوششی می‌باشد، که می‌تواند قسمت اعظم و یا حتی تمام نیاز نیتروژن برخی از نظام‌های زراعی را برآورد سازد (Suivan and Diver, 2001). همچنین مانده‌های گیاهان پوششی سبب افزایش ماده آلی و محتوای نیتروژن خاک می‌شوند که می‌تواند موجب افزایش فعالیت آنزیمی و زیستی در خاک و به تبع آن افزایش حاصلخیزی خاک شود (Sainju and Singh, 2001). خلر (*lathyrus sativus*) از گیاهان علوفه‌ای یک‌ساله و از خانواده لگوم‌ها است که با توجه به کوتاه بودن طول دوره رشد و نمو و امکان کشت آن در زمان‌های مختلف، می‌توان آن را به‌عنوان کشت دوم (کشت تابستانه) و تولید علوفه و یا کود سبز مورد استفاده قرارداد. لگوم‌ها به دلیل داشتن توانایی تثبیت نیتروژن هوا (Hooker *et al*., 2008) و همچنین فراهم کردن شرایط برای فعالیت ریزجانداران مفید خاک‌زی (Steenwerth and Belina, 2008; Hooker *et al*., 2008) به‌طور گسترده‌ای در سیستم‌های زراعی به‌عنوان گیاهان پوششی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Isik *et al*., 2009). بسیاری از محققان (Bergkvist *et al*., 2011; Garand *et al*., 2001) کشت گیاهان پوششی لگوم را به‌طور میانگین معادل اضافه کردن صفر تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن معدنی به خاک در نظر می‌گیرند.

مطالعات مختلفی اثر خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر عملکرد گیاهان مختلف را مورد بررسی قرار داده است: بررسی کمیت و کیفیت تولید کدو پوست کاغذی تحت تأثیر کشت گیاهان پوششی زمستانه خلر و شبدر ایرانی (*Trifolium resopinatum*) و کاربرد کودهای آلی نشان داده است، استفاده از کودهای آلی و گیاه پوششی خلر ضمن بهبود بخشیدن به وضعیت حاصلخیزی خاک باعث تولید عملکرد مطلوب برای کدو پوست کاغذی شد (Jahan *et al*., 2013). محققان دیگری در بررسی اثر گیاه پوششی مختلف و تناوب بر عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosumn* L.) و جمعیت میکروبی خاک گزارش کردند که گیاه پوششی همراه با تناوب باعث بهبود جمعیت میکروبی خاک و افزایش عملکرد سیب‌زمینی می‌شود (Larkin *et al*., 2010). همچنین در مطالعه‌ای بیشترین ارتفاع بوته جو (*Hordeum vulgare* L.) در شخم حداقل و کمترین ارتفاع بوته جو در نظام بدون شخم مشاهده شد و بیشترین عملکرد دانه جو از نظام بدون شخم به‌دست آمد (Samara and Ahmad, 2007). در مطالعه‌ای اثر ۶ ساله‌ی روش‌های خاک‌ورزی مختلف بر عملکرد گندم نشان داد که میانگین عملکرد دانه در شخم حداقل ۸ درصد بیشتر از شخم رایج (سطح احتمال ۵٪) بود؛ همچنین تیمار شخم حداقل بالاترین عملکرد را داشت (Wang *et al*., 2006).

از شاخص‌های کیفیت خاک که تحت تأثیر نوع مدیریت قرار گرفته و در کوتاه مدت پاسخ‌دهنده است می‌توان به فعالیت آنزیم‌های خاک مانند آنزیم فسفاتاز قلیای، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک اشاره کرد. فسفاتازها از آنزیم‌های کلیدی در چرخه فسفر خاک و شاخص خوبی برای توان معدنی شدن فسفر آلی و فعالیت بیولوژیک خاک‌ها هستند (Dick and Tabatabai, 1993). آلکالین فسفاتازها برون سلولی بوده و منشأ تولید آن‌ها ریزجانداران و فون خاک هستند (Safari Sinegani, 2014). آنزیم فسفاتاز قلیایی (ارتو فسفریک منو استر فسفو هیدرولاز، EC3.1.3.1) واکنش هیدرولیز استرهای فسفات آلی و انیدریدهای اسید فسفریک را به ارتوفسفات‌ها کاتالیز می‌کند و در چرخه فسفر نقش مهمی در دگرگونی فسفر آلی به کانی دارد (Safari Sinegani, 2014).

اگرچه در بررسی اثر مجزای خاک‌ورزی و گیاهان پوششی بر عملکرد گیاهان و کیفیت خاک مطالعات متعددی صورت گرفته است اما تا کنون اثر تلفیقی گیاه پوششی خلر با خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد کدو تخمه کاغذی و برخی جنبه‌های کیفیت خاک مانند فعالیت آنزیم فسفاتاز در منطقه نیمه خشک همدان بررسی نشده است. این مطالعه با هدف بررسی تلفیق گیاه پوششی خلر با خاک‌ورزی حفاظتی (خاک‌ورزی حداقل و بدون خاک‌ورزی) در مقایسه با روش مرسوم (خاک‌ورزی برگردان‌دار، بدون استفاده از گیاه

پوششی) بر عملکرد و اجزای عملکرد کدوی تخمه کاغذی و برخی شاخص‌های کیفیت خاک انجام شد تا بهترین مدیریت در راستای پایداری این بوم نظام‌های کشاورزی، جهت افزایش عملکرد و بهبود کیفیت خاک در منطقه دستجرد همدان شناسایی گردد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا (در ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی، با ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا) واقع در روستای دستجرد در فاصله ۳۷ کیلومتری از شهر همدان انجام گرفت. میزان کل بارندگی در طول فصل زراعی ۹۳-۹۲ حدود ۳۳۰ میلی‌متر بود. (Iran Weather.ir, 2014). منطقه مطالعاتی بر اساس طبقه‌بندی کوپن-گایگر دارای اقلیم نیمه خشک است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of soil on experimental site

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC $dS\ m^{-1}$	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC $Cmolc\ kg^{-1}$	پتاسیم K $mg\ kg^{-1}$	فسفر قابل دسترس Available p $mg\ kg^{-1}$	درصد نیتروژن % N	درصد رس % Clay	درصد سیلت % Silt	درصد شن % Sand	بافت خاک Soil texture
7.45	0.41	15	350	13	0.3	27	30	43	Clay loam

آماده‌سازی زمین و کشت گیاه

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. زمین مورد مطالعه به مدت چهار سال متوالی (۱۳۸۹-۱۳۹۳) از نظر خاک‌ورزی و گیاه پوششی خلر به شیوه‌های مختلف مدیریت شد. تیمارها شامل: شامل ترکیب فاکتوریل سه سطح مدیریت خاک‌ورزی شامل بدون خاک‌ورزی (NT)، خاک‌ورزی مرسوم (CT) و خاک‌ورزی کمینه (MT) به همراه دو سطح گیاه پوششی خلر (C1) و بدون گیاه پوششی (C0) بودند. لازم به ذکر است تیمار CT-C0 روش مدیریتی مرسوم منطقه بوده و به‌عنوان شاهد برای مقایسه‌ی اثرات تیمارها پس از چهار سال اعمال مدیریت‌های مختلف در نظر گرفته شد. در سه سال اول آزمایش، ذرت به‌عنوان گیاه اصلی کشت شده و پس از پایان کشت، مانده‌های آن در سطح خاک رها شده بود. بذر خلر در اسفند هر سال به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت دستی، یکسان و با یک دیسک سطحی (چهار سانتی متر عمق) برای تیمارهای دارای گیاه پوششی کشت می‌شد. تأمین نیاز آبی آن با بارندگی بود و در صورت عدم بارندگی یا عدم تأمین نیاز آبی گیاه با بارندگی از آب چاه برای آبیاری آن استفاده می‌شد. معمولاً به این صورت بود که تا اواسط اردیبهشت نیاز آبی آن با بارندگی تأمین می‌شد و دو یا سه دوره نیز در صورت عدم بارندگی از آب چاه برای آبیاری آن استفاده می‌شد. نهایتاً در اواخر اردیبهشت و دو هفته قبل از کاشت گیاه اصلی زمانی که حدوداً ۳۰ درصد گیاه به گل رفته بود با یک دیسک سطحی کف‌بر شده و در سطح کرت‌ها رها شد. از آن‌جایی‌که گیاه پوششی مانع رشد علف‌های هرز شده و با توجه به اینکه کشاورزان منطقه با انجام یک بار خاک‌ورزی در پاییز و یک بار در اول بهار رشد علف‌های هرز را کنترل می‌کنند و یا علف‌های هرز روییده شده را با دام چرا می‌کنند، برای حفظ مدیریت مرسوم و اینکه تفاوت بین تیمارها ملموس‌تر باشد در کرت‌هایی که بدون گیاه پوششی بودند علف‌های هرزی که رشد کرده بودند از مزرعه خارج شدند. پس از گذشت یک هفته و با خشک شدن نسبی بقایای گیاه پوششی، تیمارهای مختلف خاک‌ورزی به شرح زیر پیاده شد. لازم به ذکر است خشک شدن بقایای گیاه پوششی حرکت ادوات خاک‌ورزی و همچنین کاشت بذر را تسهیل می‌نماید. اندازه زیست‌توده برگردانده شده به خاک در تیمارهای دارای گیاه پوششی حدود ۳۰۰ گرم بر متر مربع بود.

در هر مرحله از عملیات زراعی هر وسیله تنها یک بار وارد قطعه مورد نظر شده و کار را انجام می‌داد. برای اجرای خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان + دیسک استفاده شد. این نوع گاوآهن ۹۰ تا ۹۵ درصد بقایای گیاهی را در هر سری عملیات دفن می‌کند و تنها ۵ تا ۱۰ درصد از بقایا و خاک سطحی زیر و رو نمی‌شود. برای انجام خاک‌ورزی کمینه از گاوآهن چیزل که شمع کوب (پیلر) نیز به آن وصل بود، استفاده شد. این گاوآهن برخلاف گاوآهن برگردان‌دار و بشقابی خاک را برنمی‌گرداند، بلکه همانند یک ابزار برنده در خاک نفوذ نموده و فقط آن را شکاف می‌دهد. در کرت‌های بدون خاک‌ورزی هیچ‌گونه عملیاتی انجام نشد و کلیه بقایا در سطح خاک به‌صورت پوشش باقی ماندند. در نهایت در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ بذرهای کدو تخمه کاغذی با دست و به‌صورت ردیفی در خاک کاشته شد. بذرهای کدو (*Cucurbita pepo*. var. *Styriaca*) با خلوص ۱۰۰٪ و درصد جوانه‌زنی ۹۸٪ از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه

شدند. در هر کرت آزمایشی بذرها با فاصله بین ردیف ۱۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۲/۲ بوته در متر مربع (Jahan *et al*., 2013) کاشته شدند. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت بذر به‌صورت سیستم تحت فشار و بارانی انجام و هر شش روز یک بار تا پایان فصل کاشت صورت گرفت. بعد از سبز شدن (در مرحلهٔ چهار برگی) نسبت به تنک و واکاری گیاهان سبز شده اقدام شد. کود نیتروژن (کود اوره با ۴۶٪ نیتروژن) بر اساس آزمون خاک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و طی دو مرحله (مرحله اول بعد از دو برگی شدن گیاهان و مرحله دوم ۵۰ روز پس از کاشت و در اواسط مرداد ماه) و به‌صورت یکسان برای تمامی تیمارها اضافه شد. عملیات وجین دستی نیز به‌طور یکسان در تمامی تیمارها و در سه مرحله به‌ترتیب ۱۰، ۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت صورت گرفت. در پایان فصل رشد بعد از رسیدن میوه‌ها و زرد شدن آن‌ها (اواخر شهریور)، نمونه‌برداری از گیاه با حذف اثر حاشیه‌ای و به‌طور تصادفی با پلات‌های یک متر مربعی با سه تکرار انجام شد. صفات تعداد دانه در میوه، وزن هزار دانه، قطر میوه، وزن میوه، تعداد میوه در بوته و عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید.

نمونه‌برداری از خاک در پایان سال چهارم زراعی و از عمق ۰ – ۱۵ سانتی‌متری انجام شد. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک از نمونه‌های خاک دست‌نخورده که توسط سیلندرهای استوانه‌ای بعد از پایان کشت گردآوری شده بود، استفاده شد (Blak and Hartge, 1986). میزان تخلخل با توجه به معادله ۱ و از روی جرم مخصوص حقیقی و ظاهری به‌دست آمد.

(معادله ۱) تخلخل =1-(Db/Dp) * 100

Db= جرم مخصوص ظاهری Dp= جرم مخصوص حقیقی

فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با استفاده از پارانیتروفنل فسفات و دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۰۰ نانومتر برای نمونه خاک‌هایی که با سه تکرار از هر تیمار برداشته شده بود اندازه‌گیری شد (Tabatabai and Bremner, 1969). هر تکرار نمونه خاک از ترکیب دو خاک کنار بوته و بین بوته به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از طریق نرم‌افزار آماری SAS ver 9.4 و همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها داده‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک

جرم مخصوص ظاهری و تخلخل از پارمترهای فیزیکی کیفیت خاک هستند که به شیوه‌های مدیریتی مختلف پاسخ می‌دهند. با توجه به جدول تجزیه واریانس هر دو شاخص به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر مدیریت‌های خاک‌ورزی، گیاه پوششی و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی قرار گرفتند (جدول ۲). اعمال چهار ساله مدیریت‌های گوناگون نشان داد تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی (بی خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کمینه) با گیاه پوششی خلر کمترین جرم مخصوص ظاهری (با میانگین $g.cm^{-3}$ ۱/۱) و بیشترین اندازه تخلخل (۵۳/۷ درصد) را نسبت به تیمارهای دیگر در پی داشت. در مقابل، CT-C0 بیشترین جرم خصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$ ۱/۴۲) و کمترین اندازه تخلخل (۴۰/۸ درصد) را نشان داد که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار MT-C0 نداشت. بین تیمارهای NT-C0 و MT-C0 نیز تفاوت معنی‌داری برای این دو ویژگی مشاهده نشد (شکل ۱).

با توجه به معادله ۱ و همبستگی بین تخلخل و جرم مخصوص ظاهری (جدول ۳) قابل استنباط است که این دو ویژگی رابطه عکس با همدیگر دارند. افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش تخلخل احتمالاً به دلیل متراکم شدن و تجزیه سریع‌تر مواد آلی خاک، وابسته به عملیات کشت و کار نظیر خاک‌ورزی و عدم ورود بقایای آلی به خاک می‌باشد. احتمالاً بیشترین تأثیر بر این شاخص‌ها را افزایش مواد آلی وابسته به بقایای گیاه پوششی خلر و کشت اصلی داشته است زیرا در تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی، جرم مخصوص ظاهری به‌طور معنی‌داری از خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی کمتر بود؛ همچنین در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، کرت‌هایی که فاقد گیاه پوششی بودند متراکم‌تر شده و جرم مخصوص ظاهری خاک در آن‌ها افزایش یافت و همین روند به گونه عکس برای تخلخل در این تیمارها دیده شد (شکل ۱). برگرداندن بقایای گیاهی به خاک به مرور زمان باعث افزایش مواد آلی خاک و بهبود اندازه خاکدانه‌ها شده و به تبع آن سبب افزایش تخلخل و خلل و فرج خاک می‌شود که این موضوع منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌گردد (Esfandiary Ekhlas, 2016). خاک‌ورزی‌های حفاظتی نیز احتمالاً از طریق تأثیر بر نگهداشت مواد آلی در خاک و همچنین جلوگیری از خرد شدن خاکدانه‌های بزرگ بر کاهش جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک تأثیر به‌سزایی داشته‌اند. نتایج این پژوهش در خصوص تأثیر تلفیق گیاه پوششی و خاک‌ورزی بر جرم مخصوص ظاهری و تخلخل با گزارش‌های Mitchell *et al*., 2017 همسو است. این محققان تأثیر تلفیق گیاهان پوششی نخود (*Pisum sativum* L.)، باقلا (*Vicia faba* l.) و چند گیاه دیگر را با خاک‌ورزی مرسوم و بدون خاک‌ورزی بررسی نموده و گزارش کردند تیمار بی‌خاک‌ورزی با گیاه پوششی باعث بهبود پایداری خاکدانه‌ها در آب، افزایش تخلخل و کاهش جرم مخصوص ظاهری نسبت به تیمارهای بدون گیاه پوششی می‌گردد.

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های کیفیت خاک، عملکرد و اجزای عملکرد کدو تخمه کاغذی تحت تأثیر خاک‌ورزی‌های مختلف و گیاه پوششی

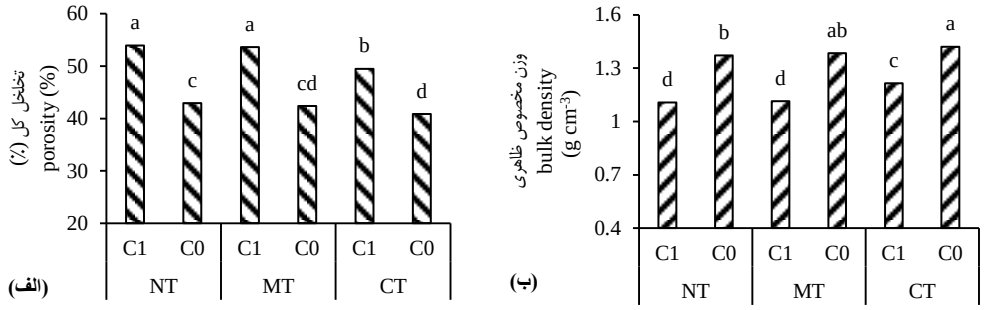
Table 2- Analysis of variance of selected soil quality indicators, yield and yield components of *Cucurbita* pepo influenced by tillage and cover crop treatments

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	تخلخل Porosity	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی Alkaline phosphatase activity	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	تعداد دانه در میوه No. of seeds per fruit	تعداد میوه در بوته No. of fruit per plant	قطر میوه Fruit diameter	عملکرد میوه Fruit yield
تکرار Replication	2	4.33*	0.0025 *	143490 ns	216*	182*	5076**	0.09**	172**	0.44*
خاک‌ورزی Tillage	2	18.9**	0.0109**	465331ns	255*	188*	9384**	0.01 ns	117**	0.22 ns
گیاه پوششی Cover crop	1	475.3**	0.2738**	2981682**	827**	709**	2061**	0.02 ns	445**	0.80*
تیمار T*C	5	103.9**	0.0598**	891107**	301**	241**	2702**	0.02 ns	145**	0.26*
خطای آزمایشی Error	12	0.78	0.0004	146331	37	22	214	0.007	15	0.07
CV (%)	-	1.67	1.67	14.11	5.2	4.6	4.7	7.5	5.7	7.8

*،** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار

*، ** and ns, Significant at 1% and 5% levels of probability and no Significant, respectively

اما برزگر و هکاران (Barzegar *et al*., 2003) در بررسی تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک گزارش کردند خاک‌ورزی مرسوم باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌شود. همچنین باگانویک و همکاران (Bogunovic *et al*., 2018) در بررسی تأثیر مدیریت خاک‌ورزی بر تراکم خاک، فرسایش و عملکرد محصول گزارش کردند بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم و خاک‌ورزی عمیق در بلند مدت باعث متراکم شدن خاک و افزایش جرم مخصوص ظاهری می‌شود. باید متذکر شد، نتایج پژوهش حاضر حاصل مدیریت تلفیقی انواع خاک‌ورزی با گیاه پوششی است که توانسته وضعیت ساختمان خاک را بهبود ببخشد، اما در مطالعات یاد شده اثر خاک‌ورزی به تنهایی بر این شاخص‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

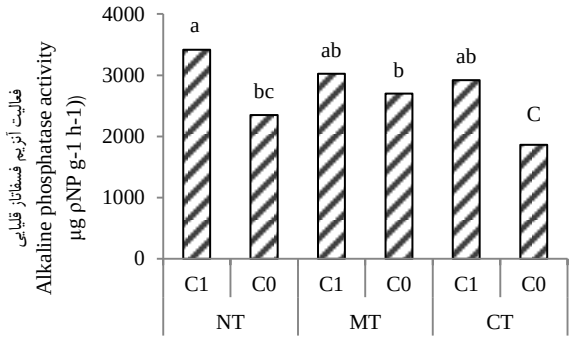


شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر تخلخل (الف) و جرم مخصوص ظاهری خاک (ب). NT- بدون خاک‌ورزی، MT- خاک‌ورزی حداقل، CT- خاک‌ورزی مرسوم، C1- گیاه پوششی خلر و C0- بدون گیاه پوششی. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 1- Effects of different tillage and cover crop treatments on porosity (A) and bulk density (B). NT- no tillage, MT- minimum tillage, CT- conventional tillage, C1- legume cover crop and C0- without cover crop. Means followed by similar letter are not significantly different with LSD at 5% probability level.

فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی تحت تأثیر اثر ساده خاک‌ورزی قرار نگرفت اما تحت تأثیر گیاه پوششی و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین اندازه فعالیت آنزیم فسفاتاز ($\mu g\ \rho NP\ g^{-1}\ h^{-1}$ ۳۴۱۳) در تیمار بی‌خاک‌ورزی با گیاه پوششی خلر به‌دست آمد که البته با تیمارهای MT-C1 و CT-C1 از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲). کمترین مقدار این شاخص ($\mu g\ \rho NP\ g^{-1}\ h^{-1}$ ۱۸۶۱) در شیوه مدیریتی مرسوم منطقه (CT-C0) مشاهده شد (شکل ۲). افزایش آنزیم فسفاتاز قلیایی احتمالاً به دلیل وجود گیاهان پوششی می‌باشد که باعث افزایش مواد آلی خاک و در پی آن افزایش عناصر غذایی قابل‌دسترس، افزایش جمعیت و فعالیت زیست‌توده میکروبی و تعدیل دمایی خاک شده؛ همچنین خاک‌ورزی‌های حفاظتی از طریق ممانعت از به‌هم خوردن خاک و شکستن خاکدانه‌ها مانع تجزیه سریع مواد آلی شده و این اثرات را تسریع می‌کنند. در گزارشی طباطبایی (Tabatabai, 2003) بیان کرد، وجود ترکیب‌های آلی بیشتر در خاک منجر به افزایش اندازه ترکیبات استری فسفات و درنتیجه، باعث القای تولید آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک می‌گردد. همچنین، هو و کاو (Hu and Cao, 2007) گزارش کردند افزودن مواد آلی به خاک باعث فراهم کردن کربن و درنتیجه افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شود و مواد آلی همچنین نقش مهمی در حفاظت آنزیم‌ها نسبت به غیرفعال شدن توسط کانی‌های رسی یا ترکیبات هوموسی ایفا می‌کنند.



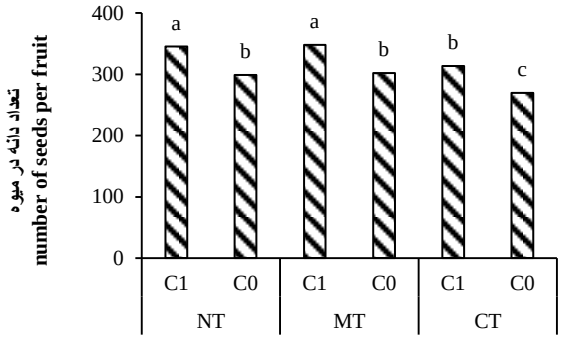
شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی. NT – بدون خاک‌ورزی، MT- خاک‌ورزی حداقل، CT- خاک‌ورزی مرسوم، C1- گیاه پوششی خلر و C0- بدون گیاه پوششی. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 2- Effects of different tillage and cover crop treatments on Alkaline phosphatase activity. NT- no tillage, MT- minimum tillage, CT- conventional tillage, C1- legume cover crop and C0- without cover crop. Means followed by similar letter are not significantly different with LSD at 5% probability level.

تعداد دانه در میوه و میوه در بوته

تعداد میوه در بوته تحت تأثیر هیچ‌کدام از تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت اما تعداد دانه در میوه کدو تخمه کاغذی رابطه معنی‌داری با تیمارهای مختلف مدیریتی خاک‌ورزی، گیاه پوششی و اثر دوگانه آن‌ها نشان داد (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در میوه با ۳۴۸ دانه در تیمار خاک‌ورزی حداقل با گیاه پوششی خلر (MT-C1) مشاهده شد که با تیمار NT-C1 تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین تیمار CT-C0 به‌صورت معنی‌داری کمترین مقدار (۲۶۹/۳ دانه) این صفت را نشان داد (شکل ۳). با توجه به نتایجی که در بخش تخلخل، جرم مخصوص ظاهری و فعالیت آنزیم فسفاتاز به‌دست آمد و همچنین همبستگی بین این ویژگی‌ها با تعداد دانه در میوه و سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (جدول ۳)، به نظر می‌رسد افزایش مواد آلی در تیمارهای دارای گیاه پوششی از راه افزایش عناصر غذایی قابل دسترس، افزایش فعالیت زیستی خاک و همچنین نگهداری رطوبت بیشتر، احتمالاً از طریق افزایش رشد گیاه باعث افزایش تعداد دانه در میوه شده است. همچنین خاک‌ورزی حفاظتی احتمالاً از طریق بهبود ساختمان و ویژگی‌های فیزیکی خاک توانسته است با افزایش رشد رویشی، بر رشد زایشی گیاه تأثیر گذاشته و تعداد دانه در میوه کدو تخمه‌کاغذی را افزایش دهد. محققین گزارش کردند افزایش بقایای گیاهی باعث افزایش ماده آلی، نیتروژن، بهبود ساختمان خاک، افزایش گنجایش تبادل کاتیونی، افزایش تبادلات گازی و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک شده که در نهایت باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Courtney and Mullen, 2008). روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، با کاهش تبخیر

و افزایش نفوذپذیری، موجب کارآیی بیشتر ذخیره آب می‌شوند که نهایتاً افزایش رشد گیاه را در پی دارد (Putnam *et al.*, 2003). نتایج این آزمایش با یافته‌های جهان و همکاران (Jahan *et al.*, 2013) در خصوص افزایش شمار دانه در میوه کدو تخمه‌کاغذی تحت تأثیر گیاهان پوششی خلر و شبدر زمستانه، تلقیح با ریزوباکتری‌های تحریک‌کننده رشد و کاربرد کودهای آلی شامل کود گاوی، گوسفندی، مرغی و ورمی‌کومپوست همسو است.

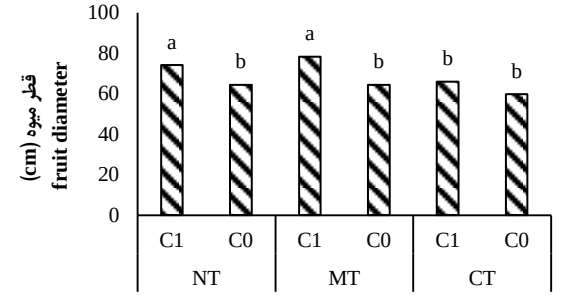


شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر تعداد دانه در میوه کدو تخمه کاغذی. NT- بدون خاک‌ورزی، MT- خاک‌ورزی حداقل، CT- خاک‌ورزی مرسوم، C1- گیاه پوششی خلر و C0- بدون گیاه پوششی. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 3- Effects of different tillage and cover crop treatments on number of seeds per fruit in *Cucurbita pepo*. NT- no tillage, MT- minimum tillage, CT- conventional tillage, C1- legume cover crop and C0- without cover crop. Means followed by similar letter are not significantly different with LSD at 5% probability level.

قطر میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که قطر میوه کدو تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی، گیاه پوششی و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی قرار گرفت (جدول ۲). تیمار خاک‌ورزی حداقل با گیاه پوششی با ۷۸/۲ سانتی‌متر بیشترین قطر میوه را نشان داد، که با تیمار NT-C1 تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین تیمار NT-C0 کمترین مقدار (۵۹/۷ سانتی‌متر) این پارامتر را نشان داد که با سایر تیمارهای آزمایشی، به‌جز NT-C1 وMT-C1 در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴). کاهش قطر میوه در تیمار مذکور احتمالاً به این علت است که در شرایط خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی، خاک دارای کیفیت پایین‌تر و عناصر غذایی کمتر بوده (Esfandiary Ekhlas, 2016) و نسبت به تیمارهای دارای گیاه پوششی و همچنین خاک‌ورزی‌های حفاظتی سریع‌تر خشک شده و رطوبت خود را از دست می‌دهد. همچنین همانطور که در بخش نتایج مربوط به تخلخل و جرم مخصوص ظاهری مشاهده شد عملیات خاک‌ورزی مرسوم باعث متراکم شدن خاک شده که نفوذ ریشه را نسبت به تیمارهای دیگر سخت تر و کم‌تر می‌کند. کمبود رطوبت قابل دسترس و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه موجب اختلال در فتوسنتز و عدم رشد کافی شده و در نهایت باعث کاهش وزن و میزان حجم تولیدی اندام زایشی (میوه) و در نتیجه کاهش قطر میوه می‌شود.

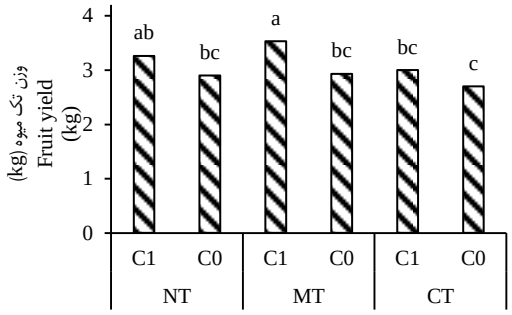


شکل ٤- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر قطر میوه کدو تخمه کاغذی. NT- بدون خاک‌ورزی، MT- خاک‌ورزی حداقل، CT- خاک‌ورزی مرسوم، C1- گیاه پوششی خلر و C0- بدون گیاه پوششی. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 4- Effects of different tillage and cover crop treatments on fruit diameter of Cucurbita pepo. NT- no tillage, MT- minimum tillage, CT- conventional tillage, C1- legume cover crop and C0- without cover crop. Means followed by similar letter are not significantly different with LSD at 5% probability level.

عملکرد میوه

عملکرد میوه (وزن تر تک میوه) کدو تخمه کاغذی با اثر گیاه پوششی و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی رابطه معنی‌داری نشان داد اما تحت تأثیر اثر ساده خاک‌ورزی قرار نگرفت (جدول ۲). خاک‌ورزی حداقل با گیاه پوششی خلر با میانگین ۳/۵۳ کیلوگرم بیشترین وزن میوه کدو را نشان داد اما با تیمار NT-C1 در یک گروه آماری قرار گرفت. تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی نیز کمترین مقدار (۲/۷ کیلو گرم) این صفت را نشان داد، ولی با تیمارهای NT-C0، MT-C0 و CT-C1 تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۵). به نظر می‌رسد مدیریت خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی نسبت به تیمارهای دیگر، از طریق بهبود ویژگی‌های خاکی مانند افزایش عناصر قابل دسترس گیاه، بهبود فعالیت زیستی خاک و همچنین بهبود نفوذپذیری (Esfandiary Ekhlas, 2016) و افزایش گنجایش نگهداری آب (به نتایج مربوط به بخش تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، فعالیت آنزیم فسفاتاز و جدول همبستگی (جدول ۳) باعث افزایش عملکرد میوه کدو تخمه‌کاغذی شده است. مطالعه هیلبرنر (Hiltbrunner, 2007) نشان داد وجود بقایای گیاهی شبدر سفید (*Trifolium repens* L.) و یا کودهای آلی در خاک، استقرار و رشد و نمو گیاه اصلی (گندم زمستانه *Triticum aestivum*) را بهبود می‌بخشد. همچنین این محقق بیان کرد، گیاهان پوششی باعث افزایش گنجایش نگهداری رطوبت در خاک و تعدیل درجه حرارت خاک می‌گردند؛ که اثرات متقابل بین افزایش رطوبت و تعدیل دمایی خاک با رشد و استقرار گیاه نهایتاً عملکرد گیاه اصلی را افزایش می‌دهد. همچنین کامپیگلیا و همکاران (Campiglia *et al*., 2010b) اثر گیاهان پوششی ماشک زمستانی (*Vicia villosa* Roth)، شبدر زیرزمینی (*Trifolium subterraneum* L.)، یولاف (*Avena sativa* L.) و مخلوط یولاف و ماشک در مقایسه با روش مرسوم (خاک‌ورزی برگردان دار بدون مالچ گیاهی) بررسی کرده و گزارش کردند استفاده از گیاهان پوششی باعث افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی (*Lycopersicom esculentum* Mill) می‌شود. در آزمایشی دیگر مکافی و همکاران (Mafakheri *et al*., 2010) در بررسی تأثیر گیاه پوششی چاودار (*Secale cereale*) گزارش کردند چاودار با کنترل علف‌های هرز و بهبود دسترسی عناصر غذایی در طول فصل رشد، باعث افزایش عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) شد.



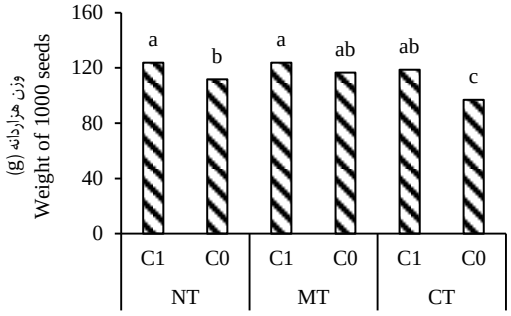
شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر عملکرد میوه کدو تخمه کاغذی. NT- بدون خاک‌ورزی، MT- خاک‌ورزی حداقل، CT- خاک‌ورزی مرسوم، C1- گیاه پوششی خلر و C0- بدون گیاه پوششی. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 5- Effects of tillage and cover crop treatments on fruit yield in *Cucurbita pepo*. NT- no tillage, MT- minimum tillage, CT- conventional tillage, C1- legume cover crop and C0- without cover crop. Means followed by similar letter are not significantly different with LSD at 5% probability level.

میانگین وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن هزار دانه کدو تخمه کاغذی تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار آزمایشی گرفت (جدول ۲). تیمار خاک‌ورزی حداقل با گیاه پوششی بیشترین مقدار وزن هزار دانه را با ۱۲۳/۷ گرم نشان داد که با تیمارهای NT-C1، CT-C1 و MT-C0 در یک گروه آماری قرار گرفتند. تیمار NT-C0 به‌صورت معنی‌داری کمترین مقدار (۹۷ گرم) این صفت را نشان داد (شکل ۶). به نظر می‌رسد کاهش کیفیت و همچنین کاهش حفظ رطوبت خاک در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم بدون گیاه پوششی نسبت به تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی خلر با تأثیر بر رشد رویشی و زایشی گیاه موجب کاهش فتوسنتز، نرسیدن مواد به دانه و همچنین کوتاه شدن دوره رشد دانه گردیده و در نتیجه اندازه دانه و وزن دانه را کاهش داده است. نفوذپذیری و حفظ رطوبت بیش‌تر خاک در روش خاک‌ورزی حفاظتی گزارش شده است (Singh and Khera, 2009). با کاهش میزان رطوبت خاک در بعضی گیاهان، رشد اندام‌های زیرزمینی جهت افزایش سطح ریشه برای جذب آب

بیش‌تر، افزایش می‌یابد. این گونه گیاهان کربوهیدرات تولیدی بیش‌تری به رشد ریشه اختصاص می‌دهند که این امر باعث کاهش انتقال مواد غذایی به سوی مخزن‌هایی همانند دانه‌های در حال پر شدن می‌گردد و در نتیجه از وزن دانه‌های تولیدی کاسته می‌شود (Kocheki and Banayan, 1994). در مطالعه‌ای سان و همکاران (Sun *et al*., 2018) با بررسی اثر خاک‌ورزی‌های مختلف و سیستم کشت بر عملکرد گیاهی گزارش کردند که بی‌خاک‌ورزی با حفظ مداوم بقایای گیاهی، از طریق حفظ و بهبود رطوبت قابل دسترس گیاه و همچنین افزایش عناصر غذایی برای گیاهان از طریق مواد آلی اضافه شده به خاک، باعث افزایش وزن ذرت بهاره (*Zea mays* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) نسبت به تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و خاک‌ورزی زیر شکن بدون حفظ بقایا می‌شود.



شکل ٦- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر وزن هزار دانه کدو تخمه کاغذی. NT- بدون خاک‌ورزی، MT- خاک‌ورزی حداقل، CT- خاک‌ورزی مرسوم، C1- گیاه پوششی خلر و C0- بدون گیاه پوششی. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 6- Effects of different tillage and cover crop treatments on Weight of 1000 seeds in *Cucurbita pepo*. NT- no tillage, MT- minimum tillage, CT- conventional tillage, C1- legume cover crop and C0- without cover crop. Means followed by similar letter are not significantly different with LSD at 5% probability level.

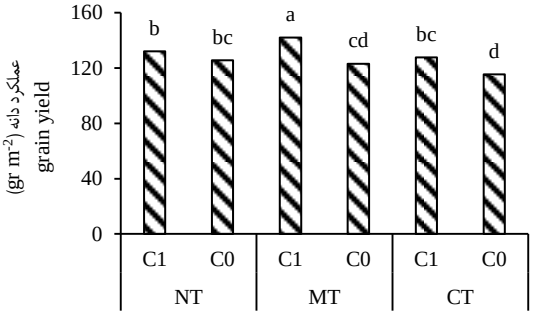
عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی، گیاه پوششی و اثر دوگانه خاک‌ورزی در گیاه پوششی قرار گرفت (جدول ۲). تیمارهای MT-C1 و CT-C0 به‌ترتیب با ۱۴۲ و ۱۱۵/۳ گرم بر متر مربع، بیشترین و کمترین عملکرد دانه را در بین تیمارهای مختلف داشتند (شکل ۷). تیمارهای CT-C0 و MT-C0 از نظر اندازه عملکرد دانه در یک گروه آماری قرار گرفتند و همچنین تیمارهای NT-C1، NT-C0 و CT-C1 نیز تفاوت آماری معنی‌داری را برای این صفت نشان ندادند (شکل ۷).

از آن‌جایی‌که تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی با گیاه پوششی خلر دارای اجزای عملکرد بالایی بودند و همچنین با توجه به همبستگی اجزای عملکرد و پارامترهای خاکی اندازه‌گیری شده (جدول ۳) با عملکرد دانه، افزایش این ویژگی در تیمارهای مذکور دور از انتظار نیست. افزایش عملکرد در تیمارهای داری گیاه پوششی نسبت به بدون گیاه پوششی را می‌توان به تجزیه بقایای گیاهی و آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن که در اختیار کدو قرار گرفته است نسبت داد. افزایش بقایا باعث افزایش ماده آلی، نیتروژن، بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش تبادل گازی، و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود که در نهایت مجموعه این عوامل احتمالاً باعث افزایش عملکرد دانه کدو گردیده است (Courtney and Mullen, 2008; Esfandiary Ekhlas, 2016). همچنین به نظر می‌رسد خاک‌ورزی‌های حفاظتی توانسته‌اند این اثرات را تسریع کرده و باعث افزایش عملکرد دانه شوند. حاصلخیزی خاک نقش عمده‌ای در عملکرد کدوئیان دارد؛ خرمی وفا (Khorrami Vafa, 2007) نیز گزارش کرد بهترین شرایط خاک برای رشد کدو، خاک‌های زهکش‌دار با مواد آلی فراوان است. به علاوه، دلیل افزایش عملکرد گیاهان پس از کشت گیاهان پوششی را می‌توان به دستیابی بیشتر گیاه به نیتروژن خاک نسبت داد (Yennish *et al*., 1996). کارایی استفاده از آب برای محصولات زراعی با اعمال خاک‌ورزی حفاظتی مانند روش بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل بیشتر می‌شود و این نظام‌ها در کاهش فرسایش بالقوه خاک مفیدتر و مؤثرتر هستند که باعث حفظ و بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود (Limon Ortega *et al*., 2002). در مطالعه‌ای ردیکتی و همکاران (Radicetti *et al*., 2016) در بررسی اثر خاک‌ورزی‌های گوناگون و گیاهان پوششی ماشک زمستانی (*Vicia villosa* Roth.)، یولاف (*Avena sativa* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) بر عملکرد بادمجان (*Solanum melanogena* L.) به این نتیجه رسیدند که وزن تازه بادمجان در مدیریت خاک‌ورزی حداقل با گیاه پوششی ماشک (۳۶۱۰۰ kg ha^{-1}) و مدیریت بی‌خاک‌ورزی با رها کردن بقایای ماشک زمستانی

($38000\ kg\ ha^{-1}$) و یولاف ($18400\ kg\ ha^{-1}$) در سطح خاک، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم با همان گیاهان پوششی (برای ماشک $31600\ kg\ ha^{-1}$ و برای یولاف $14300\ kg\ ha^{-1}$) عملکرد بیشتری را نشان می‌دهد؛ همچنین وزن کاه و کلش بیشتری نیز در تیمار خاک‌ورزی کمینه با گیاه پوششی ماشک ($3500\ kg\ ha^{-1}$) اندازه‌گیری شد. آن‌ها علت این امر را مدیریت رهاسازی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن توسط گیاهان پوششی بیان کردند. محققین دیگر نیز علت افزایش عملکرد علوفه سورگوم (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) در تیمارهای گیاهان پوششی را به تجزیه و آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و کاهش آبشویی این عنصر نسبت دادند (Ramroudi *et al*., 2011). در آزمایش دیگری، شم‌آبادی (Shamabadi, 2012) در ارزیابی روش خاک‌ورزی کاهش یافته بر عملکرد گندم دیم، بیشترین و کمترین اندازه عملکرد دانه گندم را به‌ترتیب در تیمار خاک‌ورزی کمینه و خاک‌ورزی مرسوم گزارش کرد.

قرار گرفتن تیمارهای NT-C1، NT-C0 و CT-C1 در یک گروه آماری، احتمالاً بیانگر این واقعیت است که به‌هم نخوردن خاک در تیمار بی‌خاک‌ورزی بدون گیاه پوششی با اینکه ماده آلی چندانی نسبت به تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گیاه پوششی خلر دریافت نمی‌کند اما با حفظ بقایای باقی‌مانده از گیاهان اصلی توانسته شرایطی بهتری را برای رشد و نمو گیاهان بعدی فراهم کند.



شکل ۷- اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی بر عملکرد کدو تخمه کاغذی. NT- بدون خاک‌ورزی، MT- خاک‌ورزی حداقل، CT- خاک‌ورزی مرسوم، C1- گیاه پوششی خلر و C0- بدون گیاه پوششی. میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 7- Effects of different tillage and cover crop treatments on grain yield in *Cucurbita pepo*. NT- no tillage, MT- minimum tillage, CT- conventional tillage, C1- legume cover crop and C0- without cover crop. Means followed by similar letter are not significantly different with LSD at 5% probability level.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف

Table 3- Correlation coefficients between traits measured under different treatments

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
جرم مخصوص ظاهری Bulk density (1)	1							
تخلخل Porosity (2)	-1**	1						
فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی Alkaline phosphatase activity (3)	-0.77 **	0.77**	1					
وزن هزاردانه 1000-grain Weight (4)	-0.60 **	0.60 **	0.73 **	1				
عملکرد دانه Grain yield (5)	-0.67 **	0.67**	0.48 *	0.64**	1			
تعداد دانه در میوه Number of seeds per fruit (6)	-0.61 **	0.61**	0.37ns	0.66 **	0.75 **	1		
قطر میوه Fruit diameter (7)	-0.62 **	0.62**	0.44ns	0.75**	0.89**	0.73**	1	
عملکرد میوه Fruit yield (8)	-0.52 *	0.52 *	0.35ns	0.70**	0.72**	0.75 **	0.89**	1

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار

* ،** and ns, Significant at 1% and 5% levels of probability and no Significant, respectively

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اعمال چهار سال مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی و گیاه پوششی خلر، بر عملکرد کدو تخمه کاغذی و خصوصیات خاک تأثیر معنی‌داری گذاشتند. وجود گیاه پوششی خلر همراه با خاک‌ورزی‌های حفاظتی (خاک‌ورزی کمینه و بدون خاک‌ورزی) با بهبود ویژگی‌های خاکی مانند افزایش فعالیت آنزیمی و تخلخل و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک، باعث بهبود رشد گیاه و نهایتاً افزایش عملکرد کدو تخمه کاغذی شد. بنابراین تلفیق گیاه پوششی خلر با خاک‌ورزی‌های حفاظتی را می‌توان بهترین مدیریت در راستای کشاورزی پایدار برای افزایش علمکرد کدو و بهبود کیفیت خاک در منطقه مطالعاتی معرفی نمود. با توجه به اینکه بین تیمارهای NT-C1، NT-C0 و CT-C1 و تیمارهای CT-C0 و MT-C0 در برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد به نظر می‌رسد مدت زمان بیشتری نیاز است تا مدیریت‌های مختلف از این قبیل بتوانند از نظر تأثیر بر خصوصیات خاک و عملکرد گیاه از همدیگر تفکیک شوند.

References

1. Barzegar, A. R., Asoodar, M. A., Khadish, A., and Hashemi, A. M. 2003. Soil physical characteristics and chickpea yi eld responses to tillage treatments. Soil and Tillage Research 71: 49-57.
2. Bergkvist, G., Stenberg, M., Wetterlind, J., Bath, B., and Elfstrand, S. 2011. Clover cover crops under-sown in winter wheat increase yield of subsequent spring barley Effect of N dose and companion grass. Field Crops Research 120: 292-298.
3. Blake, G. R., and Hartge, K. H. 1986. Bulk density. P 363-375. In: A. Klute. (Eds.), Method of Soil Analysis. Part1. Physical and Mineralogical Methods, 2th ed. Agronomy monographs, 9. ASA-SSSA, Madison, WI.
4. Bogunovic, I., Pereira, P., Kisica, I., Sajkoa, K., and Srakac, M. 2018. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). Catena 160: 376-384.
5. Bond, W. R., Turner, J., and Grundy, A. C. 2003. A review of non-chemical weed management. H.D.R.A. the organic organization. Ryton Organic Garden, U.K.
6. Campiglia, E., Caporali, F., Radicetti, E., and Mancinelli, R. 2010a. Hairy vetch (Vicia villosa Roth.) Cover crop residue management for improving weed control and yield in no-tillage tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). European Journal of Agronomy 33: 94-102.
7. Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E., and Caporali, F. 2010b. Effect of cover crops and mulches on weed control and nitrogen fertilization in tomato (*Lycopersicom esculentum* Mill). Journal of Crop Protection 29: 354-363.
8. Courtney, R. G., and Mullen, G. J. 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the laud application of two compost types. Bioresource Technology 99: 2913-2918.
9. Dick, W. A., and Tabatabai, M. A. 1993. Significance and potential uses of soil enzymes. In: Metting, F.B. (Ed.), Soil Microbial Ecology: Application in Agricultural and Environmental Management. Marcel Dekker, New York: 95-125.
10. Esfandiary Ekhlas, E. S. 2016. Effect of different tillage systems, cover crop and intercropping on some of soil quality indicators in Dastjerd region, Hamadan. MS Thesis. Bu-Ali Sina University, Hamedan. (in Persian with English abstract).
11. Garand, M. J., Simard, R. R., MacKenzie, A. F., and Hamel, C. 2001. Underseeded clover as a nitrogen source for spring wheat on a gleysol. Canadian Journal of Soil Science 81: 93-102.
12. Hiltbrunner, J., Streit, B., and Liedgens, M. 2007. Are seeding densities an opportunity to increase grain yield of winter wheat in a living mulch of white clover. Field Crops Research 102: 163-171.
13. Hooker, K. V., Coxon, C. E., Hackett, R., Kirwan, L. E., O'Keeffe, E., and Richards, K. G. 2008. Evaluation of cover crop and reduced cultivation for reducing nitrate leaching in Ireland. Journal of Environmental Quality 37: 138-145.
14. Hu, C., and Cao, Z. 2007. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. World Journal of Agricultural Sciences 1: 63-70.
15. Iran Weather. 2014. Retrieved august 20, 2016, from http://www.accuweather.com/en/ir/iran-weather.
16. Isik, D., Kaya, E., Ngouajio, M., and Mennan, H. 2009. Weed suppression in organic pepper (*Capsicum annum* L.) with winter cover crops. Crop Protection 28: 356-363.
17. Jahan, M., Amiri, M. B., Aghhavari Shajari, M., and Tahami, M. K. 2013. Investigation of the pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) production quantity and quality influence by *Lathyrus sativus* and *Trifolium resopinatum* cover crops, inoculation with plant growth stimulating rhizobacteria and application of organic fertilizers. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (2): 337-356. (in Persian).
18. Jahan, M., Nasiri Mahalati, M., Salari M. D., and Ghorbani, R. 2010. The effects of the use of manure and application of biofertilizers on qualitative and quantitative characteristics pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Iranian

Journal of Field Crops Research 8 (4): 726-737. (in Persian with English abstract).
19. Khorrami Vafa, M. 2007. Ecology study of maize and pumpkin (*Cucurbita* pepo) intercropping. Ph.D Thesis. University of Tabriz, Iran.
20. Kocheki, A. R., and Banayan aval, M. 1994. Physiology of crop yield (translation). Jahad Daneshgahi of Mashhad. Iran. (in Persian).
21. Larkin, R. P., Griffin, T. S., and Honeycutt, C. W. 2010. Rotation and cover crop effects on soil borne potato diseases, tuber yield, and soil microbial communities. Plant Disease 94: 1491-1502.
22. Liebman, M., and Davis, A. S. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low external- input farming system. Weed Research 40: 27-47.
23. Limon Ortega, A., Sawyer, K. D., Drabber, R. A., and Francis, C. A. 2002. Soil attributes in a furrow irrigated bed plaiting system in north. West Mexico. Soil and tillage Research 63: 123-132.
24. Mafakheri, S., Ardakani, M. R., Meighani, F., Mirhadi, M. J., and Vazan, S. 2010. Rye cover crop management affects weeds and yield of corn (*Zea mays* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 38: 117-123.
25. Mitchell, J. P., Shrestha, A., Mathesius. K., Scow. K. M., Southard, R. J., Haney, R. L., Schmidt, R., Munk, D. S., and Horwath, W. R. 2017. Cover cropping and no-tillage improve soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley, USA. Soil & Tillage Research 165: 325-335.
26. Omidi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Ghalavand, A., and Modarres Sanavi, S. A. M. 2006. Evaluation of tillage systems and row distances on grain yield and oil content in two canola (*Brassica napus*) Cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences 7 (2): 97-112. (in Persian with English abstract).
27. Putnam, D. H., Oplinger, E. S., and Hicks, D. R. 2003. Alternative field crops manual sunflower cultural, seedbed preparation. University of Wisconsin. Madison.
28. Radicetti, E., Mancinelli, R., Moscetti, R., and Campiglia, E. 2016. Management of winter cover crop residues under different tillage conditions affects nitrogen utilization efficiency and yield of eggplant (*Solanum melanogena* L.) in Mediterranean environment. Soil & Tillage Research 155: 329-338.
29. Ramroudi, M., Majnoun Hosseini, N., Hosseinzadeh, A. H., Mazaheri, D., and Hosseini, M. B. 2011. Evaluating the effects cover crops, tillage systems and nitrogen rates on soil properties and sorghum forage yields. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 92: 18-23. (in Persian with English abstract).
30. Safari Sinegani, A. A. 2014. *Soil Biology and Biochemistry.* Bu-Ali Sina University Publication, (in Persian).
31. Sainju, U. M., and Singh, B. P. 2001. Tillage, cover crop, and kill-planting date effects on corn yield and soil nitrogen. Agronomy journal 93: 878-886.
32. Samadani, B., and Montazeri, M. 2009. The use of cover crop in sustainable agriculture. Iranian Research Institute of Plant Protection Press. 186 pp. (in Persian).
33. Samara, N. H., and Ahmad, T. 2007. The effect of tillage practices on Barely production under rainfed conditions in Jordan. American-Eurasian. Journal of Agriculture and Environmental Science 2 (1): 75-79.
34. Shamabadi, Z. A. 2012. Evaluating reduced tillage methods on energy productivity and rainfed wheat yield. Journal of Soil and Water Conservation 1 (3): 69-78. (in Persian).
35. Singh, M. J., and Khera, K. L. 2009. Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land uses. Arid Land Research and Management 23: 152-167.
36. Steenwerth, K., and Belina, K. M. 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. Applied Soil Ecology 40: 359-369.
37. Suivan, P., and Diver, S. 2001. Overview of cover crops and green manures fundamentals of sustainable agriculture. NCAT Agriculture Specialist.
38. Sun, L., Wangb, S., Zhangb, Y., Lib, J., Wangb. X., Wangb, R., Lyub, W., Chenb, N., and Wangb, Q. 2018. Conservation agriculture based on crop rotation and tillage in the semi-arid Loess Plateau, China: Effects on crop yield and soil water use. Agriculture, Ecosystems and Environment 251: 67-77.
39. Tabatabai, M. A. 2003. Enzymes: past, present and future. Second international conference on enzyme in the environment: Activity, Ecology and Application. Prague, Czech Republic. 14-17.
40. Tabatabai, M. A., and Bremner, J. M. 1969. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. Journal of Soil Biology and Biochemistry 1: 301-307.
41. Uhart, S. A., and Andrade, F. H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth development dry matter partitioning, and kernel set. Crop Science 35: 1376-1383.
42. Wang, X. B., Oenema, O., Hoogmoed, W. B., Perdok, U. D., and Cai, D. X. 2006. Dust storm erosion and its impact on soil carbon and nitrogen losses in northern China, Catena 66: 221-227.
43. Yenish, J. P., Worsham, A. D., and York, A. C. 1996. Cover crops for herbicide replacement in no-tillage corn. Weed Technology 10: 815-821.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 421-434

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۳۴-۴۲۱

The Effect of Integrated management of Conservation Tillage and *Lathyrus sativus* Cover Cropping on *Cucurbita pepo* Yield and Selected Soil Quality Indicators

E. Esfandiary ekhlas[1]- M. Nael[2*]- J. Hamzei[3]

Received: 17-04-2017
Accepted: 12-02-2018

Introduction

Minimum tillage (MT) and no-tillage (NT) are collectively described as conservation tillage. Conservation tillage reduces production costs, saves water, increases soil organic matter, prevents soil erosion, mitigates greenhouse gases from the soil, improves air quality, protects wildlife habitat and biodiversity, improves production and ensures environmental safety. Cover crops are considered as a support for sustainable cropping system. Some researchers have declared that using cover crops or maintaining sufficient residues of previous crops increase soil fertility and soil organic matter levels in the long term. According to strategic importance of organic matter and the significant role of tillage practices and crop residue management on crop production and soil quality improvement, a 4-year field experiment was conducted to determine *Cucurbita pepo* yield, yield components and selected soil quality indices, under different tillage and cover crop managements.

Materials and Methods

A four-year field experiment (2011-2014) was carried out at Bu-Ali Sina University Experimental Field in Dastjerd, Hamadan, as a factorial randomized complete block design with three replications. The area is located at 37 km of Hamadan, between 48°31' E and 35°01' N with 330 mm annual rainfall and 1690 m altitude. Treatments consist of three levels of tillage practices (including, NT: no-tillage (direct seeding), MT: minimum tillage (chisel plowing + disk) and CT: conventional tillage (moldboard plowing + disk)) and two levels of cover cropping (including, C1: with legume cover crop (*lathyrus sativus*) and C0: without cover crop) and were applied for four consecutive years. Pumpkin (*Cucurbita pepo*)was planted in the fourth year. Plant and soil samples were analyzed for grain yield, seed numbers per fruit, fruit diameter, 1000-grain weight, fruit yield, soil porosity, bulk density and alkaline phosphatase activity in 2014. Data obtained were analyzed using statistical software SAS ver. 9.4 and the means were compared using LSD test at 5 % probability level.

Results and Discussion

The highest levels of grain yield (142 g m^{-2}), seed numbers per fruit (348), fruit diameter (78.2 cm), fruit yield (3.53 kg), soil porosity (%53.7), and alkaline phosphatase activity (3413 µg ρNP g^{-1} h^{-1}) were observed in minimum tillage with Legume cover crop treatment (MT-C1); the lowest amounts of aforementioned traits, however, were obtained in CT-C0 treatment. Conservation tillage treatments (no-till and minimum tillage) with *Lathyrus* as cover crop demonstrated the lowest soil bulk density (average 1.1 g cm^{-3}) and the highest porosity (average 53.7%) compared to other treatments. In conventional tillage without cover crop (CT-C0) the highest soil bulk density (1.42 g cm^{-3}) and the lowest soil porosity (40.8 %) were observed; these indicators were not statistically different from that of minimum tillage without cover crop treatment (MT-C0). Furthermore, NT-C0 and MT-C0 showed no difference for the two same indicators. No-tillage with cover crop treatment (NT-C1) demonstrated the highest phosphatase activity (3413 µg ρNP g^{-1} h^{-1}). Moreover, this treatment was statistically similar to MT-C1 and CT-C1 in this respect. On the contrary, this index was significantly lowest (1861 µg ρNP g^{-1} h^{-1}) in the traditional management (CT-C0). Cover crops increase available nutrients, microbial population, microbial biomass activity and moderate soil temperature by enhancing soil organic matter. Conservation tillage

1 and 2- PhD student and Assistant Professor of Soil Science respectively, Soil Science Dept., College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan
(*- Corresponding Author Email: moh_nael@yahoo.com)

on its part further improves these effects by preventing the rapid decomposition of organic matter, which eventually increases pumpkin yield and yield components as well as soil quality indicator.

Conclusions

Generally, after four years of applying different tillage practices with legume cover cropping, it was concluded that incorporation of *Lathyrus sativus* cover cropping with conservation tillage (either no-tillage or minimum tillage) is the most appropriate management for the studied area (Hamadan) in view of pumpkin yield and soil quality improvement.

Keywords: Alkaline phosphatase, Bulk density, Conservation tillage, Grain yield, Soil porosity

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۴۶-۴۳۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 435-446

اثر فاصله بین ردیف بر معماری، عملکرد وش و کیفیت بذر ارقام پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)

محمد مونیان اردستانی[۱]- فرشید قادری‌فر[۲*]- ابراهیم زینلی[۳]- محمدحسین قربانی[۴]- مرتضی گرزین[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی اثر فاصله ردیف بر معماری، عملکرد و کیفیت بذر پنبه یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در گرگان در سال زراعی ۱۳۹۱ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل فاصله ردیف در سه سطح ۲۰، ۴۰، و ۸۰ سانتی‌متر در سه رقم ساحل، سپید و گلستان بود. در این مطالعه ساختار و ویژگی‌های هندسی گیاه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر فاصله ردیف قرار گرفت. به‌طوری‌که با کاهش فاصله ردیف از ۸۰ به ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه‌های رویا و زایا کاهش، اما شاخص سطح برگ، ماده خشک تولید شده در واحد سطح و ارتفاع تشکیل قوزه به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. با وجود کاهش معنی‌دار تعداد و اندازه قوزه در هر بوته با کاهش فاصله ردیف، عملکرد وش ثابت بود که این به دلیل افزایش تعداد بوته و در نتیجه تعداد قوزه در واحد سطح رخ داد. بیش‌ترین کیفیت بذر (جوانه‌زنی و قدرت بذر) در رقم گلستان در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و در دو رقم دیگر در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر مشاهده شد. کم‌ترین قدرت بذر در هر سه رقم در فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. به‌طور کلی، کاهش ارتفاع بوته و افزایش ارتفاع تشکیل قوزه (تسهیل برداشت مکانیزه)، افزایش شاخص سطح برگ و ماده خشک در واحد سطح، ثبات عملکرد و در نهایت افزایش کیفیت بذر در فاصله ردیف‌های کم‌تر، نشان‌دهنده برتری فاصله ردیف‌های کم در مقابل فاصله ردیف‌های زیاد و معمول می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تراکم بوته، جوانه‌زنی، قدرت بذر، هندسه گیاهی

مقدمه

تنظیم فاصله بین ردیف‌های کاشت یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدیریتی در فرآیند تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود. فاصله ردیف بر پوشش سطح زمین، میزان دریافت تشعشع، توان رقابتی گیاه زراعی با علف‌های هرز و نیز جمعیت آفات و عوامل بیماری‌زا مؤثر است و از این راه‌ها بر کارایی نظام‌های تولید گیاهان زراعی مؤثر می‌باشد.

به‌طور کلی فاصله بین ردیف‌های کاشت در پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در مقایسه با بسیاری از گیاهان زراعی دیگر بیشتر بوده و به‌طور معمول بین ۷۶ تا ۱۰۲ سانتی‌متر (با تراکم بوته ۱۲۰۰۰۰-۸۰۰۰۰ بوته در هکتار) متغیر است، که این فاصله ردیف زیاد عمدتاً به خاطر سهولت در انجام عملیاتی چون برداشت، کنترل علف‌های هرز و آفات مورد استفاده قرار می‌گیرد (Molin *et al.*, 2006; McConnell *et al.*, 2008). البته امروزه کاشت پنبه در فاصله ردیف‌های کم (NR)[۶] (۵۰-۲۵ سانتی‌متر) و خیلی کم (UNR)[۷] (فاصله ردیف ۲۵-۱۸ سانتی‌متر با تراکم ۳۷۸۰۰۰-۲۱۰۰۰۰ بوته در هکتار) بسیار مورد استقبال قرار گرفته است (Molin *et al.*, 2006). مزیت اصلی نظام‌های NR و به‌ویژه UNR پتانسیل بیشتر آن‌ها برای افزایش عملکرد و کاهش هزینه‌های تولید در مقایسه با فاصله ردیف‌های معمول می‌باشد (Atwell *et al.*, 1996). افزایش عملکرد به دلیل کاهش فاصله ردیف بیشتر به خاطر افزایش

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴- استادیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۵- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: (Email: farshidghaderifar@yahoo.com
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.64400

6- Narrow Row
7- Ultra Narrow Row

دریافت نور است. کاهش هزینه‌های تولید نیز به دلیل کاهش فرسایش خاک در مناطق مستعد، تسریع رسیدگی، کاهش تلفات آب، افزایش کارایی فتوسنتز، کاهش هزینه‌های کنترل علف‌های هرز و امکان برداشت مکانیزه و حذف هزینه‌های کارگری و در نتیجه صرفه‌جویی در زمان رخ می‌دهد (Low and McMahon, 1973; Jost and Cothern, 2000; Ghorbanpour, 2012).

البته باید توجه داشت که این مزایا به‌واسطه تغییرات ایجاد شده در معماری جامعه گیاهی و بهبود عوامل گیاهی و محیطی مؤثر بر میزان بهره‌وری گیاه زراعی رخ می‌دهند (Kaggwa-Asiimwe *et al.*, 2013). ویژگی‌های ساختاری و یا به‌عبارتی معماری کانوپی به آرایش مکانی (موقعیت، جهت‌گیری، وسعت، کمیت و میزان پیوستگی) اندام‌های گیاه بستگی دارد. به‌طور کلی خصوصیات بیوشیمیایی و ساختاری گیاهان به‌عنوان پارامترهایی در مدل‌سازی تولید بیوماس و عملکرد گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. زیرا این ویژگی‌ها نحوه تعامل بین اتمسفر و جوامع گیاهی را نشان می‌دهند (Béland *et al.*, 2011).

به‌طور کلی، نتایج متناقض در ارتباط با میزان عملکرد تولید شده در شرایط استفاده از فاصله ردیف‌های کم و معمول، تصمیم‌گیری در مورد انتخاب فاصله ردیف کاشت را دشوار ساخته و باعث کاهش شوق و علاقه تولیدکنندگان در گذار از نظام‌های معمول به نظام‌های UNR شده است. در واقع برخی محققان از برتری عملکرد در نظام‌های UNR و NR سخن می‌گویند (Arunvenkatesh and Rajendran, 2013; Meng *et al.*, 2016)، اما برخی دیگر آن را به چالش کشیدند و برتری را به نظام‌های معمول نسبت می‌دهند و یا آن‌ها را فاقد اختلافات قابل توجه می‌دانند (Molin *et al.*, 2006; Feng *et al.*, 2014).

در مورد اثر فاصله ردیف بر قابلیت جوانه‌زنی و قدرت بذر مطالعات چندانی انجام نشده است. در یک مطالعه نشان داده شد که با افزایش تراکم پنبه از ۱۵۰۰۰ به ۸۷۰۰۰ بوته در هکتار قدرت بذر کاهش یافت (Xiao-yu *et al.*, 2015). بر خلاف آن، محققان دیگری بیان کردند که کیفیت بذرهای پنبه در تراکم‌های بالاتر بیشتر بود (Dong *et al.*, 2005). با این حال عموماً تراکم به‌عنوان یک عامل مهم و اثرگذار بر کیفیت بذر گزارش نشد (Zaxos *et al.*, 2012).

همان‌طور که اشاره شد استفاده از فاصله ردیف‌های کم و خیلی کم نقش مهمی در کاهش هزینه تولید همراه با حفظ و یا افزایش عملکرد در مقایسه با فاصله‌ردیف‌های رایج دارد. با این وجود تنوع زیادی در نتایج حاصل از پژوهش‌های مختلف در زمینه اثر فاصله ردیف بر عملکرد وجود دارد. از طرف دیگر اثرات استفاده از چنین فاصله ردیف‌هایی بر کیفیت بذر به خوبی مشخص نشده است. به همین دلیل این تحقیق به منظور روشن‌تر ساختن تأثیر فاصله بین ردیف‌های کاشت بر ساختار جامعه گیاهی، عملکرد وش، قابلیت جوانه‌زنی و قدرت بذر پنبه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی شماره یک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۲ متری از سطح دریا) در سال ۱۳۹۱ انجام شد. بافت خاک مزرعه آزمایشی از نوع لوم رسی سیلتی و اسیدیته خاک ۸-۷/۹ و متوسط بارندگی سالیانه ۶۰۷ میلی‌متر می‌باشد. تیمارهای آزمایشی شامل فاصله ردیف کاشت در سه سطح (۲۰، ۴۰، و ۸۰ سانتی‌متر) و سه رقم پنبه شامل ساحل، سپید و گلستان بود. دو رقم گلستان و ساحل جزو رقم‌های دارای برگ‌های معمولی (برگ پهن) و رقم سپید دارای برگ‌های اکرا (دارای بریدگی‌های عمیق) می‌باشد. رقم ساحل دارای رشد متوسط با ارتفاع ۱۶۰-۱۳۰ سانتی‌متر، قابلیت ترمیم فضا و قوزه‌های درشت می‌باشد. رقم سپید دارای فرم رشدی گسترده با ارتفاع ۱۵۰-۱۲۰ سانتی‌متر و تعداد بالای قوزه می‌باشد. رقم گلستان دارای ارتفاع و حجم رویشی کم با پتانسیل عملکرد بالا بوده و در مقایسه با دو رقم دیگر زودرس‌تر می‌باشد (Pourali, 2015). فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف کاشت نیز در تمام تیمارها ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت شامل هفت ردیف کاشت به طول ۷ متر بود. برای مقابله با علف‌هرز در طول فصل رشد عملیات وجین به‌صورت دستی انجام شد و برای کنترل آفات طی فصل رشد از حشره‌کش آوانت استفاده شد. آبیاری کرت‌ها نیز به‌صورت غرقابی طی دوره رشد انجام شد.

کلیه نمونه‌برداری‌ها از نوع تخریبی بودند و به صورت دستی از مرحله هفت برگی (۴۴ روز پس از کاشت) آغاز شدند. در هر نمونه‌برداری از هر کرت پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و خصوصیاتی نظیر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک کل اندام‌های هوایی در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سطح برگ‌سنج تی. دلتا[1] استفاده شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها از آون (۷۲ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد) جهت خشک کردن و ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم به منظور توزین نمونه‌های خشک شده استفاده شد. برای توصیف تغییرات ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک از یک معادله لجیستیک (معادله ۱) استفاده شد (Ghaderi-Far *et al.*, 2009).

$$y = \frac{a}{\left[1+\exp(-k\times(t-b)\right]} \qquad \text{(معادله ۱)}$$

1- T. Delta

جدول ۱- طبقه‌بندی نمونه‌های بذری به گروه‌های مختلف با استفاده از شاخص قدرت در روش تگزاس
Table 1- Classification of seed samples into different groups by using the Texas vigor index

طبقه‌بندی (Classification)	مجموع گیاهچه‌های عادی در دو آزمون گرما و سرما Sum total normal seedlings in two warm and cold tests
عالی (Excellent)	≥160
خوب (Good)	140-159
متوسط (Intermediate)	120-139
ضعیف (Weak)	< 120

در این معادله y تغییرات ارتفاع، شاخص سطح برگ و ماده خشک در زمان t، a حداکثر ارتفاع، شاخص سطح برگ و ماده خشک، b زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر ارتفاع، شاخص سطح برگ و ماده خشک، k ضریب کنترل‌کننده شکل و شیب منحنی و t زمان بر حسب ساعت است.

عملیات برداشت طی سه چین و به‌صورت دستی انجام گرفت. در زمان چین اول تعداد ده بوته از هر کرت علامت‌گذاری شده و سپس، شاخص‌هایی چون ارتفاع اولین قوزه از سطح زمین، تعداد شاخه رویا، تعداد شاخه زایا، طول بلندترین شاخه رویا و تعداد و وزن قوزه اندازه‌گیری شد. به‌منظور ارزیابی عملکرد وش در هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای، وش‌های تولید شده در طول سه متر از پنج ردیف میانی هر کرت طی سه چین برداشت شدند و عملکرد وش محاسبه شد.

همچنین، بذرهای جدا شده از الیاف پس از کرک‌زدایی به‌وسیله سولفوریک اسید ۹۵ درصد برای ارزیابی کیفیت بذرهای تولید شده مورد استفاده قرار گرفتند. برای ارزیابی کیفیت توده‌های بذری از آزمون‌های تسریع پیری، جوانه‌زنی در دمای پایین[1]، جوانه‌زنی در دمای بالا[2] و آزمون هدایت الکتریکی استفاده شد (Hampton and TeKrony, 1995). برای ارزیابی بهتر نمونه‌های بذری، پس از انجام آزمون‌های جوانه‌زنی در دمای پایین و دمای بالا، شاخص قدرت بذر با استفاده از روشی موسوم به روش تگزاس محاسبه شد. در این روش درصد گیاهچه‌های عادی حاصل از دو آزمون با یکدیگر جمع شده و در نهایت با توجه به جدول ۱ نمونه‌های بذری از نظر قدرت بذر طبقه‌بندی شدند (Speers, 2001).

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (Institute, Inc) 9.1.3 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده شد همچنین مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر فاصله ردیف بر معماری گیاه

در هر سه رقم مورد مطالعه تغییرات ارتفاع، شاخص سطح برگ و ماده خشک تولید شده در طول فصل رشد از یک منحنی سیگموییدی تبعیت کردند (شکل ۱). در اوایل فصل رشد ارتفاع بوته در فاصله ردیف‌های کم، خیلی کم و معمول اختلاف چندانی با یکدیگر نداشتند، اما با پیشروی به سمت انتهای فصل رشد اختلافات افزایش یافت. به‌طوری‌که در هر سه رقم در انتهای فصل رشد بیش‌ترین ارتفاع بوته در فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متر و کم‌ترین آن در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد. کم‌ترین ارتفاع بوته در هر سه فاصله ردیف در رقم گلستان مشاهده شد، اما دو رقم سپید و ساحل اختلاف قابل توجهی با یکدیگر نداشتند. هرچند شیب منحنی در رقم گلستان کمتر از دو رقم دیگر بود، اما از لحاظ زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر ارتفاع، اختلاف قابل توجهی بین سه فاصله ردیف و سه رقم مورد بررسی مشاهده نشد (شکل ۱، جدول ۲).

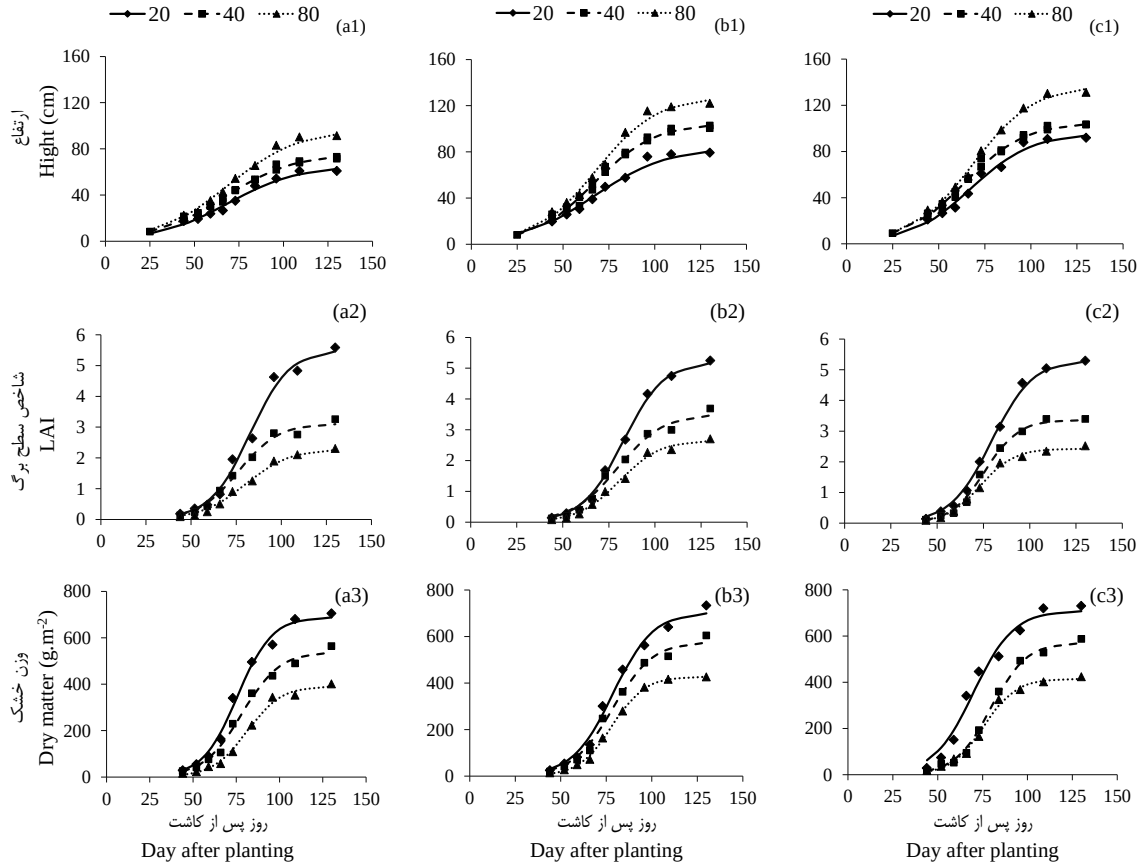
در هر سه رقم با کاهش فاصله بین ردیف‌های کاشت شاخص سطح برگ افزایش یافت و این بیش‌تر بودن شاخص سطح برگ در فاصله ردیف‌های کم و خیلی کم در مقایسه با فاصله ردیف معمول در کل فصل رشد وجود داشت، هرچند که در مراحل ابتدایی رشد این اختلافات ناچیز بود. از طرف دیگر، سه رقم اختلاف معنی‌داری از لحاظ حداکثر شاخص سطح برگ با یکدیگر نداشتند (شکل ۱، جدول ۲). در کلیه فاصله ردیف‌ها رقم ساحل در زمان کوتاه‌تری (سریع‌تر) به حداکثر شاخص سطح برگ (به‌ویژه در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر) دست یافت. بین دو رقم سپید و گلستان اختلاف معنی‌داری از این لحاظ مشاهده نشد (شکل ۱، جدول ۲).

از نظر حداکثر میزان ماده خشک تولید شده در واحد سطح زمین اختلاف معنی‌داری بین رقم‌ها مشاهده نشد، اما با کاهش فاصله بین ردیف‌های کاشت میزان ماده خشک تولید شده افزایش بسیار چشم‌گیری داشت، به‌طوری‌که در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر حداکثر ماده خشک تولید شده در سه رقم گلستان، سپید و ساحل به‌ترتیب ۲۹۷/۰، ۲۷۷/۷ و ۲۹۵/۲ گرم در متر مربع بیشتر از فاصله ردیف ۸۰

1- Cold test
2- Warm Test

سانتی‌متر بود. از لحاظ سرعت تجمع ماده خشک اختلاف قابل توجهی بین رقم‌ها مشاهده نشد، اما در دو رقم گلستان و ساحل با افزایش فاصله ردیف سرعت تجمع ماده خشک کاهش یافت (شکل ۱، جدول ۲).

فاصله ردیف و رقم هر دو اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه رویا و زایا و ارتفاع اولین قوزه از سطح خاک داشتند، در حالی‌که، طول شاخه رویا تنها تحت تأثیر فاصله ردیف قرار گرفت (جدول ۳). هیچ‌یک از سه رقم مورد مطالعه در فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر شاخه رویا تولید نکردند. در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر به‌طور میانگین در هر رقم کمتر از یک شاخه رویا در هر بوته تولید شد (در سه رقم گلستان، سپید و ساحل به‌ترتیب ۰/۲۵، ۰/۱ و ۰/۰۵ شاخه رویا در بوته). بیش‌ترین تعداد شاخه رویا در فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متر مشاهده شد. در این فاصله ردیف رقم سپید بیش‌ترین تعداد شاخه رویا (۳/۱ در بوته) را تولید کرد و کم‌ترین تعداد نیز در رقم گلستان (۱/۸۵ در بوته) مشاهده شد (جدول ۴). از طرف دیگر در هر سه رقم طول بلندترین شاخه رویا در فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متر بسیار بیشتر از آنچه بود که در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر مشاهده شد. بیش‌ترین و کم‌ترین طول شاخه رویا در فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متر به‌ترتیب متعلق به دو رقم سپید (۸۳/۹ سانتی‌متر) و گلستان (۶۵/۶ سانتی‌متر) بود. در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری از این لحاظ بین سه رقم مشاهده نشد (جدول ۴). بیش‌ترین تعداد شاخه‌های زایا در هر سه رقم در فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متر و کم‌ترین آن در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد. همچنین در هر سه فاصله ردیف رقم سپید بیش از دو رقم دیگر شاخه زایا تولید کرد که البته در برخی موارد این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴). در هر سه رقم مورد مطالعه ارتفاع اولین قوزه از سطح خاک با افزایش فاصله بین ردیف‌های کاشت از ۲۰ به ۸۰ سانتی‌متر کاهش یافت. در هر سه فاصله ردیف، ارتفاع اولین قوزه در رقم گلستان اندکی کمتر از دو رقم دیگر بود که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴).



شکل ۱- تغییرات ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و وزن خشک در طول فصل رشد در سه رقم گلستان (a1, a2, a3)، سپید (b1, b2, b3)، و ساحل (c1, c2, c3) در سه فاصله ردیف کاشت ۲۰، ۴۰، و ۸۰ سانتی‌متر با استفاده از مدل لجیستیک

Figure 1- The changes of plant height, leaf area index, and dry matter during the growing season in three Golestan (a1, a2, a3), Sepid (b1, b2, b3), and Sahel (c1, c2, c3) cultivars in three row spacing's including 20, 40, and 80 cm by using the logistic model

جدول ۲- برازش مدل لجیستیک به داده‌های ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و ماده خشک رقم‌های پنبه در مقابل زمان

Table 2- Fitting the logistic model to plant height, leaf area index and dry matter data of cotton cultivars against time

صفات مورد بررسی Studied traits	رقم Cultivar	فاصله ردیف Row spacing	پارامترها Parameters			R^2
			a	b	k	
ارتفاع (Height)	گلستان (Golestan)	20	55.62 ± 3.54	0.05 ± 0.00	68.79 ± 2.93	0.99
		40	76.33 ± 3.53	0.05 ± 0.00	66.83 ± 2.53	0.98
		80	97.06 ± 3.33	0.05 ± 0.00	69.02 ± 1.81	0.97
	سپید (Sepid)	20	96.06 ± 4.25	0.06 ± 0.00	67.52 ± 2.22	0.98
		40	105.60 ± 3.45	0.06 ± 0.00	63.94 ± 1.62	0.98
		80	137.60 ± 3.66	0.06 ± 0.00	68.44 ± 1.36	0.94
	ساحل (Sahel)	20	83.94 ± 3.47	0.05 ± 0.00	67.20 ± 2.17	0.94
		40	105.10 ± 4.68	0.06 ± 0.00	66.65 ± 2.25	0.98
		80	128.1 ± 4.61	0.06 ± 0.00	68.07 ± 1.82	0.98
شاخص سطح برگ (LAI)	گلستان (Golestan)	20	5.54 ± 0.26	0.09 ± 0.01	82.61 ± 1.99	0.98
		40	3.12 ± 0.11	0.09 ± 0.01	76.23 ± 1.65	0.99
		80	2.30 ± 0.06	0.08 ± 0.00	80.32 ± 1.73	0.97
	سپید (Sepid)	20	5.24 ± 0.12	0.09 ± 0.00	82.78 ± 0.96	0.99
		40	3.53 ± 0.18	0.08 ± 0.01	79.86 ± 2.24	0.94
		80	2.67 ± 0.09	0.09 ± 0.00	80.75 ± 1.58	0.96
	ساحل (Sahel)	20	5.33 ± 0.08	0.09 ± 0.00	79.38 ± 0.66	0.99
		40	3.37 ± 0.07	0.11 ± 0.01	75.68 ± 0.92	0.99
		80	2.43 ± 0.05	0.11 ± 0.00	73.23 ± 0.85	0.99
وزن خشک (Dry matter)	گلستان (Golestan)	20	690.70 ± 22.85	0.1 ± 0.01	75.50 ± 1.38	0.98
		40	542.60 ± 20.55	0.09 ± 0.01	78.14 ± 1.63	0.98
		80	393.70 ± 12.10	0.10 ± 0.01	81.25 ± 1.22	0.98
	سپید (Sepid)	20	706.60 ± 27.11	0.09 ± 0.01	78.61 ± 1.64	0.98
		40	580.30 ± 22.00	0.09 ± 0.01	78.57 ± 1.61	0.98
		80	428.90 ± 6.40	0.11 ± 0.00	78.09 ± 0.59	0.98
	ساحل (Sahel)	20	711.2 ± 33.17	0.09 ± 0.01	69.95 ± 2.00	0.99
		40	574.2 ± 12.51	0.10 ± 0.00	79.57 ± 0.88	0.99
		80	416.0 ± 11.52	0.11 ± 0.01	75.50 ± 1.10	0.98

تأثیر فاصله ردیف بر عملکرد و اجزای عملکرد

در هر فاصله ردیف اختلاف معنی‌داری از لحاظ تعداد قوزه بین سه رقم وجود نداشت. اما تعداد قوزه در هر بوته در فاصله ردیف‌های مختلف متفاوت بود به‌طوری‌که با افزایش فاصله ردیف از ۲۰ به ۸۰ سانتی‌متر در هر سه رقم تعداد قوزه در بوته به‌طور قابل توجهی افزایش یافت (جدول ۳ و ۴). با این وجود، فاصله ردیف‌های مختلف از لحاظ تعداد قوزه در واحد سطح اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (به استثنای فاصله ردیف ۲۰ و ۴۰ در رقم سپید) (جدول ۳ و ۴). رقم سپید نسبت به دو رقم دیگر از وزن قوزه کم‌تری برخوردار بود. در این رقم کم‌ترین وزن قوزه در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد، اما در دو رقم گلستان و ساحل کم‌ترین وزن قوزه در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۴). در هر سه رقم بیش‌ترین وزن قوزه در فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متر مشاهده شد. از طرف دیگر، اختلاف معنی‌داری بین عملکرد وش در فاصله ردیف‌های مختلف کاشت مشاهده نشد و تنها اثر رقم معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۴). در هر سه فاصله ردیف بیشترین عملکرد وش به رقم گلستان تعلق داشت و دو رقم دیگر از این نظر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴).

تأثیر فاصله ردیف بر کیفیت بذر

در رقم گلستان بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در سه آزمون گرما، سرما و تسریع پیری در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد و با افزایش فاصله بین ردیف‌های کاشت درصد جوانه‌زنی در این رقم کاهش یافت. در حالی که در رقم ساحل بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در این سه آزمون در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر و کمترین آن در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. در رقم سپید بین فاصله ردیف ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر از نظر درصد جوانه‌زنی اختلاف قابل توجهی وجود نداشت، اما کاهش زیادی در فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متر در این رقم مشاهده شد (شکل ۲، a، b و c).

آزمون هدایت الکتریکی نیز نتایج حاصل از آزمون جوانه‌زنی را تأیید کرد به‌طوری‌که در رقم گلستان کم‌ترین نشت مواد از بذر در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد که با افزایش فاصله ردیف میزان نشت مواد از بذر نیز افزایش یافت. کم‌ترین نشت مواد از بذر در

رقم سپید و ساحل در فاصله ردیف ۴۰ رخ داد و در هر دو رقم میزان هدایت الکتریکی در دو فاصله ردیف ۲۰ و ۸۰ سانتی‌متر مشابه بود (شکل ۲، d).

محاسبه شاخص قدرت (مجموع گیاهچه‌های عادی در آزمون‌های جوانه‌زنی در دمای پایین و بالا) نشان داد که هیچ‌یک از نمونه‌های بذری در گروه بذرهای عالی و ممتاز قرار نداشتند. تنها بذرهای حاصل از فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر در رقم گلستان در گروه خوب و سایر نمونه‌های بذری در گروه متوسط و یا ضعیف قرار داشتند (جدول ۵). با این حال کم‌ترین شاخص قدرت بذر در دو رقم گلستان و سپید در فاصل ردیف ۸۰ سانتی‌متر و در رقم ساحل در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر مشاهده شد. در رقم ساحل بیش‌ترین شاخص قدرت در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی از صفات مورد بررسی شامل طول شاخه رویا (LM)، تعداد شاخه رویا (NM)، تعداد شاخه زایا (NS) ارتفاع اولین قوزه (HFB)، تعداد و وزن قوزه (BN و BW) و عملکرد وش (LY) در ارقام و فاصله ردیف‌های مختلف کاشت در پنبه

Table 3- Analysis of variance for length of monopodial branches (LM), number of monopodial branches (NM), number of sympodial branches (NS), height of first boll from the ground surface (HFB), number of bolls in plant (BN), number of bolls per unit of area (BNA), boll weight (BW) and lint yield (LY), in cultivars and row spacing's in cotton

S.O.V	df	F value							
		معماری گیاهی Plant architecture				عملکرد و اجزای عملکرد Yield and Yield components			
		LM	NM	NS	HFB	BN	BNA	BW	LY
بلوک (Block)	3	1.45^{ns}	.1.00^{ns}	15.62**	0.73^{ns}	0.42^{ns}	0.54^{ns}	1.17^{ns}	5.27**
رقم (Cultivar) (a)	2	1.65^{ns}	8.31**	10.37**	4.92*	2.25^{ns}	3.36^{ns}	123.77**	13.38**
ردیف (Row) (b)	2	357.99*	433.11**	129.92**	129.71**	92.75*	2.69^{ns}	99.70**	0.14^{ns}
a×b	4	2.55^{ns}	11.53**	1.73^{ns}	0.20^{ns}	0.27^{ns}	0.49^{ns}	16.21**	1.37^{ns}
خطا (Error)	24	-	-	-	-	-	-	-	-
کل (Total)	35	-	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات (CV)	-	27.56	26.61	13.66	6.92	23.56	22.96	4.46	13.14

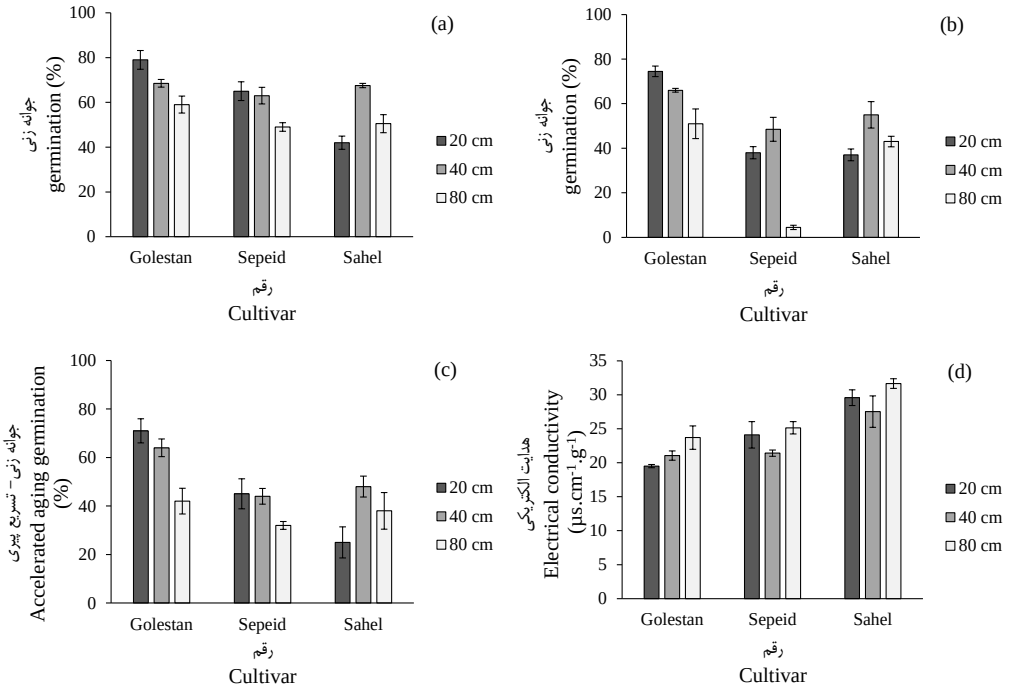
**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ns: غیر معنی‌دار

**: Significant at the 1% level, * significant at 5% level and ns: non significant

جدول ٤- مقایسه میانگین طول شاخه رویا (LM)، تعداد شاخه رویا (NM)، تعداد شاخه زایا (NS) ارتفاع اولین قوزه (HFB)، تعداد و وزن قوزه (BN و BW) و عملکرد وش (LY) در ارقام و فاصله ردیف‌های مختلف کاشت در پنبه

Table 4- Mean comparison of the length of monopodial branches (LM), number of monopodial branches (NM), number of sympodial branches (NS), height of first boll from the ground surface (HFB), number of bolls in plant (BN), number of bolls per unit of area (BNA), boll weight (BW), and lint yield (LY) in cultivars and row spacing in cotton

رقم (Cultivar)	فاصله ردیف (Row spacing)	معماری گیاهی Plant architecture				عملکرد و اجزای عملکرد Yield and Yield components			
		LM	NM	NS	HFB	BN	BNA	BW (g)	LY (kg.ha^{-1})
گلستان (Golestan)	20	0.00c	0.00d	4.20f	28.90ab	4.65c	116.25a	5.33bc	4591.65ab
	40	10.65c	0.25d	8.70d	25.10c	10.75b	134.37a	3.99e	5047.92a
	80	65.65b	1.85c	13.15ab	17.30d	19.20a	144.0a	6.09a	4359.35ab
ساحل (Sahel)	20	0.00c	0.00c	4.90f	30.10a	4.10c	102.50b	5.56b	3491.70c
	40	3.6c	0.05c	7.15de	26.80bc	7.85bc	98.12b	5.04cd	3375.00c
	80	74.55ab	2.35ab	12.15bc	19.70d	18.15a	136.12a	5.91a	3909.35bc
سپید (Sepid)	20	0.00c	0.00c	5.90ef	31.15a	5.80c	145.00a	3.77e	3866.65bc
	40	7.75c	0.10c	10.95c	26.80bc	10.35b	129.37a	3.91e	3866.67bc
	80	83.90a	3.10a	14.00a	19.50d	20.75a	155.62a	4.74d	3827.95bc



شکل ۲- درصد جوانه‌زنی بر حسب تعداد گیاهچه‌های عادی در آزمون سرما (a)، آزمون گرما (b)، تسریع پیری (c) و هدایت الکتریکی (d) در سه رقم گلستان، سپید، و ساحل در سه فاصله ردیف کاشت ۲۰، ۴۰ و ۸۰ سانتی‌متر

Figure 2- Germination percentage According to the number of normal seedlings in cold test (a), warm test (b), and accelerated aging test (c) and electrical conductivity (d) in cv. Golestan, Sepid, and Sahel in three row spacing's 20, 40, and 80 cm

جدول ۵- طبقه‌بندی نمونه‌های بذری به گروه‌های مختلف با استفاده از شاخص قدرت در روش تگزاس (مجموع گیاهچه‌های عادی در آزمون‌های جوانه‌زنی در دمای پایین و بالا)

Table 5- Classification of Seed samples into different groups by using the vigor index according to Texas method (total normal seedlings in warm and cold test)

رقم Cultivar	فاصله ردیف Row spacing	شاخص قدرت Vigor index	طبقه‌بندی Classification
گلستان (Golestan)	20	153.5	خوب (Good)
	40	134.5	متوسط (Intermediate)
	80	110.0	ضعیف (Weak)
سپید (Sepid)	20	103.0	ضعیف (Weak)
	40	111.5	ضعیف (Weak)
	80	53.5	ضعیف (Weak)
ساحل (Sahel)	20	79	ضعیف (Weak)
	40	122.5	متوسط (Intermediate)
	80	93.5	ضعیف (Weak)

دست‌ورزی در رشد اندام‌ها و هندسه گیاه یک هدف راهبردی به‌منظور افزایش پتانسیل تولید در گیاهان زراعی، سهولت برداشت و فرآوری بهینه محصولات به‌شمار می‌رود. شکل هندسی و نحوه توزیع اندام‌های گیاه تحت کنترل ژن‌ها و نیز مجموعه بزرگی از تنظیم‌کننده‌های اصلی که شامل عوامل رونویسی هستند و نقش مهمی در شکل‌گیری ساختار گیاه و بهینه‌سازی عملکرد دارند، قرار دارد (de Ribou *et al*., 2013). البته این ویژگی‌ها تحت اثر هدایت‌کنندگی عوامل محیطی بروز پیدا می‌کنند. تنظیم تراکم کاشت که می‌تواند از طریق تغییر فاصله بین ردیف‌های کاشت صورت گیرد، یک روش مدیریتی کارآمد در دست‌ورزی معماری و هندسه گیاهان

زراعی می‌باشد که بر توزیع و به دام‌اندازی نور در کانوپی و در نتیجه بر رشد گیاه، تخصیص ماده خشک، توزیع قوزه در ارتفاع گیاه و پتانسیل عملکرد مؤثر است (Kaggwa-Asiimwe *et al*., 2013).

در این پژوهش با افزایش تراکم در نظام‌های NR و به‌ویژه UNR ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های رویا و زایا در مقایسه با نظام‌های CR کاهش یافت و در مقابل شاخص سطح برگ و میزان تولید ماده خشک در واحد سطح همواره افزایش پیدا کرد (شکل ۱، جدول ۴). بر اساس یافته‌های محققان مختلف، علت اصلی کاهش ارتفاع گیاه در UNR نسبت به CR افزایش رقابت بین بوته‌هاست که دسترسی به منابع موجود برای رشد را محدود می‌سازد (Gwathmey, and Clement, 2010; Brodrick *et al*., 2012). همچنین علت افزایش شاخص سطح برگ و ماده خشک در واحد سطح در UNR، افزایش تعداد بوته در واحد سطح در مقایسه با CR می‌باشد (Brodrick *et al*., 2012). تمایل به داشتن ارتفاع کم‌تر، بیشتر به خاطر بهینه‌سازی عملیات برداشت در شرایط مکانیزه می‌باشد (Oz *et al*., 2011). تأثیر مهم دیگر افزایش تراکم که در این مطالعه مشاهده شد، افزایش ارتفاع تشکیل اولین قوزه نسبت به سطح زمین بود (جدول ۴)، که خود در تسهیل و بهینه‌سازی برداشت مکانیزه حائز اهمیت است (Buxton *et al*., 1977).

هرچند که در این پژوهش اجزای عملکرد شامل وزن قوزه و تعداد قوزه در بوته تحت تأثیر فاصله ردیف قرار گرفتند، اما این موضوع عملکرد وش را تحت تأثیر قرار نداد که علت آن عدم تغییر تعداد قوزه در واحد سطح بود (جدول ۳ و ۴). در مطالعه قبلی نشان داد که در سه رقم گلستان، سپید و ساحل تعداد قوزه در واحد سطح در فاصله‌ردیف‌های خیلی کم بیشتر از فاصله ردیف‌های رایج بود و در نتیجه عملکرد وش در فاصله ردیف‌های خیلی کم بیشتر بود (Ghaderi-Far *et al*., 2012). عدم مطابقت نتایج این دو پژوهش ممکن است ناشی از شرایط محیطی متفاوت و وارد شدن اثر سال بر نتایج آزمایش بوده باشد. در هر سه رقم بیش‌ترین وزن و تعداد قوزه در بوته در فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متری به‌دست آمد و با کاهش فاصله ردیف تعداد قوزه همواره کاهش یافت. وزن قوزه نیز بسته به رقم در فاصله‌ردیف ۲۰ (سپید) و یا ۴۰ (گلستان و ساحل) کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد. گواتمی و کلمنت (۲۰۱۰) نشان دادند که با کاهش فاصله ردیف از ۱۰۲ به ۲۵ سانتی‌متر تعداد قوزه حدود ۱۲ درصد کاهش یافت (Gwathmey and Clement, 2010). ایشان علت این رویداد را افزایش رقابت بر سر منابع ضروری جهت نگه‌داری و بقای قوزه‌ها و محدودیت دسترسی به این منابع در تراکم‌های بالا می‌دانند. در واقع به دلیل کاهش تعداد مکان‌های مورد نیاز برای تشکیل قوزه (کاهش تعداد شاخه زایا)، میزان بارگیری قوزه‌ها و تخصیص مواد به بخش قابل برداشت کاهش یافت.

همچنین علت ثبات عملکرد، با وجود کاهش وزن و تعداد قوزه در هر بوته در UNR، افزایش تعداد بوته و در نتیجه ثبات تعداد قوزه در واحد سطح بود. نتایج بسیاری از مطالعات پیشین نیز حاکی از یکسان بودن عملکرد در UNR و CR بودند (Molin *et al*., 2006; Feng *et al*., 2014; Dai *et al*., 2015). اما برخی دیگر منعکس‌کننده برتری نظام‌های UNR در مقابل CR از لحاظ عملکرد می‌باشند و علت آن‌را نیز افزایش دریافت تشعشع و کارایی مصرف نور در تراکم‌های بالاتر می‌دانند (Heitholt *et al*., 1992; Ghaderi-Far *et al*., 2012; Mao *et al*., 2014; Zhang *et al*., 2014).

با وجود اینکه برخی از محققان به تأثیر تراکم بر کیفیت بذر اشاره کردند (Kong *et al*., 2004; Ramaan *et al*., 2005)، بیشتر مطالعاتی که در آن‌ها اثر تراکم کاشت بر کیفیت بذر مورد بررسی قرار گرفت حاکی از آن هستند که تراکم یا فاصله بین ردیف‌های کاشت اثر معنی‌داری بر قابلیت جوانه‌زنی یا قدرت بذر ندارد (Castillo *et al*., 1993; Kong *et al*., 2004). شاید بتوان دلیل بیشتر بودن کیفیت بذر در فاصله ردیف ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر در مقایسه با فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متر را در این مطالعه به ارتفاع تشکیل قوزه نسبت داد. در سویا نشان داده شده است که تفاوت در شرایط محیطی (تشعشع، دما و رطوبت نسبی) در اطراف غلاف‌های موجود در لایه‌های مختلف کانوپی می‌تواند بر کیفیت بذر مؤثر باشد (Illipronti *et al*., 2000). در سویا بذرهای حاصل از بخش فوقانی ساقه اصلی در مقایسه با بذرهای تشکیل شده در قسمت‌های پایینی ساقه اصلی و بذرهای شاخه‌ها، از کیفیت بالاتری برخوردار هستند (Adam *et al*., 1989; Smiciklas *et al*., 1992). بنابراین، ممکن است با کاهش فاصله بین ردیف‌های کاشت که باعث تشکیل قوزه‌ها در ارتفاع بالاتری شد و به دلیل وجود تلاطم ناشی از وزش باد در ارتفاع بالاتر این قوزه‌ها با دما و رطوبت نسبی پایین‌تری مواجه شده باشند و به این ترتیب کیفیت بذرهای تولید شده افزایش یافته باشد. نکته مهم دیگر این است که شاخص قدرت بذر (جدول ۵) تنها در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر در رقم گلستان در گروه خوب و در فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر در رقم‌های گلستان و ساحل در گروه متوسط قرار داشت و مابقی بذرهای تولید شده در گروه ضعیف طبقه‌بندی شدند، ضمن اینکه هیچ یک از بذرهای تولید شده در گروه عالی قرار نداشتند. این موضوع نشان می‌دهد که منطقه گرگان برای تولید بذر پنبه از شرایط مناسبی برخوردار نیست که خود ضرورت شناسایی مناطق مناسب جهت تولید بذر پنبه را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه استفاده از فاصله‌ردیف‌های کم (۴۰ سانتی‌متر) و خیلی کم (۲۰ سانتی‌متر) باعث کاهش وزن و تعداد قوزه در هر بوته در مقایسه با فاصله ردیف‌های

رایج (۸۰ سانتی‌متر) در هر سه رقم شد، اما افزایش تعداد بوته در واحد سطح کاهش اجزای عملکرد در تک بوته‌ها را جبران نمود. این موضوع باعث شد تا سه فاصله ردیف از نظر تعداد قوزه در واحد سطح و در نتیجه عملکرد وش اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته باشند. این ثبات عملکرد را همچنین می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ و میزان ماده خشک تولید شده در واحد سطح نسبت داد، زیرا این خصوصیات در تأمین مواد فتوسنتزی و انتقال آن به اندام‌های قابل برداشت نقش مهمی ایفا می‌کنند. کاهش ارتفاع بوته و افزایش ارتفاع تشکیل قوزه در این تحقیق منعکس‌کننده تسهیل در برداشت مکانیزه با کاهش فاصله ردیف بودند. کلیه این خصوصیات مطلوب حاصل تغییر در معماری و نحوه توزیع و قرارگیری اندام‌های گیاه در کانوپی جهت دریافت بهتر نور و تخصیص بهینه مواد فتوسنتزی بود که با کاهش فاصله ردیف رخ داد. فاصله ردیف اثر معنی‌داری بر کیفیت الیاف نداشت و تنها نوع رقم بر این ویژگی مؤثر بود. از طرف دیگر، فاصله ردیف اثر معنی‌داری بر کیفیت بذر داشت. به‌طوری‌که در فاصله ردیف‌های کم و خیلی کم کیفیت بذرهای تولید شده در هر سه رقم بیشتر از فاصله ردیف معمول بود. هرچند که برای یافتن دلایل افزایش کیفیت بذر در فاصله ردیف‌های کم (۴۰ سانتی‌متر) و خیلی کم (۲۰ سانتی‌متر) به مطالعات بیشتری نیاز می‌باشد، اما به نظر می‌رسد تشکیل قوزه‌ها در ارتفاع بالاتر کانوپی در فاصله ردیف‌های کم نقش مهمی در افزایش کیفیت بذر داشته باشد. چرا که در ارتفاع بالاتر میزان تشعشع بیشتر بوده و نیز رطوبت نسبی کانوپی نیز پایین‌تر می‌باشد. همچنین جابه‌جایی هوا در اثر جریان باد باعث تعدیل دما در بخش فوقانی کانوپی می‌شود که کلیه این عوامل در تعیین میکروکلیمای کانوپی و در نتیجه کیفیت بذرهای تولید شده مؤثرند. همچنین با توجه به پایین بودن شاخص قدرت بذر در اکثر بذرهای تولید شده، به نظر می‌رسد که منطقه گرگان به منظور تولید بذر پنبه از شرایط نامناسبی برخوردار است. بنابراین، به طور کلی کاهش ارتفاع بوته و افزایش ارتفاع تشکیل قوزه که خصوصیات تسهیل‌کننده برداشت مکانیزه هستند، افزایش شاخص سطح برگ و ماده خشک در واحد سطح که در دریافت نور و تأمین مواد فتوسنتزی جهت انتقال به بخش قابل برداشت نقش دارند، ثبات عملکرد و کیفیت الیاف در فاصله ردیف‌های کم و خیلی کم و در نهایت افزایش کیفیت بذر، همگی نشان‌دهنده برتری فاصله ردیف‌های کم و خیلی کم در مقابل فاصله ردیف‌های زیاد و معمول می‌باشند.

References

1. Adam, N. M., McDonald, M. B., and Henderlong, P. R. 1989. The influence of seed position planting, and harvesting on soybean seed quality. Seed Science and Technology 17 (1): 143-152.
2. Arunvenkatesh, S., and Rajendran, K. 2013. Evaluation of plant density and cotton genotypes (*Gossypium hirsutum* L.) on cotton yield and fibre quality. International Journal of Forestry and Crop Improvement 4 (1): 1-5.
3. Atwell, S., Perkins, R., Guice, B., Stewart, W., Harden, J., and Odeneal, T. 1996. Essential steps to successful ultra narrow row cotton production. In Dugger, P. and Richter, D. A, (eds). Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences, Nashville, TN. January 9-12, 1996. Memphis, TN: National Cotton Council of America. pp. 1210-1211.
4. Béland, M., Widlowski, J. L., Fournier, R. A., Ois Côté, J. F., and Verstraete, M. M. 2011. Estimating leaf area distribution in savanna trees from terrestrial LiDAR measurements. Agricultural and Forest Meteorology 151 (9): 1252-1266.
5. Brodrick, R., Bange, M. P., Milroy, S. P., and Hammer, G. L. 2012. Physiological determinants of high yielding ultra-narrow row cotton: Biomass accumulation and partitioning. Field Crops Research 134: 122-129.
6. Buxton, D. R., Briggs, R. E., Patterson, L. L., and Watkins, S. D. 1977. Canopy characteristics of narrow-row cotton as affected by plant density. Agronomy Journal 69: 929-933.
7. Castillo, A. G., Hampton, J. G., and Coolbear, P. 1993. Effect of population density on within canopy environment seed vigour in graden (*Pisum satiivum* L.). Proceedings of Agronomy Society of New Zealand 23: 99-106.
8. Dai, J., Li, W., Tang, W., Zhang, D., Li, Z., Lu, H., Eneji, A. E., and Dong, H. 2015. Manipulation of dry matter accumulation and partitioning with plant density in relation to yield stability of cotton under intensive management. Field Crops Research 180: 207-215.
9. De Ribou, S. B., Douam, F., Hamant, O., Frohlich, M. W., and Negrutiu, I. 2013. Plant science and agricultural productivity: Why are we hitting the yield ceiling? Plant Science 210: 159-176.
10. Dong, H., Zhang, D., Tang, W., Li, W., and Li, Z. 2005. Effects of planting system, plant density and flower removal on yield and quality of hybrid seed in cotton. Field Crops Research 93 (1): 74-84.
11. Feng, L., Mathis, G., Ritchie, G., Han, Y., Li, Y., Wang, G., Zhi, X., and Bednarz, C. W. 2014. Optimizing irrigation and plant density for improved cotton yield and fiber quality. Agronomy, Soil and Environmental Quality 106 (4): 1111-1118.
12. Ghaderi-Far, F., Soltani, A., and Sadeghipour H. R. 2009. Evaluation of nonlinear regeression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. Pepo. *Convar*. Pepo var. *styriaca Greb*), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. Journal of Plant

Production 16 (4): 1-19. (in Persian with English abstract).
13. Ghaderi-Far, F., Alimagham, S. M., Sancholi, O., Yousefi-Daz, M., and Miri, A. A. 2012. Yield and fiber quality comparison of cotton planted in ultra narrow row and conventional row. Electronic Journal Crop Production 5 (2): 75-91. (in Persian with English abstract).
14. Gwathmey, C. O., and Clement, J. D. 2010. Alteration of cotton source-sink relations with plant population density and mepiquat chloride. Field Crops Research 116 (1-2): 101-107.
15. Ghorbanpour, E. 2012. Ecophysiological study the competition between velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.) and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) planted in conventional and ultra narrow row (UNR) spacings. MSc. Thesis, Agronomy. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. (in Persian with English abstract).
16. Hampton, J. G., and TeKrony, D. M. 1995. Handbook of vigor test methods. The International Seed Testing Association, Zurich. 117 pp.
17. Heitholt, J. J., Pettigrew, W. T., and Meredith, W. R. 1992. Light interception and lint yield of narrow-row cotton. Crop Science 32 (3): 728-733.
18. Illipronti, R. A., Lommen, W. J. M., Langerak, C. J., and Struik, P. C. 2000. Time of pod and seed position on the plant contribute to variation in quality of seed within soybean seed lots. Netherlands. Journal of Agricultural Science 48 (2): 165-180.
19. Jost, P. H., and Cothern, J. T. 2000. Growth and yield comparisons of cotton planted in conventional and ultra-narrow row spacings. Crop Science 40 (2): 430-435.
20. Kaggwa-Asiimwe, R., Andrade-Sanchez, P., and Wang, G. 2013. Plant architecture influences growth and yield response of upland cotton to population density. Field Crops Research 145: 52-59.
21. Kong, L. J., Zhang, G. X., and Yao, D. W. 2004. Seed production technology of carrot in foreign countries. China Vegetable 2 (1): 54-56.
22. Mao, L., Zhang, L., Zhao, X., Liu, S., van der Werf, W., Zhang, S., Spiertz, H., and Li, Z. 2014. Crop growth, light utilization and yield of relay intercropped cotton as affected by plant density and a plant growth regulator. Field Crops Research 155 (1): 67-76.
23. McConnell, J. S., Francis, P. B., Stark, C. R., and Glover, R. E. 2008. Plant responses of ultra narrow row cotton to nitrogen fertilization. Journal of Plant Nutrition 31 (6): 1005-1017.
24. Meng, Y., Lv, F., Zhao, W., Chen, J., Zhu, L., Wang, Y., Chen, B., and Zhou, Z. 2016. Plant density influences fiber sucrose metabolism in relation to cotton fiber quality. Acta Physiology of plant 38: 112.
25. Molin,W. T., Boykin, D., Hugie, J. A., Ratnayaka, H. H., and Tracy, M. 2006. Spurred anoda (*Anoda cristata*) interference in wide row and ultra narrow row Cotton. Weed Science 54 (4): 651-657.
26. Oz, E., Tekin, A. B., Evcim, H. U., and Degirmencioglu, A. 2011. Effect of variety and row spacing on the performance of a cotton picker. Journal of Food and Agricultural Environment 9 (1): 236-242.
27. Ramaan, M. M., Mwakangwale, M. G., Hampton, J. G., and Hill, M. J. 2005. Plant density affects soybean seed quality. Seed Science and Technology 33 (2): 521-525.
28. Smiciklas, K. D., Mullen, R. E., Carlson, R. E., and Knapp, A. D. 1992. Soybean seed quality response to drought stress and pod position. Agronomy Journal 84 (2): 166-170.
29. Speers, J. 2001. Seed and seed quality issues 2001 North Carolina cotton Production Guide. www.Ipm. Ncsu.edu.
30. Xiao-yu, Z., Ying-chun, H., Ya-bing, L., Guo-ping, W., Wen-li, D., Xiao-xin, L., Shuchun, M., and Lu, F. 2015. Effects of plant density on cotton yield components and quality. Journal of Integrative Agriculture 15 (1): 1-13.
31. Zhang, D., Zhang, L., Jianguo Liu, J., Shuo Han, S., Wang, Q., Jochem Evers, J., Liu, J., van der Werf, W., and Li, L. 2014. Plant density affects light interception and yield in cotton grown as companion crop in young jujube plantations. Field Crops Research 169: 132-139.
32. Zaxos, D., Kostoula, S., Khah, E. M., Mavromatis, A., Chachalis, D., and Sakellariou, M. 2012. Evaluation of seed cotton (*Gossypium hirsutum* L.) production and quality in relation to the different irrigation levels and two row spacings. International Journal of Plant Production 6 (1): 129-148.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 435-446

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۴۶-۴۳۵

The Effect of Row Spacing on Plant Architecture, Yield and Seed Quality of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.)

M. Mounian Ardestani[1]- F. Ghaderi-Far[2*]- E. Zeinali[3]- M. H. Ghorbani[4]- M. Gorzin[5]

Received: 13-05-2017
Accepted: 15-01-2018

Introduction: Adjusting the distance between planting rows is one of the most important aspects of management in the process of crop production. The row spacing is effective on land cover, the amount of radiation, crop competitive ability against weeds, and pests and pathogens population and these methods affect the efficiency of crop production system. In general, row distance in cotton planting is more than other crops, ranged normally between 76 to 102 cm. But today, cotton cultivation in low row spacing (25-50 cm) and very low (row spacing 18-25 cm) is preferred. The advantages include increased potential for higher yield, declined production costs through reducing soil erosion in prone areas, reducing water losses, increased photosynthesis efficiency, reducing the cost of weed control and the possibility of mechanized harvesting which saves time.

Materials and Methods: This study was conducted in the factorial experiment in the Randomized Complete Block Design with four replications at research farm (No.1) of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (36°49' N, 54°19'E and 12m above sea level), 2012. Experimental treatments included row spacing at three levels (20, 40, and 80 cm), and three cultivars of Sahel, Sepid and Golestan. During the plant growth period changes in plant height, leaf area index and shoot dry weight were measured. Also, in the maturity, some other parameters such as the first boll height from the ground surface, the number of monopodial branches, the number of sympodial branches, the length of the highest monopodial branches, the number and weight of boll and yield were measured. In addition, after the separation of fibers from seeds, accelerated aging tests, germination at low and high temperature (warm and cold tests) and electrical conductivity test were applied to evaluate the seed quality. For better evaluation of seed samples, after warm and cold germination tests, the normal seedling percentages from the two tests were added together (vigor index). Thus, all seeds produced were classified in terms of seed vigor into four categories: excellent, good, medium and weak.

Results and Discussion: In this study, structure and geometrical characteristics of the plant were significantly affected by row spacing. Thus, the reduction of row spacing from 80 to 20 cm, reduced plant height and, the number and length of monopodial and sympodial branches. However, the leaf area index, dry matter and boll height increased significantly. Despite significant reduction of boll number and size per plant with the reduction of row distance, lint yield remained unaffected due to an increase in the number of plants and the number of bolls per unit of area. The highest seed quality observed in Golestan cultivar at a row spacing of 20 cm while for the other two cultivars it occurred at row spacing of 40 cm. The lowest seed quality in all three cultivars obtained in row spacing of 80 cm. Based on the seed vigor index (total normal seedlings in warm and cold germination tests) none of the seed samples could be categorized in an excellent group. The Golestan cultivar with row spacing of 20 cm could be placed in a good group and the other seed samples were found to be medium to weak. However, the least seed vigor index was found in Golestan and sepid cultivars in 80 cm row

1- Former M.Sc. Student in Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources
2- Associate Prof., Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources
3- Associate Prof., Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources
4- Assistant Prof., Department of Agronomy. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources
5- Ph.D. Student in Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources
(*- Corresponding Author Email: farshidghaderifar@yahoo.com)

spacing and in Sahel cultivar in 20 cm row spacing. For Sahel cultivar, the maximum seed vigor index obtained in 40 cm row spacing.

Conclusions: There are advantages in narrow and ultra-narrow row spacing in comparison of traditional row spacing for cotton planting. These include generally, the reduction of plant height, increased height of boll formation which facilitates mechanized harvesting, and the increase of LAI and dry matter per area. Other advantages are the stability of lint yield and fiber quality, and ultimately increased seed quality in cultivations with lower row spacing.

Keywords: Plant density, Plant geometry, Seed germination and vigor

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۵۸-۴۴۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 447-458

کمّی‌سازی نمو برگ در ارقام مختلف گندم: I- تولید و زوال برگ‌های ساقه اصلی در شرایط مزرعه

جعفر پوررضا[۱*]- افشین سلطانی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴

چکیده

یکی از اجزای اصلی مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی، نمو سطح برگ است که اثر بسیار مهمی روی فتوسنتز و تعرق گیاهی دارد. نمو سطح برگ شامل ظهور برگ‌های جدید، توسعه برگ‌های سبز شده و پیری برگ‌های مسن است. به منظور تعیین پارامترهای مربوط به تولید و زوال برگ در ارقام گندم دو پژوهش مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامهرمز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در طی دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۸۷-۱۳۸۶ اجرا شد. ارقام مورد استفاده شامل اترک، بیات، چمران، چناب، دز، اینیاء، کویر، مرودشت، شیراز، استار، شوا-مالد (کرخه)، ویریناک، یاواروس، زاگرس و لاین S78-18 بودند. آزمایش در شرایط عدم محدودیت آب و مواد غذایی انجام گرفت. برای توصیف تغییرات تعداد برگ در ساقه اصلی در مقابل درجه-روز رشد از یک مدل دو تکه‌ای استفاده شد. نتایج نشان داد که تولید برگ در ساقه اصلی با دریافت ۱۰۸/۵ درجه-روز رشد پس از کاشت در ارقام گندم آغاز شد و به‌صورت خطی و با سرعت متوسط ۰/۰۱۲ برگ بر درجه-روز رشد (فیلوکرون ۸۳ درجه-روز رشد) افزایش یافت. زمان توقف تولید برگ با توجه به اختلاف معنی‌دار بین ارقام در دامنه‌ی ۷۳۷/۵ تا ۸۵۶/۵ درجه-روز رشد زمانی که بوته حدود ۱۰-۹ برگ در ساقه اصلی داشت، اتفاق افتاد. پیری برگ در ساقه اصلی زمانی آغاز شد که ساقه اصلی دارای ۶-۴ برگ بود و پس از این مرحله به ازای هر واحد افزایش در درجه-روز رشد، ۰/۰۰۰۶۵ از برگ‌های ساقه اصلی زوال یافتند. روابط به‌دست آمده از این مطالعه را می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی گندم استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: درجه روز رشد، ظهور برگ، کسر برگ پیر شده، مدل‌سازی، مرحله برگی هان

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین گیاه زراعی جهان است که برای تولید عملکرد مناسب، پایدار و برنامه‌ریزی شده در آن جنبه‌های مختلفی نیاز به بررسی دارند (Sinclair and Jamieson, 2006). پیش‌بینی تولید و زوال برگ به پیش‌بینی ظهور و دوره توسعه برگ‌ها، سطح برگ تجمعی و انفرادی و پیری برگ‌های انفرادی ارتباط دارد. پیش‌بینی ظهور برگ یک بخش مهم از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است زیرا ظهور برگ تنها در رابطه با زمان‌بندی مراحل فنولوژیکی مشخص نیست بلکه در رابطه با گسترش سطح برگ می‌باشد که برای جذب نور، تجمع ماده خشک و عملکرد دانه با اهمیت است (McMaster and Wilhelm, 1997). در غلات ظهور برگ اغلب با استفاده از روش فیلوکرون شبیه‌سازی می‌گردد. فیلوکرون[۳] (هم بر اساس روزهای تقویمی ولی اغلب به‌عنوان حرارتی (°C.day)) به‌عنوان زمان بین ظهور نوک برگ‌های متوالی تعریف شده است (McMaster and Wilhelm, 1997). روش فیلوکرون در بسیاری از مدل‌های رشد و نمو مثل CERES-WHEAT (Ritchie, and Otter, 1985) و CERES-MAIZE (Kiniry, 1991) استفاده شد. فیلوکرون به‌طور گسترده توسط مدل‌سازان به‌عنوان شاخصی مناسب برای پیش‌بینی نمو گیاه پذیرفته شده است و می‌تواند به‌عنوان تأمین‌کننده زمان مناسب مدیریت‌هایی همچون مصرف کود و کاربرد آفت‌کش‌ها از طرف تولیدکنندگان مهم باشد (Streck *et al.*, 2003). در بررسی ارقام گندم زمستانه گزارش شد که فاصله فیلوکرون بین ارقام متفاوت بود، در مواقع خشکی، دمای کنوپی (سایه‌انداز) برای طیفی از گونه‌ها افزایش یافت و وقتی

۱- استادیار، گروه کشاورزی، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: (Email: J_Pourreza@yahoo.com
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.65321

3- Phyllochoron

تنش توسعه پیدا کرد، روزنه‌ها بسته شدند و تعرق در نتیجه افزایش در دمای برگ و کانوپی کاهش یافت (Baker *et al.*, 1986). درجه-روزهای رشد مورد نیاز برای تولید یک برگ یک پارامتر مهم در بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهی است (Baker *et al.*, 1986). در مقایسه با تحقیقات انجام شده روی تولید سطح برگ به‌طور نسبی تحقیق اندکی در زمینه پیری برگ انجام شده است و مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی در این زمینه ناقص هستند (Volk and Bugbee, 1991). عمومی‌ترین روش برای توصیف پیری برگ، پیری سطح برگ به‌عنوان تابعی از پیشرفت زمان یا زمان حرارتی است. پیری برگ در گیاه معمولاً با پیری برگ در ساقه اصلی ارتباط دارد (Robertson *et al.*, 2002; Soltani *et al.*, 2006). در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.)، کسر برگ‌های پیر در ساقه اصلی (نسبت برگ‌های پیر ساقه اصلی به کل برگ‌ها) در مقابل روز حرارتی و روز بیولوژیکی قرار دادند و بر اساس یافته‌های این پژوهش پیری برگ بر روی ساقه اصلی بعد از ۱۵ روز بیولوژیک (معادل ۳۶ روز حرارتی، ۷۵۶ درجه روز رشد و حدود ۱۲ گره روی ساقه اصلی) شروع شد و با روند ۱/۶۷ درصد افزایش در هر روز بیولوژیک پیش رفت (Soltani *et al.*, 2006).

پیش‌بینی دقیق تر مراحل نموی و برآورد بهتر عملکرد و نیز امکان اعمال مدیریت‌های زراعی صحیح با شناختی که از تولید و پیری برگ‌ها حاصل می‌گردد به پژوهشگران اصلاح نباتات کمک می‌کند تا از این ویژگی‌ها در به‌کارگیری صفات مطلوب استفاده نمایند. به منظور بهبود قابلیت‌های مدل‌سازی گندم، بررسی پارامترهای مربوط به تولید و پیری برگ در ارقام مختلف گندم در محیط‌های گرم و نیز کمّی‌سازی تولید و پیری برگ و ارزیابی پایداری پارامترهای مربوط به تولید و پیری برگ در این شرایط، این پژوهش هدفمند شده تا به بررسی پارامترهای مربوط به تولید و زوال برگ در ارقام مختلف گندم مورد مطالعه در شرایط گرم بپردازد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامهرمز در شهرستان رامهرمز به اجرا درآمد. این مزرعه در مکانی با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۱ متری از سطح دریا قرار گرفته است. این منطقه بر اساس آمار بلند مدت ۳۰ ساله دارای متوسط بارندگی سالانه ۳۲۰ میلی‌متر، متوسط تشعشع روزانه ۱۹/۱ مگاژول بر متر مربع در روز و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه به‌ترتیب ۲۷/۱ و ۱۹/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در طی دو سال انجام شد. ارقام مورد بررسی شامل ۱۵ رقم گندم بهاره و حدواسط (دز، چمران، زاگرس، ویریناک، کویر، اترک، بیات، شیراز، شوا مالد (کرخه)، یاواروس، مرودشت، چناب، اینیبیاء و استار و S78-18) بودند، این ارقام دارای کلاس‌های رسیدگی متنوع هستند و جهت بررسی گسترده‌تر ضرایب و پارامترهای مربوط به تولید و پیری برگ انتخاب شدند. طول کرت‌های آزمایش شش متر و فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و هر کرت شامل شش ردیف خط کشت بود. فاصله بین تکرارها ۱/۵ متر اعمال گردید. همه کرت‌ها در یک تراکم ثابت ۴۰۰ بذر در متر مربع کشت شدند. قبل از کاشت، بذرها با سم کربوکسی تیرام به میزان دو در هزار ضدعفونی شدند. کاشت بذر به‌صورت دستی انجام شد. تاریخ کاشت در سال اول نهم آذر ماه و در سال دوم چهارم آذر ماه بود. چون آزمایش در شرایط عدم محدودیت آب و عناصر غذایی، آفات و علف‌های هرز انجام می‌شد، در مراحل مختلف با توجه به نیاز آبی در مواقع لزوم آبیاری انجام شد. ثبت مراحل فنولوژیک به روش زادوکس (Zadoks *et al.*, 1974) هر سه روز یک بار انجام شد. برای ثبت مراحل فنولوژیک از هر رقم در هر کرت، ۱۰ بوته به‌عنوان شاخص ثبت مراحل فنولوژیک تعیین و علامت‌گذاری شدند. در هر کرت و رقم، تاریخی که در آن مراحل فنولوژیک مورد نظر در بیش از ۵۰ درصد بوته‌های علامت‌گذاری شده مشاهده شد؛ به‌عنوان زمان وقوع آن مرحله‌ی فنولوژیک برای آن رقم ثبت شد. واحدهای حرارتی روزانه (درجه–روز رشد، GDD[1]) از دمای حداکثر (T_{MAX}) و دمای حداقل روزانه (T_{MIN}) بر اساس معادله ۱ تعیین شدند:

$$GDD=(\ (T_{MIN}+T_{MAX})/2)-T_{base} \quad \text{(معادله ۱)}$$

که در این پژوهش T_{base}، دمای پایه یا حداقل گندم برای جوانه‌زنی، با توجه به اینکه ارقام مورد نظر همه ارقام بهاره هستند، چهار درجه سلسیوس در نظر گرفته شد (Slafer and Savin, 1991; Slafer and Rawson, 1995; John *et al.*, 1999; Schulz *et al.*, 2005). در این فرمول در صورتی که دمای حداکثر روزانه بیشتر از ۳۰ درجه سلسیوس باشد برابر با ۳۰ و در صورتی که دمای حداقل روزانه از چهار درجه سلسیوس کمتر باشد برابر با چهار در فرمول قرار داده می‌شود. به منظور تعیین تعداد برگ‌های سبز، زرد و پیر شده روی ساقه اصلی در مراحل[2] پنجه‌زنی (۴۱ روز)، ساقه‌رفتن (۸۳ روز)، ظهور برگ پرچم (۹۰ روز)، سنبله رفتن (۱۰۳ روز)، شروع گرده‌افشانی (۱۰۵ روز)، تکمیل گرده‌افشانی (۱۱۳ روز) و رسیدگی فیزیولوژیک (۱۴۰ روز) تعداد برگ‌های سبز؛ زرد و پیر شده برای هر رقم در هر سال اندازه‌گیری شدند. تمام اندازه‌گیری‌ها روی نمونه گیاهی شامل ۱۰

1- Growing Degree Days

۲- اعداد داخل پرانتز متوسط روز از کاشت تا مرحله مورد نظر در دو سال آزمایش هستند.

بوته که از یک نمونه بزرگ‌تر ۲۰ تایی انتخاب شده بودند، صورت گرفت. یک برگ زمانی زرد و پیر شده در نظر گرفته می‌شد که ۵۰ درصد یا بیشتر از سطح آن زرد شده باشد.

در اوایل فصل رشد ۱۰ بوته از ابتدای خط وسط هر کرت با نوارهای رنگی علامت‌گذاری شدند. بسته به وضعیت رطوبتی خاک جهت ورود به مزرعه هر چهار یا هفت روز یکبار از زمان سبز شدن تا مرحله ظهور لیگول برگ پرچم، تعداد برگ ساقه اصلی روی بوته‌های مشخص شده تعیین و طول دو برگ جوان انتهایی واقع در ساقه اصلی با خط‌کش اندازه‌گیری و مرحله برگی (Haun Stage) بر اساس روش هان (Haun, 1973) بر اساس معادله ۲ برای هر رقم و در هر مرحله محاسبه شد:

$$HS=(a-1)+(b/c) \quad \text{(معادله ۲)}$$

که در آن a تعداد برگ قابل مشاهده روی ساقه اصلی، b طول جوان‌ترین برگ (سانتی‌متر) و c طول دومین برگ جوان هستند. علاوه بر تعیین مرحله برگی، تغییرات تعداد برگ در ساقه اصلی در مقابل درجه–روز رشد تجمعی (Cd) با استفاده از مدل رگرسیون غیر خطی دوتکه‌ای بر اساس معادله ۳ توصیف شد. مدل غیر خطی دوتکه‌ای دارای دو خط متقاطع است که شیب خط در قسمت اول نشان‌دهنده افزایش در تعداد برگ و خط افقی نشان‌دهنده حداکثر تعداد برگ در ساقه اصلی است (Robertson *et al.*, 2002; Soltani *et al.*, 2006):

$$y = a + bx \quad \text{اگر} \quad x \le x_0 \quad \text{(معادله ۳)}$$
$$y = a + bx_0 \quad \text{اگر} \quad x > x_0$$

که در آن y تعداد برگ در ساقه اصلی (مرحله برگی ساقه اصلی یا واحدهای مقیاس هان)، x درجه–روز رشد تجمعی پس از کاشت، a عرض از مبدأ (محل قطع محور y)، b سرعت ظهور برگ در ساقه اصلی و x_0 درجه–روز رشد تجمعی پس از کاشت است که در آن تولید برگ در ساقه اصلی خاتمه می‌یابد و $a + bx_0$ حداکثر تعداد برگ در ساقه اصلی را نشان می‌دهد. از معادله ۳ همچنین برای به‌دست آوردن زمان خاتمه مؤثر برگ در ساقه اصلی و حداکثر تعداد برگ در ساقه اصلی استفاده شد. به منظور بررسی پیری برگ در ساقه اصلی، کسر برگ پیر در ساقه اصلی در مقابل درجه–روز رشد تجمعی بر اساس معادله ۴ برازش داده شد (کسر برگ پیر در ساقه اصلی، نسبت تعداد برگ پیر به کل برگ در ساقه اصلی است) (Robertson *et al.*, 2002; Soltani *et al.*, 2006):

$$y = 0 \quad \text{اگر} \quad x \le x_0 \quad \text{(معادله ۴)}$$
$$y = b\,(x - x_0) \quad \text{اگر} \quad x > x_0$$

که در آن y کسر برگ‌های پیر در ساقه اصلی، x درجه–روز رشد تجمعی پس از کاشت و x_0 (نقطه چرخش منحنی) زمان شروع مرحله پیری در ساقه اصلی بر حسب درجه–روز رشد و b سرعت افزایش این کسر به ازای هر واحد افزایش در درجه–روز رشد می‌باشد. تجزیه و تحلیل آماری بر اساس توابع ریاضی بین متغیرهای محیطی و پارامترهای تولید و زوال برگ با استفاده از روش PROC NLIN در برنامه آماری SAS انجام شدند (Soltani, 2007). در مواقع ضروری، از روابط و توابع مناسب برگرفته از گزارش‌های تحقیقاتی منتشر شده استفاده شد (Robertson *et al.*, 2002; Soltani *et al.*, 2006; Hamer *et al.*, 1993) زمانی که رابطه مناسبی وجود نداشت رابطه مورد نظر از طریق زیر به‌دست آمد: (۱) مشاهده منحنی پراکنش بین دو متغیّر مورد نظر، (۲) برازش توابع امیدبخش به داده‌ها، و (۳) انتخاب مناسب‌ترین تابع بر اساس سادگی و معیارهای آماری از قبیل ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[1]). بر این اساس به منظور ارزیابی نکوئی برازش مدل‌های مختلف، هرچه مقدار RMSE محاسبه شده کمتر و R^2 بیشتر باشد، دقت مدل در پیش‌بینی بیشتر است. R^2 درصد تغییرات در تعداد برگ در ساقه اصلی و کسر برگ پیر شده در ساقه اصلی را نشان می‌دهد که به‌وسیله درجه روز رشد توجیه می‌شود؛ هرچه R^2 بیشتر باشد نشان‌دهنده این است که مدل درصد تغییرات در تعداد برگ در ساقه اصلی و کسر برگ پیر شده در ساقه اصلی را به‌وسیله درجه روز رشد بهتر توجیه می‌کند. در صورت امکان، به جای اینکه به تک تک تیمارها معادله جداگانه‌ای برازش داده شود، به کل داده‌ها یا بخشی از داده‌ها یک معادله یکسان برازش داده شد. تفاوت پارامترهای مدل در بین تیمارهای مختلف با استفاده از حدود اطمینان ۹۵ درصد برآورد پارامترهای مدل، مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی تفاوت پارامترها از آماره‌ی خطای معیار میانگین (SE[2]) استفاده شد رسم نمودارها با برنامه Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

تولید برگ در ساقه اصلی

تغییرات تعداد برگ در ساقه اصلی در مقابل درجه–روز رشد تجمعی با استفاده از مدل رگرسیون غیر خطی دوتکه‌ای (مدل ۳) توصیف شد. برازش رگرسیون مرحله برگی هان (Hs[3]) در مقابل درجه–روز رشد تجمعی در تیمارهای آزمایش در شکل ۱ آمده است. اختلافات در سرعت ظهور برگ بین ارقام در سال اول و دوم آزمایش معنی‌دار نبود (داده‌ها نشان داده نشدند). به‌طور متوسط سرعت ظهور برگ (b) بر حسب همه ارقام و دو سال آزمایش دارای مقدار ثابتی بود و در دامنه ۰/۰۱۱۱ تا ۰/۰۱۲ برگ به ازای هر درجه–روز رشد قرار

1-Root Mean Squares Error
2- Standard Error
3- Haun Stage

داشت (جدول ۱). فیلوکرون عبارت است از عکس سرعت ظهور برگ (1/*b*) در فواصل زمان حرارتی بین ظهور برگ‌های متوالی است (Kerby, 1988; Klepper *et al.*, 1982) بر اساس نتایج به‌دست آمده از سرعت ظهور برگ، مقادیر فیلو کرون بر حسب همه ارقام و دو سال آزمایش در دامنه‌ای از ۸۳ تا ۹۰ درجه–روز رشد بود. اختلاف زمان توقف تولید برگ مؤثر در ساقه اصلی (x_0) بین ۱۳ رقم از ۱۵ رقم در دو سال معنی‌دار نبود (جداول ۱ و شکل ۱) و مقدار آن در دامنه ۷۱۵ تا ۷۴۵ درجه–روز رشد بود. مقدار این پارامتر در دو رقم دیگر یعنی شیراز و استار در هر دو سال آزمایش بیشتر از سایر ارقام بود (جدول ۱) و به‌طور متوسط بر حسب ۲ رقم و دو سال آزمایش در محدوده ۸۳۱ تا ۸۵۲ درجه–روز رشد بود. زمان توقف تولید برگ مؤثر در ساقه اصلی در سال اول حدوداً ۴٪ در مقایسه با سال دوم کمتر بود (داده‌ها نشان داده نشدند).

جدول ۱- پارامترهای مدل برازش داده شده به داده‌های تعداد برگ در ساقه اصلی (مرحله برگی هان ساقه اصلی) در برابر درجه روز رشد (معادله ۳) برای ارقام مختلف گندم در دو سال آزمایش (داده‌های دو سال ادغام شدند). a عرض از مبدأ، b سرعت ظهور برگ در ساقه اصلی، x_0 زمان اتمام تولید برگ در ساقه اصلی، MAXL ($a+bx_0$) حداکثر تعداد برگ در ساقه اصلی، phyl عکس سرعت ظهور برگ‌ها (فیلوکرون)، n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا، SE خطای معیار و CV ضریب تغییرات هستند.

Table 1- Parameters of the model fitted to Haun scale units (leaf stage on main stem) vs. Growing degree-days (see Eq. 3) for different wheat cultivars at two experiments (data were polled in the 2005-2007 experiments). a, intercept; b, leaf appearance ($a+bx_0$), maximum leaf rate on main stem (leaf/°C d); x_0, the time of cessation of the linear increase in leaf number; MAXL number on main stem; phyl, 1/b(phyllochron); n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error; SE, standard error and CV, coefficient of variation.

SE±a	SE±b	SE±X_0	MAXL	phyl	RMSE	CV%	R^2	n	ارقام Cultivar
0.06±-0.11	0.00047±0.0121	24.9±730.0	8.73	82.6	0.44	8.1	0.99	13	اترک Atrak
0.05±-0.11	0.00045±0.0121	23.0±735.5	8.79	82.6	0.42	8.0	0.99	13	بیات Bayat
0.05±-0.15	0.00048±0.0119	25.6±736.0	8.61	84.0	0.45	8.3	0.99	13	چمران Chamran
0.07±-0.14	0.00044±0.0120	23.1±735.0	8.68	83.3	0.40	7.5	0.99	13	چناب Chenab
0.05±-0.16	0.00045±0.0118	23.3±739.0	8.56	84.7	0.41	7.6	0.99	13	دز Dez
0.06±-0.11	0.00047±0.0121	24.4±738.0	8.82	82.6	0.44	8.2	0.99	13	اینیاء Ineia
0.06±-0.11	0.00049±0.0111	29.0±715.0	7.83	90.1	0.46	9.5	0.99	13	کویر Kavir
0.04±-0.12	0.00047±0.0118	24.5±737.0	8.58	84.7	0.42	8.0	0.99	13	مرودشت
0.05±-0.18	0.00045±0.0117	24.0±738.0	8.45	85.5	0.42	7.9	0.99	13	S78-18
0.05±-0.14	0.00049±0.0120	26.2±734.0	8.67	83.3	0.46	8.5	0.99	13	شوا Shoa
0.07±-0.16	0.00046±0.0119	24.3±745.0	8.71	84.0	0.42	8.8	0.99	13	ویرینک Vienak
0.06±-0.17	0.00047±0.0111	27.3±730.0	7.93	90.1	0.44	8.1	0.99	13	یاواروس Yavarous
0.06±-0.17	0.00047±0.0120	24.8±737.0	8.66	83.3	0.44	8.2	0.99	13	زاگرس Zagrous
0.04±-0.167	.00074±0.0120	15.9±737.5	8.69	83.3	0.48	8.7	0.99	169	مجموع داده‌ها Total data
0.15±-0.30	0.00041±0.0119	30.6±852.0	9.84	84.0	0.44	8.1	0.99	13	شیراز Shiraz
0.14±-0.35	0.00042±0.0121	31.9±831.0	9.90	84.0	0.45	8.3	0.99	13	استار Star
0.14±-0.39	0.00029±0.0120	21.5±856.5	9.89	83.3	0.42	7.9	0.99	26	مجموع داده‌ها Total data

با برازش معادله ۳ مقدار CV، R^2 و RMSE برای همه ترکیبات (سال و رقم) در دامنه‌ی ۶/۹–۱/۴، ۰/۹۹ و ۰/۳۷–۰/۱۷ و همچنین دو سال آزمایش ۸/۸–۷/۵، ۰/۹۹ و ۰/۴۸–۰/۴۰ بود. با برازش معادله فوق به ۱۳ رقم از ۱۵ رقم (ادغام ارقام و ۲ سال) مقدار CV، R^2 و RMSE به‌ترتیب ۸/۷، ۰/۹۹ و ۰/۴۸ و در دو رقم باقیمانده (رقم استار و رقم شیراز) مقدار ضرایب فوق به‌ترتیب ۷/۹، ۰/۹۹ و ۰/۴۲ بود (جدول ۱). با توجه به اختلاف مشاهده شده بین ارقام در زمان توقف تولید برگ مؤثر در ساقه اصلی همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده است و عدم اختلاف معنی‌دار بین ۱۳ رقم از ۱۵ رقم در ضرایب معادله برای این ۱۳ رقم، با ادغام داده‌های دو سال آزمایش و ۱۳ رقم یک معادله جداگانه بر اساس معادله ۵ برازش گردید:

(معادله ۵) $y = -0.16+0.0120x$ اگر $x \leq 737.5$

$y = 8.69$ اگر $x > 737.5$

برای دو رقم دیگر نیز با ادغام داده‌های سال و رقم معادله ۶ به صورت زیر به‌دست آمد:

(معادله ۶) $y = -0.39+0.0120x$ اگر $x \leq 856.5$

$y = 9.88$ اگر $x > 856.5$

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این بررسی مشاهده گردید که از لحاظ سرعت ظهور برگ در بین ارقام گندم اختلاف معنی‌داری یافت نشد. نتایج این پژوهش در توافق با یافته‌های سایر پژوهشگران (Kerby and Perry, 1987; McMasater *et al.*, 2003) بود، این محققین نشان دادند که سرعت ظهور برگ در بین ارقام گندم ثابت بود. سرعت ظهور برگ یک ویژگی مهم است که نه تنها روی سرعت توسعه سطح برگ بلکه روی زمان رخداد مراحل نموی معین در

غلات نیز اثر می‌گذارد (Kerby and Perry, 1987; McMasater *et al.*, 2003). از فاکتورهای محیطی، دما به‌عنوان فاکتور اولیه کنترل‌کننده سرعت ظهور برگ شناخته شده است (Ritchie and Smith, 1991). تحت شرایط مزرعه‌ای در تعدادی از مطالعات نشان داده شد که در شرایط مناسب رطوبت و تغذیه، سرعت ظهور برگ بر اساس درجه–روز رشد تجمعی در سراسر چرخه زندگی یک گیاه برای یک تاریخ کاشت معین ثابت بود ولی بین تاریخ‌های کاشت تغییر نمود (Ishag *et al.*, 1998). در برخی دیگر از مطالعات همچنین نشان دادند که سرعت ظهور برگ در یک تاریخ کاشت ثابت نبود و دارای دو فاز خطی بود (Hay and Delecolle, 1989)، این یافته‌ها منجر به استدلال‌هایی درباره سرعت ظهور برگ به مفهوم تنظیم سرعت ظهور برگ در دو مرحله شد. در بررسی‌های اخیر سایر محققین (Maddah-Yazdi *et al.*, 2008; Jafari, 2008) سرعت ظهور برگ را ۰/۰۱ برگ به ازای هر درجه–روز رشد گزارش کردند. این مطالعات در شرایط محیطی متفاوتی در مقایسه با این پژوهش انجام شدند و فاصله حرارتی بین ظهور دو برگ متوالی (فیلوکرون) بیشتر از نتایج گزارش شده در این مطالعه بود که البته دلیل آن انتخاب دمای پایه صفر درجه سلسیوس برای ارقام گندم بود که این عامل باعث افزایش مقدار فیلوکرون برای آنها شد. در محیط‌های گرمسیری در طی فصل رشد دمای هوا ممکن است به بالای ۳۵ درجه سلسیوس هم برسد، بیشتر مطالعه انجام شده روی سرعت ظهور برگ در عرض‌های جغرافیایی بالا در شمال اروپا (۵۵–۴۳درجه شمالی) و نیوزلند (۴۶–۴۱ درجه شمالی) و با دمای پایین انجام گرفتند. در مطالعه‌ای که در یک محیط گرمسیری مشابه با شرایط محیطی این پژوهش انجام شد، گزارش کردند که فاصله فیلوکرون در ارقام گندم بهاره از کاشت تا مرحله برجستگی دوگانه ۹۹ درجه–روز رشد و از مرحله برجستگی دوگانه تا مرحله گرده‌افشانی ۱۲۲ درجه–روز رشد بود (Ishag *et al.*, 1998). این مقادیر برای سرعت ظهور برگ در مناطق معتدله (۷۷ درجه–روز رشد (Frank and Bauer, 1995)، ۸۰ درجه–روز رشد (Bauer *et al.*, 1984)، ۱۰۱ درجه–روز رشد (Kirby, 1988)، ۱۵۵ درجه–روز رشد (Biscoe and Willington, 1985) گزارش شد. برخی محققین علت بالا بودن مقدار فیلوکرون در محیط‌های گرمسیری را به دلیل دمای بالاتر از ۳۵ درجه سلسیوس گزارش کردند که در طی فصل رشد اتفاق افتاد (Ishag *et al.*, 1998). این نتایج همچین یافته‌های این پژوهش را که در یک شرایط گرمسیری به‌دست آمد را تأیید کرد و علاوه بر آن نتایج این پژوهش با یافته‌های دیگر محققین مطابقت داشت که بیان داشتند ارقام گندم که در دمای بالاتر رشد نمودند، فاصله فیلوکرون بالاتری نسبت به آن‌هایی که در دمای پایین رشد یافتند، داشتند (Cao and Moss, 1989). در توجیه این نکته که در دمای بالاتر فیلوکرون افزایش می‌یابد، این پژوهشگران بیان کردند که وقتی دما افزایش یابد، انرژی حرارتی بیشتری مورد نیاز است تا یک برگ تولید شود و راندمان حرارتی برگ‌ها (برگ‌ها در هر درجه–روز رشد) کاهش می‌یابد و این واکنش می‌تواند یکی از دلایلی باشد که چرا فیلوکرون با تاریخ کاشت و عرض جغرافیایی تغییر می‌کند (Cao and Moss, 1989). سایر مطالعات تحت شرایط اتاقک رشد و مزرعه نشان دادند که فیلوکرون با تاریخ کاشت، تعداد برگ در ساقه اصلی، مرحله فنولوژیکی و ژنوتیپ تغییر می‌کند (Sinclair *et al.*, 2004).

در یک مطالعه فاصله فیلوکرون ۷۵ درجه–روز رشد را برای مرحله هان ۲–۰، ۱۰۰ درجه–روز رشد را برای مرحله هان ۸–۲ و برای مرحله هان بیشتر از ۸ مقدار فیلوکرون ۱۲۰ درجه–روز رشد را گزارش کردند. بر اساس روش مذکور فیلوکرون دو برگ اول از همه کمتر است، که در واقع سرعت ظهور آنها بیشتر می‌باشد (Jamieson *et al.*, 1995). متوسط فیلوکرون در مطالعه‌ی دیگری، ۱۱۰ درجه–روز رشد بود و به مقدار اندکی بین ارقام تغییر کرد (Xue *et al.*, 2003).

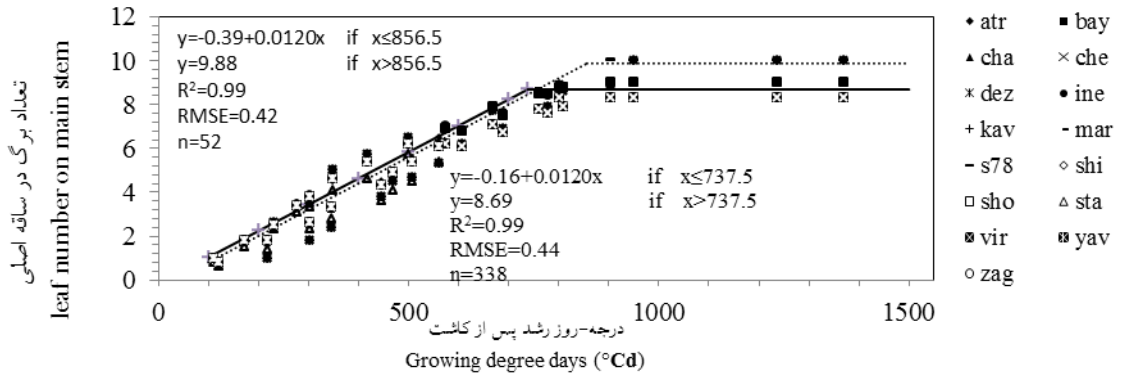
زمان توقف تولید مؤثر برگ در سال اول این پژوهش در مقایسه با سال دوم آن حدود ۴٪ کمتر بود. دلیل چنین امری احتمالاً وقوع دماهای بالاتر در سال دوم باشد که باعث تجمع واحدهای حرارتی بیشتر شده است.

تنها در دو رقم شیراز و استار در مقایسه با سایر ارقام زمان تا توقف تولید برگ مؤثر طولانی‌تر نشان دادند، ولی بین سایر ارقام اختلاف معنی‌دار در این خصوص مشاهده نشد. همان‌گونه که در جدول ۱ و شکل ۱ آمده است ارقام استار و شیراز پتانسیل تولید برگ بیشتری را نسبت به سایر ارقام نشان دادند، به گونه‌ای که در مقایسه با سایر ارقام (۱۳ رقم دیگر) روی ساقه اصلی یک برگ بیشتر تولید کردند، که طبعاً با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار بین ارقام به لحاظ سرعت ظهور برگ و فیلوکرون زمان تا توقف تولید برگ طولانی‌تر در این دو رقم قابل انتظار است.

تعداد برگ تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی و شرایط محیط و اثر متقابل آنها است، ارقام دیررس برگ‌های بیشتری تولید می‌کنند. وراثت بیشتر از محیط تعداد برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ishag *et al.*, 1998). زمان توقف تولید برگ روی ساقه اصلی، تعداد کل برگ روی ساقه اصلی و به‌تبع آن زمان گلدهی را تعیین می‌کند. یک اختلاف برگی در پیش‌بینی ظهور برگ در گندم می‌تواند یک اثر مهم روی پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی به اندازه توسعه برگ داشته باشد. خطا در تخمین یک برگ برای پیش‌بینی ظهور برگ پرچم، باعث خطای چند روزه در پیش‌بینی گلدهی می‌شود (Borras *et al.*, 2003).

درباره زمان خاتمه تولید برگ در ساقه اصلی نیز سایر محققان اذعان داشتند که تغییرات فتوپریود تحت تأثیر تاریخ کاشت از طریق تعیین تعداد نهایی برگ در ساقه اصلی، بر زمان خاتمه ظهور برگ

(زمان گلدهی) در گندم تأثیر می‌گذارد (Volk and Bugbee, 1991). همچنین در مطالعه سرعت ظهور برگ در گیاه نخود عوامل اصلی تأثیرگذار بر دوره مؤثر تولید برگ (زمان خاتمه تولید برگ) را درجه حرارت و فتوپریود گزارش کردند (Soltani *et al.*, 2006). افزایش خطی تعداد برگ در ساقه اصلی در مقابل درجه-روز رشد برای گیاهان گندم (Cao and Moss, 1989; Bauer *et al.*, 1984)، نخود (Soltani *et al.*, 2006)، چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) (Sinclair *et al.*, 2004) و بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) (Massawe *et al.*, 2005) نیز گزارش گردیده است.



شکل ۱- برازش مدل رگرسیونی دو تکه‌ای (مدل ۳) برای تعداد برگ ساقه اصلی در برابر درجه-روز رشد برای ارقام مختلف گندم (atr: اترک، bay: بیات، cha: چمران، che: چناب، dez: دز، ine: اینیاء، kav: کویر، mar: مرودشت، S78: لاین S78-18 ، shi: شیراز، sho: شوا مالد (کرخه)، sta: استار، vir: ویرینک، yav: یاواروس و zag: زاگرس) در دو سال آزمایش (داده‌های دو سال ادغام شدند). خطوط منقطع مربوط به ارقام شیراز (shi) و استار (sta) و خطوط ممتد واکنش سایر ارقام را نشان می‌دهد (n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا)

Figure 1- Fit of a segmented non-linear regression model (see Eq. 3) to data of main stem leaf number vs. growing degree-days after sowing at two years of experiments (data were polled in the 2005-2007 experiments). (Broken line is related to shiraz (Shi) and star (sta) cultivars and solid line indicates response of other cultivars). (n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error)

پیری برگ در ساقه اصلی

کسر برگ پیر در ساقه اصلی در برابر درجه-روز رشد

برای بررسی پیری برگ از رابطه کسر برگ پیر در ساقه اصلی در مقابل درجه روز رشد استفاده شد (معادله ۴). بین سال‌ها و ارقام از لحاظ سرعت پیرشدن برگ (b) و زمان آغاز پیری (x_0) اختلاف وجود داشت، اما این اختلافات از لحاظ آماری در هر آزمایش معنی‌دار نبود (داده‌ها نشان داده نشدند). در سال اول پژوهش آغاز پیری برگ‌های ساقه اصلی (x_0) در دامنه‌ای از ۴۱۰ تا ۵۹۵ درجه-روز رشد پس از کاشت آغاز شد. پیری برگ‌ها در سال دوم از ۳۳۴ تا ۴۶۲ درجه-روز رشد پس از کاشت آغاز شد. اختلاف بین ارقام در هر سال بر حسب دو سال پژوهش از نظر زمان شروع مرحله پیری (x_0) در ساقه اصلی معنی‌دار نبود.

سرعت پیری برگ روی ساقه اصلی بر حسب رقم و سال آزمایش معنی‌دار نبود. متوسط سرعت پیری برگ در سال اول و دوم به‌ترتیب ۰/۰۰۰۷۶ و ۰/۰۰۰۵۴ برگ به ازای هر درجه-روز رشد بود. در سال دوم در مقایسه با سال اول سرعت پیری برگ حدوداً ۲۸ درصد کمتر بود ولی این اختلاف از لحاظ آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار نبودند. با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار از نظر ضرایب معادله ۴، با برازش معادله مذکور به کل داده‌ها (ادغام داده‌های دو سال و رقم) مقدار CV، R^2 و RMSE به‌ترتیب، ۱۷/۱، ۰/۹۹ و ۰/۰۸ حاصل شد که با توجه به برازش مناسب معادله به کل داده‌ها، معادله ۷ از میانگین ارقام و سال‌های پژوهش استخراج گردید که به صورت زیر است (جدول ۲، شکل ۲):

(معادله ۷) $y = 0$ اگر $x \leq 441.2$

$y = 0.00065(x-441.2)$ اگر $x > 441.2$

بر اساس این رابطه، زوال برگ در ساقه اصلی در بین ارقام و سال‌های آزمایش به‌طور متوسط بعد از دریافت ۴۴۱/۲ درجه-روز رشد پس از مرحله پنجه‌زنی شروع شد و پس از این مرحله با افزایش یک درجه-روز رشد، ۰/۰۶۵ درصد از برگ‌های ساقه اصلی زوال یافت (شکل ۲).

با توجه به مراحل فنولوژیکی در ارقام مورد بررسی (داده‌های فنولوژی نشان داده نشدند) شروع مرحله پیری در ساقه اصلی مصادف با مراحل اولیه پنجه‌زنی در این ارقام بود که در این مرحله به دلیل تولید پنجه‌ها و همچنین افزایش رقابت به خصوص رقابت بین بوته‌ها،

شروع زرد شدن و پیری برگ‌های پایینی بوته طبیعی به نظر می‌رسد. در سایر مطالعات نیز مشخص شد که زمان شروع زوال برگ در بین ارقام گندم متفاوت بود و شروع پیر شدن برگ‌ها در ساقه اصلی پس از ظهور ۶-۴ برگ، با توجه به خصوصیات رقم، روی ساقه اصلی شروع شد (Ishag *et al.*, 1998).

جدول ۲- پارامترهای مدل برازش داده شده به داده‌های کسر برگ پیر شده در ساقه اصلی در مقابل درجه روز رشد (معادله ٤) برای ارقام مختلف گندم در دو سال آزمایش (داده‌های دو سال ادغام شدند). b سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در ساقه اصلی، x_0 زمان شروع پیر شدن در ساقه اصلی، n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا، SE اشتباه معیار و CV ضریب تغییرات هستند.

Table 2- Parameters of the model fitted to the fraction of senesced leaf on main stem vs. Growing degree-days (see Eq.4) for different wheat cultivars at two experiments (data were polled in the 2005-2007 experiments). b, the rate of increase in the fraction per unit increase in degree-days; x_0, the time when senescence starts on main stem (°C d); n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error; SE, standard error and CV, coefficient of variation.

ارقام Cultivars	n	R^2	CV %	RMSE	X_0± SE	b±SE
اترک Atrak	12	0.99	20.8	0.10	465.8±98.5	0.00066±0.00008
بیات Bayat	12	0.99	18.3	0.09	407.3±97.2	0.00063±0.00007
چمران Chamran	12	0.99	20.8	0.10	431.0±108.1	0.00063±0.00008
چناب Chenab	12	0.99	14.1	0.07	430.9±72.4	0.00066±0.00006
دز Dez	12	0.99	18.3	0.09	431.4±96.3	0.00065±0.00007
اینیاء Ineia	12	0.99	16.4	0.08	380.1±98.3	0.00063±0.00007
کویر Kavir	12	0.99	17.9	0.09	374.9±106.5	0.00061±0.00007
مرودشت Marvdasht	12	0.99	16.1	0.08	414.4±87.9	0.00067±0.00007
S78-18	12	0.99	19.4	0.09	403.4±109.4	0.00058±0.00007
شیراز Shiraz	12	0.99	14.7	0.07	429.1±80.1	0.00063±0.00006
شوا Shoa	12	0.99	18.3	0.09	490.7±83.2	0.00070±0.00007
استار Star	12	0.99	22.7	0.10	512.8±100.2	0.00065±0.00008
ویریناک Virinak	12	0.99	19.0	0.09	490.7±88.6	0.00067±0.00007
یاواروس Yavarous	12	0.99	21.7	0.10	506.7±96.5	0.00068±0.00008
زاگرس Zagrous	12	0.99	46.2	0.24	430.9±78.8	0.00069±0.00006
مجموع داده‌ها Total data	180	0.99	17.1	0.08	441.2±23.1	0.00065±0.00002

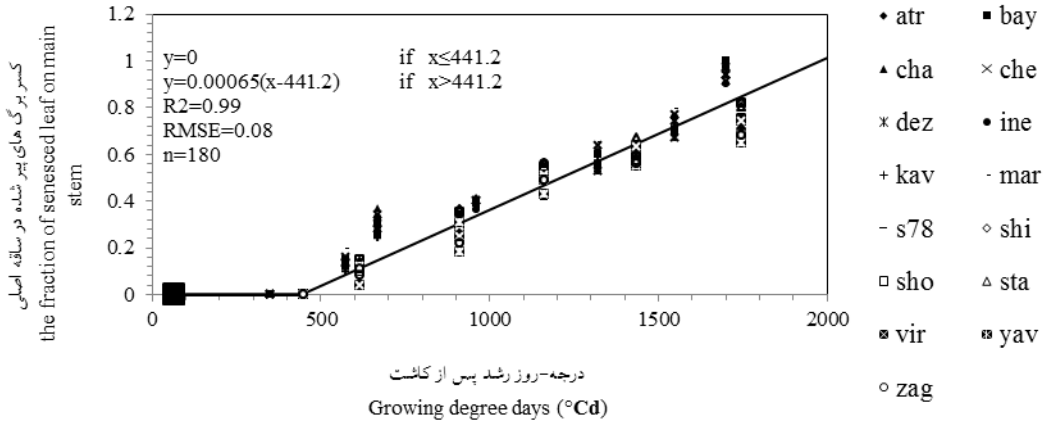
در سه آزمایش از چهار آزمایش مورد بررسی در مطالعه تولید و پیری برگ در گیاه نخود، کسر برگ پیر در ساقه اصلی در برابر درجه-روز رشد و روز بیولوژیکی (روز اصلاح شده از نظر حرارت و فتوپریود) در گیاه نخود با مدل رگرسیون غیر خطی دوتکه‌ای نتایج معقولی ارائه داد و از لحاظ زمان شروع و سرعت زوال برگ در ساقه اصلی در بین تاریخ‌های کاشت اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (Soltani *et al.*, 2006). به علت اهمیّت فتوسنتز در گیاه، مدل‌سازی پیر شدن برگ در ساقه اصلی و بوته را بسیار مهم و کاربردی است (Hammer *et al.*, 1987). برگ‌ها اصلی‌ترین اندام فتوسنتزکننده گیاه هستند و بررسی نمو آن به خاطر اثرات مستقیم و غیر مستقیم آنها به‌ویژه بر عملکرد دانه ضروری به نظر می‌رسد (Benbella and Paulsen, 1998). در بررسی ارقام ذرت (*Zea mays* L.) مشخص شد که پیری برگ‌ها در حدود ۴۰۰ تا ۴۵۰ درجه-روز رشد پس از کاشت شروع شد و تراکم‌های مختلف کاشت، فاصله ردیف و مقدار تشعشع قبل از مرحله ۹-۶ برگی ذرت اثری روی شروع پیری برگ‌های پایینی بوته نداشتند (Borras *et al.*, 2003). کسر برگ‌های پیر شده به‌عنوان تابعی از زمان حرارتی بهترین توصیف را از پیری برگ‌ها روی محورهای انفرادی بوته‌های سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) ارائه کرد و برگ‌ها در فواصل زمان حرارتی ثابتی پیر شدند. محورهای با تعداد برگ بیشتر، تعداد بیشتری از برگ‌های پایینی خود را نسبت به محورهای با تعداد کل برگ کمتر از دست دادند و علت آن را به افزایش رقابت به دلیل سایه‌اندازی منتسبت نمودند (Carberry *et al.*, 1993).

با مقایسه روابط ظهور (تولید) و پیری (زوال) برگ در ساقه اصلی به نظر می‌رسد که این دو فرآیند در سه مرحله انجام گرفتند به طوری که با ادغام داده‌ها مشخص شد که بعد از ۱۰۸/۵ درجه-روز رشد پس از کاشت (زمان سبز شدن لیگول برگ اول در دو سال در همه ارقام) تولید برگ شروع شد و تا ۴۴۱/۵ درجه-روز رشد پس از کاشت (مرحله اول بدون پیری برگ) ادامه یافت. در مرحله دوم تولید و زوال برگ همزمان با هم صورت گرفتند و از ۴۴۱/۵ درجه-روز رشد (اوایل

پنجه‌زنی) تا مرحله توقف تولید برگ مؤثر در ساقه اصلی یعنی ۸۵۶/۵ درجه–روز رشد (زمان ظهور کامل برگ پرچم) به‌ترتیب برای ارقام شیراز و استار و ۱۳ ارقام دیگر ادامه یافت، به طوری که پیر شدن برگ‌ها در ساقه اصلی با سرعتی (۰/۰۶۵ درصد برگ پیر شده برای هر درجه–روز رشد) کمتر از سرعت تولید برگ (۰/۰۱۲ برگ بر درجه–روز رشد) انجام شد و پس از مرحله زمان توقف تولید مؤثر برگ در ساقه اصلی، تولید برگ در ساقه اصلی متوقف و تنها زوال برگ‌ها (مرحله سوم بدون تولید برگ) ادامه داشت (شکل ۱ و ۲). در بررسی اثر تراکم بر تولید و زوال برگ‌ها در دو رقم گندم زاگرس و تجن نشان دادند که سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر در ساقه اصلی ۰/۰۰۰۷۱ برگ به ازای هر درجه–روز رشد و زمان شروع زوال در ساقه اصلی ۵۴۸ درجه–روز رشد پس از کاشت بود و بین تراکم‌های مختلف از نظر این دو صفت اختلاف معنی‌دار گزارش شد و با افزایش تراکم زمان شروع پیری (x_0) در ساقه اصلی و سرعت افزایش کسر برگ‌های پیر شده در ساقه هر دو کاهش یافتند و علت این امر را سایه‌اندازی و رقابت درون گیاهی بیشتر، در تراکم‌های بالا ذکر کردند (Jafari, 2008).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، پارامترهای مربوط به پیری و زوال برگ در ارقام گندم مورد بررسی به استثنای زمان توقف تولید برگ در بوته تفاوت معنی‌دار نداشتند. پتانسیل سطح برگ بوته می‌تواند از حاصلضرب ظهور و پیری برگ و حداکثر اندازه برگ‌ها یا به‌طور مستقیم از تعداد برگ در ساقه اصلی، تعداد برگ سبز در بوته و وزن خشک برگ پیش‌بینی شود. این مطالعه تولید و پیری برگ را تحت شرایط آبیاری مطلوب توصیف می‌کند و همچنین این روابط اثرات میزان دسترسی به کربن و نیتروژن و انتقال مجدد را نشان نمی‌دهد، بنابراین روابط دیگری برای پیش‌بینی این اثرات مورد نیاز هستند تا ثبات و پویایی این پارامترهای را تحت شرایط مختلف محیطی مشخص نمایند.



شکل ۲- برازش مدل رگرسیون دو تکه‌ای غیر خطی (مدل ٤) به داده‌های کسر تعداد برگ‌های پیر (تعداد برگ پیر به کل برگ در ساقه اصلی) بر روی ساقه اصلی در مقابل درجه–روز رشد برای ارقام مختلف گندم (atr: اترک، bay: بیات، cha: چمران، che: چناب، dez: دز، ine: اینیاء، kav: کویر، mar: مرودشت، S78: لاین S78-18 ، shi: شیراز، sho: شوا مالد (کرخه)، sta: استار، vir: ویریناک، yav: یاواروس و zag: زاگرس) در دو سال آزمایش (داده‌های دو سال ادغام شدند). (n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا)

Figure 2- Fit of a segmented non-linear regression model (see Eq. 4) to data of the fraction of senesced leaf on main stem vs. growing degree-days after sowing at (b) and average of different cultivars at two years of experiments (data were polled in the 2005-2007 experiments).(n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error)

References

1. Baker, C. K., Pinter, P. J., Reginato, R. J., and Kanemasu, E. T. 1986. Effects of temperature on leaf appearance in spring and winter wheat cultivars. Agronomy Journal 78: 605-613.
2. Bauer, A., Frank, A. B., and Black, A. L. 1984. Estimation of leaf growth and anthesis from air temperature. Agronomy Journal 76: 829- 835.
3. Benbella, M., and Paulsen, G. M. 1998. Efficacy of treatments for delaying senescence of wheat leaves: II. Senescence and grain yield under field conditions. Agronomy Journal 90: 332-338.
4. Birch, C. J., Andrieu, B., Fournier, C., and Room, I. V. P. 2003. Modelling kinetics of plant canopy architecture-

/concepts and Applications. European Journal of Agronomy. 19: 519- 533.
5. Biscoe, P. V., and Willington, V. B. A. 1985. Crop physiological studies in relation to mathematical models. In: Day, W., Atkin, R.K. (Eds.), Wheat Growth and Modelling. Plenum Press, New York, pp. 57-269.
6. Borras, L., Maddonni, G. A., and Otegui, M. E. 2003. Leaf senescence in maize hybrids: plant populations, row spacing and kernel set effects. Field Crops Research 82: 13-26.
7. Cao, W., and Moss, D. N. 1989. Temperature effect on leaf emergence and phylochron in wheat and barley. Crop Science 29: 1018-1021.
8. Carberry, P. S., Hammer, G. L., and Muchow, R. C. 1993. Modelling genotypic and environmental control of leaf area dynamics in grain sorghum. II. Individual leaf level. Field Crops Research 33: 311-328.
9. Frank, A. B., and Bauer, A. 1995. Pyllochron differences in wheat, barley, and forage grasses. Crop Science 35: 19-23.
10. Hammer, G. L., Hill, K., and Schrodter, G. N. 1987. Leaf area production and senescence of diverse grain sorghum hybrids. Field Crops Research 17: 305-317.
11. Haun, J. R. 1973. Visual quantification of wheat development. Agronomy Journal 65: 116-119.
12. Hay, R. K. M., and Delecolle, R. 1989. The setting of rates of development of wheat plants at crop emergence: Influence of the environment on rates of leaf appearance. Annals of Applied Biology 115: 333-341.
13. Ishag, H. M., Mohamed, B. A., and Ishag, K. H. M. 1998. Leaf development of spring wheat cultivars in an irrigated heat-stressed environment. Field Crops Research 58: 167-175.
14. Jafari, M. 2008. Modeling the effect of density on wheat leaf production and senescence. MSc thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural resources. Iran. 94 pp. (in Persian with English abstract).
15. Jamieson, P. D., Brooking, I. R., Porter, J. R., and Wilson, D. R. 1995. Prediction of leaf appearance in wheat: A question of temperature. Field Crops Research 41: 35-44.
16. John R., Porter, J. R., and Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. European Journal of Agronomy 10 (2): 23-36.
17. Kiniry, J. R. 1991. Maize phasic development. In: Hanks, RJ., and J.T. Ritchie. (Eds), Modeling Plant and Soil Systems. ASA, CSSA, and SSSA, Madisom, WI. pp: 55-69.
18. Kirby, E. J. M. 1990. Co-ordination of leaf emergence and leaf and spikelet primordium initiation in wheat. Field Crops Research 25: 253-264.
19. Kirby, E. J. M., and Perry, M. W. 1987. Leaf emergence rates of wheat in a Mediterranean environment. Australian Journal of Agricultural Research 38: 455-464.
20. Kirby, E. J. M. 1988. Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. Field Crops Research 18: 127-140.
21. Klepper, B., Rickman, R. W., and Peterson, C. M. 1982. Quantitative characterization of vegetative development in small cereal grains. Agronomy journal 74: 789-792.
22. Maddah-Yazdi, V., Soltani, A., Kamkar, B., and Zeinali, E. 2008. Comparative physiology of wheat and chickpea: leaves production and senescence. Journal of Agricultural Science and Natural Resources 15 (4): 36-44. (in Persian).
23. Massawe, F. J., Azam, S. N., and Roberts, A. 2005. The impact of temperature on leaf appearance in bambara groundnut landraces. Crop Science 43: 1357-1379.
24. McMaster, G. S., Wilhelm, W. W., Palic, D. B., Porter, J., and Jamieson, P. D. 2003. Spring Wheat Leaf Appea rance and Temperature: Extending the Paradigm? Annals of Botuny 91: 697-705.
25. McMaster, G. S., and Wilhelm, W. W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretation. Agricultural and Forest Metrology 87: 289-298.
26. Ritchie, J. T., and Otter, S. 1985. Description and performance of CERES-Wheat: a user-oriented wheat yield model. In: ARS Wheat Yield Project, Tech. Info. Service Springfield, Missouri. Pp. 159-175.
27. Ritchie, J. T., and Smith, D. S. 1991. Temperature and crop development. In: Hanks, R.J., Ritchie, J.T (Eds.), Modeling Plant and Soil Systems. Agronomy No. 31, pp. 5-29.
28. Robertson, M. J., Carberry, P. S., Huth, N. R., Turpin, J. E., Probert, M. E., Poulton, P. L., Bell, M., Wright, G. E., Yeates, S. J., and Brinsmead, R. B. 2002. Simulation of growth and development of diverse legume species in APSIM. Australian Journal of Agricultural Research 53: 429-446.
29. Schulz, E. D., Beck, E., and Hohenstein, K. M. 2005. Plant Ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
30. Sinclair T. R., Gilbert, R. A., Perdomo, R. E., Shine, J. M., Powell, G., and Montes, G. 2004. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. Field Crops Research 88: 171-178.
31. Sinclair, T. R., and Jamieson, P. D. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. Field Crops Research 98: 60-67.
32. Slafer, G. A., and Savin, R. 1991. Developmental Base Temperature in Different Phenological Phases of Wheat (*Triticum aestivum*). Journal of Experimental Botany 42 (241): 1077-1082.
33. Slafer, G. A., and Rawson, H. M., 1995. Photoperiod×temperature interactions in contrasting wheat genotypes:

time to heading and final leaf number. Field Crops Research 44: 73-83.
34. Soltani, A. 2007. Application of SAS in Statistical Analysis, JMD Press, Mashhad, Iran, 182 p. (in Persian).
35. Soltani, A., Robertson, M. J., Mohammad-Nejad, Y., and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: Leaf production and senescence. Field Crops Research 99: 14-23.
36. Streck, N. A., Weiss-Xue, Q., and Baenziger, P. S. 2003. Incorporating a chronology Response into the Predicting of leaf appearance Rate in winter wheat. Annals of Botany 92: 843-892.
37. Volk, T., and Bugbee, B. 1991. Modeling leaf emergence rate in wheat and barley. Crop Science 31: 189-224.
38. Xue, Q., Weiss, A., and Baenziger, P. S. 2004. Predicting leaf appearance in field grown winter' wheat: evaluating liner and non-liner models. Ecological Modelling 175: 261-270.
39. Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. Decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415-422.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 447-458

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۵۸-۴۴۷

Quantifying Leaf Development of Different Wheat Cultivars: I- Production and Senescence of Main Stem Leaves in the Field

J. Pourreza[1*]- A. Soltani[2]

Received: 23-06-2017
Accepted: 25-11-2017

Introduction

A major component in a crop growth model is leaf area development, which has crucial influence on photosynthesis and transpiration. Leaf area development involves the appearance of new leaves, expansion of the newly emerged leaves and senescence of old leaves. Modeling of the leaf growth has been extensively studied in many crops including cereals. Methods of predicting leaf area development are diverge from those dealing with the individual component processes of leaf growth viz. leaf appearance, leaf expansion and leaf death to the models predicting leaf growth at the whole plant or whole crop levels. Leaf appearance and expansion are most sensitive growth processes to environmental conditions and their dependence on temperature revealed in a range of cereals including wheat and barley and legumes including cowpea and soybean. Effects of temperature on leaf appearance rates are usually quantified using some form of thermal time. Air temperature above the canopy has most frequently been used to calculate thermal time. Genetic differences in senescence have also been reported among crop genotypes. Quantitative information regarding leaf area development in wheat especially in environmental conditions with high temperatures for the purpose of crop modeling is scarce. Furthermore, genotypic variations have not been evaluated. Therefore, the goal of this research was to determine parameters related to leaf production and senescence in wheat cultivars in warm environmental conditions.

Materials and Methods

The aim of this study was to quantify leaf production and senescence of 15 different wheat cultivars. Two field experiments with 15 wheat cultivars (Atrak, Bayat, Chamran, Chenab, Dez, Ineia, Kavir, Marvdasht, Shiraz, S78-18, Yavaroos and shova-Mald) were conducted at the research farm of the Islamic Azad University of Ramhormoz Branch, south-western of Iran in 2005-6 and 2006-7 using a randomized complete block design with four replications. The relationship between main stem leaf numbers (HS) versus degree-days was described using bi-linear regression model.

Results and Discussion

The results indicated that leaf production on main stem started with receiving 108.5 degree-days after sowing. The leaf appearance rate and along with it phyllochron had no significant across all data. Mean leaf appearance rate ranged from 0.0047 to 0.0082 leaf/˚Cd. At 13 out of 15 cultivars. The cession time (degree-days) of effective leaf production on main stem was not significantly different and ranged from 831.0 to 852.0 ˚C d. Leaf senescence on the main stem started when the main stem had about 4-6 leaves and proceeded at a rate of 0.065 % per each unit increase in degree-days. The relationships found in this study can be used in simulation models of wheat.

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Rmhormoz branch, Islamic Azad University, Ramhormoz, Iran
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Gorgan Universityof Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran
(*- Corresponding Author Email: J_pourreza@yahoo.com)

Conclusions

Based on results, there was no significant difference between wheat cultivars in terms of parameters related to leaf production and senescence on main stem except the time of cessation of the linear increase in leaf number on main stem. The relationships presented in this study describe leaf production and senescence under well-watered condition and reflect the effects of carbon and nitrogen availability and remobilization under these conditions. However, they do not account for the effects of shortage of carbon, nitrogen or water on leaf development. Other relationships are required to predict these effects.

Keywords: Growing Degree Days, Haun leaf stage, Leaf appearance, Modeling, Senesced leaf fraction

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۷۵-۴۵۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 459-475

اثر محلول‌پاشی با دود-آب و سطوح نیتروژن بر ویژگی‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک گندم (*Triticum* aestivum L.)

فریده نوروزی شهری[۱]- بابک غلامی[۲]- سعید جلالی هنرمند[۳*]- فرزاد مندنی[۴]- محسن سعیدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد کود نیتروژن و محلول‌پاشی برگی دود-آب بر قابلیت جذب و کارایی مصرف تشعشع و برخی خصوصیات کانوپی گندم، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف کاربرد نیتروژن (۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار) به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی برگی با عصاره دود-آب (در پنج سطح شامل شاهد و غلظت‌های ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۱ و ۱ درصد) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. صفات مورد ارزیابی شامل، شاخص سطح برگ، روند جذب تشعشع، وزن خشک کل، کارایی مصرف تشعشع، عملکرد دانه و شاخص برداشت گندم بود. نتایج نشان داد که در تمامی سطوح نیتروژن، محلول‌پاشی با دود-آب نسبت به شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) موجب بهبود ویژگی‌های اندازه‌گیری شده گندم گردید. افزایش فراهمی نیتروژن و غلظت‌های بالای دود-آب با بهبود شاخص سطح برگ، جذب نور، کارایی مصرف نور و عملکرد وزن خشک کل موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد، به‌طوری‌که بیشترین کارایی مصرف تشعشع (۱/۶۵ گرم بر مگاژول) در شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و محلول‌پاشی با غلظت یک درصد دود-آب مشاهده گردید. همچنین بیشترین مقدار عملکرد دانه (۹۲۲ گرم در متر مربع) در شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار و غلظت یک درصد دود-آب و کمترین مقدار آن (۳۳۹ گرم در متر مربع) در شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و محلول‌پاشی با آب مقطر به‌دست آمد. محلول‌پاشی با غلظت یک درصد دود- آب موجب افزایش ۱۰/۶ درصد عملکرد دانه در شرایط مصرف ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن نسبت به تیمار شاهد شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد محلول‌پاشی با دود-آب مقداری از نیاز گندم به عنصر نیتروژن را تأمین کرد.

واژه‌های کلیدی: اوره، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه گندم، عملکرد وزن خشک کل، کارایی مصرف تشعشع

مقدمه

دود به‌عنوان یک تکنولوژی قدیمی در کنترل آفات و بیماری‌ها همواره مورد توجه بوده است (Kulkarni *et al.*, 2011). پاسخ گیاهان به دود اغلب با استفاده از دود-آب[5] قابل مطالعه است. دود از گستره متنوعی از منابع زیستی گیاهی، شامل چوب، شاخه‌ها، برگ‌ها، کلش، مخلوطی از گیاهان خشک و تازه و چوب نیمه‌سوخته حاصل می‌شود (Lloyd *et al.*, 2000). دود-آب محلولی اسیدی و حاوی ترکیبات متنوعی از جمله ترکیبات فنولیک، قندهای محلول، الکل‌ها، لاکتون‌ها، آلدهیدها، کتون‌ها و آلکالوئیدها است (Chumpookam *et al.*, 2012). همچنین حاوی مقادیر قابل توجهی از مواد غذایی همانند آمونیوم است، که می‌تواند به‌عنوان یک منبع مهم از نیتروژن برای رشد گیاه، بهبود کیفیت سطح برگ و افزایش تولید میوه و دانه محسوب شود (Chumpookam *et al.*, 2012). علاوه بر این، یک ترکیب بوتنولیدی پایدار و فعال به نام 3-methyl-2H-furo[2,3]pyran-2-one در دود توسط فلماتی و همکاران (Flemati *at al.*, 2004) و ون استادن و همکاران (Van Staden *et al.*, 2004) شناسایی شده است که امروزه به آن کاریکینولید (KAR_1) گفته می‌شود. کاریکینولید در غلظت‌های خیلی پایین (10^{-9} مولار) فعالیت‌های مرتبط با جوانه‌زنی و رشد گیاه را

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴- استادیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: sjhonarmand@yahoo.com
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.66520
5- Smoke-water

تحریک می‌کند (Light *et al.*, 2009). به‌طوری‌که اسلام و همکاران (Aslam *et al.*, 2015) گزارش کردند که کاربرد غلظت‌های ۱:۱۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰ دود-آب به‌طور معنی‌داری منجر به بهبود جوانه‌زنی، طول گیاهچه و زیست‌توده گیاهچه گندم (*Triticum aestivum* L.) نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین کاریکینولید (با غلظت 10^{-8} مولار) طول ریشه، بیوماس گیاهچه و تعداد ریشه جانبی برنج (*Oryza sativa* L.) را به شدت افزایش داد (Kulkarni *et al.*, 2006).

گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک دارای اهمیت ویژه‌ای در زندگی انسان‌هاست. به‌طوری‌که در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در ایران حدود ۵۹۲۸۷۲۸ هکتار زیر کشت گندم بوده که میزان تولید آن حدود ۱۴۵۹۲۰۰۳ تن بوده است (آمارنامه کشاورزی، ۹۵-۱۳۹۴). پروتئین دانه گندم به دلیل حجم بالای مصرف، بخش عمده‌ای از نیاز غذایی انسان را تأمین می‌کند (Lemone, 2007). کیفیت دانه گندم تحت تأثیر مدیریت‌های زراعی نظیر میزان، زمان و چگونگی مصرف نیتروژن، نوع ژنوتیپ و شرایط محیطی در مراحل قبل و پس از گرده‌افشانی و همچنین برهمکنش عوامل محیطی و نوع ژنوتیپ قرار دارد (Satorre and Slafer, 1999).

نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی پر مصرف است که در ساختمان مولکول‌های پروتئینی گوناگون، آنزیم‌ها، کوآنزیم‌ها، اسیدهای نوکلئیک و سیتوکروم‌ها نقش دارد (Hassegawa *et al.*, 2008). نیتروژن از طریق تأثیر بر تعداد پنجه‌ها، سنبله‌ها، دانه‌های تشکیل شده و وزن هزاردانه بر تمام اجزای عملکرد دانه گندم تأثیر می‌گذارد (Lawlar, 1995). تعداد پنجه‌ها به‌طور عمده در اوایل رشد تعیین می‌شود و تعداد دانه و پتانسیل اندازه دانه پس از تعداد سنبله به‌وسیله میزان دسترسی به آسیمیلات‌های کربنی و نیتروژنی تعیین می‌شود که تا حد زیادی بر اندازه نهایی دانه اثر می‌گذارند. بنابراین تأمین نیتروژن در زمان‌های مختلف رشد و مطابق با نیاز گیاه می‌تواند بر افزایش جذب آن و سرعت رشد گیاه زراعی و تولید عملکرد مؤثر باشد (Gastal and Lemaire, 2002). کاربرد نیتروژن در اوایل یا در طی مرحله پنجه‌زنی باعث تحریک پنجه‌زنی می‌شود، در حالی‌که مصرف نیتروژن در هنگام شروع ساقه رفتن باعث افزایش سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی می‌شود، که افزایش سطح فتوسنتز در اثر مصرف نیتروژن در مراحل اولیه رشد از عوامل مؤثر افزایش عملکرد به شمار می‌رود (Mosseddeq and Smith, 1994). پاتریک و اسمیت (Patric and Smith, 1993) گزارش کردند که تقسیط کود نیتروژن، کارایی انتقال مجدد آن را افزایش داد، زیرا بخش زیادی از انتقال مجدد نیتروژن به دانه‌ها ناشی از مصرف به موقع نیتروژن بود. از طرفی نیتروژن می‌تواند از طریق آبشویی به شکل نیترات، دنیتریفیکاسیون و فرار آمونیاک به شکل گاز از سیستم خاک-گیاه به آب و اتمسفر وارد شود و آلودگی‌های زیست‌محیطی ایجاد نماید (Pathak *et al.*, 2006). بنابراین هر عامل ارگانیکی که بتواند جایگزین یا مکمل مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن شود، به طوری‌که حداقل کاهش در میزان عملکرد اقتصادی محصول رخ دهد، می‌تواند یک راهکار در راستای کشاورزی پایدار و بهبود سلامت محصول باشد.

مکانیسم عمل دود-آب و کاریکینولید هنوز ناشناخته است ولی مشاهده شده است که این ترکیبات دارای فعالیت شبه‌سایتوکینینی و شبه‌اکسینی می‌باشند (Jain *et al.*, 2008). لذا کاربرد آن می‌تواند اثرات ماندگاری هم از بعد کمی و هم از بعد کیفی روی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و منابع درونی فیتوهورمون‌ها داشته باشد (Aremu *et al.*, 2015). علاوه بر این دود-آب می‌تواند به‌عنوان یک ترکیب طبیعی و کم هزینه جایگزین بخشی از نیاز محصولات به کودهای شیمیایی در زراعت و باغبانی شود (Light *et al.*, 2009). که در نهایت افزایش تولید محصولات کشاورزی را به دنبال خواهد داشت. این مهم از اهداف اصلی کشاورزی پایدار محسوب می‌گردد. علاوه بر این از آن جا که ایران در منطقه حادثه‌خیز خاورمیانه واقع شده است، خودکفایی در تولید اجزای اصلی سبد مصرفی خانوارها می‌تواند به حفظ استقلال و قدرت استراتژیک و همچنین رفاه و امنیت غذایی خانوارهای فقیر منجر گردد. با توجه به این امر حفظ و تداوم خودکفایی در تولید این محصول هم از دیدگاه پایداری منابع و هم از دیدگاه سیاست‌گزاران دارای اهمیت ویژه‌ای است و لزوم انجام مطالعه در این زمینه را هرچه بیشتر مشهود می‌سازد. بنابراین، با توجه به موارد مذکور این پژوهش با هدف بررسی نقش دود-آب ناشی از بقایای گیاهی بر برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک گندم در شرایط مصرف سطوح مختلف کود نیتروژن و همچنین جایگزینی بخشی از نیاز گیاه به کود نیتروژن توسط دود-آب اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی (طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۹ متر) در سال زراعی ۱۳۹۵- ۱۳۹۴ اجرا شد. متوسط بارندگی بلند مدت سالانه ۴۳۷ میلی‌متر و میانگین دمای بلند مدت سالانه منطقه ۱۵/۳ درجه سانتی‌گراد است. آب و هوای منطقه بر طبق روش تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه نیمه خشک سرد است. زمین محل آزمایش دارای خاکی با بافت لومی‌رسی بود که برخی از مشخصات فیزیکوشیمیایی آن در جدول ۱ آورده شده است.

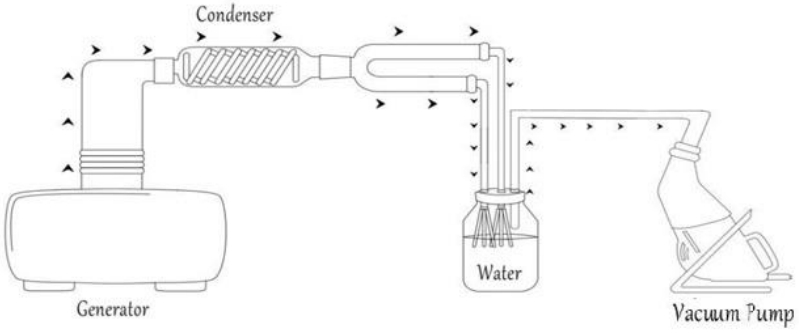
جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of experiment location soil

بافت Texture	ماده آلی Organic matter (%)	Silt (%)	Sand (%)	Clay (%)	املاح محلول $c\times10^3$ (ds m^{-1})	K (ppm)	Available P (ppm)	Total N (%)	pH	عمق نمونه‌برداری Sampling depth (cm)
سیلتی- رسی Silt clay	1.27	43.9	10.7	45.4	0.66	282	20.6	0.15	7.31	0-30

آماده‌سازی مزرعه شامل شخم نیمه عمیق و سپس دیسک‌زنی و هموارسازی زمین بود که در ابتدای پاییز انجام گرفت. در این تحقیق مقدار کود مصرفی با توجه به نتایج آزمون خاک انجام گرفته، میزان کربن آلی و فسفر قابل جذب خاک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل، ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در نظر گرفته شد. تمامی کود فسفره، پتاسه و یک سوم از کود اوره زمان کشت به خاک محل آزمایش اضافه شد. یک سوم از کود اوره در مرحله ۲ تا ۴ برگی گیاه و مابقی آن در مراحل ابتدای ساقه رفتن مصرف شد. در این طرح کود مصرفی با توجه به نتایج آزمون خاک و میزان کربن آلی و فسفر قابل جذب خاک و همچنین استفاده از دستورالعمل کشت گندم آبی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (۱۳۹۱) در نظر گرفته شد. بذر گندم مورد استفاده رقم پیشتاز بود که با دست روی ردیف‌هایی به طول ۳ متر و فاصله بین ردیف ۲۵ سانتی‌متر و در عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متری خاک کشت گردید. تراکم نهایی مزرعه ۴۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. همچنین در تمام طول دوره رشد گیاه مزرعه پایش گردید تا در صورت نیاز کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌های احتمالی انجام گردد. آبیاری مزرعه نیز بر اساس نیاز و به روش کرتی صورت گرفت.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف کاربرد کود نیتروژن (۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز گیاهی گندم که به‌ترتیب معادل ۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار بود) به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی گیاه با عصاره دود-آب (در پنج سطح شامل شاهد و غلظت‌های ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۱ و ۱ درصد به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. همچنین جهت یکسان‌سازی شرایط محلول‌پاشی کرت‌های شاهد با آب مقطر آب‌پاشی شد. در هر ۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول مورد استفاده که شامل آب مقطر واحدهای آزمایشی کنترل نیز می‌شد از یک قطره توئین ۲۰ به‌عنوان سورفاکتانت استفاده شد. در این آزمایش برای تهیه دود-آب بر مبنای روش ون استادن و همکاران (Van Staden *et al.*, 2004) دستگاهی به‌صورت تغییر یافته طراحی شد (شکل ۱) و با استفاده از آن دود ناشی از سوختن حدود ۵ کیلوگرم از بقایای گیاهان مختلف شامل شاخ و برگ انجیر، کاه و کلش گندم و شقایق وحشی ابتدا از مخزنی حاوی یک لیتر آب مقطر تا زمان سوختن کامل ماده گیاهی عبور داده شد به‌طوری‌که دود در آب مقطر به‌صورت یک محلول زرد رنگ در آمد. این محلول به‌دست آمده پس از عبور از کاغذ صافی به‌عنوان محلول پایه در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از آب مقطر در غلظت‌های مورد نظر رقیق شد و جهت اعمال تیمارها به‌کار برده شد (جدول ۲) (Van Staden *et al.*, 2004).



شکل ۱- دیاگرام دستگاه تهیه دود-آب

Figure 1- Diagram of smoke-water supply device

جدول ۲- ویژگی‌های دود-آب (Chumpookam *et al.*, 2012)

Table 2- Characteristics of Smoke-water

ویژگی‌ها Characteristics	مقدار Value (ppm)	ویژگی‌ها Characteristics	مقدار Value (ppm)	ویژگی‌ها Characteristics	مقدار Value
فسفر Phosphorus	110	ساکارز Sucrose	42.00	pH	4.6
پتاسیم Potassium	200	فروکتوز Fructose	25.00	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	2.17 (ms cm^{-1})
کلسیم Calcium	2.4	گلوکز Glucose	71.00	آمینواسیدهای آزاد کل Total free amino acids	0.392
منیزیم Magnesium	0.53	اسید تارتاریک Tartaric acid	720	کربوهیدرات‌های محلول کل Total soluble carbohydrates (%)	1.98
منگنز Manganese	0.03	نیترات Nitrate	2.96	اتیلن Ethylene	1.7
روی Zinc	0.52	سولفات Sulfate	309.85		
بور Boron	6.51	آمونیوم Ammonium	6135		
فلوئور Fluorine	85.25				
کلر Chlorine	12.17				
ترکیب فنولی کل Total phenolic compounds	1471				

محلول‌پاشی مزرعه نیز به‌صورت سه بار متوالی از قبل از گرده‌افشانی تا انتهای مرحله شیری دانه‌ها با استفاده از سمپاش دستی انجام شد. در هر مرحله نیز محلول‌پاشی در دو روز متوالی جهت اطمینان از جذب دود-آب انجام گرفت.

اندازه‌گیری‌ها شامل نمونه‌برداری تخریبی بود که از مرحله نموی ساقه رفتن تا رسیدگی فیزیولوژیک (بروز علائمی چون زردی عمومی کانوپی و رسیدن دانه‌ها به مرحله خمیری سخت) به‌صورت تصادفی و با رعایت اصول حاشیه جهت ثبت سطح برگ و وزن خشک، توسط کوادراتی به مساحت ۱۵۰۰ سانتی‌متر مربع صورت گرفت. به این صورت که پس از برداشت، ابتدا نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد و سپس به تفکیک اندام‌های گیاهی شامل برگ، ساقه و اندام‌های ذخیره‌ای اقدام گردید. به منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل LA-3000) استفاده شد. برای تعیین وزن خشک کل نیز ابتدا نمونه‌ها به مدت زمان کافی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون قرار داده شدند و سپس توسط ترازو توزین گردیدند. برای تخمین مقادیر ماده خشک کل روزانه[1] (TDW) بر حسب گرم در متر مربع از برازش معادله ۱ استفاده شد (Nassiri-Mahallati *et al.*, 2015):

$$TDW = \frac{a}{(1+b\times e^{(-c\times x)})} \quad \text{(معادله ۱)}$$

در اینجا، a، حداکثر ماده خشک کل، b، زمانی که منحنی وزن خشک کل وارد مرحله خطی رشد خود می‌شود، c، سرعت رشد نسبی و x، زمان بر حسب روز پس از کاشت است. به منظور محاسبه کارایی مصرف تشعشع (RUE[2]) ابتدا تعداد ساعات آفتابی برای عرض جغرافیایی کرمانشاه از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی دریافت شد، سپس میزان تشعشع روزانه خورشیدی به روش گودریان ون لار (Goudriaanand Van Laar, 1993) محاسبه گردید. تشعشع جذب شده روزانه برای گندم (I_{abs}) بر حسب مگاژول در متر مربع بر اساس معادله ۲ محاسبه شد (Tsubo *et al.*, 2005).

$$I_{abs} = I_0 \times (1-\rho) \times \left(1 - e^{(-K\times LAI)}\right) \quad \text{(معادله ۲)}$$

I_0، نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول در متر مربع)، ρ، ضریب انعکاس نور توسط کانوپی گندم که معادل ۰/۵ (Koocheki *et al.*, 2013)، K، ضریب خاموشی نور در کانوپی گندم که معادل ۰/۶۵ بود (Banayan, 2002) و LAI، شاخص سطح برگ روزانه که بر اساس معادله ۳ محاسبه گردید (Nassiri-Mahallati *et al.*, 2015):

$$LAI = a + b \times 4 \times \frac{\exp\left(-\frac{x-c}{d}\right)}{\left(1+\exp\left(-\frac{x-c}{d}\right)\right)^2} \quad \text{(معادله ۳)}$$

a، عرض از مبدأ، b، حداکثر شاخص سطح برگ، c، زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، d، نقطه عطف منحنی است که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x، زمان بر حسب روز پس از کاشت است. در پایان تشعشع جذب شده در هر مرحله نیز از حاصل‌ضرب تشعشع ورودی شبیه‌سازی شده در درصد تشعشع جذب شده به‌دست آمد و مقدار تشعشع جذب شده کل به صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب تشعشع ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع کل جذب شده نسبت به زمان محاسبه شد. در انتها کارایی مصرف تشعشع بر حسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط

1- Total Dry Weight

2- Radiation Use Efficiency

رگرسیون بین ماده خشک کل تجمعی (گرم بر متر مربع) و میزان تشعشع کل تجمعی (مگاژول بر متر مربع) برای هریک از تیمارها به‌طور جداگانه محاسبه شد.

برای ثبت عملکرد نهایی گندم در زمان رسیدگی فیزیولوژیک نیز یک متر مربع از هر کرت برداشت شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون به مدت زمان کافی دانه‌ها از کلش جدا گردید و سپس عملکرد وزن خشک کل، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح پنج درصد صورت گرفت. همچنین برای برازش معادلات و رسم شکل‌ها به‌ترتیب از نرم‌افزارهای Slidwrite و اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

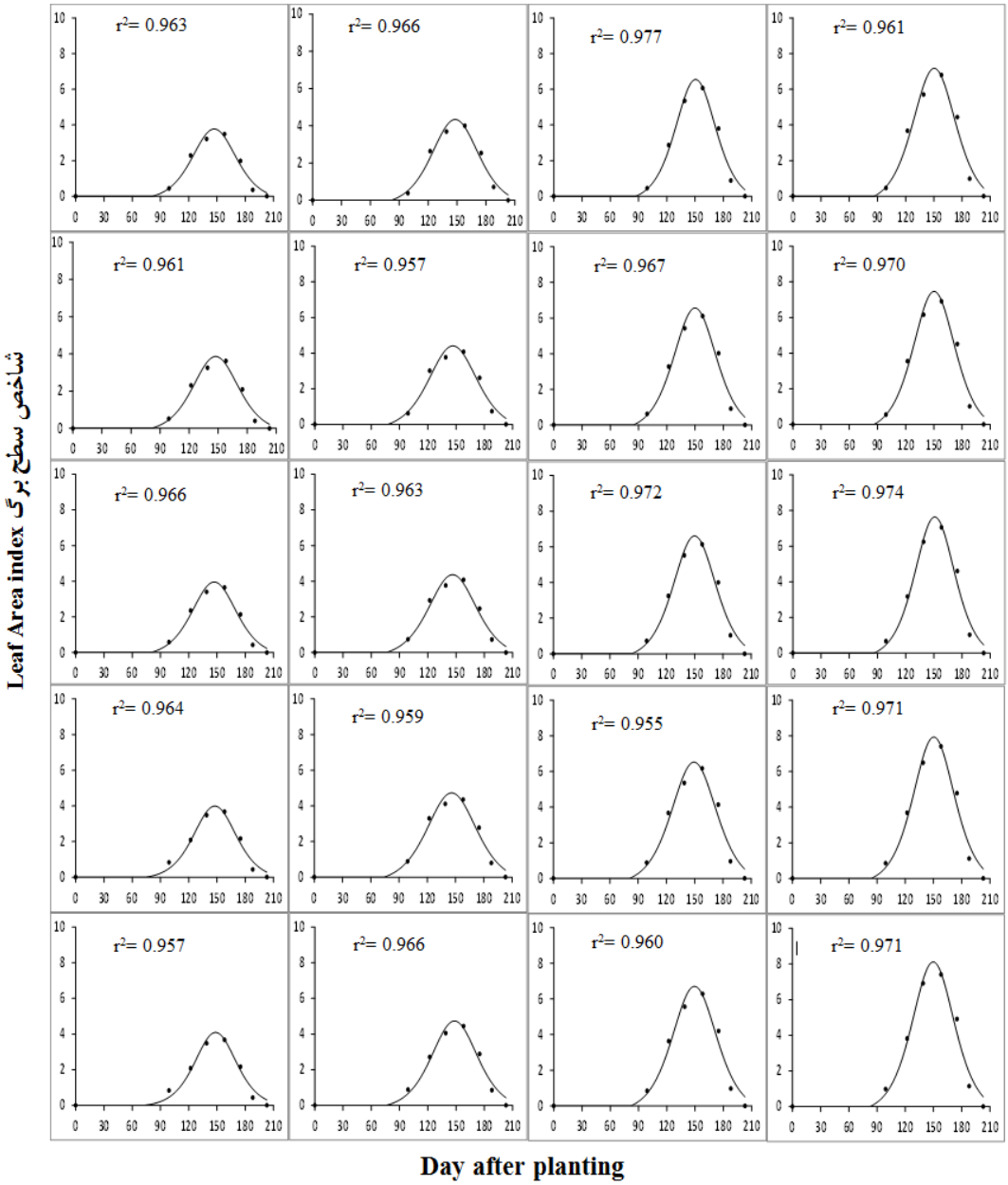
شاخص سطح برگ گندم صرف‌نظر از سطوح مختلف کود نیتروژن و دود-آب دارای روند مشابه‌ای بود (شکل ۲). در ابتدای فصل رشد روند افزایش شاخص سطح برگ به کندی طی شد و بعد از حدود ۱۰۵ روز پس از کشت وارد مرحله رشد خطی و در مرحله گلدهی به بیشترین مقدار خود رسید و پس از آن به دلیل پیری و ریزش برگ‌های پایین کانوپی در تمامی تیمارها روند نزولی شد (شکل ۲).

با افزایش سطح کود اوره دسترسی گیاهان به این عنصر ضروری بیشتر شده و به دلیل تحریک بیشتر رشد رویشی شاخص سطح برگ افزایش یافت. نتایج نشان داد که واحدهای آزمایشی که در مرحله ۲ تا ۴ برگی سطح بالاتری از کود اوره را دریافت نموده‌اند دارای شاخص سطح برگ بیشتر بوده و همچنین سریع‌تر از سایر تیمارها کانوپی خود را تکمیل کردند، لذا پس از طی فصل سرد که تشعشع خورشید رو به افزایش است سطح زمین را سریع‌تر پوشانیده و از اتلاف تشعشع فتوسنتزی جلوگیری می‌کنند. بیشترین شاخص سطح برگ حدود ۱۷۴ روز پس از کشت به‌دست آمد (شکل ۲). تا این زمان گیاهان سومین بخش کود اوره را دریافت کرده و یک نوبت نیز با سطوح مختلف دود-آب محلول‌پاشی شده بودند. در ۱۷۴ روز پس از کشت بیشترین شاخص سطح برگ (۷/۴) مربوط به تیمار ۳۶۰ کیلوگرم کود اوره و دود-آب با غلظت ۱ درصد و کمترین مقدار آن (۳/۴) مربوط به تیمار ۹۰ کیلوگرم کود اوره و محلول‌پاشی با آب بود (شکل ۲). نیتروژن شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ را افزایش می‌دهد و زردی و پیر شدن برگ‌ها را به تعویق می‌اندازد و همبستگی مثبتی بین میزان نیتروژن و شاخص سطح برگ وجود دارد (Karimian *et al.*, 2009). جاگارد و کلارک (Jaggard and Clark, 2000) با مطالعه روی گیاه چغندرقند اظهار داشتند که منحنی رشد برگ به صورت لگاریتمی است که در اواسط فصل رشد به حداکثر خود می‌رسد و سپس با از بین رفتن برگ‌های پیر کاهش می‌یابد. طریق الاسلامی و همکاران (Taregholeslami *et al.*, 2012) گزارش کردند که با افزایش سطح کود نیتروژن کاربردی از ۸۰ به ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار شاخص سطح برگ ذرت (*Zea mays* L.) به مقدار قابل توجهی افزایش یافت.

در این آزمایش همچنین صرف‌نظر از سطوح کود اوره اعمال شده در هر مرحله از نمونه‌برداری مشاهده شد که افزایش غلظت دود-آب شاخص سطح برگ را نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۲). در شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار، شاخص سطح برگ در محلول‌پاشی دود-آب با غلظت یک درصد نسبت به شاهد حدود ۹/۱۷ درصد بهبود یافت. این در حالی بود که در تیمار ۳۶۰ کیلوگرم اوره، مقایسه اثر محلول‌پاشی دود-آب با غلظت یک درصد نسبت به شاهد افزایش حدود ۶/۹ درصدی شاخص سطح برگ را نشان داد. این نتیجه بیانگر تأثیر بیشتر دود-آب در افزایش شاخص سطح برگ در شرایط کاربرد میزان پایین‌تر عنصر نیتروژن بود. همچنین نتایج نشان داد که در تیمارهایی با کود اوره مطلوب و دود-آب با غلظت‌های بالاتر، دوام و سبزمانی برگ‌ها افزایش یافت (شکل ۲). دوام بیشتر سطح برگ و فتوسنتز جاری برگ پرچم در اواخر دوره رشد و همزمان با پرشدن دانه‌ها ارتباط مستقیمی با عملکرد دانه دارد. کولکارنی و همکاران (Kulkarni *et al.*, 2007) مشاهده نمودند که دود-آب در غلظت ۱:۵۰۰ و کاریکینولید در غلظت ۷-۱۰ مولار موجب افزایش تعداد برگ و سطح برگ گیاهچه‌های بامیه و گوجه‌فرنگی شد. همچنین ماده مؤثره دود-آب موجب افزایش معنی‌داری در شاخص سطح برگ گیاه جاتروفا (*Jatropha curcas* L.) گردید (Abdelgadir *et al.*, 2013).

جذب تشعشع

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تغییرات روند جذب تشعشع در تمامی تیمارها از تغییرات شاخص سطح برگ تبعیت داشت (شکل ۳). به‌طوری‌که در مراحل اولیه، رشد آهسته برگ‌های جوان و باز بودن کانوپی که منجر به عدم پوشش کامل سطح زمین گردید باعث جذب تشعشع کمتر شد. سپس متناسب با افزایش شاخص سطح برگ و شدت تشعشع روزانه خورشید، تشعشع جذب شده در تمامی تیمارهای مورد بررسی به‌تدریج افزایش یافت و در حدود ۱۷۶ روز پس از کاشت به حداکثر میزان خود رسید. سپس به علت پیری و ریزش برگ‌ها، روند جذب تشعشع تا انتهای دوره رشد رشد گندم روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۳).



شکل ۲- اثر کاربرد کود اوره و دود-آب بر شاخص سطح برگ گندم. N0، N1، N2، N3 و N4 به‌ترتیب نشان‌دهنده ۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار و SW0، SW1، SW2، SW3 و SW4 به‌ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۱ و ۱ درصد است.

Figure 2- Effect of urea and smoke water application on Leaf Area Index of wheat. N0, N1, N2, N3 and N4 are showed 90, 180, 300 and 360 kg ha^{-1} of urea fertilizers, respectively andSW0, SW1, SW2, SW3 and SW4 are showed 0, 0.001, 0.01, 0.1 and 1% of smoke water concentration, respectively.

نتایج بررسی نشان داد که هم‌پوشانی نمودار میزان تشعشع جذب شده با نمودار تشعشع بالای کانوپی نسبت مستقیمی با مقدار کود اوره و غلظت دود-آب داشت (شکل ۳). به‌طوری‌که واحدهای آزمایشی متعلق به تیمارهای ۳۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و غلظت بالای دود-آب بیشترین هم‌پوشانی را داشتند. پس از گذر از ماه‌های سرد زمستان مقدار تشعشع روزانه خورشید در مزرعه به‌تدریج افزایش می‌یابد. در چنین شرایطی وجود سطح برگ بیشتر باعث می‌شود گیاه به‌طور بهینه از نور استفاده کند. بنابراین عواملی

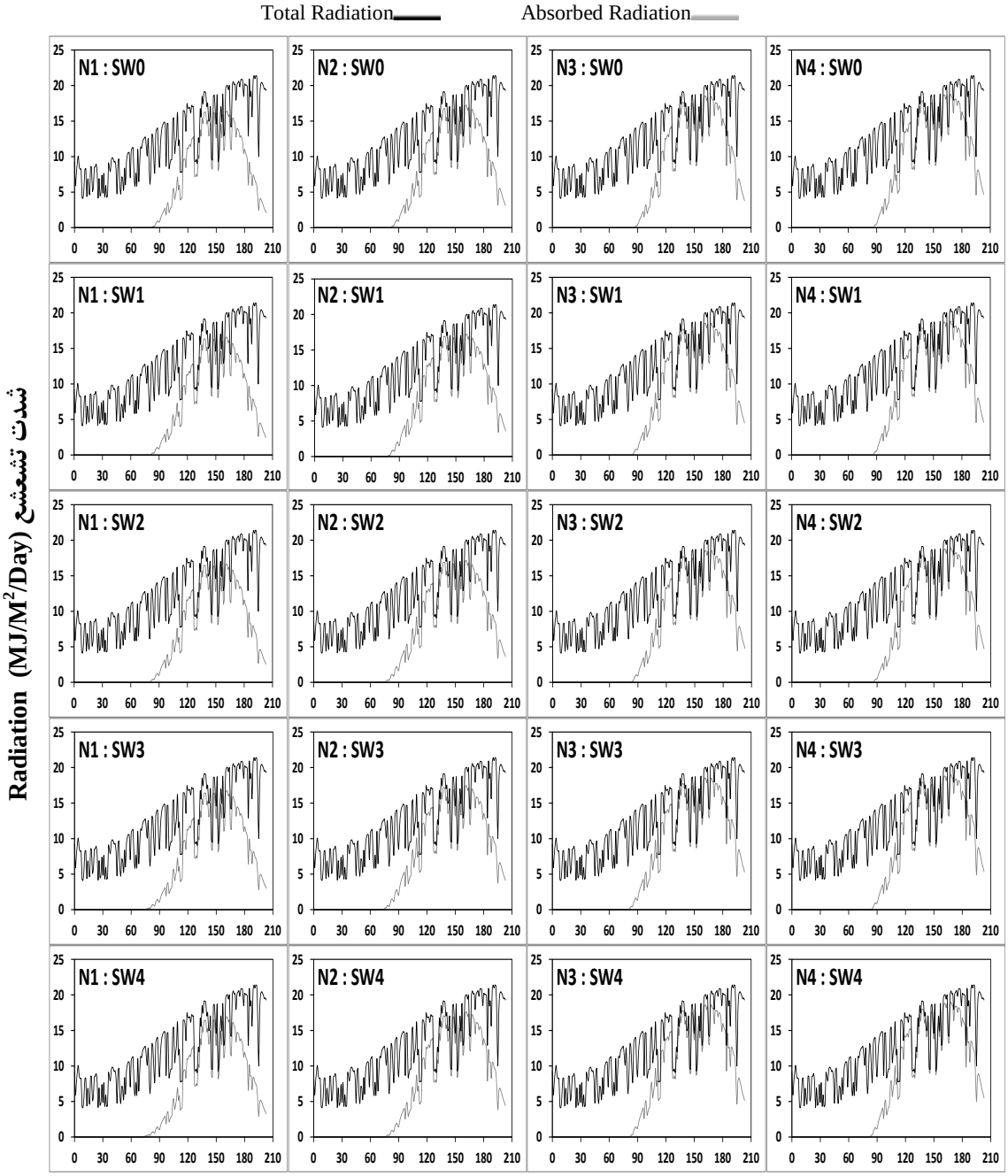
که موجب رسیدن به سطح برگ مطلوب در زمان حداکثر تشعشع روزانه خورشید و بسته شدن کانوپی می‌شوند، در این زمان از اهمیت بالایی برخوردار هستند. علاوه بر این، مشخص شده است که دود-آب و کاریکینولید علاوه بر سطح برگ، مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل را در گیاه بهبود می‌بخشد که متعاقباً موجب افزایش جذب تشعشع روزانه خورشید به‌وسیله گیاه و افزایش پتانسیل فتوسنتز و تولید می‌شود (Abdelgadir *et al*., 2013; Jamil *et al*., 2014).

نتایج این بررسی همچنین نشان داد که بیشترین جذب تشعشع به میزان ۱۹/۰۲ مگاژول در متر مربع در روز به شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار و غلظت دود-آب یک درصد و کمترین آن به میزان ۱۶/۲۵ مگاژول در متر مربع در روز به تیمار ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار و شاهد مربوط بود (شکل ۳). مقایسه میزان جذب تشعشع در تیمارهای شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار نشان داد که با افزایش غلظت دود-آب میزان جذب تشعشع نیز افزایش یافت، به‌طوری‌که در محلول‌پاشی دود-آب با غلظت یک درصد جذب نور نسبت به شاهد معادل ۴ درصد افزایش یافت. در حالی‌که در تیمارهای شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار با افزایش سطح دود-آب از شاهد به غلظت یک درصد میزان جذب تشعشع حدود ۲/۲ درصد بهبود یافت. این نتایج بیانگر این موضوع است که در تیمار سطح پایین‌تر کود اوره محلول‌پاشی با غلظت یک درصد دود-آب در جذب تشعشع توسط کانوپی گندم اثر بیشتری داشته است و تا حدودی جبران‌کننده کمبود نیتروژن در دسترس گیاه است. Kullkarni *et al*. (2007) نیز دریافتند که محلول‌پاشی دود-آب بر روی برگ‌های گوجه‌فرنگی و بامیه موجب افزایش معنی‌دار تعداد برگ، سطح برگ و وزن خشک کل در آن‌ها شده است. نامبردگان اظهار داشتند از آن‌جایی‌که برگ اندام جذب نور است این موضوع می‌تواند بیانگر افزایش جذب نور در اثر محلول‌پاشی با دود-آب باشد.

وزن خشک کل

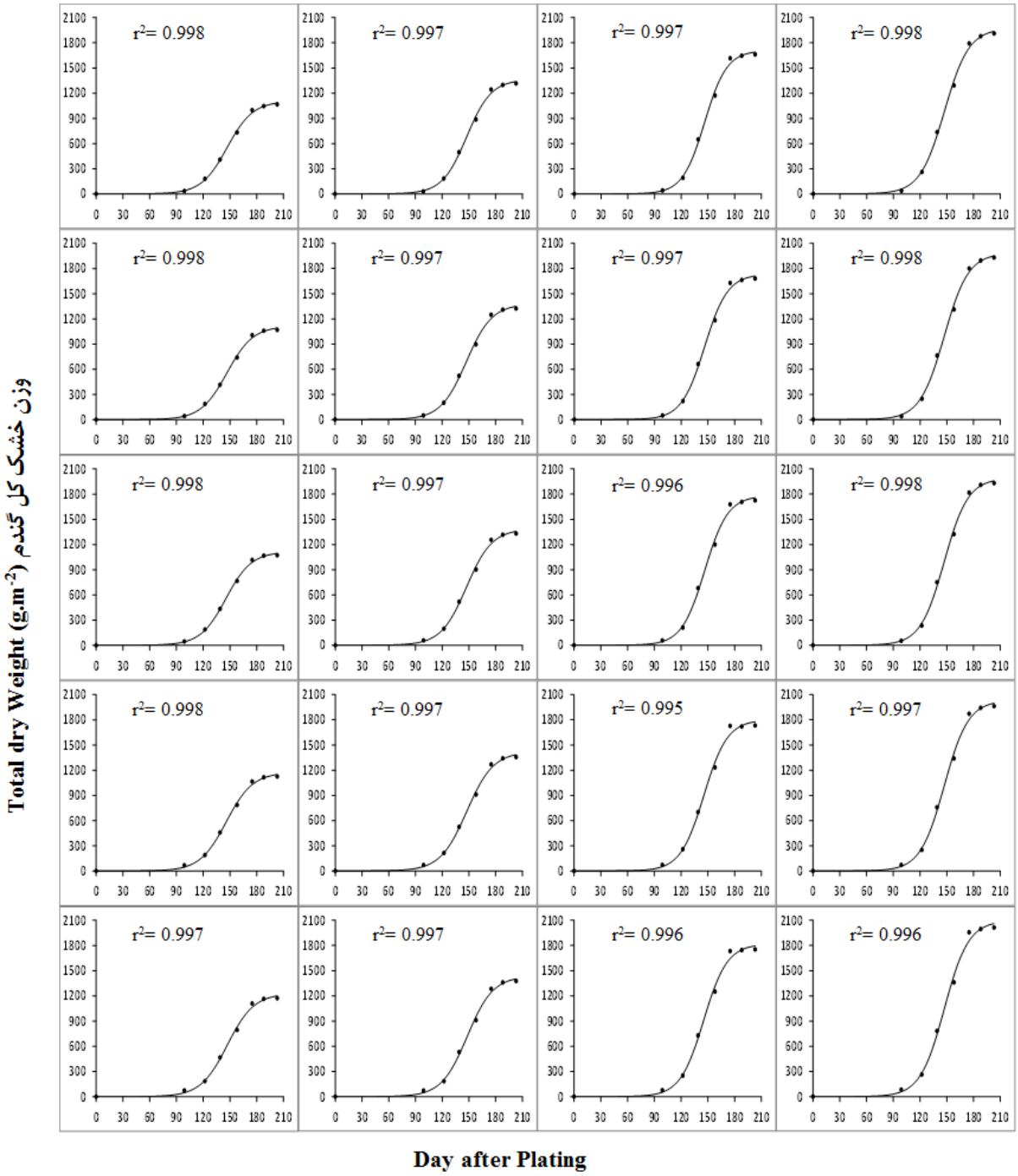
صرف‌نظر از نوع تیمارهای اعمال شده در این آزمایش، تغییرات تجمع ماده خشک در گندم در طی فصل رشد دارای روند یکسانی بود (شکل ۴). در ابتدای دوره رشد به دلیل کوچک بودن بوته‌ها تفاوت چندانی بین تیمارهای اعمال شده از نظر روند افزایش وزن خشک کل مشاهده نشد. ولی از حدود ۱۰۵ روز پس از کاشت، تجمع ماده خشک کل وارد مرحله رشد خطی شده و به سرعت شروع به افزایش نمود و در حدود ۲۰۰ روز پس از کاشت به حداکثر میزان خود رسید و سپس روند تقریباً ثابتی را در پیش گرفت (شکل ۴).

نتایج تجزیه واریانس نیز نشان داد که اثر سطوح مختلف کود اوره و غلظت‌های متفاوت دود-آب بر عملکرد وزن خشک کل گندم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل آنها بر این صفت غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). صرف‌نظر از تیمارهای محلول‌پاشی دود-آب، بیشترین عملکرد وزن خشک کل (۱۹۴۹/۳ گرم بر متر مربع) در شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار و کمترین مقدار آن (۱۱۰۰/۷ گرم بر متر مربع) در شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار مشاهده شد. به نظر می‌رسد با نزدیک شدن میزان مصرف کود اوره به شرایط مطلوب، شاخص سطح برگ جهت جذب مؤثر تشعشع افزایش یافت و فراهمی آسمیلات‌ها بیشتر شده و امکان افزایش عملکرد وزن خشک کل گندم را فراهم ساخت. علاوه بر این، محلول‌پاشی گیاه با غلظت یک درصد دود-آب بیشترین عملکرد وزن خشک کل (۱۵۷۹ گرم بر متر مربع) و محلول‌پاشی با آب مقطر به‌عنوان شاهد کمترین آن (۱۴۸۸ گرم بر متر مربع) را موجب شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد که کاربرد دود-آب موجب افزایش سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای و در نتیجه تحریک باز شدن روزنه‌ها، افزایش تبادلات گازی، فعالیت‌های بیوشیمیایی و تثبیت کربن در گیاه می‌شود که مجموعه این عوامل متعاقباً مقدار فتوسنتز و وزن خشک کل گیاه را بهبود می‌بخشد (Zhou *et al*., 2013). افزایش سرعت تعرق انتقال آب و شیره خام را در آوند چوبی افزایش می‌دهد. یکی از این مواد فیتوهورمون سایتوکینین است که تقسیمات سلول را در مخازن فعال گیاه افزایش می‌دهد. بنابراین قدرت مخزن و تقاضا برای آسیمیلات‌ها افزایش می‌یابد (Ahmadi and Ehsanzadeh, 2007). همچنین مشخص شده است که دود-آب موجب افزایش سطح سایتوکینین درون گیاه می‌شود (Aremu*et al*., 2016). اثر دود-آب بر افزایش وزن خشک کل در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است، به گونه‌ای که می‌توان به افزایش وزن خشک کل سورگوم (Khan *et al*., 2014)، گندم (Aslam *et al*., 2015) و برنج (Jamil *et al*., 2014) تیمار شده با دود-آب اشاره نمود.



شکل ۳- اثر کاربرد کود اوره و دود-آب بر جذب نور گندم. N0، N1، N2، N3 و N4 به‌ترتیب نشان‌دهنده ۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار و SW0، SW1، SW2، SW3 و SW4 به‌ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۱ و ۱ درصد است.

Figure 3- Effect of urea and smoke water application on radiation absorption of wheat. N0, N1, N2, N3 and N4 are showed 90, 180, 300 and 360 kg ha^{-1} of urea fertilizers, respectively andSW0, SW1, SW2, SW3 and SW4 are showed 0, 0.001, 0.01, 0.1 and 1% of smoke water concentration, respectively.



شکل ٤- اثر کاربرد کود اوره و دود-آب بر وزن خشک کل گندم. N0، N1، N2، N3 و N4 به‌ترتیب نشان‌دهنده ۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳٦۰ کیلوگرم اوره در هکتار و SW0، SW1، SW2، SW3 و SW4 به‌ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۱ و ۱ درصد است.

Figure 4- Effect of urea and smoke water application on total dry weight of wheat. N0, N1, N2, N3 and N4 are showed 90, 180, 300 and 360 kg ha^{-1} of urea fertilizers, respectively andSW0, SW1, SW2, SW3 and SW4 are showed 0, 0.001, 0.01, 0.1 and 1% of smoke water concentration, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات عملکرد وزن خشک کل، عملکرد دانه و شاخص برداشت گندم

Table 3- Analysis of variance for total dry weight yield, grain yield and harvest index of wheat

منابع تغییر (Source of variation)	درجه آزادی (d.f)	میانگین مربعات (Mean of Squares)		
		عملکرد وزن خشک کل Total dry weight yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک (Block)	2	74499.31**	241229.18**	21.729**
نیتروژن Nitrogen (A)	3	21444172.66**	658497.63**	182.978**
خطای اصلی Main error	6	469.18	42.62	4427337
دود-آب Smoke-Water (B)	4	16153.45**	8081.49**	6.481**
A×B	12	594.11^{ns}	59.56^{ns}	0.617^{ns}
خطا فرعی Sub error	32	469.18	42.62	0.442
کل Total	59	–	–	–
ضریب تغییرات % (CV)		14.2	10.06	15.87

*و** به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۱درصد و ۵ درصد و ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد

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

جدول ٤- اثر کاربرد کود اوره و دود-آب بر عملکرد وزن خشک کل، عملکرد دانه و شاخص برداشت گندم

Table 4- Effect of urea fertilizer and smoke water application on total dry weight yield, grain yield and harvest index of wheat

تیمار Treatment	عملکرد وزن خشک کل Total dry weight yield (g m^{-2})	عملکرد دانه Grain yield (g m^{-2})	شاخص برداشت Harvest index (%)
کود اوره Urea Fertilizer (kg ha^{-1})			
90	1100.7	424.6	38.5
180	1340.3	526.6	39.3
300	1711.1	767.7	44.9
360	1949.3	877.6	0.45
(LSD 0.05)	20.37	17.21	3.21
دود آب Smoke Water (%)			
0	1488.4	622.9	41.1
0.001	1500.1	632.4	41.5
0.01	1514.8	0.642	41.8
0.1	1544.2	659.4	42.1
1	1579.3	688.9	43.1
(LSD 0.05)	18.01	5.43	0.55

کارایی مصرف تشعشع

کارایی مصرف تشعشع گندم تحت تأثیر سطوح مختلف کود اوره و محلول‌پاشی با دود-آب قرار گرفت (شکل ۵). صرف‌نظر از تیمارهای آزمایش تجمع ماده خشک ارتباطی خطی با میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی داشت و در تمامی موارد نیز ضریب تبیین بیش از ۰/۹ بود (شکل ۵). با افزایش میزان کاربرد کود اوره کارایی مصرف تشعشع بهبود یافت. همچنین محلول‌پاشی بوته‌های گندم با دود-آب نیز منجر به افزایش کارایی مصرف تشعشع گردید. بیشترین کارایی مصرف تشعشع (۱/۶۵ گرم بر مگاژول) در شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار مشاهده گردید. اگرچه محلول‌پاشی با دود-آب در غلظت‌های مختلف در شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار منجر به روند مشخصی در بهبود کارایی مصرف تشعشع نشد، ولی نتایج بیانگر این موضوع است که وجود غلظتی از دود-آب نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش کارایی مصرف نور گندم شده است (شکل ۵). در شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار محلول‌پاشی با دود-آب با غلظت یک درصد نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش کارایی مصرف تشعشع معادل ۱/۹۲ درصد شد. کارایی مصرف تشعشع به‌طور عمده توسط عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود، اما عوامل محیطی و عملیات مدیریتی به‌ویژه میزان نیتروژن قابل دسترس گیاه در خاک نیز بر این ویژگی اثر دارند. نیتروژن یک عامل مهم در استقرار کانوپی گیاهی و در نتیجه جذب نور به‌وسیله جامعه گیاهی است و تأمین نیتروژن به میزان مناسب در بهبود کارایی

مصرف تشعشع اهمیت اساسی دارد، زیرا گیاهی که تحت تنش کمبود نیتروژن قرار دارد به اندازه گیاهی که تحت تنش قرار ندارد نور در اختیار دارد اما فتوسنتز در گیاه تحت تنش به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر است، در این حالت تیمار شاهد (بدون تنش) کارایی بیشتری در استفاده از نور دارد توماس و ترون (Thomas and Thorne, 1975). کریمیان و همکاران (Karimian *et al.*, 2009) گزارش کردند که افزایش کاربرد نیتروژن به شدت باعث بهبود کارایی مصرف تشعشع کلزا شد. عامری و نصیری محلاتی (Ameri and Nasiri Mahalati, 2008) اظهار داشتند افزایش مصرف نیتروژن موجب افزایش کارایی مصرف نور گیاه همیشه بهار شد. در مطالعه دیگری یزدانی بیوکی و همکاران (Yazdani Biouki *et al.*, 2014) بیان کردند که کاربرد کود اوره و همچنین کودهای آلی موجب افزایش کارایی مصرف نور در گیاه مرزنجوش وحشی گردید.

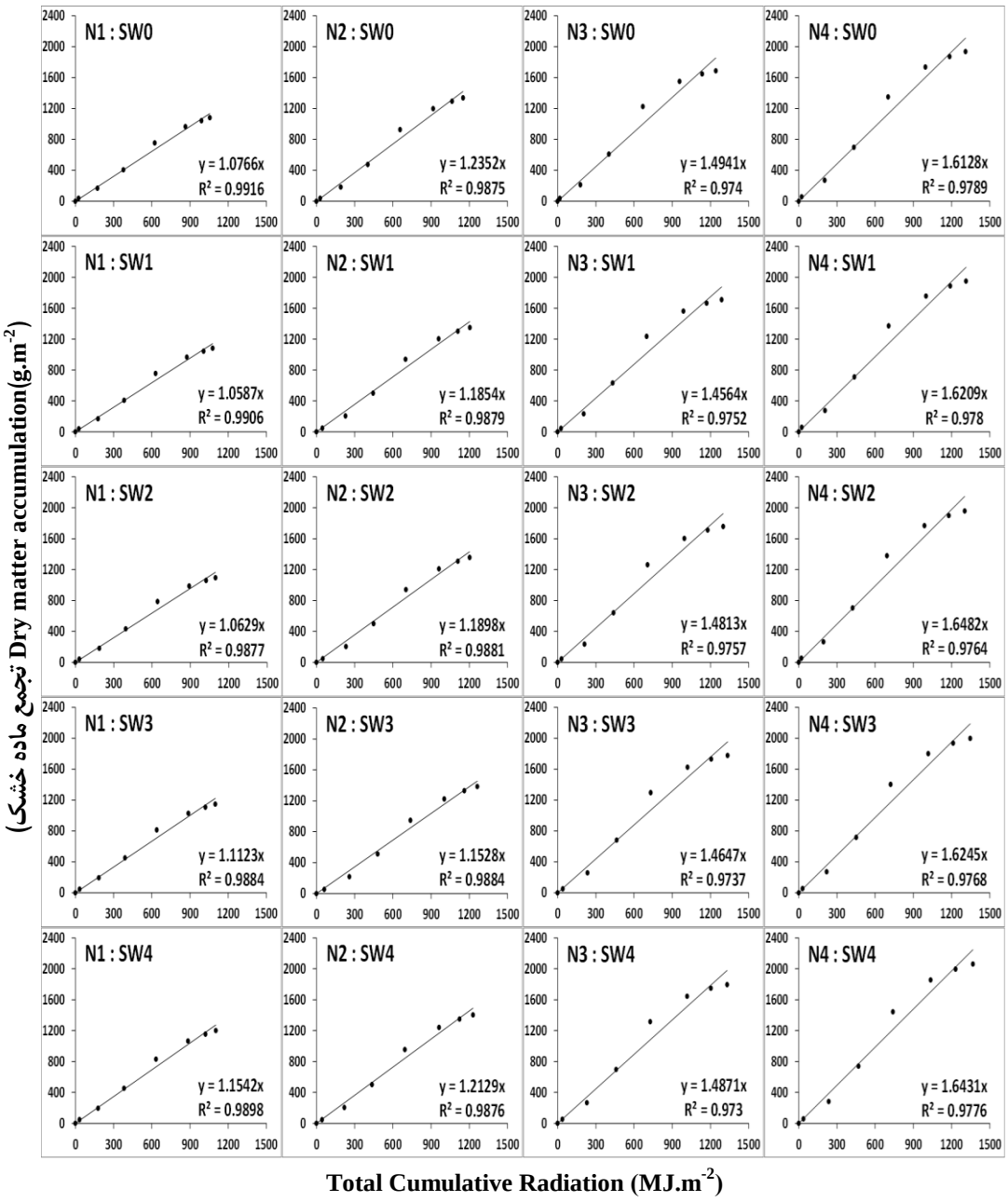
کمترین مقدار کارایی مصرف تشعشع (۱/۰۶ گرم بر مگاژول) مربوط به شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار بود. تحت چنین شرایطی مشاهده شد که غلظت بالای دود-آب (یک درصد) در مقایسه با شرایط عدم کاربرد دود-آب موجب افزایش کارایی مصرف تشعشع معادل ۷/۲۴ درصد گردید (شکل ۴). این در حالی‌است که در شرایط مصرف ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترژن، کاربرد غلظت یک درصد دود- آب تنها موجب افزایش کارایی مصرف نور به مقدار یک درصد شده است. مقایسه نقش محلول‌پاشی با دود-آب در افزایش کارایی مصرف تشعشع در سطوح مختلف کاربرد کود اوره نشان داد که در سطوح کودی پایین‌تر اثر دود-آب بر بهبود کارایی مصرف تشعشع گندم بیشتر است. بنابراین با توجه به این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که دود-آب در زمانی که سطح مطلوب نیتروژن در دسترس گیاه نیست می‌تواند مقداری از این کمبود را جبران نماید. به نظر می‌رسد که دود-آب و کاریکینولید ناشی از سوزاندن بقایای گیاهی از طریق بهبود تبادلات گازی، فعالیت‌های بیوشیمیایی به‌ویژه فیتوهورمون‌ها و تثبیت کربن در گیاه (Aremu *et al.*, 2016)، منجر به افزایش فتوسنتز خالص و وزن خشک کل گیاه شد که در نهایت منجر به تولید ماده خشک بیشتر به ازای هر واحد تشعشع جذب شده گردید و از این طریق باعث بهبود کارایی مصرف تشعشع گندم شد. یکی از پیش شرط‌های لازم برای دستیابی به عملکرد بالا تأمین شرایط مطلوب برای استفاده از تشعشع با هدف تولید مواد فتوسنتزی با حداکثر کارایی آن است. مفهوم کارایی مصرف تشعشع در تجزیه و تحلیل رشد گیاه کاربرد وسیعی دارد (Kemanian *et al.*, 2004). به‌طور کلی عوامل مختلف محیطی و مدیریتی مانند حاصلخیزی خاک که بر میزان جذب تشعشع توسط گیاه مؤثر باشد بر کارایی مصرف تشعشع نیز اثرگذار است (Rosati *et al.*, 2004). از آنجا که نور قابل ذخیره نبوده و یکی از عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی است، بنابراین هر عاملی که منجر به افزایش توانایی گیاه در استفاده حداکثر از نور شود در بهبود تولیدات زراعی اهمیت زیادی دارد (Ameri and Nasiri Mahalati, 2008).

عملکرد دانه

تجزیه آماری داده‌های آزمایش نشان داد اثر کاربرد سطوح مختلف کود اوره و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف دود-آب به‌طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) عملکرد دانه گندم را تحت تأثیر قرارداد (جدول ۳). اما بر هم‌کنش بین کود اوره و دود-آب بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار عملکرد دانه در شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار معادل ۸۷۷ گرم در متر مربع و کمترین آن معادل ۴۲۴ گرم در متر مربع در شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دست آمد (جدول ۴). در این آزمایش بخش دوم کود اوره در نیمه اول اسفند ماه قبل از آغاز رشد سریع گیاه که تعداد نهایی پنجه‌ها و همچنین سنبله در مریستم انتهایی[1] شکل می‌گیرد به واحدهای آزمایشی اضافه شد. تعداد پنجه‌ها یکی از عوامل مؤثر در رسیدن به تراکم مناسب، بسته شدن کانوپی، جذب بهینه تشعشع، افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک است (Gardner *et al.*, 1993). بخش سوم کود اوره نیز هم-زمان با شروع طویل شدن ساقه، افزایش شدید در تقاضای مواد پرورده و عناصر غذایی در میان گره‌های رویشی و اتمام طول دوره پنجه‌دهی به واحدهای آزمایشی اضافه گردید.

پس از این زمان علاوه بر رشد فعال ساقه و سنبله، آغازش سنبلچه در مریستم انتهایی اتفاق می‌افتد. این بخش از کود نیتروژن فراهمی بیشتر آسمیلات‌ها را جهت افزایش تعداد گلچه موجب می‌شود و پتانسیل تعداد دانه در واحد سطح را شکل می‌دهد (Gardner *et al.*, 1993). در میان اجزای عملکرد دانه، تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله بیشترین نقش را در افزایش عملکرد گندم دارد (Blandino *et al.*, 2009). با ورود گیاه به مرحله تورم غلاف[2] برگ پرچم دیگر تعداد گلچه افزایش نمی‌یابد (Satorre and Slafer, 1999). از مرحله تورم غلاف تا سنبله رفتن بسیاری از گلچه‌های آغازش شده به دلیل رقابت برای آسمیلات‌ها حذف می‌شوند و تنها تعدادی از پریموردیای گلچه به گلچه‌های بارور در مرحله گل شکفتگی تبدیل می‌شوند. کود نیتروژن در مقادیر مطلوب موجب دسترسی بیشتر به آسمیلات‌ها و کاهش مرگ گلچه‌ها می‌شود (Satorre and Slafer, 1999).

1- Apex
2- Booting



شکل ۵- اثر کاربرد کود اوره و دود-آب بر کارایی مصرف نور گندم. N0، N1، N2، N3 و N4 به‌ترتیب نشان‌دهنده ۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار و SW0، SW1، SW2، SW3 و SW4 به‌ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۱ و ۱ درصد است.

Figure 5- Effect of urea and smoke water application on radiation use efficiency of wheat. N0, N1, N2, N3 and N4 are showed 90, 180, 300 and 360 kg ha^{-1} of urea fertilizers, respectively andSW0, SW1, SW2, SW3 and SW4 are showed 0, 0.001, 0.01, 0.1 and 1% of smoke water concentration, respectively.

کاظمینی و همکاران (Kazemeini *et al.*, 2008) گزارش کردند افزایش سطح کود نیتروژن کاربردی باعث افزایش تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و عملکرد دانه گندم شد.

نتایج این بررسی همچنین نشان داد که در محلول‌پاشی بوته‌های گندم با دود-آب غلظت یک درصد بیشترین عملکرد دانه (۶۸۸ گرم در متر مربع) به‌دست آمد و محلول‌پاشی با آب مقطر به‌عنوان تیمار

شاهد کمترین مقدار عملکرد دانه را (۶۲۲ گرم در متر مربع) موجب شد (جدول ۴). Light *et al.* (2007) دریافتند که دود-آب در غلظت ۱:۵۰۰ (v/v) موجب افزایش گلدهی از ۲۰ تا ۹۰ درصد در گیاه *Watsonia borbonica* شد. بنابراین ممکن است دود-آب دارای پتانسیل تحریک گلدهی یا بقای گلچه‌ها در گیاهان زراعی نیز باشد. به نظر می‌رسد افزایش عملکرد دانه ناشی از کاهش درصد مرگ گلچه‌ها به‌واسطه کاربرد دود-آب در مرحله گلدهی باشد. همان‌طور که بیان شد سایتوکینین نقش مهمی در تقسیم سلولی ایفا می‌کند و احتمالاً افزایش بیشتر عملکرد دانه در سطوح مختلف کود نیتروژن که با دود-آب محلول‌پاشی شده بود، می‌تواند ناشی از فعالیت شبه‌سایتوکینینی و به‌طور جامع‌تر فعالیت شبه فیتوهورمونی مواد مؤثره موجود در دود-آب باشد. به عبارت دیگر به نظر می‌رسد که دود-آب موجب ایجاد مخزنی قوی‌تر در گندم شده است که همزمان با آن سطوح مطلوب کود نیتروژن، فراهمی مواد جهت پر کردن دانه‌ها را تأمین نموده است. Moosavi *et al.* (2014) نیز بیان داشتند که کاربرد عصاره دود-آب به‌طور معنی‌داری منجر به بهبود طول ساقه، طول برگ پرچم، طول ریشک، تعداد سنبلچه در سنبله گندم شد. نامبردگان اظهار داشتند کاربرد عصاره دود-آب می‌تواند به‌عنوان یک عامل تحریک‌کننده مثبت در افزایش صفات مطلوب زراعی و درنتیجه به‌عنوان عاملی برای افزایش عملکرد محسوب گردد.

شاخص برداشت

نتایج این بررسی نشان داد که شاخص برداشت گندم به‌طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) تحت تأثیر کاربرد کود اوره و محلول‌پاشی با دود-آب قرار گرفت ولی برهمکنش این دو عامل بر این صفت غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت (۴۵ درصد) در شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با سطح ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار نداشت (جدول ۴). همچنین کمترین مقدار شاخص برداشت (۳۸/۵ درصد) در شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با شرایط کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم اوره در هکتار نداشت (جدول ۴). همچنین شاخص برداشت در محلول‌پاشی با غلظت یک درصد دود-آب برابر ۴۳ درصد بود که نسبت به غلظت‌های کمتر و شاهد اختلاف معنی‌داری داشتد، اما از لحاظ آماری بین سایر سطوح غلظت محلول‌پاشی با دود-آب اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. موسوی و همکاران (Moosavi *et al.*, 2014) نشان دادند که عصاره آبی دود باعث افزایش شاخص برداشت گندم شد. کولکارنی و همکاران (Kulkarni *et al.*, 2007) نیز بیان داشتند شاخص برداشت در گیاه گوجه‌فرنگی که دو بار در هفته با دود-آب (۱:۵۰۰ v/v) محلول‌پاشی شده بودند به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که بیشتر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده گندم با افزایش مقدار کود نیتروژن و غلظت دود-آب بهبود یافت. صرف‌نظر از سطوح کود نیتروژن، محلول‌پاشی گندم با دود-آب افزایش شاخص سطح برگ، جذب تشعشع، وزن خشک کل، کارایی مصرف تشعشع، عملکرد دانه و شاخص برداشت را در پی داشت. کاربرد نیتروژن عملکرد گندم را از طریق افزایش شاخص سطح برگ، جذب تشعشع و کارایی مصرف تشعشع تحت تأثیر قرار داد. تأثیر دود-آب در شرایط کاربرد مقادیر پایین‌تر نیتروژن بیشتر بود، به‌طوری‌که در شرایط استفاده از ۹۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار مشاهده شد که غلظت بالای دود-آب (یک درصد) در مقایسه با شرایط عدم کاربرد دود-آب موجب افزایش کارایی مصرف تشعشع معادل ۷/۲۴ درصد گردید. این در حالی‌است که در شرایط مصرف ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترژن، کاربرد غلظت یک درصد دود- آب تنها موجب افزایش کارایی مصرف نور به مقدار یک درصد شده است. بنابراین، می‌توان این گونه نتیجه‌گیری کرد که در صورت تأیید نتایج این تحقیق در آزمایشات دیگر، از دود-آب به‌عنوان یک ترکیب زیستی بتوان بخشی از نیازهای گیاه به مصرف کود نیتروژن را تأمین کرد که خود باعث کاهش مصرف این عنصر در مزراع و در نتیجه کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی آن می‌گردد. به‌طور کلی در این پژوهش اثرات مثبتی از دود-آب در بهبود ویژگی‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک گندم در شرایط کاربرد مقادیر مختلف کود نیتروژن مشاهده شد. لذا پژوهش‌های آتی با کاربرد سایر غلظت‌های دود-آب، محلول‌پاشی در مراحل نموی دیگر گندم و همچنین مطالعه اثر این ترکیب به همراه سایر عوامل مؤثر بر عملکرد گیاه، می‌تواند منجر به جایگزینی دود-آب به‌عنوان یک ترکیب زیستی به جای بخشی از نیاز گیاه به نهاده‌های سنتزی شود.

References

1. Abdelgadir, H. A., Kulkarni, M. J., Aremu, A. O., and Van Staden, J. 2013. Smok-water and karrikinolide (KAR1) foliar applications promote seedling growth and photosynthetic pigments of the biofuel seed crop *Jatropha curcas* L. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 176: 743-747.
2. Agriculture statistics of Iran, 2017. http://amar.maj.ir.

3. Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P., and Jabbary, F. 2007. Introduction to plant physiology. University of Tehran Press. Tehran.
4. Ameri, A., and Nasiri Mahalati, M. 2008. Effects of nitrogen application and plant densities on flower yield, essential oils, and radiation use efficiency of Marigold (*Calendula officinalis* L.). Pajouhesh and Sazandegi 88.133-144. (in Persian with English abstract).
5. Aremu, O., Plackova, L., Novak, O., Strik, W. A., Dolezal, K., and Van Staden, J. 2016. Cytokinin profiles in ex vitro acclimatized Eucomis autumnalis plants pre-treated with smoke-derived karrikinolide. Plant Cell Reports 35: 227-238.
6. Aslam, M. M., Jamil, M., Khatoon, A., El-Hendawy, S. E., Al-Suhaibani, N. A., Shakir, S. K., Malook, I., and Rehman, S. 2015. Does weeds-derived smoke improve plant growth of wheat? Journal of Bio-Molecular Sciences 3 (2): 86-96.
7. Banayan, M. 2002. Development and application of simulation models in agriculture. Ferdowsi University of Mashhah Press. Mashhad.
8. Blandino, M., Pilati, A., and Reyneri, A. 2009. Effect of foliar treatments to durum wheat on flag leaf senescence, grain yield, quality and deoxynivalenol contamination in North Italy, Field Crop Research 114: 214-222.
9. Chumpookam, J., Lin, H. L., Shiesh, C. C., and Ku, K. L. 2012. Effect of smoke-water on seed germination and resistance to Rhizoctonia solani inciting Papaya damping-off. Hoticulture NCHU 34 (1): 13-29.
10. Flematti, G. R., Ghisalberti, E. L., Dixon, K. W., and Trengove, R. D. 2004. A compound from smoke that promotes seed germination. Science 305: 977-977.
11. Gardner, M. J., Dalling, K. J., Light, M. E., Jager, A. K., and Van Staden, J. 2001. Does smoke substitute for red light in the germination of light-sensitive lettuce seeds by affecting gibberellin metabolism? South African Journal of Botany 67: 636-640.
12. Gastal, F., and Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. Journal of Experimental Botany 53: 789-799.
13. Goudriaan, J., and Van Laar, H. H. 1993. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Press.
14. Hassegawa, R. H., Fonseca, H., Fancelli, A. L., da Silva, V. N., Schammass, E. A., Reis, T. A., and Correa, B. 2008. Influence of macro-and micronutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. Food Control 19: 36-43.
15. Jaggard, K., and Clark, C. 2000. Growth of sugar beet crops in 1999. British Sugar Beet. A Review. Crop Science 68 (1): 6-11.
16. Jain, N., Stirk, W. A., and Van Staden, J. 2008. Cytokinin-and auxin-like activity of a butenolide isolated from plant-derived smoke. South African Journal of Botany 74: 327-331.
17. Jamil, M., Kanwal, M., Aslam, M. M., Kahn, S. U., Malook, I., Tu, J., and Rehman, S. U. 2014. Effect of plant-derived smoke priming on physiological and biochemical characteristics of rice under salt stress condition. Australian Journal of Crop Science 8 (2): 159-170.
18. Kahn, P., Rehman, S., Jamil, M., Irfan, S., Waheed, M. A., Aslam, M. M., Kanwal, M., and Shakir, S. K. 2014. Alleviation of Boron stress through plant derived smoke extracts in *Sorghum bicolor*. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 10 (3): 153-165.
19. Karimian, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2009. Influence of nitrogen and plant density on light absorption and radiation use efficiency in two spring rapeseed cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (1): 163-172. (in Persian with English abstract).
20. Kazemeini, S. A., Ghadiri, H., Karimian, N., Kamgar Haghighi, A. A., and Kheradmand, M. 2008. Interaction Effects of nitrogen and organic matters on growth and yield of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Water and Soil Science 12 (45b): 461-472. (in Persian with English abstract).
21. Kemanian, A. R., Stockle, C. O., and Huggins, D. R. 2004. Variability of barley radiation use efficiency. Crop Science Society of America 44: 1662-1672.
22. Koocheki, A., Khorramdel, S., Fallahpour, F., and Melati, F. 2013. Evaluation of Radiation Absorbtion and Use Efficiency in Row Intercropping of Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Canola (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11 (4): 533-542. (in Persian).
23. Kulkarni, M. G., Ascough, G. D., and Van Staden, J. 2007. Effects of foliar applications of smoke-water and a smoke-isolated butenolide on seedling growth of okra and tomato. Horticultural Science 42 (1): 179-182.
24. Kulkarni, M. G., Ascough, G. D., and Van Staden, J. 2008. Smoke-water and a smoke-isolated butenolide improve growth and yield of tomatoes under greenhouse conditions. Horticultural Technology 18 (3): 449-454.
25. Kulkarni, M. G., Light, M. E., and Van Staden, J. 2011. Plant-derived smoke: Old technology with possibilities for economic applications in agriculture and horticulture. South African Journal of Botany 77: 972- 979.
26. Kulkarni, M. G., Sparg, S. G., and Van Staden, J. 2007. Germination and postgermination response of Acacia seeds to smoke-water and butenolide, a smoke-derived compound. Journal of Arid Environments 69: 177-187.
27. Kulkarni, M. G., Sparg, S. G., Light, M. E. and Van Staden, J., 2006. Stimulation of rice (*Oryza sativa* L.) seedling vigour by smoke-water and butenolide. Journal of Agronomy and Crop Science 192: 395-398.

28. Lawlar, D. W. 1995. Photosynthesis, productivity and environment. Journal of Experimental Botany 46: 1449-1461.
29. Lemone, J. 2007. Nitrogen management for wheat protein and yield in the sperance port zone. Department of Agriculture and Food, Western Australia, Perth. Bulletin 4707. 30 pp.
30. Light, M. E., Daws, M. I., and Van Staden, J. 2009. Smoke-derived butenolide: Towards understanding its biological effects. South African Journal of Botany 75: 1-7.
31. Light, M. E., Kulkarni, M. G., Ascough, G. D., and Van Staden, J. 2007. Improved flowering of a South African Watsonia with smoke treatment. South African Journal of Botany 73 (2): 298-298.
32. Lloyd, M. V., Dixon, K. W., and Sivastithamparam, K. 2000. Comparative effects of different smoke treatments on germination of Australian native plants. Australian Austral Ecology 25: 610- 615.
33. Moosavi, S. S., Abdollahi, M. R., Mazahery Laghb, B., and Mehrshad, B. 2014. Effect of plant-derived smoke extrat on some under-ground and above-ground traits of winter wheat. Iranian Journal of the Plant Production 37 (1): 81-92. (in Persian).
34. Mosseddeq, F., and Smith, D. M. 1994. Timing of nitrogen application to enhance spring wheat yield in Mediterranean climate. Agronomy Journal 86: 221-226.
35. Nassiri-Mahallati, M., Koocheki, A., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S., 2015. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. Journal of Cleaner Production 106: 343-350.
36. Pathak, H., Li, C., Wassmann, R., and Ladha, J. K. 2006. Simulation of nitrogen balance in rice-wheat systems of the indo-gangetic plains. Soil Science Society of America Journal 70: 1612-1622.
37. Patric, B., and Smith, D. L. 1993. Accumulation and redistribution of dry matter and nitrogen by spring barley. Agronomy Journal 85: 1114-1121.
38. Rosati, A., Metcalf, S. G., and Lampinen, B. D. 2004. A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. Annals of Botany 93: 567-574.
39. Satorre, E. H., and Slafer, G. A. 1999. Wheat, ecology and physiology of yield determination. Food Product Press, New York, P: 503.
40. Taregholeslami, M., Zarghami, R., Mashhadi, M., and Oweisi, M. 2012. Effect of nitrogen fertilizer and water deficit stress on physiological indices of corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 8 (1): 161-174. (in Persian).
41. Thomas, S. M., and Thorne, J. N. 1975. Effect of nitrogen fertilizer on photosynthesis and ribulose 1, 5-diphosphate carboxylase activity in spring wheat in the field. Journal of Experimental Botany 26: 43-51.
42. Thomas, T. H., and Van Staden, J. 1995. Dormancy break of celery (*Apium graveolens* L.) seeds by plant derived smoke extract. Plant Growth Regulation 17: 195-198.
43. Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H. O. 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crop Research 93: 10-22.
44. Van Staden, J., Jager, A. K., Light, M. E., and Burger, B. V. 2004. Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. South African Journal of Botany 70 (4): 654-659.
45. Yazdani Biouki, R., Bannayan Avval, M., Khazaei, H. R., and Sodaeizadeh, H. 2014. Investigating the yield and radiation use efficiency of Wild majoram (*Origanum vulgare* subsp. virid) in response to urea and azocompost fertilizers. Journal of Crop Production 7 (4): 103-122. (in Persian with English abstract).
46. Zhou, J., Fang, L., Wang, X., Guo, L., and Huang, L. 2013. Effects of smoke-water on photosynthetic characteristics of *Isatis indigotica* seedlings. Sustainable Agriculture Research 2 (2): 24-28.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 459-475

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۷۵-۴۵۹

Evaluating the Effect of Smoke-water and Nitrogen Fertilizer on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Ecophysiological Traits

F. Noroozi Shahri[1]- B. Gholami[2]- S. Jalali Honarmand[3*]- F. Mondani[4]- M. Saeedi[3]

Received: 31-07-2017
Accepted: 25-11-2017

Introduction: Fire and smoke have been used in traditional agricultural systems for centuries. In recent years, biologically active compounds have been isolated from smoke with potential uses in agriculture and horticulture. It has been reported that smoke plays an important role in many aspects of plant biology such as seed germination, plant growth and flowering. Smoke contains several thousand compounds such as phenolic compounds, alcohols, lactones, aldehydes, acid, ketones, alkaloid and hydroxybenzenes. A biologically active butenolide (3-methyle-2H-furo [2,3-c]pyran-2-one=KAR1) was isolated from plant-derived smoke. This bioactive compound displays activity in a variety of species concentration as one-part-per-billion. The role of smoke-isolated compound KAR1 in promoting seedling growth has been reported in many plant species. Also smoke-derived butenolide has both cytokininandauxin-like activities when applied at low concentrations. Although most research has focused on smoke as a germination cue for the release of seed dormancy, there is increasing evidence that smoke also has post-germination effects. Moreover, the smoke-water solution is acidic and contains substantial of plant nutrients such as high level of NH_4^+, an important source of nitrogen for plant growth. Nitrogen is an essential element for growth and development of plants, especially wheat that it is the most important and strategic cereal crop in world commerce. The objectives of the present study were (1) to evaluate the effect of urea fertilizer and smoke-water on some eco-physiological traits of wheat, (2) to characterize and identify the interaction between smoke-water and usage of different fertilizer levels on crops traits.

Materials and Methods: In order to evaluate the effect of smoke-water and nitrogen fertilizer on wheat (*Triticum aestivum* L. var. Pishtaz) ecophysiological traits, a field experiment was conducted as a split plot based on complete randomized block design with three replications. This experiment was conducted in research farm of Agricultural Faculty of Razi University during 2015 to 2016. In this study application of nitrogen fertilizer in four levels (included 90, 180, 300 and 360 $kg.ha^{-1}$) were assigned to the main plots and five smoke-water concentrations (included 0, 0.001%, 0.01%, 0.1% and 1% v/v) were assigned to the sub plots. Smoke-water is one of the most convenient means of application and its biologically active compounds are readily dissolved in water. The smoke produced by combusting variety of dry plant materials in a controlled system and bubbling it through water to produce smoke-saturated water. Smoke-water for foliar-application treatment was prepared by diluting this stock solution with distilled water to obtain four concentrations. Foliar treatment consisted of spraying wheat plants at three times (from before anthesis stage to final milk stage) with smoke-water concentrations. The control plots were sprayed with distilled water. Before spraying, one drop of Tween 20 as a surfactant was added to 250 mL test solution, including control.

Results and Discussion: Results indicated that leaf area index, light absorption, total dry weight yield, radiation use efficiency, grain yield and harvest index of wheat increased in high levels of nitrogen fertilizer treatments in comparison with low levels. Most of these traits significantly affected by increasing of smoke-water concentration compared to control treatment. In this study applying high level of smoke-water foliar raised leaf area index, light absorption, total dry weight yield and radiation use efficiency of wheat and eventually

1- Ph.D. Student of Crops Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
2- MSc. Student of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
3- Associate Professor in Crops Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
4- Assistant Professor in Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
(*- Corresponding Author Email: Sjhonarmand@yahoo.com)

influenced grain yield. So that the highest radiation use efficiency (1.65 $g.MJ^{-1}$) was obtained from usage of 350 $kg.ha^{-1}$ urea fertilizer and smoke-water at concentration of 1% v/v. also the highest grain yield (922 $g.m^{-2}$) was obtained from usage of 350 $kg.ha^{-1}$ urea fertilizer and smoke-water at concentration of 1% v/v and lowest grain yield (339 $g.m^{-2}$) was recorded for application 90 $kg.ha^{-1}$ urea fertilizer and foliar with distilled water.

Conclusions: Considering all the results presented, it can be concluded that application smoke-water led to increase wheat grain yield. Our results showed that smoke-water as an organic compound improved all wheat traits in all levels of urea fertilizer. Although, smock-water had more effect in low nitrogen fertilizer level compared to high nitrogen fertilizer level. Therefore, it seems that using of smoke-water in the wheat farm may be lead to decrease the excess use of nitrogen fertilizers.

Keywords: Leaf area index, Radiation absorption, Radiation use efficiency, Total dry weight yield Urea and Wheat grain yield

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۹۱-۴۷۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 477-491

مصرف خاکی نانوکایتوزان بر خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی گیاه خارمریم (*Silybum marianum*) تحت تنش شوری

سارا صفی خانی[۱]- کورس خوشبخت[۲*]- محمد رضا چایی چی[۳]- عباس امینی[٤]- بابک متشرع زاده[٥]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۹

چکیده

تنش شوری از عوامل مؤثر و مخرب در رشد گیاه و فعالیت‌های فیزیولوژیک آن محسوب می‌شود. به‌منظور توسعه کشت محصولات زراعی در مناطق شور، کاربرد تحریک‌کننده‌های زیستی همچون کایتوزان که قادر به کاهش اثرات مخرب تنش شوری باشند اهمیت زیادی دارد. به منظور بررسی کاربرد نانو کایتوزان روی تعدیل تنش شوری بر صفات رویشی و فیزیولوژیک گیاه دارویی خارمریم، آزمایشی در سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵ در گلخانه پژوهشی-تحقیقاتی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول سطوح مختلف شوری (شاهد (آب معمولی شهری با شوری ۱/۲)، ۴، ۸ و ۱۲ dSm^{-1}) و عامل دوم کاربرد سطوح مختلف نانو کایتوزان (صفر (بدون کاربرد)، ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد) به‌صورت خاک مصرف بود. نتایج آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار شوری بر تمام صفات رویشی، فیزیولوژیک و یونی مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد بود. مقایسه میانگین تیمارهای کایتوزان نشان داد بیشترین زیست‌توده کل، شاخص سطح برگ، محتوای رطوبت نسبی، شاخص پایداری غشا سلولی از غلظت ۰/۰۵ درصد و بیشترین کارایی فتوسیستم II از غلظت ۰/۰۱ درصد حاصل شد. کاربرد کایتوزان با غلظت ۰/۰۵ درصد در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش ۱۰/۴ درصدی مقدار سدیم شاخساره و کاهش ۱۶/۵ درصدی نسبت سدیم به پتاسیم در شاخساره در مقایسه با عدم کاربرد کایتوزان شد. در شرایط شوری ۴ دسی زیمنس بر متر، بالاترین مقدار زیست‌توده کل گیاه از کاربرد ۰/۰۱ درصد کایتوزان به‌دست آمد که در مقایسه با عدم کاربرد کایتوزان در همین سطح شوری افزایشی معادل ۲۱/۶ درصد داشت ($P \leq$ ۰/۰۱). با توجه به نتایج آزمایش، می‌توان کاربرد نانو کایتوزان با غلظت ۰/۰۱ درصد را به‌عنوان یک تعدیل‌کننده تنش شوری در کشت گیاه خارمریم معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: آب شور، خصوصیات یونی، زیست توده کل، عناصر معدنی، گیاه دارویی، محتوای رطوبت نسبی

مقدمه

خارمریم (*Silybum marianum*) یک گیاه زراعی-دارویی است که به‌عنوان یک علف هرز سمج نیز شناخته شده است (Kahn *et al.*, 2009). گیاه خارمریم بومی اقلیم مدیترانه‌ای بوده که در سراسر جهان گسترش یافته است. این گیاه در کناره جاده‌ها و زمین‌های بایر و مزارع غلات رشد می‌کند و از آن برای درمان ناراحتی‌های کبدی، چربی خون، دیابت و سرطان استفاده می‌شود. از ترکیبات مهم دانه این گیاه می‌توان به سلیمارین، فلاوونویدها (تاکسیفولین)، اسید چرب و پلی‌فنل‌ها اشاره کرد (Ramasamy and Agarwal, 2008).

کشور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده است و تنش شوری در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از تنش‌های مهم است که اثرات محدودکننده شدیدی بر رشد و نمو گیاهان می‌گذارد (Koca *et al.*, 2007). تقریباً بیش از نیمی از تمامی آب‌های زیرزمینی که در نواحی خشک و نیمه‌خشک برای آبیاری محصولات

۱- دانشجوی دکترای کشاورزی بوم‌شناختی، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده علوم محیطی، تهران، ایران
۲- دانشیار، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۳- استاد بازنشسته دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج و استاد دانشگاه ایالتی کالیفرنیا
۴- دانشیار، دانشگاه سیدنی غربی
۵- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: kkhoshbakht@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.67288

کشاورزی به‌کار می‌روند با مشکل شوری مواجه بوده و این امر در شور شدن خاک‌ها و کاهش تولید بسیاری از محصولات کشاورزی نقش دارد (Dorais *et al.*, 2001). این تنش سبب سخت‌تر شدن خاک و در نتیجه ایجاد مشکل برای جذب آب توسط ریشه‌ها می‌شود. همچنین غلظت‌های بالای نمک در درون گیاه ممکن است اثرات سمی در گیاه داشته باشد (Geilfus *et al.*, 2010).

تنش شوری بر برخی فرآیندهای متابولیک اصلی از قبیل فتوسنتز، سنتز پروتئین و سوخت و ساز چربی‌ها و ATP تأثیرگذار است (Parida and Das, 2005). این نوع تنش از طریق دو فرآیند اسمزی (کم‌آبی سلولی) و سمیت (تجمع یون‌ها در سلول‌های گیاه)، با اختلال در رشد، تعادل یونی، فتوسنتز و تثبیت نیتروژن، در میان سایر فرآیندهای کلیدی فیزیولوژیک تأثیرگذار است (Parida and Das, 2005).

در مطالعه‌ای روی تأثیر تنش‌های شوری و خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر خارمریم محققین بیان داشتند که با افزایش تنش‌های شوری و خشکی، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش پیدا کرد (Yazdani Buick *et al.*, 2010). نتایج پژوهشی دیگری در خارمریم نشان داد که در مقایسه با گیاهان شاهد، گیاهان در تنش شوری تا ۳ دسی زیمنس بر متر، شوری را تحمل کردند اما تعداد کاپیتول در گیاه، قطر کاپیتول و ساقه اصلی و عملکرد بذر و اجزای عملکرد در شوری‌های بالاتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت. مقدار روغن بذر نیز در شوری بالاتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر اندکی کاهش یافت (Ghavami *et al.*, 2011). نتایج پژوهش دیگر نشان داده است که با تشدید شوری میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و پراکسیداز بذور در روزهای مختلف کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین میزان صفات اندازه‌گیری شده مربوط به سطح ۲۵۰ میلی‌مولار شوری و بیشترین مربوط به شاهد بود (Masomy Zvaryan *et al.*, 2013). در آزمایشی روی لوبیا سودانی (*Cajanus cajan* L.) با اعمال شوری، مشاهده شد که با افزایش سطح شوری، وزن تر ریشه هر سه رقم کاهش یافت (Waheed *et al.*, 2006). رشد ریشه در مقایسه با رشد بخش هوایی کمتر تحت تأثیر شوری می‌باشد. ولی ممکن است شوری موجب تغییرات مورفولوژیک و آناتومیک در ریشه تعدادی از گونه‌ها شود (Poljakoff and Lerner, 1994).

استفاده از محرک‌های زیستی یکی از راهکارهای کاهش اثرات مخرب تنش‌های زیستی و غیرزیستی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول است. از ترکیباتی که مکانیسم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش‌ها را القا می‌کنند می‌توان به کایتوزان اشاره کرد (Amiri *et al.*, 2016). کایتوزان از ترکیبات اصلی دیواره بدن سخت‌پوستان تهیه شده و یکی از محرک‌های زیستی است که به منظور کاهش اثرات منفی تنش‌های غیرزنده اعم از شوری و خشکی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول در زمینه کشاورزی کاربرد دارد (Amiri *et al.*, 2016). افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، جوانه‌زنی، شاخص سطح برگ و میزان کلروفیل نیز در گیاهان ذرت (*Zea mays*) و لوبیا (*Phasaeolus vulgaris* L.) تحت تأثیر کایتوزان گزارش شده است (Amiri *et al.*, 2016). از این ترکیب به صورت بذرمال و محلول‌پاشی به استفاده شده و در فرآیند مقابله با تنش‌های زنده و غیر زنده بوده است (Rabea *et al.*, 2003; Hadrami *et al.*, 2010). کاربرد کایتوزان کارایی فتوسیستم II، میزان پراکندگی و توسعه ریشه درخت انگور را تحت تنش خشکی افزایش داد (Gornik *et al.*, 2008). همچنین محققان گزارش کردند که کایتوزان در پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی اعم از تنش خشکی و شوری نقش تعدیل‌کنندگی ایفا کرد (Dzung *et al.*, 2011; Ruan and Xue, 2002).

در مطالعات دیگری در زمینه کاربرد خاک مصرف کایتوزان تأثیر افزایشی کایتوزان روی جوانه‌زنی، رشد و گلدهی چندین گیاه زینتی (Ohta *et al.*, 2004) و طول ساقه، قطر ساقه، وزن گل و تعداد گل گیاه *Eustoma grandiforum* (Ohta *et al.*, 2001) گزارش شده است. تحقیقات دیگر حاکی از آن است که گیاهان تیمار شده با کایتوزان می‌توانند آسیب‌پذیری کمتری نسبت به تنش‌های ناشی از شرایط نامساعد مانند خشکی و شوری هستند (Jabeen and Ahmad, 2013; Pongprayoon *et al.*, 2013).

در این تحقیق اثر کاربرد خاک مصرف کایتوزان بر تعدیل اثرات مخرب تنش شوری روی صفات رویشی، فیزیولوژیک و تغییرات یونی گیاه دارویی خارمریم، بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در کرج اجرا شد. در این آزمایش، گیاه خارمریم (*Silybum marianum* L. Gaertn) رقم مجارستانی (Budakalaszi) مورد بررسی قرار گرفت. بذر رقم مجاری از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. بذر مورد استفاده دارای قوه نامیه ۸۰ درصد، خلوص فیزیکی ۹۲ درصد، وزن هزاردانه ۲۰/۴ و رنگ قهوه‌ای تیره مایل به سیاه بود. پس از کشت و استقرار گیاهان (مرحله سه تا چهار برگی)، بوته‌های اضافی تنک شده و در هر گلدان پنج گیاهچه نگهداری شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد.

کشت و آماده‌سازی خارمریم

برای انجام این پژوهش ریشه‌دان‌هایی (Rhizobag) با مش ۶۰ (۲۵۰ میکرون) و حجم یک کیلوگرم خاک تهیه شد و در گلدان‌های هشت کیلویی قرار داده شد و به گلخانه با شرایط یکسان در دمای

روزانه ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و شبانه ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها و ریشه‌دان‌ها

Table 1- Physical and chemical properties of soil filled in pots and rhizobags

نقطه پژمردگی PWP (%)	ظرفیت زراعی Field capacity (F.C.)	نیتروژن کل Total nitrogen (٪)	فسفر قابل دسترس Available phosphorous (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل دسترس Available potassium (mg kg^{-1})	pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (EC) dS.m^{-1}	ماده آلی Organic matter (٪)	بافت خاک (لوم) Soil texture (Loam)		
								رس Clay (٪)	سیلت Silt (%)	شن Sand (٪)
10.42	22.40	0.09	14.1	151	8.0	1.70	0.84	22.5	43.34	34.16

۱۲ عدد بذر در هر ریشه‌دان درون گلدان کشت شد، بعد از سبز شدن بذرها، بوته‌ها در طی چند مرحله تنک گردیده و نهایتاً در داخل هر گلدان پنج بوته نگهداری شد. با استفاده از دستگاه صفحات فشاری [1] و بر اساس روش (Klute, 1986) درصد وزنی رطوبت خاک در پتانسیل‌های مختلف از جمله ظرفیت زراعی ($\theta_{F.C}$) و نقطه پژمردگی دائم تعیین گردید. حد فاصل درصد حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم به‌عنوان رطوبت قابل دسترس خاک [2] در نظر گرفته شد و آبیاری بر اساس آن از ابتدای کاشت با آب شور انجام شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در جدول ۱ آمده است.

تیمارهای آزمایشی

برای کاربرد نانو ماده کایتوزان به‌صورت خاک مصرف، مقادیر استفاده از آن (تیمارهای آزمایشی) به‌صورت نسبت‌هایی (درصدی) از مقدار خاک موجود در ریشه‌دان (یک کیلوگرم خاک خشک) مشابه روش (Ohta *et al.*, 2004) اعمال شد. به این منظور مقدار نانو کایتوزان در چهار سطح (بر اساس درصد وزن خشک خاک موجود در ریشه‌دان‌ها) استفاده شد که عبارت بودند از: ۰/۰۱ درصد، ۰/۰۵ درصد و ۰/۱ درصد از یک کیلوگرم خاک خشک موجود در ریشه‌دان و شاهد (بدون استفاده از نانو کایتوزان). نانو کایتوزان از شرکت سیگما آلدریچ با مشخصات (وزن ملکولی بالا، رنگ کرم مایل به سفید، به شکل پودری، اندازه ذرات ۵۰ نانومتر و درجه چسبناکی ۲۰۰۰۰–۸۰۰ cps) تهیه شد.

آب شور از ترکیب نمک NaCl و آب شهری با شوری پایه ۱/۲ دسی زیمنس بر متر تهیه و به شوری‌های تیماری رسانده شد. آبیاری با آب شور در کل دوره داشت و از زمان کاشت بذر انجام شد، تیمارهای آب شور عبارت بودند از: آب شور ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار شاهد (آب معمول شهری). به منظور حصول اطمینان از ثابت بودن میزان شوری تیمارها در خاک، گلدان‌هایی با عنوان تیمارهای حذفی یا اضافی از ابتدای کاشت برای هر تیمار شوری تعبیه شده و با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی [3] آنها پس از آبیاری با آب شور، از ثبات EC مورد نظر در تیمار شوری اطمینان حاصل شد. همچنین در طول دوره داشت، به منظور جلوگیری از تجمع بیش از حد نمک در پروفیل ریشه و تنش زیاد در گیاه دو مرتبه آبیاری با آب مقطر انجام شد. با این روش، علاوه بر اینکه نمک اضافی از زهکش گلدان خارج شد، شوری در طول دوره داشت در سطح مورد نظر ثابت نگهداری می‌شد. رطوبت خاک گلدان‌ها روزانه از طریق توزین و با آبیاری چه با آب شور و چه با آب مقطر، در حد ۰/۸ ظرفیت زراعی مزرعه [4] (FC-۰/۸ FC) در کل دوره داشت به منظور جلوگیری از بروز تنش خشکی، حفظ شد. مطالعه صفات رویشی، فیزیولوژیک و یونی ۷۲ روز پس از کاشت، قبل از مرحله گلدهی، در مرحله ۸–۶ برگی انجام شد.

اندازه‌گیری محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC)

به منظور اندازه‌گیری آب نسبی برگ، ۷۲ روز بعد کشت بذرها، اقدام به نمونه‌برداری از برگ‌هایی که تازه توسعه خود را کامل کرده بودند، شد. دیسک‌های برگ تهیه و وزن تر آن‌ها با ترازوی دقیق دیجیتالی تعیین گردید. این نمونه‌ها به مدت ۱۶ تا ۱۸ ساعت در شدت نور کم داخل آب مقطر قرار داده شدند، سپس وزن نمونه‌های برگی در حالت تورژسانس تعیین شد. نهایتاً نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و وزن خشک آن‌ها تعیین شد، سپس با استفاده از معادله ۱ میزان آب نسبی برگ برحسب درصد محاسبه گردید (Merah, 2001):

1- Pressure plate
2- Soil available water
3- Electrical conductivity
4- Field Capacity

(معادله ۱)

$$\text{درصد محتوی رطوبت نسبی برگ} = \left(\frac{\text{وزن آماسیده} - \text{وزن خشک}}{\text{وزن تر} - \text{وزن خشک}}\right) \times ۱۰۰$$

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ

۷۲ روز پس از کشت زمانی که گیاه در مرحله ۶–۸ برگی و هنوز در مرحله رویشی قرار داشت، سطح برگ توسط دستگاه سطح برگ‌سنج پرتابل[1] (مدل Cl-202 ساخت شرکت CID آمریکا) و با توجه به سطح گلدان، محاسبه گردید. گیاه خارمریم در حاشیه برگ‌ها و روی ساقه‌های خود، دارای خارهای ریزی است که مانع اندازه‌گیری سطح برگ نشدند.

اندازه‌گیری شاخص پایداری غشا سلولی

از برگ‌های جوان و کامل توسعه‌یافته دیسک‌هایی به قطر یک سانتی‌متر تهیه و در درون فالکون‌های حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه قرار داده شدند. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید، و میزان هدایت الکتریکی (EC1) آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در درون اتوکلاو به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از آنکه دمای آن‌ها به دمای اتاق رسید برای بار دوم میزان هدایت الکتریکی (EC2) آن‌ها ثبت گردید. سپس با بهره‌گیری از معادله ۲ شاخص پایداری غشا (MSI) محاسبه گردید (Sairam *et al.*, 2002).

(معادله ۲)

$$MSI = 1 - \frac{EC_1}{EC_2} \times 100$$

میزان فلورسانس کلروفیل

میزان فلورسانس برگ‌ها همزمان با محتوای رطوبت نسبی، توسط دستگاه قابل حمل فلورومتر (مدل OPTI-SCIENCES – OS-30, U.S.A.) مورد سنجش واقع شد. انتشار فلورسانس از قسمت رویی برگ‌ها مدنظر قرار گرفت. بدین منظور، ابتدا برگ‌های هدف از طریق الصاق گیره‌های مخصوص به مدت یک ساعت در شرایط تاریکی قرار گرفتند و به شرایط تاریکی سازگار شدند. در ادامه تابش پالس ضعیف و نور سفید اشباع توسط دستگاه منجر به برآورد فلورسانس اولیه (Fo) و بیشینه گردی (Krause and Weis, 1991). فلورسانس متغیر (Fv) با کسر Fo از Fm محاسبه شد. نسبت فلورسانس متغیر به بیشینه (Fv/Fm) برآوردی از کارایی جذب انرژی برانگیخته توسط مولکول‌های کلروفیل a واقع در مرکز واکنش فتوسیستم II را به‌دست داد که نمایانگر حداکثر عملکرد کوانتومی PSII می‌باشد (Rizza *et al.*, 2001).

1- Portable Leaf Area meter

اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم در ریشه و ساقه

جهت اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در ریشه و اندام هوایی ۷۲ روز پس از کشت گلدان‌ها ریشه‌ها از ریشه‌دان خارج و شستشو داده شدند و به همراه قسمت هوایی بریده شده به مدت ۴۸ تا ۷۳ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن و پودر کردن آن‌ها، مقدار ۰/۲ گرم از هر نمونه توزین گردید و در کروزه‌های چینی به مدت ۵ ساعت در کوره تحت دمای ۵۸۰ درجه سانتی‌گراد به خاکستر تبدیل و پس از آن با اضافه کردن ۲۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال و رساندن حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر با آب مقطر، از کاغذ صافی عبور داده شد و محلول حاصل با دستگاه فلیم فتومتر مدل Carl ziess PF5 (Germany) اندازه‌گیری شد و بعد مقدار سدیم و پتاسیم بر اساس منحنی‌های استاندارد بر حسب غلظت در میلیون (ppm) تعیین، و سپس با استفاده از معادله ۳ بر حسب درصد ماده خشک محاسبه شد (Kalra, 1998).

(معادله ۳)

$$\%E = [(C \times D \times V)/106 \times DM] \times 100$$

که E مقدار عنصر مورد نظر، C غلظت عنصر بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، D درجه رقت و حجم نهایی عصاره تهیه شده بر حسب میلی‌لیتر و DM وزن خشک نمونه بر حسب گرم می‌باشد و نهایتاً مقدار عنصر بر حسب میلی‌گرم برگرم وزن خشک گزارش شد.

اندازه‌گیری زیست توده کل بوته

به‌منظور مطالعه وزن قسمت‌های هوایی، بوته‌ها کف بر شدند. همچنین به منظور مطالعه زیست توده کل بوته، پس از خارج کردن ریشه‌دان از گلدان‌ها، ریشه‌های موجود در ریشه‌دان‌ها با شستشو خارج شدند به همراه قسمت بالایی گیاه، بعد از خشک کردن در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت توسط ترازوی چهار صفر توزین شد.

تجزیه آماری

پس از آزمون همگنی واریانس‌ها توسط آزمون بارتلت، محاسبات آماری مربوطه با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

زیست‌توده گیاه

نتایج آزمایش نشان داد که تیمار شوری، کایتوزان و اثر متقابل این دو عامل اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی

زیست‌توده کل گیاه داشت (جدول ۲). با افزایش مقدار شوری آب آبیاری، مقدار زیست‌توده کاهش یافت. بیشترین زیست توده گیاه (۱/۹۲ گرم) در تیمار شاهد آبیاری و کاربرد ۰/۰۵ درصد کایتوزان به‌دست آمد. در سطوح مختلف شوری آب، کاربرد نانو کایتوزان به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون نانو کایتوزان) توانست مقدار تولید زیست‌توده کل را افزایش دهد. در شرایط تنش شوری ۴ دسی زیمنس بر متر، بالاترین مقدار زیست توده گیاهی (۱/۷۶ گرم) از کاربرد مقدار ۰/۰۱ درصد نانو کایتوزان نسبت به خاک خشک حاصل شد که افزایش معنی‌داری معادل ۲۱/۶ درصدی را نسبت به عدم کاربرد نانو کایتوزان (شاهد) در همین سطح شوری نشان داد (شکل ۱). این پدیده مبین آن است که کاربرد سطوح بالاتر نانو کایتوزان (۰/۱ و ۰/۰۵ درصد) امتیاز خاصی را نسبت به سطوح پایین آن ایجاد ننموده است. به نظر می‌رسد کاربرد نانو کایتوزان تنش ناشی از کم‌آبی که از تأثیرات ثانویه تنش خشکی است را جبران نموده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات رویشی و فیزیولوژیک در گیاه خارمریم

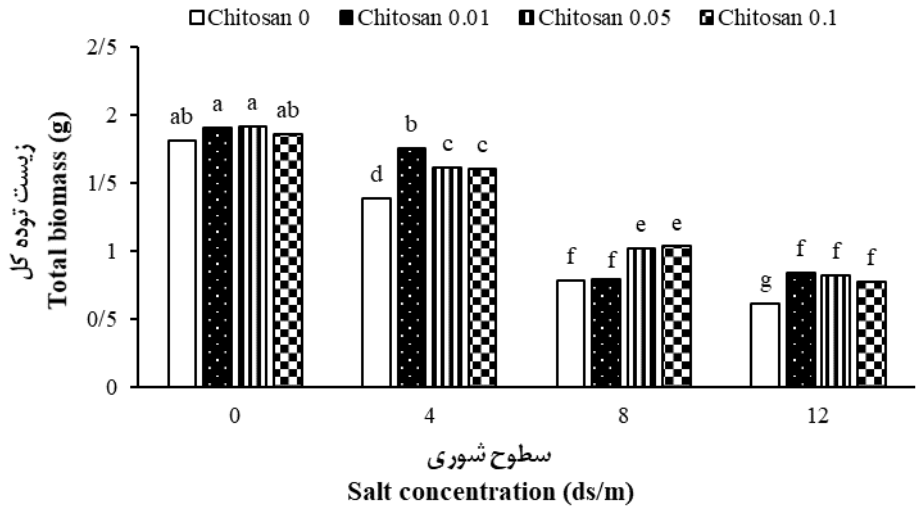
Table 2- Analysis of variance of growth and physiologic traits in milk thistle

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f.	زیست توده کل Total biomass	شاخص سطح برگ Leaf area index	محتوای رطوبت نسبی Relative water content	شاخص پایداری غشا سلولی Membrane stability index	کارایی فتوسیستم II Fv/Fm
تکرار Block	2	0.0029	0.0973	5.5493	16.8679	0.0002
تنش شوری Salt stress	3	3.4438**	9.2690**	421.8565**	603.0235**	0.0313**
کایتوزن Chitosan	3	0.0987**	0.8660**	10.1567**	63.2517**	0.0009**
تنش شوری × کایتوزن Salt × Chitosan	9	0.0233**	0.3710**	1.8720	4.2849	0.0002
خطا Error	30	0.0051	0.1015	1.7673	7.9174	0.0002
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	5.56	11.61	1.70	5.08	1.85

* و ** : معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

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

در مطالعه‌ی کاربرد خاک مصرف کایتوزان بر جوانه‌زنی، رشد و گلدهی چندین گیاه زینتی، گزارش شد که عملکرد کل، وزن تر و خشک گیاه، سرعت و میزان جوانه‌زنی و سطح برگ در تیمار کاربرد خاک مصرف کایتوزان افزایش یافته است (Ohta *et al.*, 2004). در آزمایشی روی ذرت به این نتیجه رسیدند که کاربرد کایتوزان رشد و عملکرد را به‌ترتیب ۲۱ و ۱۷ درصد افزایش داد (Guan *et al.*, 2009). شایان ذکر است افزایش تحریک‌کنندگی رشد و افزایش عملکرد با کاربرد کایتوزان توسط بسیاری از محققین گزارش شده است (Amiri *et al.*, 2016; Mondal *et al.*, 2012). این در حالی است که تا به حال سازوکار عمل کایتوزان روی رشد ناشناخته باقی مانده است. احتمالاً کایتوزان سیگنالی را برای سنتز هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین القا کند و رشد و نمو گیاه را توسط برخی مسیرهای سیگنالینگ مربوط به بیوسنتز اکسین، از طریق مسیر وابسته به تریپتوفان افزایش دهد (Uthairatanakij *et al.*, 2007). گزارشاتی مبنی بر بهبود مقاومت گیاهان به تنش شوری در اثر کاربرد کایتوزان روی گیاهان گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Jabeen and Ahmad, 2013) وجود دارد که هنوز مکانیزم دقیق نحوه ایجاد مقاومت در آن‌ها بیان نشده است. افزایش کارآیی مصرف آب به میزان ۴۳-۲۶ ٪ بدون کاهش زیست‌توده گیاهی تحت تأثیر کاربرد کایتوزان در گیاه فلفل (*Piper nigrum* L.) گزارش شده است (Bittelli *et al.*, 2001). در نتایجی مطابق پژوهش حاضر، محققین دیگری روی گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentum* L.) (Mondal *et al.*, 2012) و باقلا (*Vicia faba* L.) (Sheikh and Almalki, 2009) و گلرنگ (Amiri *et al.*, 2016) به این نتیجه رسیدند که افزایش مصرف کایتوزان باعث افزایش در عملکرد می‌شود.



شکل ۱- بر همکنش تاثیر تنش شوری و کاربرد نانو کایتوزان بر صفت زیست‌توده کل در گیاه خارمریم

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Figure 1- Interaction of salinity stress and chitosan application on total biomass in milk thistle

Different letters indicate significant difference at $p \leq 0.05$ based on LSD test.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات رویشی و فیزیویوژیک خارمریم تحت تأثیر تنش شوری و نانو کایتوزان

Table 3- Vegetative and physiologic traits of Milk thistle affected by salt stress and Chitosan

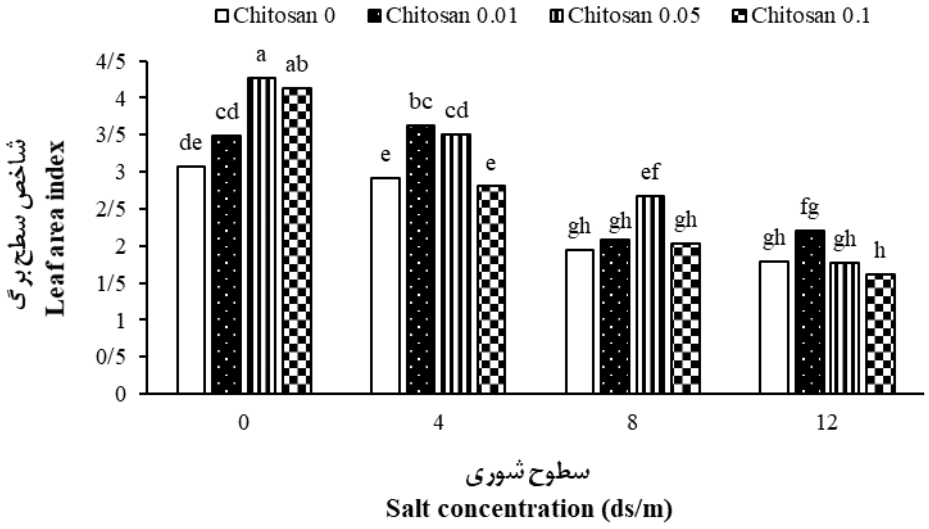
تیمارها Treatments	محتوای رطوبت نسبی Relative water content (%)	شاخص پایداری غشا سلولی Membrane stability index (%)	کارآیی فتوسیستم II Fv/Fm
Salt stress تنش شوری			
0 dS m^{-1}	83.120	62.730	0.826
4 dS m^{-1}	82.190	59.100	0.818
8 dS m^{-1}	76.710	53.200	0.759
12 dS m^{-1}	70.260	46.540	0.719
Chitosan کایتوزن			
0 (Control)	77.230	53.120	0.772
0.01 %	78.260	56.590	0.793
0.05 %	79.290	58.010	0.782
0. 1 %	77.510	53.860	0.775
LSD	1.108	2.346	0.012

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Different letters indicate significant difference at $p \leq 0.05$ based on LSD test.

شاخص سطح برگ (LAI)

تأثیر شوری، کاربرد کایتوزان و همچنین اثر متقابل این دو عامل اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی صفت شاخص سطح برگ داشت (جدول ۲). استفاده از نانو کایتوزان به‌طور کلی در تمامی سطوح آبیاری شاهد (بدون شوری) و تنش شوری موجب افزایش شاخص نسبت سطح برگ در مقایسه با شاهد (بدون کاربرد نانو کایتوزان) شد. کاربرد مقدار ۰/۰۵ درصد نانو کایتوزان اثر خود را به خوبی در افزایش نسبت سطح برگ در تمام سطوح آبیاری اعم از شاهد (بدون شوری) و تیمارهای آب شور نشان داد. در تیمار تنش شوری شدید (۱۲ دسی زیمنس بر متر) استفاده از کایتوزان در سطح ۰/۰۱ درصد اگرچه به لحاظ عددی مقدار شاخص سطح برگ را افزایش داد اما تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد بدون کایتوزان نشان نداد (شکل ۲). به نظر می‌رسد که وقتی تنش شوری به بیش از ۸ دسی‌زیمنس بر متر افزایش می‌یابد، کاربرد نانو کایتوزان نمی‌تواند عامل مؤثری در تعدیل اثرات منفی آن بر خصوصیات رویشی گیاه خارمریم باشد.



شکل ۲- بر همکنش تأثیر تنش شوری و کاربرد نانو کایتوزان بر صفت شاخص سطح برگ در گیاه خارمریم

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Figure 2- Interaction of salinity stress and chitosan application on leaf area index in milk thistle

Different letters indicate significant difference at $p \leq 0.05$ based on LSD test.

محتوای رطوبت نسبی (RWC)

شوری اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی محتوای رطوبت نسبی برگ داشت (جدول ۲). با افزایش تنش شوری، محتوی رطوبت نسبی برگ از یک روند کاهشی پیروی نمود، به‌طوری‌که کمترین محتوی رطوبت نسبی برگ در تیمار شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر (۷۰/۲۶ درصد) مشاهده شد که نسبت به تیمار آبیاری شاهد (بدون شوری) کاهشی معادل ۱۵/۵۰ درصد را نشان داد. کاربرد کایتوزان اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی محتوای رطوبت نسبی برگ داشت (جدول ۲). کاربرد کایتوزان با غلظت ۰/۰۵ درصد موجب شد محتوی رطوبت نسبی به بیشینه مقدار خود (۷۹/۲۹ درصد) برسد که نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو کایتوزان) افزایش معنی‌دار تقریبی معادل ۳ درصد را نشان داد (جدول ۳). در بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف کایتوزان بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم در شرایط تنش خشکی، گزارش شده است که افزایش غلظت کایتوزان منجر به افزایش درصد آب بافت گیاهچه شد (Wei *et al.*, 2007). گرچه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف نانو کایتوزان به لحاظ پتانسیل اسمزی وجود نداشت ولی می‌توان اظهار داشت که با کاربرد کایتوزان، پتانسیل اسمزی نسبت به شاهد افزایش یافت و بافت‌های گیاهی دارای درصد آب بافت گیاهچه‌ای بیشتری بود (Taghipour and Maghsuddi, 2015). با توجه به اینکه بالا بودن محتوای نسبی آب، توانایی گیاهان را برای تنظیم اسمزی و حفظ رشدشان را نشان می‌دهد، به نظر می‌رسد که کایتوزان با افزایش محتوای نسبی آب توانسته رشد گیاه خارمریم را افزایش دهد. زیرا افزایش محتوی رطوبت نسبی شرایط مساعد برای فتوسنتز و نیز تقسیم و توسعه سلولی برگ را فراهم می‌کند که باعث تولید بیشتر مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش رشد گیاه می‌گردد (Aghighi shahroodi *et al.*, 2017).

شاخص پایداری غشا سلولی (Membrane stability index)

تنش شوری اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی شاخص پایداری غشا سلولی داشت (جدول ۲). با افزایش تنش شوری، شاخص پایداری غشا سلولی به‌طور معنی‌داری از یک روند کاهشی پیروی نمود به‌طوری‌که حداقل این شاخص در تیمار ۱۲ دسی زیمنس بر متر به مقدار ۴۶/۵۴ درصد مشاهده شد که بیانگر اثرات تخریبی شدید تنش شوری در گیاه در این تیمار می‌باشد. کاربرد کایتوزان اثر معنی‌داری روی شاخص پایداری غشا سلولی داشت (جدول ۲). با افزایش مقدار مصرف نانو کایتوزان شاخص پایداری غشای سلولی از روند خاصی پیروی نکرد ولی بیشترین شاخص پایداری در تیمارهای ۰/۰۱ و ۰/۰۵ درصد مصرف نانو کایتوزان مشاهده شد (جدول ۳).

کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm)

کارایی فتوسیستم II در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (جدول ۲). بر اساس نتایج به‌دست آمده، با افزایش تنش شوری کارایی فتوسیستم فقط در تنش‌های متوسط و شدید

نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری را نشان داد. شایان ذکر است که کمترین مقدار این شاخص در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (۰/۷۱۹) که به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون تنش شوری) کاهش نشان داد. کاربرد کایتوزان نیز در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری روی کارایی فتوسیستم داشت (جدول ۲). با مصرف کایتوزان شاخص کارایی فتوسیستم II از روند خاصی پیروی نکرد، در حالی که بالاترین مقدار آن (۰/۷۹۳) در کاربرد ۰/۰۱ درصد نانو کایتوزان مشاهده شد (جدول ۳).

محققان در بررسی اثر کایتوزان بر رشد و خصوصیات بیوشیمیایی گلرنگ در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کردند که در شرایط بدون تنش اختلاف معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف کایتوزان با شاهد برای کارایی فتوسیستم II مشاهده نشد. همچنین کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) و فلورسانس (FM)، در شرایط تنش کم‌آبی کاهش یافتند (Mahdavi *et al.*, 2013). واکنش گیاهان به دامنه وسیعی از تنش‌های زیستی، شیمیایی و محیطی به‌وسیله تغییرات فلورسانس کلروفیل قابل ارزیابی است به‌طوری‌که کاهش نسبت Fv/Fm توسط محققان دیگر هم در شرایط تنش آبی گزارش شده است (Miyashita *et al.*, 2005). مقدار Fv/Fm برگ در هر گیاه نشان‌دهنده‌ی کارایی شیمیایی فتوسیستم II در فتوسنتز است، این کارایی به شدت تحت تأثیر تنش‌های خشکی و به دنبال آن شوری قرار گرفته و با کاهش رطوبت قابل دسترس برای گیاه، این نسبت کاهش می‌یابد که باعث بازدارندگی فتوسنتز نیز می‌شود. در تعدادی از گیاهان گزارش شده که در صورت تداوم دوره تنش خشکی (Fv/Fm) با افزایش مقدار تولید کوانتوم می‌توان خسارت وارده به فتوسیستم II را کاهش داد (Mahdavi *et al.*, 2013). بنابراین به نظر می‌رسد که نانو کایتوزان در شرایط تنش با حفظ نسبت Fv/Fm، اثرات مخرب تنش را بر کارایی فتوسیستم II کاهش می‌دهد.

مقدار یون سدیم در شاخساره

اثر شوری درسطح احتمال یک درصد و اثر متقابل شوری و کاربرد چیتوسان در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری روی سدیم شاخساره گیاه خارمریم داشت (جدول ۴). کاربرد نانو کایتوزان در سطوح تیمارهای آب شور موجب کاهش معنی‌دار مقدار سدیم شاخساره نسبت به شاهد (بدون نانو کایتوزان) شد. که این اثرات به‌ویژه در سطح ۰/۰۱ درصد کاربرد نانو کایتوزان برای تیمار ۴ دسی‌زیمنس بر متر و در سطح ۰/۰۵ درصد آن در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر قابل مشاهده بود. همچنین به نظر می‌رسد که استفاده از این ماده در سطح شوری بالای ۸ دسی‌زیمنس (شوری‌های شدید) به خوبی می‌تواند مقدار سدیم موجود در شاخساره را کاهش دهد، به‌طوری که کاربرد ۰/۰۵ درصد نانو کایتوزان در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۱۰/۴ درصدی این عنصر نسبت به تیمار شاهد در گیاه شد (شکل ۳).

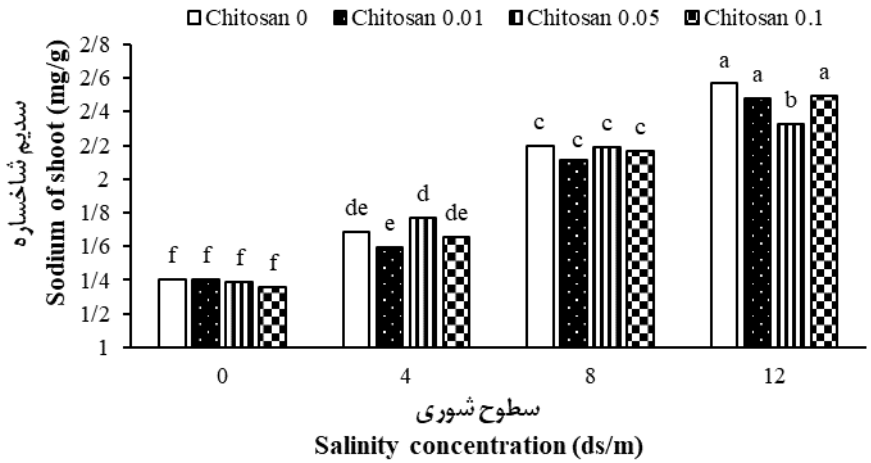
جدول ٤- تجزیه واریانس صفات مربوط به غلظت یون‌ها در گیاه خارمریم

Table 4- Analysis of variance of ionic traits in milk thistle

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	یون سدیم در شاخساره Na^+ in shoot	یون پتاسیم در شاخساره K^+ in shoot	نسبت یون سدیم به پتاسیم در شاخساره Na^+/K^+ in shoot	یون سدیم در ریشه Na^+ in root	یون پتاسیم در ریشه K^+ in root	نسبت یون سدیم به پتاسیم در ریشه Na^+/K^+ in root
تکرار Block	2	0.0211	0.0236	0.0057*	0.0019	0.0004	0.0097
تنش شوری Salt stress	3	2.7989**	0.9549**	0.6924**	1.8541**	0.0853**	8.1879**
کایتوزن Chitosan	3	0.0089	0.0261*	0.0056**	0.0057*	0.0022**	0.0351*
تنش شوری × کایتوزن Salt × Chitosan	9	0.0139*	0.0125	0.0049**	0.0011	0.0006	0.0078
خطا Error	30	0.0051	0.0072	0.0011	0.0019	0.0005	0.008
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.70	2.99	4.83	8.48	3.59	10.03

* و ** : معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

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



شکل ۳- بر همکنش تأثیر تنش شوری و کاربرد نانو کایتوزان بر صفت سدیم شاخساره در گیاه خارمریم

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Figure 3- Interaction of salinity stress and chitosan application on sodium in root in milk thistle

Different letters indicate significant difference at $p \leq 0.05$ based on LSD test.

مقدار پتاسیم در شاخساره

شوری در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری روی صفت پتاسیم شاخساره داشت (جدول ۴). با افزایش تنش شوری مقدار پتاسیم در شاخساره به‌طور معنی‌داری از یک روند کاهشی پیروی نمود به‌طوری‌که کمترین مقدار پتاسیم (۲/۵۵ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که کاهشی معادل ۱۹/۳ درصد را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. کاربرد کایتوزان اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد روی پتاسیم شاخساره داشت (جدول ۴). به‌طور کلی کاربرد کایتوزان (در سطوح مختلف)، مقدار پتاسیم در شاخساره را نسبت به شاهد (عدم استفاده از کایتوزان) افزایش داد. بالاترین مقدار این عنصر در شاخساره با کاربرد حداقل کایتوزان مصرفی (۰/۰۱ درصد) و به مقدار ۲/۸۹ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد (جدول ۵). این پدیده مبین اثرات مثبت مصرف نانو کایتوزان در افزایش نسبی یون پتاسیم در شاخساره می‌باشد که نقش مؤثری را در تعدیل اثرات منفی شوری (به‌خصوص یون سدیم) از طریق کاهش نسبت سدیم به پتاسیم ایفا نماید.

به نظر می‌رسد کاربرد کایتوزان در گیاهان تنش دیده با افزایش غلظت پتاسیم در ساقه سبب پاسخ مناسب این گیاهان در رویارویی با تنش شوری شده است (Mahdavi and Safari, 2015). غلظت پایین سدیم و بالای پتاسیم در سیتوپلاسم برای حفظ فرآیندهای آنزیمی در سیتوپلاسم، لازم و ضروری است (James *et al.*, 2006). هنگامی که گیاهان در معرض تنش شوری قرار می‌گیرند سدیم زیادی را جذب می‌کنند که به تبع آن از جذب پتاسیم جلوگیری به‌عمل می‌آید (Munns, 2003). کاهش پتاسیم در شرایط تنش شوری سبب خسارت به سلول‌ها هم از نظر فیزیولوژی و هم بیوشیمیایی می‌شود و می‌تواند به‌عنوان یکی از دلایل اصلی سمیت شوری مطرح گردد (Shabala *et al.*, 2006). Mahdavi and Safari (2015) در بررسی اثر کایتوزان بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک نخود در شرایط تنش شوری گزارش کردند که با افزایش تنش شوری از غلظت پتاسیم ساقه و ریشه کاسته شد، به گونه‌ای که بیشترین درصد متعلق به تیمار بدون تنش و کمترین آن به سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. ایشان گزارش کردند که کاربرد نانو کایتوزان میزان پتاسیم را در ریشه گیاهان تیمار شده نسبت به گیاهان شاهد افزایش، ولی میزان سدیم ریشه را کاهش داد.

نسبت سدیم به پتاسیم در شاخساره

تنش شوری، کاربرد کایتوزان و اثر متقابل این دو عامل اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی نسبت سدیم به پتاسیم شاخساره داشت (جدول ۴). استفاده از کایتوزان در تیمار آبیاری شاهد (بدون شوری) و همچنین در سطوح پایین و متوسط تنش شوری (۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) نتوانست نسبت مقدار سدیم به پتاسیم شاخساره را نسبت به شاهد (بدون استفاده از نانو کایتوزان) به‌طور معنی‌داری کاهش دهد، اما استفاده از این ماده در تنش شوری شدید (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به‌خوبی توانست نسبت سدیم به پتاسیم را نسبت به شاهد کاهش دهد و در این راستا کمترین نسبت سدیم به پتاسیم در تیمار ۰/۰۵ درصد کایتوزان حاصل شد. این امر به خوبی اثر کایتوزان را در تعدیل اثر مخرب یون سدیم در تیمار مورد نظر را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات یونی خارمریم تحت تأثیر تنش شوری و نانو کایتوزان

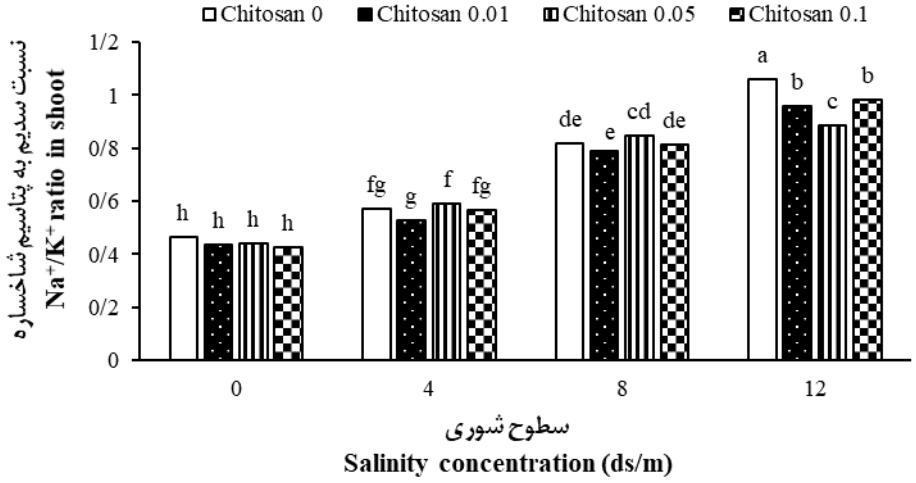
Table 5- Mean comparisons of ionic traits of milk thistle as affected by salt stress and Chitosan

تیمارها Treatments	یون پتاسیم در شاخساره K^+ in shoot (mg g^{-1})	یون سدیم در ریشه Na^+ in root (mg g^{-1})	یون پتاسیم در ریشه K^+ in root (mg g^{-1})	نسبت یون سدیم به پتاسیم در ریشه Na^+/K^+ in root
Salt stress تنش شوری				
0 dS m^{-1}	3.156	0.201	0.686	0.294
4 dS m^{-1}	2.974	0.238	0.670	0.355
8 dS m^{-1}	2.652	0.547	0.575	0.954
12 dS m^{-1}	2.547	1.051	0.507	2.075
Chitosan کایتوزن				
0 control	2.771	0.537	0.595	0.994
0.01 %	2.885	0.502	0.602	0.916
0.05 %	2.843	0.484	0.625	0.865
0. 1 %	2.829	0.512	0.616	0.903
LSD	0.070	0.036	0.018	0.077

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Different letters indicate significant difference at $p \leq 0.05$ based on LSD test.

Mahdavi and Safari (2015) در بررسی اثر کایتوزان بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک نخود در شرایط تنش شوری گزارش کردند که در شرایط بدون تنش، پیش‌تیمار بذرها با کایتوزان سبب کاهش میزان سدیم ساقه نسبت به شاهد شد. همچنین در شرایط تنش شوری، تیمار کایتوزان سدیم ساقه را نسبت به شاهد کاهش داد. مصرف کایتوزان اثر معنی‌داری بر میزان سدیم ریشه نداشت. تجمع یون سدیم تغییراتی را در تعادل یونی ایجاد می‌نماید که این عدم تعادل یونی سبب کاهش یا ممانعت از رشد گیاه می‌گردد (Mer *et al.*, 2000). به نظر می‌رسد استفاده از نانو کایتوزان با کاهش میزان سدیم در ساقه، توانسته گیاه را در تحمل به تنش شوری یاری رساند.



شکل ٤- بر همکنش تأثیر تنش شوری و کاربرد نانو کایتوزان بر صفت نسبت سدیم به پتاسیم شاخساره در گیاه خارمریم

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Figure 4- Interaction of salinity stress and chitosan application on Na^+/K^+ in root in milk thistle

Different letters indicate significant difference at $p \leq 0.05$ based on LSD test.

مقدار سدیم در ریشه

تنش شوری اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی مقدار سدیم ریشه داشت (جدول ۴). روی مقدار یون سدیم در ریشه در سطح متوسط و شدید شوری (۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به شاهد با شدت بیشتری افزایش یافت. مقدار این افزایش در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به ۱/۰۵ میلی‌گرم بر گرم رسید که نسبت به شاهد بدون شوری غلظتی معادل

۵ برابر را نشان می‌دهد. وقوع این پدیده مبین اثرات تخریبی شدید یون سدیم در این سطح از تیمار شوری می‌باشد. کاربرد کایتوزان در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری بر مقدار سدیم ریشه داشت (جدول ۴). کاربرد کایتوزان با غلظت ۰/۰۵ درصد کمترین مقدار سدیم ریشه (۰/۴۸۴ میلی گرم بر گرم) را کسب کرد. بنابراین کاربرد کایتوزان در کاهش یون مخرب سدیم در محیط ریشه مؤثر می‌باشد. این موضوع می‌تواند به تحمل تنش شوری در محیط ریشه کمک نماید.

مقدار پتاسیم در ریشه

اثر اصلی تنش شوری و کاربرد کایتوزان در سطح احتمال یک درصد روی مقدار پتاسیم ریشه معنی‌دار بودند (جدول ۴). روند تغییرات مقدار پتاسیم در ریشه نیز با افزایش شوری یک واکنش منفی را نشان می‌دهد، به طوری که کمترین مقدار پتاسیم در ریشه (۰/۵۰۷ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱۲ دسی ریمنس بر متر مشاهده شد. با افزایش کایتوزان به طور کلی مقدار یون پتاسیم در ریشه از یک روند افزایشی پیروی نمود اما در سطح ۰/۰۵ درصد کایتوزان به بیشترین مقدار خود (۰/۶۲۵ میلی‌گرم بر گرم) رسید. به نظر می‌رسد کاربرد کایتوزان محتوی این عنصر را در اندام‌های گیاه تغییر داد. به‌طوری‌که کاربرد کایتوزان موجب افزایش مقدار پتاسیم ساقه نسبت به شاهد شد. گزارش شده است که کاربرد کایتوزان به‌طور معنی‌داری میزان پتاسیم را در گیاهان افزایش می‌دهد (Dzung *et al.*, 2011) که با نتایج این بررسی مطابقت دارد.

نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه

تنش شوری در سطح احتمال یک درصد توانست اثر معنی‌داری روی نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه داشته باشد (جدول ۴). با افزایش تنش شوری نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه افزایش یافت و بیشترین نسبت آن (۲/۰۷۵) در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۵). اما کاربرد کایتوزان اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد روی نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه داشت (جدول ۴) و منجر به کاهش این نسبت گردید، به طوری که کمترین نسبت، همچون کمترین نسبت سدیم به پتاسیم در شاخساره، از تیمار ۰/۰۵ درصد کایتوزان به‌دست آمد (جدول ۵). همچون نتایج به‌دست آمده در مورد نسبت سدیم به پتاسیم در شاخساره، نتایج به‌دست آمده در مورد این نسبت در ریشه نیز مبین تأثیر مطلوب کاربرد کایتوزان در تعدیل اثر مخرب یون سدیم در تیمار مورد نظر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاکی از تأثیر منفی تنش شوری بر صفات رویشی، فیزیولوژیک و یونی مطالعه شده در گیاه خارمریم می‌باشد. کاربرد نانو کایتوزان با غلظت ۰/۰۵ درصد در مورد صفات زیست‌توده کل، شاخص سطح برگ، محتوای رطوبت نسبی و شاخص پایداری غشا سلولی و در غلظت ۰/۰۱ درصد در مورد صفت کارآیی فتوسیستم II موفق‌تر ظاهر شد. استفاده از نانو کایتوزان با غلظت ۰/۰۱ درصد منجر به کاهش یون سدیم و افزایش غلظت پتاسیم در شاخساره و متعاقباً کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در شاخساره شد. با توجه به نتایج آزمایش می‌توان کاربرد کایتوزن با غلظت ۰/۰۱ درصد را به‌عنوان یک تعدیل‌کننده تنش شوری در کشت گیاه خارمریم معرفی نمود.

References

1. Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H., and Mousavi, S. E. 2017. Effect of chitosan on seed germination and biochemical traits of Milk Thistle (*Silybummarianum* L.) seedling under salt stress. International Journal of Seed Research 3 (2): 105-118.
2. Amiri, A., Sirousmehr, A., and Esmaeilzadeh Bahabadi, S. 2016. Effect of foliar application of salicylic acid and chitosan on yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian journal of biology 28 (4): 712-725. (in Persian with English abstract).
3. Bittelli, M., Flury, M., Campbell, G. S., and Nichols, E. G. 2001. Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. Agricultural and Forest Meteorology 107: 167-175.
4. Dorais, M., Papadopulos, A. P., and Gosselin, A. 2001. Influence of electrical conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. Agronomy journal 21: 367-383.
5. Dzung, N. A., Khanh, V. T. P., and Dung, T. T. 2011. Research on impact of chitosan oligomer on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. Carbohydrate Polymers 84: 751-755.
6. Geilfus, C. M., Zorb, C., and Muhling, H. K. 2010. Salt stress differentially affects growth-mediating bexpansins in resistant and sensitive maize (*Zea mays* L.). Plant Physiology and Biochemistry 48: 993-998.
7. Ghavami, N., Naghdy, H. A. Ramin, A. A., and Mehrafarin, A. 2011. Effect of salinity on seed yield and oil mike thistle. Journal of Medicine 2: 89-93. (in Persian with English abstract).
8. Gornik, K., Grzesik, M., and Duda, B. R. 2008. The Effect of chitosan on rooting of grapevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 16: 333-343.
9. Guan, Y. J., Hu, J., Wang, X. J., and Shao, C. X. 2009. Seed priming with chitosan improves maize stress

germination and seedling growth in relation to physiology changes under low temperature. Journal of Zhejiang University- Science 10: 427-433.
10. Hadrami, A. E., Adam, L. R., Hadrami, I. E., and Daayf, F. 2010. Chitosan in plant protection. Marine Drugs 8 (4): 968-987.
11. Jabeen, N., and Ahmad, R. 2013. The activity of antioxidant enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan. Journal of Science Food Agriculture 93 (7): 1699-1705.
12. James, R. A., Munns, R., Caemmerer, S., Trejo, C., Miller, C., and Condou, T. 2006. Photosynthetic capacity is related to the cellular and subcellular partitioning of Na^+, K^+ and Cl^-barley and durum wheat. Plant Cell and Environment 29: 2185-2197.
13. Kalra, Y. P. 1998. Reference Methods for Plant Analysis. Soil and Plant Analysis. Boca Raton Boston London. Washington D.C. New York.
14. Khan, M. Z., Blackshaw, R. E., and Marwat, K. B. 2009. Biology of milk thistle (*Silybum marianum*) and the management options for growers in north-western Pakistan. Weed Biology Management 9: 99-105.
15. Klute, A. 1986. Methods of soil Analysis: Physical and mineralogical methods. PP 635-662 in A. Klute, A. E. Lee eds. American Society of Agronomy., Wisconsin.
16. Koca, M., Bor, M., Ozdemir, F., and Turkan, I. 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. Environmental and Experimental Botany 60: 344-351.
17. Krause, G. H., and Weis, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 42: 313-349.
18. Mahdavi, B., and Safari, H. 2015. Effect of chitosan on growth and some physiological traits of chickpea under salinity stress. Plant Process and Function 4 (12): 117-127.
19. Mahdavi, B., ModarresSanavy, S. A. M., Aghaalikhani, M., and Sharifi, M. 2013. Effect of water stress and chitosan on Germination and proline of seedling in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Crop Improvement 25: 728-741.
20. Masomy Zvaryan, A., Yosefi Rad, M., and Moghadas, M. S. 2013. Effect of salt stress on germination indices and alpha-amylase and peroxidase enzyme activity of medicinal plants mike thistle (*Silybum marianum*). National Congress and Conventional Farming. Ardabil. (In Persian).
21. Mer, R. K., Prajith, P. K., Pandya, D. H., and Pandey, A. N. 2000. Effect of salts on germination of seeds and growth of young plants of *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, *Cicer arietinum* and *Brassica juncea*. Journal of Agronomy and Crop Science 185: 209-217.
22. Merah, O. 2001. Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean conditions. Journal of Agricultural Science 137: 139-145.
23. Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T., and Kimura, K. 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration and stomata conductance in kidney bean following drought stress. Environmental and Experimental Botany 53: 205-214.
24. Mondal, M. M. A., Malek, M. A., Puteh, A. B., Ismail, M. R., Ashrafuzzaman, M., and Naher, L. 2012. Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in okra. Australian Journal of Crop Sciences 6 (5): 918-921.
25. Munns, R. 2003. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environment 25: 239-250.
26. Ohta, K., Asao, T., and Hosoki, T. 2001. Effects of chitosan treatments on seedling growth, chitinase activity and ower quality in *Eustoma grandiorum* (Raf.) Shinn. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 76 (5): 612-614.
27. Ohta, K., Morishita, S., Suda, K., Kobayashi, N., and Hosoki, T. 2004. Effects of chitosan soil mixture treatment in the seedling stage on the growth and flowering of several ornamental plants. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 73 (1): 66-68.
28. Parida, A. K., and Das, A. B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.
29. Poljakoff, M. A., and Lerner, H. R. 1994. Plants in saline environment. PP. 65-96. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker, Inc. New York.
30. Pongprayoon, W., Roytrakul, S., Pichayangkura, R., Chadchawan, S. 2013. The role of hydrogen peroxide in chitosan-induced resistance to osmotic stress in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Growth Regulation 70: 159-173.
31. Rabea, E. I., Badawy, M. E. T., Stevens, C. V., Smagghe, G., and Steurbaut, W. 2003. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. Biomacromolecules 4 (6): 1457-1465.
32. Ramasamy, K., and Agarwal, R. 2008. Multi targeted therapy of cancer by silymarin. Cancer Letter 269 (2): 352-62.
33. Rizza, F., Pagani, D., Stanca, A. M., and Cattivelli, L. 2001. Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the cold acclimation and freezing tolerance of winter and spring oats. Plant Breeding 120: 389-396
34. Ruan, S. L., and Xue, Q. Z. 2002. Effects of Chitosan Coating on Seed Germination and Salt Tolerance of Seedlings in Hybrid rice (*Oryza sativa* L.). Acta Agronomica Sinica Journal 28: 803-808.

35. Shabala, S., Demidchik, V., Shabala, L., Cuin, T. A., Smith, S. J., Miller, A. J., Davies, J. M., and Newman, I. A. 2006. Extracellular Ca ameliorates NaCl induced Kloss from Arabidopsis root and leaf cells by controlling plasma membrane K-permeable channels. Plant Physiology 141: 1653-1665.
36. Sheikha, S. A. K., and AL-Malki, F. M. 2009. Growth and Chlorophyll Responses of Bean Plants to the Chitosan Applications. European Journal of Scientific Research 50: 124-134.
37. Taghipour, Z., and Maghsuddi, J. 2015. Effect of different concentrations of chitosan on germination and wheat seedling growth (*Triticum aestivum*) under drought stress conditions. Seed Research 5 (16): 65-75.
38. Uthairatanakij, A., Texeira Da Silva, G. A., and Obsuwan, K. 2007. Chitosan for improving orchid production and quality. Orchid Science and Biotechnology 1 (1): 1-5.
39. Waheed, A., Hafiz, I. A. G., Qadir, G., Murtaza, T. M., and Ashraf, M. 2006. Effect of salinity on germination, growth, yield, ionic balance and solute composition of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). Pakistan Journal of Botany 38: 1103-1117
40. Wei, S., Zang, X. M., Xue, J. P., and Xiang G. 2007. Effect of chitosan on seeds germination and seedling physiological property of wheat. Periodicals. Core Journals Biology Journal 24 (2): 51-53.
41. Yazdani Buick, R., Rezvani Moghaddam, P., Khazaei, H. R., Ghorbany, R., and Astaray, A. 2010. Effects of drought and salinity stress on seed germination of mike thistle. Iranian Journal of Field Crop Research 8: 12-19. (in Persian).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 477-491

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۴۹۱-۴۷۷

Chitosan Nano-particles Application on Growth, Physiology and Mineral Element Contents of Milk thistle (*Silybum marianum*) under Salinity Stress Condition

S. Safikhan[1]- K. Khoshbakht[2*]- M. R. Chaichi[3]- A. Amini[4]- B. Motesharezadeh[5]

Received: 06-09-2017
Accepted: 10-03-2018

Introduction: Salinity stress is one of the most limiting factors in plant growth and physiological activities. To extend crop production in saline regions, application of plant promoting growth substances like Chitosan is necessary to modify the adverse effects of salinity. Milk thistle is an agro-medical plant that is familiar as a weed. However, Silymarin (which is produced by Milk thistle as a secondary metabolite) is one the most important material for treating such disease as; liver diseases, blood fat, diabetes, hepatitis, and cancer. Application of bio stimulants is one of the solutions for decreasing adverse effects of abiotic and biotic stresses on plants and increasing quality and quantity of plant yield production, so chitosan is a compound that induces defense mechanisms against stresses.

Materials and Methods: This experiment was conducted to evaluate the soil application of chitosan on vegetative, generative and physiological activities of Milk thistle in 2016. The experiment was conducted in Research Greenhouse of College of Agriculture the University of Tehran, Karaj, Iran. The experimental treatments were arranged as factorial based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The first factor comprised of four saline irrigation water levels of control (Urban water with 1.2 dS m^{-1}), 4, 8 and 12 dS m^{-1} and the second factor was application of different levels of Chitosan consisting of control (without chitosan application), 0.01, 0.05, and 0.1 percent of chitosan based on 1-kilogram dry soil weight in Rhizobags. Chitosan with high molecular weight was purchased from Sigma Aldrich. 12 seeds of Milk thistle were sown in each plastic pot (23×24 cm diameter and height) containing 8.0 kg of soil, at the depth of 2 cm. After 72 days planting, plants with a uniform growth were selected for experiments. At least three plants were randomly selected from each treatment. The plant root and shoot were cut at the base and weighed to determine the dry root and shoot weight. Samples were dried at 60^{o}C for 48 hours, and their mean root and shoot dry weight were recorded for each treatment at each replicate. Also, Statistical calculations were done by SAS software, 9.1 version, and means were compared by Duncan multiple test with 5% probability.

Results and Discussion: The result showed salinity stress had significant effect on all of the growth, physiologic and ionic trait ($p\leq0.01$). Mean comparisons in chitosan levels showed the maximum total biomass, leaf area meter, relative water content and membrane stability index were achieved with application of 0.05% nano chitosan. In 4 dS m^{-1} saline water, the highest total dry mass was obtained at 0.01% of chitosan by increasing of 21.6% compared to control ($p\leq0.01$). In all of the salinity levels, chitosan application increased the leaf area index in compared to control (without chitosan application). The maximum leaf area index (4.264) was achieved in 0.05% chitosan concentration under non saline condition. Under 12 dS m^{-1} salinity, application 0.05% chitosan concentration decreased by 10.4% and 16.5% in sodium content and sodium potassium ration in

1- Ph.D. student in Agroecology, Department of Agroecology, Shahid Beheshti University, Environmental Sciences Research institute, Shahid Beheshti University, Evin, Tehran, Iran

2- Associated Professor of Environmental Science Research Institute (ESRI), Shahid Beheshti University, Evin, Tehran, Iran

3- Professor of Department of Crop Science, College of Agriculture, California State University, Pomona, USA

4- Associated Professor of Centre for Infrastructure Engineering, Western Sydney University, Penrith 2751, NSW, Australia

5- Associated Professor of Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

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

shoot, respectively. The mechanism of action of chitosan on growth is not clear. It was also found that chitosan may induce a signal to synthesize plant hormones such as gibberellins and enhance growth and development by some signaling pathway related to auxin biosynthesis. Chitosan stimulates vital processes of plants on every level of biological organization, from single cells and tissues, through physiological and biochemical processes, to changes on the molecular level related to the expression of genes. The result of the experiment demonstrated the adverse effect of salinity on growth, physiological activity, and nutrient content in Milk thistle. Application of chitosan at 0.05% (v/v) in soil could modify the adverse effect of salinity on total biomass, leaf area index, relative water content, and membrane stability index; however, 0.01% chitosan concentration was more effective on photosystem II efficiency.

Conclusions: Based on the result of this experiment, salinity stress has negative effects on growth, physiology and mineral element contents of Milk thistle. Application of 0.01% of chitosan could modify the adverse effects of irrigation water salinity on Milk thistle. Generally, application of chitosan could decrease Na^+ effects in the Milk thistle, so the rate of Na^+ in the shoot and root was decreased under high levels of salinity. The present study demonstrated that chitosan can be used as an ecofriendly compound to protect milk thistle plants as well as to enhance growth and biochemical parameters under saline water.

Keywords: Medicinal plant, Mineral elements, Relative Water Content, Saline water, Total biomass

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۵۰۹-۴۹۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 493-509

تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید آهن بر عملکرد، محتوای کلروفیل و مدل‌سازی برخی مولفه‌های پر شدن دانه جو تحت سطوح تنش شوری

سیامک داداش زاده[۱]- رئوف سیدشریفی[۲*]- سلیم فرزانه[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید آهن بر عملکرد، محتوای کلروفیل و برخی مولفه‌های پر شدن دانه جو در شرایط شوری خاک، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی سال ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی، کاربرد آزوسپریلیوم، میکوریز، کاربرد توأم میکوریز و آزوسپریلیوم)، محلول‌پاشی با نانواکسید آهن در چهار سطح (صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹گرم در لیتر) و شوری خاک در چهار سطح (صفر، ۵۰،۲۵ و ۷۵ میلی‌مولار با کلرید سدیم) بودند. از یک مدل خطی دو تکه‌ای برای کمی کردن شاخص‌های مربوط به پر شدن دانه استفاده شد. در این بررسی محتوای کلروفیل کل، a,b و کاروتنوئید، مولفه‌های پرشدن دانه، عملکرد و اجزای عملکرد جو بررسی شدند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بالاترین عملکرد (۲/۰۴ گرم در بوته)، سرعت پر شدن دانه (۰/۰۰۲۷۹ گرم در روز)، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه (به‌ترتیب ۳۶/۹۶ و ۲۶/۵۳ روز)، کلروفیل a (۱/۸۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، کلروفیل b (۰/۶۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، کلروفیل کل (۲/۵۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کارتنوئید (۰/۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در حالت کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز، محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن و عدم اعمال شوری به‌دست آمد. در حالی‌که کمترین این صفات در شرایط اعمال شوری ۷۵ میلی‌مولار، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد. اعمال شوری ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار نسبت به حالت عدم اعمال شوری عملکرد دانه را به‌ترتیب ۵/۲۳، ۲۱/۹۳ و ۲۶/۱۴ درصد کاهش داد و کاربرد توأم کودهای زیستی و نانواکسید آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن‌ها در سطح شوری ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار به‌ترتیب ۱۱/۷۹، ۱۲/۶۴ و ۱۵/۴۵ درصد از کاهش عملکرد را جبران کردند. از این رو به نظر می‌رسد کاربرد توام کودهای زیستی و نانواکسید آهن می‌تواند به‌عنوان تعدیل‌کننده‌های تنش در جو تحت شرایط شوری خاک پیشنهاد شود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، مدل خطی، میکوریزا

مقدمه

شوری یکی از تنش‌های مهم تهدیدکننده عملکرد گیاهان زراعی در مناطق وسیعی از جهان است. پایین بودن مقدار بارش و دمای بالا در مناطق خشک و نیمه‌خشک و بهره‌برداری زیاد از منابع آب قابل دسترس از مشکلات اساسی و رو به افزایش شوری آب و خاک در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Mouk and Ishii, 2008). از این رو امروزه یکی از شیوه‌های مناسب کشاورزی مدرن برای بهبود حاصلخیزی خاک، کاهش اثرات تنش و جبران میکروارگانیسم‌های از دست رفته به‌واسطه اثر تنش‌های محیطی، استفاده از کودهای زیستی (میکوریز و باکتری‌های محرک رشد گیاهی) (Cakmakci *et al.*, 2007) و عناصر ریز مغذی مانند آهن (Hadi *et al.*, 2016) است. باکتری‌های محرک رشد گیاهی به‌طور غیرمستقیم از طریق حلال‌سازی فسفات‌ها، تولید هورمون‌ها یا تثبیت نیتروژن و یا به‌صورت مستقیم از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی، افزایش نمو ریشه، افزایش فعالیت آنزیمی و یا کمک به سایر میکروارگانیسم‌های مفید، موجب تحریک رشد گیاه می‌شوند (Seyed Sharifi and Namvar, 2016). حق بهاری و سید شریفی

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
(*- نویسنده مسئول: (Email: raouf_ssharifi@yahoo.com
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.68224

(Haghbahary and Seyed Sharifi, 2013) گزارش دادند که با افزایش شوری عملکرد، طول دوره پر شدن دانه و حداکثر وزن دانه گندم[1] کاهش یافت و استفاده از باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش این صفات شد. پروازی شندی و همکاران (Parvazi Shandi *et al*., 2013) گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b و کل گندم شد. قارچ‌های میکوریز گرچه ترکیبات کربوهیدراتی مورد نیاز خود را از گیاه میزبان دریافت می‌کنند، ولی با کمک به افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه، تنظیم اسمزی گیاه تحت تنش شوری، بهبود تثبیت نیتروژن، افزایش فتوسنتز موجب بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری می‌شوند (Khalafalla and Abo-Ghalia, 2008). بررسی‌های گراور و همکاران (Grover *et al*., 2010) نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز می‌توانند با جذب بیشتر آب از خاک، به رشد بهتر گیاه به‌خصوص تحت شرایط تنش کمک کنند.

آهن از عناصر ضروری و کم‌مصرف در گیاهان بوده که در فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن نقش دارد (Taiz and Zeiger, 2002) ولی کمبود آن یک مسئله غالب در نواحی خشک و نیمه‌خشک با خاک‌های قلیایی است (Fahad *et al*., 2014). در این نواحی محلول‌پاشی به‌شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل متداول و مرسوم آن‌ها به دلیل اینکه عناصر غذایی به آرامی و با سرعتی مناسب در طول دوره رشد گیاه آزاد می‌شوند (Naderi and Abedi, 2012) به‌عنوان یک راه کار مفید و موثر برای اصلاح کمبود آهن توصیه شده است (Galavi *et al*., 2012). از فواید محلول‌پاشی، جذب مستقیم مواد غذایی توسط بافت‌های گیاهی با مصرف کم انرژی برای انتقال در درون گیاه و عدم وابستگی به‌فاکتورهای محیطی مانند رطوبت خاک است (Swiader, 2000). غفاری و رزمجو (Ghafari and Razmjoo, 2013) اظهار داشتند که محلول‌پاشی نانواکسید آهن موجب افزایش عملکرد، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در گندم شد. فتحی و عنایت قلی‌زاده (Fathi and Enayat Gholizadeh, 2009) اظهار داشتند که محلول‌پاشی آهن به دلیل حضور آن در ساختمان کلروفیل و کمک به افزایش کارایی فتوسنتزی، موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد جو شد. بابایی و همکاران (Babaei *et al*., 2017) اظهار داشتند که در شرایط شوری کاربرد نانو اکسید آهن و روی موجب افزایش محتوای کلروفیل a, b کاروتنوئید، عملکرد و اجزای عملکرد گندم شد. گسترش خاک‌های شور و اهمیت جو به‌عنوان یکی از غلات دو منظوره، نقش کودهای زیستی و ریز مغذی آهن در بهبود عملکرد و تعدیل اثرات ناشی از شوری از جمله عواملی بودند که موجب شد تا تأثیر کودهای زیستی و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن بر عملکرد و برخی مولفه‌های پر شدن دانه جو در شرایط شوری خاک مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش تحت شرایط گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی، کاربرد آزوسپریلیوم، میکوریزا، کاربرد توأم میکوریز و آزوسپریلیوم)، محلول پاشی با نانواکسید آهن در چهار سطح (صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹گرم در لیتر) و شوری خاک در چهار سطح (صفر، ۵۰،۲۵ و ۷۵ میلی‌مولار از نمک کلرید سدیم) بودند. قارچ میکوریزا گونه *Glomus Intraradices* و باکتری آزوسپریلیوم از گونه لیپوفروم (*Azospirillum lipoferum strain OF*) بود. باکتری از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، قارچ از شرکت زیست فناوران توران و بذر جو رقم والفجر از موسسه تحقیقات نهال و بذر کرج تهیه شد. تعداد تقریبی اسپور زنده در هر گرم قارچ حدود ۱۰۰ اسپور بود. تلقیح با این قارچ که مخلوطی از اسپور، هیف و قطعات جدا شده ریشه‌های آلوده بود به مقدار ۲۰ گرم در هر متر مربع خاک بنا به توصیه شرکت مربوطه با بخش سطحی خاک قبل از کاشت و به روش استاندارد و توصیه شده Gianinazzi *et al*, 2001 انجام شد. شوری با استفاده از نرم‌افزار Salt calc محاسبه شد. در این نرم‌افزار به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع، مقدار نمک مورد نیاز برای هر کیلوگرم خاک گلدان محاسبه شده و به کل گلدان در دو نوبت (مرحله بعد از کاشت و مرحله ۴-۳ برگی به‌ترتیب معادل مرحله ۱۳ و ۴۷ تقسیم بندی BBCH) همراه آب آبیاری اضافه شد. محلول‌پاشی با نانواکسید آهن در دو مرحله از دوره رشد (مرحله ۴ تا ۶ برگی و مرحله قبل از چکمه‌ای شدن) انجام شد. نانواکسید آهن تولید کشور چین بود که از شرکت آروم دانش ارومیه تهیه شد. برای حفظ شوری در طول دوره رشد در زیر هر گلدان زیر گلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری دوباره نمک‌های احتمالی وارد شده به زیر گلدانی در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شوند. برای تلقیح بذرها از مایه تلقیح تهیه شده از موسسه خاک و آب تهران که هر گرم آن دارای ۱×۱۰^{۷} عدد باکتری(CFU)[2] زنده و فعال بود استفاده شد. در تلقیح بذر با باکتری از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذر استفاده شد. تمام بذرها به مدت چهار ساعت در مایه تلقیح در شرایط تاریکی قرار گرفتند. ۳۹ عدد بذر در هر گلدان (به قطر ۳۵ و عمق ۴۰ سانتی‌متری) برای اعمال تراکم

1- *Triticum aestivum* L.

2- Colony Forming Units

۴۰۰ بذر در متر مربع که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است کشت شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۶-۱۵ ساعت در طول دوره زایشی (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی ۸±۶۵ درصد نگهداری شدند. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- The properties of physicochemical experimental farm soil

مشخصه Characteristic	آهک Lime	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن-آلی O. C	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	اسیدیته pH	درصد عصاره اشباع SP٪	بافت Texture
		درصد%			درصد%		$mg\ kg^{-1}$					
میزان Amount	13	22	45	33	0.074	0.12	9.1	275	5.35	6.7	46.3	شنی سیلتی silty sandy

به منظور بررسی تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر مولفه‌های پر شدن دانه، نمونه‌برداری از ۱۵ روز بعد از سنبله‌دهی در فواصل زمانی هر پنج روز یک بار انجام شد. هر بار دو سنبله از ساقه اصلی در هر گلدان انتخاب و بعد از انتقال به آزمایشگاه دانه‌ها از خوشه جدا شده و به مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد گردید (Ronanini *et al.*, 2004). به منظور تجزیه و تحلیل پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) به کمک رویه DUD و برنامه Proc NLIN نرم‌افزار SAS بر اساس معادله ۱ استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < T_0 \\ a + bt & t > T_0 \end{cases}$$ (معادله ۱)

که در آن GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis and Pieta-Filho, 1992). با برازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پرشدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه فوق قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از معادله ۲ و به صورت زیر استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho,.1992).

$$EFP=MGW/GFR$$ (معادله ۲)

در این رابطه EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است. استخراج رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی برگ با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1949) و طبق معادله‌های سه الی شش انجام گرفت.

(معادله ۳)

$$\text{کلروفیل a} = (19/3 \times A_{663} - 0/86 \times A_{645})\ V/100\ W$$

(معادله ۴)

$$\text{کلروفیل b} = (19/3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663})\ V/100W$$

(معادله ۵)

$$\text{کلروفیل کل} = \text{کلروفیل a} + \text{کلروفیل b}$$

(معادله ۶)

$$\text{کارتنوئید} = (1000\ A_{470} - 1/82\ C_a - 85/02\ C_b) / 198$$

در این روابط V حجم استون استفاده شده و W وزن نمونه گیاهی استفاده شده است. در زمان رسیدگی به منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، ۱۰ بوته از هر گلدان از سطح خاک کف‌بر شد و ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد تک بوته در بوته‌های انتخابی اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در جدول تجزیه واریانس منظور شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS 9.1 و Excel 2007 استفاده شد. مقایسات میانگین با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر شوری، کودهای زیستی، محلول‌پاشی با نانواکسید آهن و اثر ترکیب تیماری این سه عامل بر عملکرد تک بوته، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن صد دانه، رنگدانه‌های فتوسنتزی و تمامی مولفه‌های پر شدن دانه معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نانواکسید آهن، کودهای زیستی و شوری بر عملکرد، مولفه‌های پر شدن دانه و محتوای کلروفیل جو

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of Nano Fe oxide, bio-fertilizers and salinity on yield, grain filling components and Cholorophyll content of barley

		میانگین مربعات MS												
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoids	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	دوره موثر پر شدن دانه Effective grain filling period	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن صد دانه 100 grains weight	عملکرد تک بوته Grain yield(per plant)
R	2	0.009^{ns}	0/0005^{ns}	0.0051^{ns}	0.011**	0.0000001**	0.03^{ns}	0.16^{ns}	0.00006**	20.81**	1.12**	7.79**	1.29**	0.043**
S	3	2.51	0.88**	6.34**	0.75**	0.000004**	183.62**	246.13**	0.0001**	4214.93**	22.54**	718.13**	2.23**	2.86**
B	3	0.73**	0.074**	1.26**	0.09**	0.0000009**	5.31**	3.86**	0.0003**	225.62**	5.99**	80.68**	1.28**	0.14**
F	3	1.59**	0.042**	2.15**	0.11**	0.0000002**	8.63**	2.89**	0.00008**	143.62**	2.93**	46.08**	0.53**	0.043**
S*B	9	0.011**	0.006**	0.022**	0.002*	0.00000003**	0.45**	3.57**	0.000002**	8.75**	0.26**	0.84^{ns}	0.026**	0.003**
S*F	9	0.052**	0.003**	0.074**	0.001^{ns}	0.00000003**	0.53**	3.8**	0.000006**	3.39**	0.07**	80.25**	0.024**	0.0007**
B*F	9	0.019**	0.001**	0.028**	0.003**	0.00000001**	0.58**	1.26**	0.000001**	3.44**	0.16**	1.69**	0.065**	0.001**
S*B*F	27	0.008**	0.001**	0.008*	0.003**	0.00000001**	0.46**	1.71**	0.0000009*	5.026**	0.06**	2.75**	0.027**	0.001***
E	126	0.004	0.0005	0.004	0.0009	0.000000018	0.088	0.22	0.0000001	1.15	0.006	0.49	0.0002	0.00002
CV(٪)	-	5.7	7.5	4.8	8.9	3.8	9.9	8.2	8.7	8.8	3.5	3.6	3.4	7.3

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, *, and ** are non-significant and significant at the probability level of 5% and 1% respectively

R تکرار، S شوری، B کودهای زیستی، F نانواکسید آهن، E اشتباه آزمایشی، CV ضریب تغییرات

R, replication; S, salinity; B, biofertilizer; F, Nano Fe oxide; E, error; CV, coefficient of variation

مولفه‌های پر شدن دانه: نتایج نشان داد حداکثر وزن دانه (۰/۰۵۲ گرم) و سرعت پر شدن دانه (۰/۰۰۲۷۹ گرم در روز) در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری، کاربرد توأم میکوریز با آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن و کمترین این صفات (به‌ترتیب ۰/۰۳۷ گرم و ۰/۰۰۱۴۱ گرم در روز) در شوری ۷۵ میلی‌مولار، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی نانو اکسید آهن با افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۴) میزان آسیمیلاسیون را افزایش داده و موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه شده و در نهایت سبب افزایش وزن دانه گردید. در این راستا تسنو و همکاران (Tsuno *et al.*, 1994) اظهار داشتند که افزایش میزان کلروفیل در طول دوره رشد به‌ویژه دوره‌ی پر شدن دانه، موجب افزایش سرعت پر شدن دانه می‌شود. فرانکوییس و همکاران (Francois *et al.*, 1994) اظهار داشتند که شوری وزن دانه را از طریق کوتاه کردن دوره پر شدن دانه و تسریع در بلوغ دانه‌ها کاهش می‌دهد. بخشی از افزایش در وزن دانه را می‌توان به سرعت و طول دوره پر شدن دانه نسبت داد. نتایج جدول ۴ نشان داد که بین سطوح مختلف شوری، کودهای زیستی و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن از نظر سرعت و طول دوره پر شدن دانه تفاوت‌هایی وجود دارد به‌طوری‌که با افزایش شوری، سرعت و طول دوره پر شدن دانه نسبت به عدم اعمال شوری کاهش نشان داد. بیش‌ترین سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه (به‌ترتیب۰/۲۷۹۰۰ گرم در روز، ۳۶/۹۶ و ۲۶/۵۳ روز) در ترکیب تیماری حاصل از عدم اعمال شوری، کاربرد میکوریز و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن و کم‌ترین مقادیر این صفات (به‌ترتیب ۰/۰۰۱۴۱ گرم در روز، ۳۰/۱۲ و ۱۸/۴۴ روز) در ترکیب تیماری شوری ۷۵ میلی‌مولار، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۳).

این امر نشان می‌دهد که با افزایش سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه افزایش یافت. به بیانی دیگر در تیمارهایی که سرعت پر شدن دانه بیشتر بود وزن دانه نیز حداکثر بود. در این راستا کوماری و والارماتی (Kumari and Valarmathi, 1998) اظهار داشتند که دانه‌های با وزن بالاتر، از سرعت پر شدن بالاتری نسبت به دانه‌های با وزن کمتر برخوردار می‌باشند. توگای و توگای (Togay and Togay, 2008) اظهار داشتند که کودهای زیستی با تولید هورمون‌های محرک رشد و افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی، با افزایش طول دوره رشدی گیاه، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را فراهم می‌سازند. بهل و همکاران (Behl *et al.*, 2003) اظهار داشتند که بین باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز اثرات متقابل مثبتی وجود دارد. از این‌رو کودهای زیستی می‌توانند با تأمین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را نیز فراهم سازند.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید (به‌ترتیب ۱/۸۷، ۰/۶۸، ۲/۵۵ و ۰/۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در عدم اعمال شوری، کاربرد توأم میکوریز و آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن و کمترین آن‌ها (به‌ترتیب ۰/۵۹، ۰/۱۲، ۰/۷۲ و ۰/۱۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در شوری ۷۵ میلی‌مولار، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۴). تنش شوری موجب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاربرد کودهای زیستی و نانو اکسید آهن موجب افزایش میزان این رنگدانه‌ها شد. هان و لی (Han and Lee, 2005) گزارش کردند که در شرایط تنش، میزان کلروفیل کاهش می‌یابد. خان (Khan, 2003) جلوگیری از سنتز کلروفیل در شرایط شوری بالا را به افزایش اتیلن تولیدی به‌واسطه شوری نسبت داد. از سوی دیگر لونت و همکاران (Levent Tuna *et al.*, 2008) بیان کردند که کاهش میزان کلروفیل با تشکیل آنزیم‌هایی مانند کلروفیلاز ارتباط دارد که موجب تجزیه کلروفیل می‌شود. شوری می‌تواند اثر منفی بر آسیمیله شدن نیتروژن داشته باشد و میزان کلروفیل را کاهش دهد (Ali-Dinar *et al.*, 1999). سلطانا و همکاران (Sultana *et al.*, 1999) گزارش کردند که میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها در شرایط تنش شوری به دلیل تجزیه بتا کاروتن و تشکیل زآ-زانتین کاهش می‌یابد. گری و موکرجی (Giri and Mukerji, 2004) گزارش کردند که میکوریز و باکتری‌های محرک رشد باعث کاهش اثرات سوء شوری در تشکیل کلروفیل می‌شوند. شاهارونا و همکاران (Shaharoona *et al.*, 2006) گزارش کردند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد اثر معنی‌داری بر رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش شوری داشتند. اسپیدکار و همکاران (Speedkar *et al.*, 2016) نشان دادند که کاربرد همزمان میکوریز و حضور باکتری‌های محرک رشد، محتوای کلروفیل جو[1] را افزایش داد ولی کمبود آهن به دلیل تخریب ساختار کلروپلاست موجب کاهش میزان کلروفیل و در نتیجه‌ی زردی یا کلروز برگ می‌شود (Pinto *et al.*, 2005).

1- *Hordeum vulgare* L.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نانواکسید آهن، کودهای زیستی و شوری بر مولفه‌های پر شدن دانه جو

Table 3- Means comparison of the effects of nano Fe oxide, biofertilizer and salinity on grain filling components of barley

شوری Salinity	کود زیستی Biofertilizer	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight (g)				سرعت پر شدن دانه Grain filling rate (g day^{-1})			
		سطوح آهن Fe levels				سطوح آهن Fe levels			
		F_1	F2	F_3	F_4	F_1	F_2	F3	F4
S1	B_1	0.045±0.001	0.046±0.005	0.049±0.001	0.044±0.001	0.00236±0.00002	0.00235±0.00009	0.00247±0.00003	0.00229±0.00005
	B_2	0.047±0.001	0.048±0.001	0.049±0.002	0.047±0.005	0.00251±0.00007	0.00239±0.00001	0.00255±0.00009	0.00237±0.00007
	B_3	0.048±0.0005	0.05±0.0001	0.052±0.001	0.048±0.001	0.00262±0.00008	0.00272±0.00006	0.00279±0.00005	0.00243±0.00007
	B_4	0.043±0.001	0.044±0.001	0.045±0.004	0.041±0.001	0.00223±0.00001	0.00224±0.00001	0.00254±0.00008	0.00216±0.00006
S2	B_1	0.043±0.001	0.045±0.004	0.046±0.001	0.041±0.001	0.00199±0.00004	0.00208±0.00003	0.0022±0.00007	0.00212±0.00007
	B_2	0.045±0.001	0.047±0.002	0.048±0.005	0.044±0.001	0.00199±0.00006	0.0021±0.00003	0.00231±0.00008	0.00199±0.00007
	B_3	0.047±0.0005	0.049±0.001	0.05±0.001	0.045±0.0005	0.00234±0.00007	0.00228±0.00003	0.00261±0.00006	0.00226±0.00007
	B_4	0.041±0.001	0.042±0.001	0.044±0.003	0.038±0.001	0.00201±0.00006	0.00192±0.00005	0.00211±0.00006	0.00192±0.00005
S3	B_1	0.043±0.002	0.044±0.003	0.043±0.003	0.043±0.004	0.00196±0.00004	0/002±0.00009	0.00199±0.00007	0.0018±0.00006
	B_2	0.045±0.003	0.046±0.001	0.045±0.001	0.044±0.001	0.00201±0.00003	0.00205±0.00007	0.00205±0.00004	0.0019±0.00008
	B_3	0.046±0.001	0.048±0.005	0.048±0.002	0.046±0.001	0.00213±0.00012	0/00206±0.00003	0.00209±0.00004	0.00197±0.00008
	B_4	0.04±0.0005	0.041±0.0005	0.041±0.001	0.038±0.0005	0.00173±0.00002	0.00177±0.00004	0.00174±0.00005	0.00178±0.00026
S4	B_1	0.041±0.004	0.042±0/001	0.044±0.001	0.041±0.001	0.00172±0.00002	0.00178±0.00006	0.00175±0.00004	0.00165±0.00004
	B_2	0.042±0.001	0.042±0.004	0.044±0.005	0.042±0.005	0.00174±0.00004	0.00176±0.00004	0.00183±0.00001	0.00165±0.00005
	B_3	0.044±0.003	0.044±0.006	0.045±0.001	0.043±0.001	0.0018±0.00007	0.00196±0.00006	0.00188±0.00004	0.00177±0.00006
	B_4	0.039±0.001	0.04±0.001	0.041±0.001	0.037±0.001	0.00158±0.00003	0.00158±0.00003	0.00161±0.00004	0.00141±0.00004
LSD	0.05		0.0005				0.0001		

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۲۵ میلی‌مولار، ۵۰ میلی‌مولار و ۷۵ میلی‌مولار B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب کاربرد آزوسپریلیوم، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز، عدم کاربرد کودهای زیستی

F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ گرم در لیتر و عدم محلول‌پاشی نانواکسید آهن

S1, S2, S3 and S4 represent no-salt (control), salinity 25, 50 and 75 mM NaCl, respectively

B1, B2, B3 and B4 represent application of Azospirilium, mycorrhiza, both applications Azospirillum and mycorrhiza, no biofertilizers respectively.

F1, F2, F3 and F4 represent 0.3, 0.6, 0.9 g l^{-1} and without nano Fe oxide as control respectively

ادامه جدول ۳-

شوری Salinity	Bio fertilizer	Effective grain filling period (day) دوره موثر پر شدن دانه				Grain filling period (day) طول دوره پر شدن دانه			
		Fe levels سطوح آهن				Fe levels سطوح آهن			
		F_1	F_2	F_3	F_4	F1	F_2	F3	F4
S_1	B_1	23.83±0.3	23.77±0.22	25.16±0.03	24.58±0.07	36.39±0.11	36.13±0.37	35.76±0.005	35.34±0.35
	B_2	24.15±0.03	24.11±0.22	23.85±0.07	25.47±0.15	36.6±0.1	36.5±0.15	36.96±0.16	35.78±0.03
	B_3	24.44±0.05	25.29±0.13	25.5±0.09	26.53±0.11	35.71±0.1	36.16±0.11	36.02±0.22	35.33±0.11
	B_4	24.48±0.59	22.41±0.14	24.19±0.28	24.32±0.23	35.43±0.8	36.28±0.22	35.91±0.59	34.77±0.34
S_2	B_1	21.97±0.03	22.05±0.45	21.44±0.52	24.1±0.04	34.49±0.35	34.28±0.16	33.97±0.44	33.33±0.11
	B_2	22.44±0.16	22.7±0.22	21.82±0.1	23.15±0.47	34.8±0.05	35.25±0.05	34.69±0.41	33.77±0.17
	B_3	21.82±0.74	23.38±0.17	22.91±0.01	23.58±0.17	33.98±0.19	34.27±0.24	32.9±0.1	32.65±0.23
	B_4	23.4±0.3	23.45±0.25	23.56±0.1	21.86±0.03	33.58±0.27	34.33±0.87	33.93±0.05	32.98±0.03
S_3	B_1	21.85±0.31	21.68±0.22	20.97±0.16	19.34±0.16	33.42±0.09	33.15±0.09	33.03±0/02	32.54±0.03
	B_2	22.66±0.13	22.53±0.22	20.87±0.38	22.1±0.29	32.68±0.26	33.95±0.04	33.77±0.27	32.75±0.16
	B_3	20.29±0.38	21.59±0.05	19.11±0.02	20.14±0.4	32.34±0.13	33.33±0.18	34±0.73	32.54±0.52
	B_4	20.4±0.11	21.89±0.04	20.64±0.5	19.8±0.03	33.59±0.005	32.88±0.59	32.9±0.55	32.16±0.75
S_4	B_1	19.11±0.62	19.83±0.58	19.93±0.07	19.24±0.04	31.85±0.24	31.51±0.44	31.37±0.13	30.95±0.29
	B_2	18.92±0.07	20.07±0.41	19.09±0.21	19.87±0.21	32.11±0.4	31.36±0.1	32.23±0.04	30.92±0.06
	B_3	18.46±0.4	18.44±0.03	18.73±0.12	19.97±0.08	30.93±0.01	31.2±0.03	30.58±0.14	30.51±0.13
	B_4	19.3±0.38	19.87±0.67	17.76±0.13	19.21±0.16	31.38±0.09	31.02±0.13	32.23±0.45	30.12±0.12
LSD		0.05	0.7676			0.4805			

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۲۵ میلی‌مولار، ۵۰ میلی‌مولار و ۷۵ میلی‌مولار

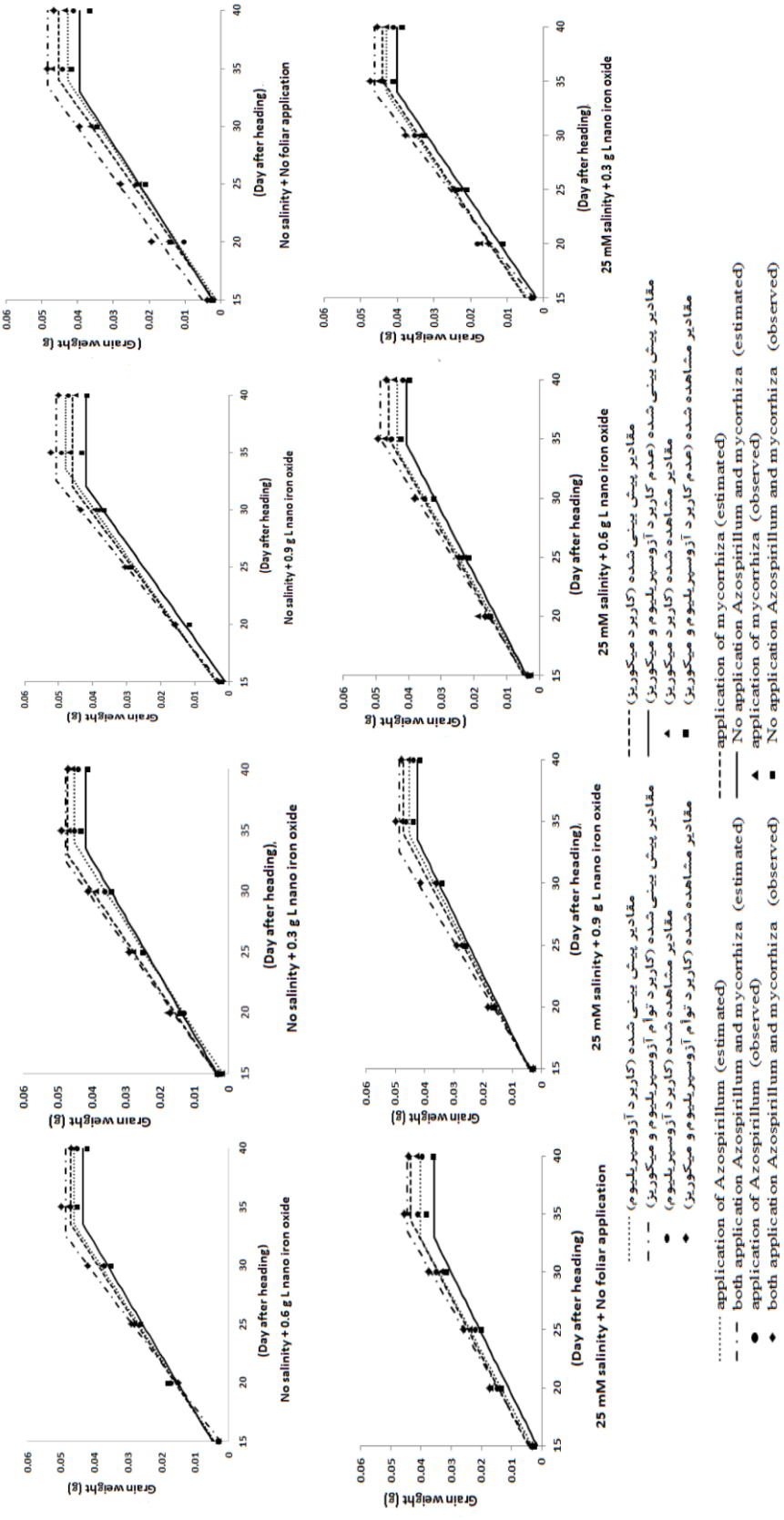
B_1 ، B_2 ، B_3 و B_4 به‌ترتیب کاربرد آزوسپریلیوم، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز، عدم کاربرد کودهای زیستی

F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ گرم در لیتر و عدم محلول‌پاشی نانواکسید آهن

S1, S2, S3 and S4 are no-salt (control), salinity 25, 50 and 75 mM NaCl, respectively

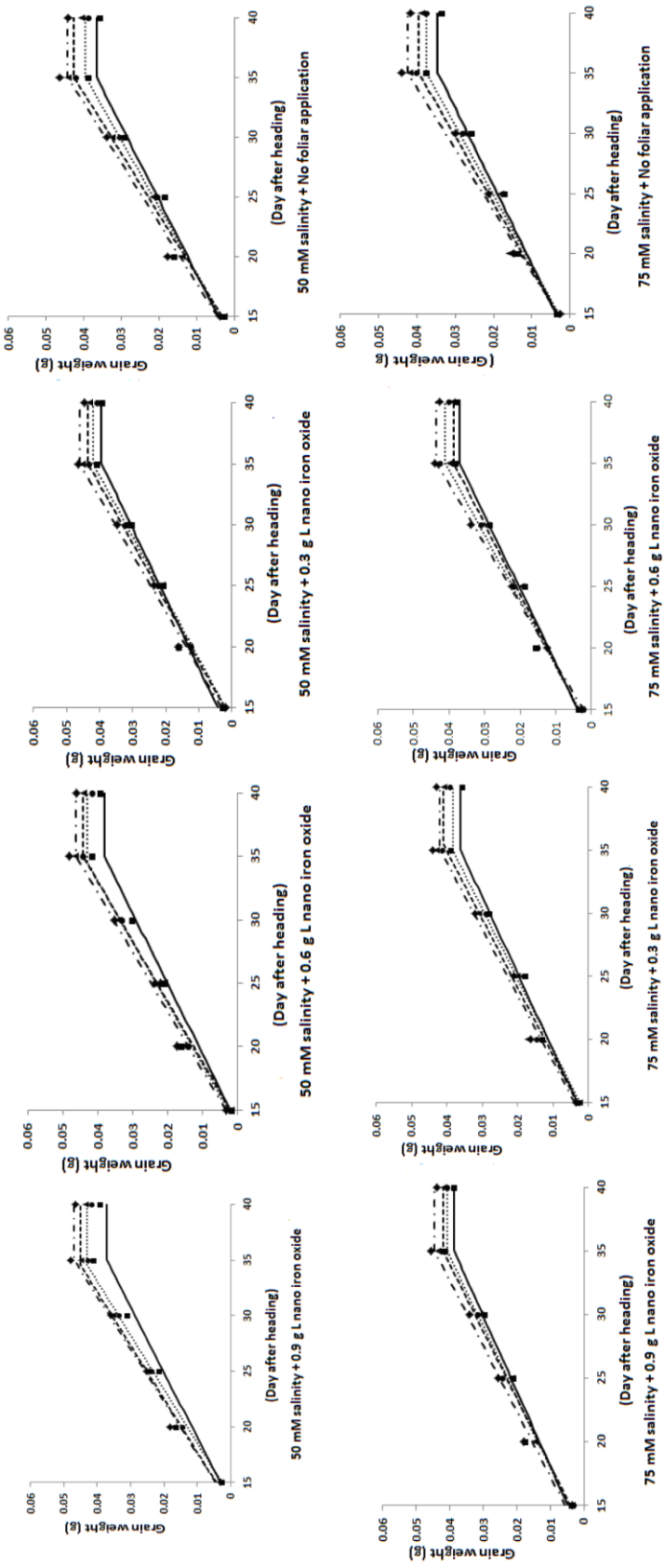
B1, B2, B3 and B4 are application of Azospirillium, mycorrhiza, both applications Azospirillum and mycorrhiza, no biofertilizers respectively.

F1, F2, F3 and F4 are 0.3, 0.6, 0.9 g L^{-1} and without nano Fe oxide as control respectively



شکل ۱- تأثیر نانواکسید آهن، کودهای زیستی و شوری بر پر شدن دانه جو

Figure 1- Effect of Nano iron oxide, bio fertilizers and salinity stress on grain filling of barley



ادامه شکل ۱ – تأثیر نانواکسید آهن، کودهای زیستی و شوری بر پر شدن دانه جو

Figure 1 continue- Effect of Nano iron oxide, bio fertilizers and salinity stress on grain filling of barley

ارتفاع بوته و طول سنبله: بیش‌ترین ارتفاع بوته و طول سنبله (به‌ترتیب ۷۵ و ۷/۶۳ سانتی‌متر) در ترکیب تیماری عدم شوری، استفاده توام میکوریز و آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن و کم‌ترین آن (۴۱/۶۶ سانتی‌متر) در عدم مصرف کودهای زیستی، عدم استفاده از نانواکسید آهن و شوری ۷۵ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۵). جعفری و همکاران (Jafari *et al*,. 2014) اظهار داشتند که تنش شوری موجب کاهش ارتفاع بوته و کاربرد باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش ارتفاع بوته شد. لیندرمن (Linderman, 1992) گزارش کرد که درکاربرد توام قارچ با باکتری، میکوریز با تشدید فعالیت باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش رشد اندام‌های هوایی و ارتفاع بوته گیاهان می‌شود. جفریس و همکاران (Jeffries *et al.*, 2003) اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد به دلیل تشدید رشد ریشه و کمک به جذب بهینه آب و مواد غذایی و قارچ با گسترش هیف‌های خود و نفوذ بهتر آن‌ها در خاک موجب می‌شود که به دلیل دسترسی بهتر گیاه به آب و مواد غذایی، ارتفاع بوته و رشد گیاه افزایش یابد. اردکانی و همکاران (Ardakani *et al.*, 2001) افزایش طول سنبله گندم را در مقایسه با شاهد در اثر تلقیح با آزوسپیریلیوم به افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌واسطه توسعه بیشتر ریشه‌ها در اثر تولید هورمون‌های گیاهی و همچنین انجام فرآیند تثبیت بیولوژیک نیتروژن نسبت دادند.

تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه (به‌ترتیب ۲۸ و ۴/۵۴ گرم) در شرایط عدم اعمال شوری، کاربرد توأم میکوریز و آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن و کمترین این صفات (۱۲/۳۳ و ۳/۳۷ گرم) در شوری ۷۵ میلی‌مولار، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۵). نصیر (Naseer, 2001) گزارش کرد که شوری، عملکرد و اجزای عملکرد جو از جمله تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را کاهش داد. حکم علی‌پور و سید شریفی (Hokmalipour and Seyed Sharifi, 2015) افزایش تعداد پنجه در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و در نهایت افزایش عملکرد گندم بر اثر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد را گزارش کردند. عمو آقایی و همکاران (Amu aghayi *et al.*, 2003) نشان دادند که تلقیح گندم با آزوسپریلیوم نسبت به حالت عدم تلقیح، تعداد دانه در سنبله را افزایش داد. آنان علت را به توان تثبیت زیستی نیتروژن، گستردگی سطح ریشه، کمک به جذب بهینه آب و عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد و برخی ویتامین‌ها توسط این باکتری نسبت دادند. همانتارانج و گرگ (Hemantaranj and Grag, 1988) نشان دادند که مصرف آهن و روی موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه شد. آنان اعلام نمودند که بر اثر مصرف این عناصر مقدار کل کربوهیدرات، نشاسته و پروتئین دانه افزایش یافت و با افزایش کربوهیدرات، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله بالا رفته و در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه گردید.

عملکرد تک بوته: نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد (۲/۰۴ گرم در بوته) در عدم اعمال شوری، کاربرد توأم میکوریز و آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن و کمترین آن (۱/۳۲ گرم در بوته) در شوری ۷۵ میلی‌مولار، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۶). کاهش عملکرد با افزایش سطح شوری توسط شهیدی و همکاران (Shahidi *et al*., 2010) نیز گزارش شده است. از آن‌جایی‌که عملکرد دانه تابعی از اجزای عملکرد مانند تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، طول سنبله و وزن صد دانه می‌باشد، به نظر می‌رسد افزایش معنی‌دار این صفات تحت تأثیر ترکیب تیماری عدم شوری، کاربرد توأم کودهای زیستی (آزوسپریلیوم و میکوریز) و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن موجب افزایش عملکرد دانه شده است. همچنین بخشی از تغییرات در روند عملکرد دانه را می‌توان به سرعت و طول دوره پر شدن دانه نسبت داد. بدین صورت که در حالت عدم اعمال شوری، سرعت و طول دوره پر شدن دانه افزایش یافت و این امر موجب شد که مواد بیشتری در دانه‌ها ذخیره شده و از این طریق موجب افزایش وزن دانه و عملکرد دانه شود. در شرایط شوری و عدم اعمال شوری، بالا بودن محتوای کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید در حالت کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن نیز می‌تواند بخشی از افزایش عملکرد را توصیف نماید. کودهای زیستی از طریق ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آن‌ها، افزایش حفظ سلامتی ریشه در طول دوره رشد در رقابت با پاتوژن‌های ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی موجب رشد گیاه شده و از این طریق به افزایش عملکرد کمک می‌کنند (Roesty *et al*., 2006). رایت و همکاران (Wright *et al*., 1998) اظهار داشتند که کربن اضافی تثبیت‌شده توسط گیاهان میکوریزایی شده به قارچ‌های میکوریزا تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسیمیلات‌ها، موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می‌کنند. فتحی و عنایت قلی‌زاده (Fathi and Enayat, Ghalyzadeh 2009) بیان داشتند که کاربرد ریزمغذی آهن موجب افزایش عملکرد دانه جو گردید.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر نانواکسید آهن، کودهای زیستی و شوری بر محتوای کلروفیل و کارتینوئید جو

Table 4- Means comparison of the effects of Nano Fe oxide, bio-fertilizers and salinity on Chlorophyll a and b content of barley

شوری	کود زیستی	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g^{-1} FW)				کلروفیل b Chlorophyll b (mg g^{-1} FW)			
Salinity	Bio fertilizer	Fe levels سطوح آهن				Fe levels سطوح آهن			
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_1	F_2	F3	F4
S_1	B_1	1.21±0.06	1.37±0.03	1.67±0.15	1.16±0.03	0.43±0.05	0.47±0.005	0.5±0.05	0.42±0.04
	B_2	1.34±0.1	1.4±0.02	1.76±0.05	1.15±0.07	0.44±0.01	0.46±0.03	0.61±0.02	0.43±0.02
	B_3	1.42±0.04	1.44±0.03	1.87±0.04	1.34±0.02	0.52±0.01	0.59±0.02	0.68±0.01	0.48±0.05
	B_4	1.12±0.02	1.11±0.04	1.47±0.13	1.02±0.01	0.4±0.02	0.39±0.03	0.41±0.02	0.38±0.03
S_2	B_1	1.2±0.08	1.28±0.09	1.52±0.01	1.01±0.05	0.33±0.05	0.37±0.01	0.38±0.03	0.32±0.04
	B_2	1.2±0.08	1.32±0.05	1.54±0.05	1.09±0.1	0.34±0.04	0.39±0.01	0.37±0.01	0.32±0.05
	B_3	1.31±0.11	1.43±0.09	1.68±0.01	1.12±0.01	0.4±0.03	0.37±0.02	0.43±0.02	0.36±0.03
	B_4	0.96±0/03	1.12±0.02	1.16±0.05	0.9±0.01	0.31±0.03	0.32±0.005	0.37±0.04	0.29±0.02
S_3	B_1	0.92±0.03	1.12±0.05	1.22±0.07	0.87±0.01	0.26±0.03	0.22±0.02	0.28±0/04	0.21±0.03
	B_2	0.94±0.04	1.24±0.05	1.29±0.16	0.85±0.01	0.22±0.01	0.28±0.005	0.27±0.01	0.2±0.005
	B_3	1.12±0.02	1.32±0.06	1.26±0.05	0.91±0.06	0/3±0.03	0.31±0.03	0.34±0.05	0.26±0.06
	B_4	0.91±0.07	0.93±0.12	1.08±0.03	0.77±0.03	0.2±0.01	0.21±0.01	0.21±0.02	0.18±0.01
S_4	B_1	0.69±0.05	1.01±0.07	1.06±0.01	0.65±0.06	0.14±0.05	0.19±0.01	0.15±0.01	0.14±0.03
	B_2	0.68±0.35	1.02±0.03	1±0.19	0.62±0.06	0.17±0.05	0.16±0.01	0.18±0.005	0.14±0.005
	B_3	0.83±0.01	1.1±0.02	1.18±0.03	0.81±0.03	0.17±0.01	0.18±0.02	0.2±0.005	0.17±0.01
	B_4	0.66±0.03	0.69±0.07	0.87±0.07	0.59±0.05	0.13±0.005	0.14±0.005	0.16±0.005	0.12±0.005
LSD 0.05			0.1044				0.0378		

continue of Table 4 **ادامه جدول ۴**

شوری	کود زیستی	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g^{-1} FW)				کاروتنوئید Carotenoid (mg g^{-1} FW)			
Salinity	Bio fertilizer	Fe levels سطوح آهن				Fe levels سطوح آهن			
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_1	F_2	F_3	F_4
S_1	B_1	1.64±0.01	1.84±0.02	2.18±0.21	1.58±0.1	0.42±0.01	0.55±0.02	0.5±0.02	0.4±0.01
	B_2	1.78±0.08	1.86±0.01	2.38±0.07	1.58±0.02	0.43±0.01	0.45±0.02	0.57±0.03	0.39±0.01
	B_3	1.94±0.05	2.03±0.01	2.55±0.05	1.83±0.03	0.56±0.02	0.55±0.03	0.6±0.01	0.51±0.03
	B_4	1.53±0.005	1.5±0.07	1.88±0.15	1.4±0.02	0.4±0.02	0.41±0.03	0.51±0.01	0.38±0.01
S_2	B_1	1.54±0.08	1.64±0.09	1.9±0.04	1.33±0.05	0.35±0.01	0.43±0.02	0.48±0.04	0.3±0.005
	B_2	1.54±0.08	1.72±0.02	1.91±0.04	1.41±0.1	0.35±0.01	0.49±0.02	0.42±0.005	0.33±0.01
	B_3	1.72±0.15	1.8±0.07	2.11±0.03	1.48±0.04	0.48±0.004	0.43±0.04	0.54±0.01	0.41±0.02
	B_4	1.27±0.06	1.44±0.01	1.53±0.05	1.19±0.02	0.3±0.005	0.36±0.004	0.44±0.07	0.3±0.005
S_3	B_1	1.18±0.04	1.44±0.09	1.41±0.01	1.09±0.02	0.28±0.01	0.3±0.005	0.33±0.01	0.23±0.005
	B_2	1.17±0.03	1.53±0.05	1.56±0.17	1.06±0.01	0.29±0.04	0.32±0.03	0.36±0.02	0.24±0.01
	B_3	1.42±0.1	1.63±0.03	1.6±0.1	1.17±0.03	0.32±0.02	0.34±0.005	0.4±0.09	0.29±0.01
	B_4	1.11±0.08	1.15±0.11	1.29±0.01	0.94±0.02	0.25±0.02	0.25±0.03	0/35±0.07	0.21±0.005
S_4	B_1	0.84±0.06	1.2±0.05	1.21±0.02	0.79±0.06	0.13±0.007	0.16±0.04	0.25±0.03	0.12±0.003
	B_2	0.86±0.03	1.18±0.04	1.18±0.18	0.77±0.05	0.17±0.02	0.25±0.04	0.26±0.06	0.15±0.01
	B_3	1.01±0.03	1.28±0.04	1.38±0.05	0.98±0.04	0.23±0.02	0.28±0.05	0.29±0.04	0.19±0.005
	B_4	0.79±0.02	0.84±0.07	1.04±0.07	0.72±0.05	0.14±0.02	0.13±0.01	0.17±0.05	0.11±0.005
LSD 0.05			0.1123					0.0497	

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۲۵ میلی‌مولار، ۵۰ میلی‌مولار و ۷۵ میلی‌مولار B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب کاربرد آزوسپریلیوم، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز، عدم کاربرد کودهای زیستی F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ گرم در لیتر و عدم محلول‌پاشی نانواکسید آهن

S1, S2, S3 and S4 are no-salt (control), salinity 25, 50 and 75 mM NaCl, respectively.

B1, B2, B3 and B4 are application of Azospirilium, mycorrhiza, both applications Azospirillum and mycorrhiza, no biofertilizers

F1, F2, F3 and F4 are 0.3, 0.6, 0.9 g L^{-1} and without nano Fe oxide as control respectively respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نانواکسید آهن، کودهای زیستی و شوری بر ارتفاع بوته و طول سنبله تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه جو

Table 5- Means comparison of the effects of Nano Fe oxide, bio-fertilizers and salinity on plant height, spike length, number of grain per spike and 100 grains weight of barley

شوری Salinity	کود زیستی Bio fertilizer	طول سنبله Spike length (cm)				ارتفاع بوته Plant height (cm)			
		سطوح آهن Fe levels				سطوح آهن Fe levels			
		F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
S_1	B_1	7.16±0.15	7.2±0.2	7.63±0.15	6.6±0.1	67.66±0.57	71±1	69±1	56.66±0.57
	B_2	7.16±0.15	7.16±0.15	7.26±0.05	6.66±0.15	70±1	68.66±0.57	70.66±0.57	68±1
	B_3	7.2±0.13	7.6±0.17	7.56±0.05	7.16±0.15	72±1	73±1	75±1.1	71±1.1
	B_4	6.66±0.12	6.56±0.05	6.66±0.15	6.26±0.05	68±1.1	67±1	69±1	65.66±1.2
S_2	B_1	6.46±0.02	6.66±0.14	7.06±0.11	6.2±0.2	60±1.2	61.66±0.57	62.66±0.57	61.66±1.32
	B_2	6.16±0.15	6.26±0.05	6.56±0.13	6.16±0.15	60.66±0.57	62.66±1.2	64.66±1.52	58.33±1.52
	B_3	6.6±1	6.9±0.1	7±0.17	6.6±0.1	60.66±0.57	63.66±0.52	64.66±1.52	61.66±1.52
	B_4	6.1±0.12	6.3±0.1	6.6±0.1	6.1±0.1	59.66±0.57	60.33±0.85	61.66±1.52	56.33±0.55
S_3	B_1	6.1±0.1	6.1±0.5	6.5±0.4	5.9±0.1	53.33±1.52	54.33±1.52	54.66±0.57	52±2
	B_2	6.1±0.1	6.1±0.15	6.1±0.1	5.66±0.15	55.66±1.1	58.33±0.57	59.33±0.48	52.33±1.4
	B_3	6.6±0.1	6.66±0.15	6.3±0.36	6.16±0.15	58.33±1.5	59.33±0.69	60.33±1.52	56.33±0.45
	B_4	5.66±0.12	5.6±0.1	6.16±0.15	5.26±0.17	53.33±1.22	54.33±0.55	52.33±0.52	51.33±1.52
S_4	B_1	5.66±0.12	5.7±0.2	6.2±0.2	5.16±0.15	46±1	48±1	48.33±1.02	45±1
	B_2	5.1±0.1	5.66±0.13	5.36±0.15	5.06±0.25	48±0.5	49±1	48.66±0.57	45±0.57
	B_3	5.96±0.15	5.96±0.15	6.16±0.12	5.66±0.15	52.33±1.52	51.33±1.52	53.33±1.52	45±1
	B_4	4.9±0.2	4.66±0.15	5.16±0.12	4.16±0.15	43±1.1	45±1.1	47±1	41.66±1.52
LSD 0.05				0.1275				1.7375	

ادامه جدول ۵ **continue of Table 5**

شوری Salinity	کود زیستی Bio fertilizer	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike				وزن صد دانه 100 grains weight (g)			
		سطوح آهن Fe levels				سطوح آهن Fe levels			
		F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
S1	B1	24±1	24±1	26±1	22±1	4.15±0.15	4.44±0.15	4.24±0.15	4.04±0.15
	B2	24±1	25±0.55	24±1.1	21.66±0.57	4.35±0.14	4.34±0.16	4.54±0.16	4.36±0.14
	B3	25±1	26±1	28±0.85	24±1	4.34±0.17	4.44±0.16	4.44±0.16	4.39±0.16
	B4	21.66±0.57	22±1	25±1	20.66±0.57	4.17±0.12	4.24±0.15	4.06±0.13	3.95±0.14
S2	B1	19±1	20.66±0.57	23±1	20±1.1	4.05±0.15	4.2±0.1	4.15±0.15	3.87±0.13
	B2	20.66±0.57	21.66±1.52	21.66±0.57	19.66±0.95	4.05±0.14	4.07±0.13	4.42±0.17	4.03±0.14
	B3	20.66±0.57	23±1	24±1	19.66±0.57	4.45±0.15	4.24±0.15	4.23±0.16	3.95±0.14
	B4	18.66±0.57	17.66±0.67	20.66±0.77	19±1.3	3.86±0.13	4.15±0.15	3.96±0.14	3.77±0.12
S3	B1	17.66±0.59	18.66±0.57	19.66±0.57	15.66±0.57	3.76±0.13	4.16±0.13	4.05±0.14	3.67±0.13
	B2	17±0.55	18.66±0.57	19±1	16.66±0.57	4.04±0.16	4.15±0.15	4.23±0.16	3.95±0.14
	B3	19±1	19.66±0.57	21.66±0.57	17.66±0.66	4.17±0.12	4.24±0.15	4.34±0.15	3.97±0.13
	B4	15.66±0.57	16.66±0.57	17.66±0.57	15.66±1.4	3.86±0.14	3.77±0.13	3.86±0.14	3.66±0.13
S4	B1	15.66±0.57	16±1	14.33±1.2	14.33±0.57	3.67±0.12	3.66±0.13	4.05±0.15	3.58±0.12
	B2	14.66±0.57	13.33±0.47	15±1	14.33±0.87	3.87±0.12	3.89±0.1	4.05±0.14	3/76±0.13
	B3	17±1	14.33±0.57	16.66±0.57	18.66±0.69	3.97±0.13	3.95±0.14	3..94±0.15	3.95±0.14
	B4	14.33±0.57	13.33±0.69	13.33±0.57	12.33±0.57	3.49±0.11	3.57±0.13	3.48±0.11	3.37±0.12
LSD 0.05				1.1372				0.0253	

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۲۵ میلی‌مولار، ۵۰ میلی‌مولار و ۷۵ میلی‌مولار B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب کاربرد آزوسپریلیوم، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز، عدم کاربرد کودهای زیستی F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ گرم در لیتر و عدم محلول‌پاشی نانواکسید آهن

S1, S2, S3 and S4 are no-salt (control), salinity 25, 50 and 75 mM NaCl, respectively. B1, B2, B3 and B4 are application of F1, F2, F3 and F4 are 0.3, Azospirilium, mycorrhiza, both applications Azospirillum and mycorrhiza, no biofertilizers respectively. 0.6, 0.9 g L^{-1} and without Nano Fe oxide as control respectively

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر نانواکسید آهن، کودهای زیستی و شوری بر عملکرد دانه جو

Table 6- Means comparison of the effects of Nano Fe oxide, bio-fertilizers and salinity on grain yield of barley

شوری Salinity	عملکرد دانه Grain yield (g per plant)				
	کود زیستی Bio fertilizer	سطوح آهن Fe levels			
		F1	F2	F3	F4
S1	B1	1.936±0.024	1.987±0.035	1.988±0.032	1.871±0.016
	B2	1.872±0.03	1.937±0.022	1.931±0.031	1.855±0.018
	B3	1.993±0.033	2.02±0.028	2.04±0.035	1.977±0.036
	B4	1.853±0.025	1.848±0.028	1.915±0.025	1.831±0.028
S2	B1	1.842±0.032	1.823±0.028	1.844±0.029	1.786±0.026
	B2	1.834±0.026	1.892±0.028	1.87±0.029	1.801±0.031
	B3	1.868±0.031	1.904±0.031	1.914±0.03	1.833±0.035
	B4	1.737±0.027	1.748±0.021	1.831±0.028	1.712±0.026
S3	B1	1.511±0.023	1.542±0.027	1.53±0.025	1.445±0.023
	B2	1.486±0.022	1.522±0.027	1.532±0.026	1.484±0.021
	B3	1.571±0.024	1.573±0.028	1.586±0.031	1.568±0.027
	B4	1.44±0.018	1.425±0.022	1.459±0.025	1.408±0.022
S4	B1	1.382±0.02	1.438±0.024	1.47±0.024	1.365±0.025
	B2	1.42±0.022	1.43±0.017	1.423±0.023	1.4±0.02
	B3	1.505±0.025	1.494±0.026	1.524±0.026	1.477±0.026
	B4	1.353±0.017	1.408±0.022	1.382±0.02	1.32±0.02
LSD 0.05			0.0075		

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۲۵ میلی‌مولار، ۵۰ میلی‌مولار و ۷۵ میلی‌مولار B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب کاربرد آزوسپریلیوم، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم آزوسپریلیوم و میکوریز، عدم کاربرد کودهای زیستی F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ گرم در لیتر و عدم محلول‌پاشی نانواکسید آهن

S1, S2, S3 and S4 are no-salt (control), salinity 25, 50 and 75 mM NaCl, respectively.

B1, B2, B3 and B4 are application of Azospirilium, mycorrhiza, both applications Azospirillum and mycorrhiza, no biofertilizers

F1, F2, F3 and F4 are 0.3, 0.6, 0.9 g L^{-1} and without nano Fe oxide as control respectively respectively.

نتیجه‌گیری

با افزایش شوری عملکرد، اجزای عملکرد، سرعت و طول دوره پر شدن دانه جو در شرایط کنترل شده گلخانه کاهش یافت. کاربرد کودهای زیستی و نانواکسید آهن در مقایسه با عدم کاربرد و عدم محلول‌پاشی منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه جو گردید. نتایج نشان داد که اعمال شوری ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار نسبت به حالت عدم اعمال شوری عملکرد دانه را به‌ترتیب ۵/۲۳، ۲۱/۹۳ و ۲۶/۱۴ درصد کاهش داد و استفاده توأم کودهای زیستی و نانواکسید آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن‌ها در سطح شوری ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار به‌ترتیب ۱۱/۷۹، ۱۲/۶۴ و ۱۵/۴۵ درصد از کاهش عملکرد را جبران کردند. به نظر می‌رسد کاربرد توأم میکوریز با آزوسپریلیوم و محلول‌پاشی با نانواکسید آهن با تعدیل اثرات شوری می‌تواند در بهبود عملکرد، سرعت و طول دوره پر شدن دانه حتی در شرایط تنش شوری موثر واقع شود.

References

1. Ali-Dinar, H. M., Ebert, G., and Ludders, P. 1999. Growth, chlorophyll content, photosynthesis and water relationsin guava (*Psidium guajava* L.) under salinity and different nitrogen supply. Gartenbauwissenschaft 64 (2): 54-59.
2. Amu Aghayi, R., Mostageran, A., and Emtiyazy, G. 2003. Effect of Azospirillum on some growth and yield indices of three wheat cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology 2: 127-138. (in Persian with English abstract).
3. Ardakani, M. R., Majid, F., Mazaheri, D., and Noor Mohammadi, Gh. 2001. Evalution of azospirillum, mycorrhiza and streptomycin efficiency with manure utilization in Wheat by using 32P. Iranian Journal of Crop Sciences 3 (1): 56-69. (in Persian with English abstract).
4. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology 24 (1): 1-15.
5. Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A., and Khalilzadeh, R. 2017. Effects of bio fertilizer and nano Zn- Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Journal of Plant Interactions 12 (1): 381-389.

6. Behl, R. K., Sharma, H., Kumar, V., and Narula, N. 2003. Interaction between mycorrhiza, azotobacter chroococcum and root characteristics of wheat varieties. Journal of Agronomy and Crop Science 89: 151-155.
7. Cakmakci, R. I., Donmez, M. F., and Erdogan, U. 2007. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barely seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. Turkish Journal of Agriculture 31: 189-199.
8. Ellis, H. R., and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Science Research 2: 19-25.
9. Fahad, S., Ahmad, M., Akbar Anjum, M., and Hussain, S. 2014. The effect of micronutrients (B, Zn and Fe) foliar application on the growth, flowering and corm production of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) in calcareous soils. Journal of Agricultural Science and Technology 16: 1671-1682.
10. Fathi, Gh., and Enayat Gholizadeh, M. A. 2009. Effect of iron, zinc and copper on growth and yield of barley cultivars in Khuzestan Climate condition. Journal of Plant Physiology 1 (1): 41-28. (in Persian with English abstract).
11. Francois, L. E., Grieve, C., Mass, E. V., and Lesch, S. M. 1994. Time of salt stress affects growth and yield components of irrigated wheat. Agronomy Journal 86: 100-107.
12. Galavi, M., Ramroudi, M., and Tavassoli, A. 2012. Effect of micronutrients foliar application on yield and seed oil content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). African Journal of Agricultural Research 7 (3): 482-486.
13. Ghafari, H., and Razmjoo, J. 2013. Effect of foliar application of nano-iron oxidase, iron chelate and iron sulphate rates on yield and quality of wheat. International Journal of Agronomy and Plant Production 4 (11): 2997-3003.
14. Gianinazzi, S., Schuepp, H., Barea, J. M. and Haselwandter, K. 2001. Mycorrhizal technology in agriculture: from genes to bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 376436858. Also in: Mycorrhiza, 13: 53-54. Lovato, P. Book review.
15. Grover, M., Ali, S. K., Sandhya, Z., Abdul Rasul, V., and Venkateswarlu, B. 2010. Role of microorganisms in adaption of agriculture crops to abiotic stresses. World Journal of Microbiology and Biotechnology 27 (5): 1231-1240.
16. Hadi, H., Seyed Sharifi, R., and Namvar, A. 2016. Phytoprotectants and Abiotic Stresses. Urmia University press 341 pp. (in Persian).
17. Haghbahary, M., Seyed Sharifi, R. 2011. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, rate and grain filling period of wheat under different levels of soil salinity. Environmental stresses in Crop Sciences 6 (1): 65-75. (in Persian with English abstract).
18. Han, H. S., and Lee, K. D. 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of Lettuce under soil salinity. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 1: 210-215.
19. Hemantaranj, A., and Grag, O. K. 1988. Iron and iron fertilization with reference to the grain quality of *triticum eastivum* L. Journal of Plant Nutrition 11 (6-11): 1439-1450.
20. Hokmalipour A., and Seyed Sharifi, R. 2015. The effects of seed inoculation by plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on dry matter remobilization on spring barley at different levels of nitrogen and phosphorus. Journal of Soil Science (Soil and Water Science) 29 (4): 407-425. (in Persian with English abstract).
21. Jafari, P., Leather, M., Enayati Zamir, N., and Motamedi, H. 2014. Effect of two isolates of salinity resistant bacteria on barley growth in different levels of soil salinity. Journal of Soil Biology 2 (2): 187-196. (in Persian with English abstract).
22. Jeffries, P., Gianinazi, S., Perotto, S., Turnau, K., and Barea, J. M. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Biology and Fertility of Soils 37: 1-16.
23. Khalafallah, A. A., and Abo-Ghalia, H. H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4: 559-569.
24. Khan, N. A. 2003. NaCl inhibited chlorophyll synthesis and associated changes in ethylene evolution and antioxidative enzymes activities in wheat. Biologia Plantarum 47: 437-440.
25. Kumari, S. L., and Valarmathi, G. 1998. Relationship between grain yield grain filling rate and duration of grain filling in rice. Madras Agricultural Journal 85: 210-211.
26. Levent Tuna, A., Kaya, C., Dicilitas, M., and Higgs, D. 2008. The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. Environmental and Experimental Botany 62: 1-9.
27. Linderman, R. G. 1992. Vesicular–arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions. In: Bethlenfalvay, G.J., Linderman, R.G, editors. Mycorrhizae in sustainable agriculture. Madison, Wis: ASA. Pp: 1-26.
28. Mouk, B. O. and Ishii, T. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth and nutrient uptake of Sclerocarya birrea under water stress, salt stress and flooding. Journal of the Japanese Society of Horticulture Science 75: 26-31.

29. Naderi, M. R., and Abedi, A. 2012, Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. Nanotechnology Journal 11 (1): 18-26.
30. Naseer, S. H. 2001. Response of barley (*Hordeum vulgare* L.) at variouse growth stages to salt stress. Journal of Biological Science 1: 326-329.
31. Parvazi Shandi, S., Pazoki, A., Asgharzadeh, A., Azadi, A., and Paknejad, F. 2013. Effect of irrigation interval, humic acid and plant growth promoting rhizobacteria on physiological characteristics of Kavir cultivar wheat, Journal of Plant Physiology 5 (18): 19-33. (in Persian with English abstract).
32. Pinto, A., Mota, M., and Varennes, A. 2005. Influence of organic matter on the uptakc of zinc, copper and iron by Sorghum plants. Science Total Environment 326: 239-247.
33. Roesty, D., Gaur, R., and Johri, B. N. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. Soil Biology and Biochemistry 38: 1111-1120.
34. Ronanini, D. R., Savin, R., and Hall, A. J. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annus* L.) exposed to brif interval of high temperature during grain filling. Field Crops Research 83: 79-90.
35. Seyed Sharifi, R., and Namvar, A. 2015. Biofertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardabili press. 280 pp. (in Persian).
36. Shaharoona, B., Arshad, M., and Zahir, Z. A. 2006. Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation in mung bean (*Vigna radiata* L.). Letters in Applied Microbiology 42 (2): 155-159.
37. Shahidi, R., Kamkar, B., Latifi, N., and Golshi, S. 2010. Effect of different salinity levels and exposure times on individual's seed yield and yield components of hull-less barley (*Hordeum vulgare* L.). Electronic Journal of Crop Production 3 (2): 63-49. (in Persian with English abstract).
38. Speedkar, Z., Yarnia, M., Ansari, M. H., Mirashkari, B., and Asadi Rahmani, H. 2016. The Effects of mycorrhizal fungus on the ecophysiological characteristics of barley cultivars in response to inoculation with pseudomonas fluorescent under rain fed conditions. Journal of Plant Physiology 8 (30): 21-38. (in Persian with English abstract).
39. Sultana, N., Ikeda, T., and Itot, R. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environmental and Experimental Botany 42: 211-220.
40. Swiader, J. M. 2000. Micronutrient fertilizer recommendation for vegetable Crop, Horticulture Facts 21-35.
41. Taiz, L., and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology, Third edition. Sunderland: Sinauer Associates. 690 pp.
42. Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K. M., and Turan, M. 2008. Effect of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptake in chick pea (*Cicer aretinum* L.). African Journal of Biotechnology 7: 776-782.
43. Tsuno, Y., Yamaguchi, T., and Nakano, J. 1994. Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of source-sink relationships and the role of root respiration in its relationship. Bull. Faculty of Agricultural. Tottori University. 47: 1-10.
44. Wright, D. P., Scholes, J. D., and Read, D. J. 1998. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *trifolium repense* L. Plant, Cell and Environment 21: 209-216.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 493-509

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۵۰۹-۴۹۳

Effects of Bio-fertilizer and Nano Iron Oxide on Yield, Chlorophyll Content and Modeling of Some Components of Grain Filling Period of Barley (*Hordeum vulgare* L.) under Salinity Stress Levels

S. Dadashzadeh[1]- R. Seyed Sharifi[2*]- S. Farzaneh[3]

Received: 25-10-2017
Accepted: 15-01-2018

Introduction

Salinity is one of the most important and adverse environmental constraint restricting growth and development of plant particularly in arid and semiarid regions. One approach to improve the salt stress problem is the use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and *Mycorrhiza*. The PGPR are a group of rhizosphere colonizing bacteria that produces substances to increase the growth of plants, synthesize different phytohormones, including auxins, cytokinins, and gibberellins, synthesize enzymes that can modulate plant growth and development. *Arbuscular mycorrhizal* fungi (AMF) symbiosis is considered a valuable component in most agricultural systems due to their role in plant nutrition and soil health. Soil microorganisms such as *Arbuscular mycorrhizal* fungi represents a key link between plants and soil mineral nutrients. Thus, they are collecting growing interest as natural fertilizers. Iron is the third most limiting nutrient for plant growth and metabolism. It is well known that iron is important component of many vital enzymes, and also participates in the synthesis of chlorophyll, indole-3-acetic acid (IAA), electron transport, chlorophyll biosynthesis and photosynthesis, and a structural stabilizer for proteins, membrane and DNA-binding proteins. The problem of soil salinization is a scourge for agricultural productivity worldwide. Iron deficiency also is a common nutritional disorder in many crop plants, resulting in poor yields and reduced nutritional quality. Since, application of bio fertilizers and iron is one of the most important strategies for alleviation of salinity stress effects. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of bio fertilizers and iron on yield, chlorophyll content and some components of grain filling period of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress.

Materials and Methods

A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at research greenhouse of faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili during 2016. Factors experiment were included bio-fertilizers in four levels (non-application of biofertilizer, application of *Azospirilium*, *mycorrhiza* (*Glomus Intraradices*), both application of *mycorrhiza* and *Azospirilium*), foliar application with nano iron oxide at four levels (0, 0.3, 0.6 and 0.9 g l^{-1}), soil salinity in four levels (0, 50, 25 and 75 mM NaCl). A two part linear model was used to quantifying the grain filling parameters. In this study, total chlorophyll, chlorophyll a, b, carotenoid, grain filling components, yield and yield components of barley were investigated. Grain dry weight and number were used to calculate the average grain weight for each sample. Total duration of grain filling was determined for each treatment combination by fitting a bilinear model:

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < T_0 \\ a + bt & t > T_0 \end{cases}$$

Effective grain filling duration (EGFD) was calculated from the below equation: EGFD = the highest grain weight (g)/ratio of grain filling (g day^{-1}).

1- Ph.D student of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2-Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3-Assistance Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: raouf_ssharifi@yahoo.com)

Results and Discussion

Means comparison showed that the highest yield (2.46 g per plant), grain filling rate (0.00279 g day 1), effective grain filling period and grain filling period (39.96 and 26.53 days respectively), chlorophyll a (87.1 mg g 1 FW), chlorophyll b (0.68 mg g 1 FW), total chlorophyll (2.55 mg g 1 FW) and carotenoid (0.6 mg g 1 FW) were obtained at treatment of application Azospirilium, mycorrhiza, 0.9 g l-1 of nano iron oxide under no saline condition. While the lowest amount of traits was obtained in no application of bio fertilizer and nano Fe oxide under on saline condition. Grain yield was decreased in 25, 50 and 75 mM levels by 5.23, 21.93 and 26.14%, respectively. While, application of biofertilizers and nano Fe oxide compensated 11.79%, 12.64% and 15.45% respectively from yield reduction in compared to control.

Conclusions

It seems that, both application of biofertilizers and nano Fe oxide can be suggested as stabilizers stress in barley under soil salinity conditions. So, salinity of 25, 50 and 75 mM NaCl decreased 5.23, 21.93 and 26.14%, respectively from grain yield and application of biofertilizers and nano Fe oxide compensated 11.79%, 12.64% and 15.45% respectively from yield reduction in compared to control.

Keywords: Linear model, Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Mycorrhiza, Photosynthetic Pigments

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۵۲۳-۵۱۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 511-523

برآورد نیاز درجه- روز رشد مراحل فنولوژیک و رشد گل‌گاوزبان در تاریخ و تراکم‌های متفاوت

حدیث حسنوند[1*]- سید عطاءاله سیادت[2]- عبدالمهدی بخشنده[2]- محمدرضا مرادی تلاوت[3]- عادل پشت‌دار[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳

چکیده

به‌منظور برآورد درجه- روز رشد مراحل فنولوژیک و رشد گل‌گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) در تاریخ و تراکم‌های متفاوت، پژوهشی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان اجرا شد. تیمارها شامل تاریخ کاشت به‌عنوان عامل اصلی (۱۵ مهر، ۵ آبان، ۲۵ آبان، ۱۵ آذر و ۵ دی) و تراکم (۶، ۱۰، ۱۴ و ۱۸ بوته در متر مربع) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت از نظر طول دوره‌های مختلف فنولوژیکی معنی‌دار گردید اما اثر تراکم بوته و برهمکنش تیمارها بر این صفت معنی‌دار نبود. بیشترین و کمترین درجه- روز رشد تجمعی از کاشت تا مراحل مختلف رشد به‌ترتیب مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ مهر و ۵ دی بود. با تأخیر در کاشت میانگین تعداد روز و درجه- روز رشد تجمعی در اغلب مراحل فنولوژیک کاهش یافت. تأخیر در کاشت و کاهش تراکم موجب کاهش عملکرد گل گردید. لذا بیشترین عملکرد گل با میانگین ۷۲۰/۷ و ۵۸۶/۲ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب به تاریخ کاشت ۱۵ مهر و تراکم ۱۴ بوته در متر مربع تعلق داشت. همچنین برهمکنش تاریخ کاشت و تراکم بوته بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود. با توجه به همبستگی معنی‌دار عملکرد گل با درجه- روز رشد تجمعی، به‌نظر می‌رسد تنظیم تاریخ کاشت برای دریافت واحد حرارتی برای تکمیل مراحل رشد و نمو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

واژه‌های کلیدی: خوزستان، شاخص سطح برگ، عملکرد گل، نیاز حرارتی، همبستگی

مقدمه

یکی از اهداف اصلی در زراعت‌های نوین، شناخت بهتر رشد و نمو گیاه زراعی برای استفاده بهینه از منابع محیطی و در نتیجه عملکرد بیشتر است. بررسی روند رشد و نمو گیاهان زراعی از جمله گل‌گاوزبان اروپایی در طول فصل رویشی این امکان را به‌وجود می‌آورد که مراحل حساس حیات گیاه به تنش‌های محیطی، شناسایی شده و مدیریت بهینه و به‌هنگام برای آنها در جهت دستیابی به عملکرد بالا انجام شود. از آن‌جایی‌که شرایط آب و هوایی هر منطقه در فصول زراعی مختلف، متغیر است، تعیین زمان مراحل حساس رشد و نمو به شرایط نامطلوب محیطی مشکل می‌باشد. به‌ویژه عامل دمای محیط که تأثیر مهمی بر کلیه مراحل نموی و پدیده‌های فیزیولوژیکی و بیولوژیکی گیاه دارد (Amini *et al*., 2011). در این زمینه شناخت واکنش‌های نموی گل‌گاوزبان اروپایی (*borago officinalis* L.) به دما و نور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گل‌گاوزبان اروپایی گیاهی یکساله، دولپه و متعلق به خانواده بوراژیناسه (*Boraginaceae*) است. منشأ گل‌گاوزبان اروپایی منطقه مدیترانه بوده و در حال حاضر به‌صورت وحشی در کشورهای اروپا و آمریکای شمالی رشد و نمو می‌کند (Naghdi-Badi *et al*., 2012). گل‌گاوزبان دارای خواص دارویی فراوانی است. این گیاه آرام‌بخش است، در کاهش استرس تأثیری فوق‌العاده دارد و غنی از مواد معدنی و سرشار از پتاسیم است. جوشانده آن کاهش‌دهنده تب و نرم‌کننده سینه و دم کرده آن در افزایش شیر مادر مؤثر است (Wettasinghe and Shahidi, 2005).

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۴- کارشناس مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
(*- نویسنده مسئول: (Email: h1167.hasanvand@gmail.com
DOI: 10.22067/gsc.v16i2.68494

تانن‌های موجود در گیاه خاصیت قابض‌کننده دارند و موسیلاژ آن عامل کمپلکس و ضد سرفه می‌باشد. از این گیاه در تسکین درد، برطرف نمودن اختلالات کلیه و مثانه، تصفیه و دهیدروژنه کردن خون، درمان التهاب روده، رماتیسم و عوارض ناشی از یائسگی و برونشیت استفاده می‌کنند (Chung *et al*., 2002).

فاکتورهای آب و هوایی، از جمله عوامل کنترل‌نشده‌ای می‌باشند که تغییرات هر یک از آنها در یک منطقه، باعث تغییرات در رشد و نمو گیاه می‌شوند، بنابراین ضروری است که به‌منظور بهره‌برداری از حداکثر پتانسیل تولید گیاهان، نیاز دمایی مراحل مختلف فنولوژی آنها تعیین گردد (Butler *et al*., 2002). از میان عوامل اقلیمی، رژیم دمایی و نور بیشترین تأثیر را بر مراحل مختلف نمو گیاهان دارد (Al-Doori, 2012). همچنین یکی از روش‌های مطالعه واکنش گیاه به تاریخ کاشت ارزیابی روش واحد دمایی می‌باشد و این روش بر این اساس استوار است که گیاهان برای رشد و نمو و نیز تکمیل دوره‌ی زندگی خود به دماهای معینی نیاز دارند و بر طبق اصل ثبات دما، گیاه زمانی به مرحله معینی از نمو خود می‌رسد که مقدار معینی دما از محیط دریافت کرده باشد، بنابراین در هر مرحله از رشد مقدار گرمای مشخصی که به‌صورت واحد دمایی یا درجه–روز رشد بیان می‌شود، مورد نیاز است و سرعت نمو هر گیاه به دما بستگی دارد (Naderi, 2013). بنابراین موفقیت در کشت و تولید یک محصول معین در یک منطقه تنها به دمای مطلق بستگی ندارد، بلکه به مقدار و مدت استمرار دمای بالا یا پایین و مطلوب که مراحل نمو را تحت تأثیر قرار می‌دهد، فتوپریود و تاریخ کاشت، ارتباط دارد (Amini *et al*., 2011). از مهمترین مزیت‌های تعیین فنولوژی یک گیاه استفاده بهینه از عوامل اکولوژی در جهت افزایش عملکرد آن می‌باشد، زیرا با توجه به آمار هواشناسی در هر منطقه و تعیین نیاز دمایی هر مرحله فنولوژی و کل دوره رشد گیاه می‌توان بسیاری از مسائل به‌زراعی از جمله تاریخ کاشت مناسب، زمان مناسب مبارزه با آفات و بیماری‌ها و تراکم مناسب بوته در بهترین زمان ممکن را تشخیص و به تولید بیشتر محصول دست یافت. تأخیر در کاشت می‌تواند با کاهش طول دوره‌های حساس گیاه مانند گلدهی و پرشدن دانه به کاهش پتانسیل تولید و در نتیجه منجر به کاهش عملکرد گل شود (Koocheki and Nasiri-Mahalati, 1992). ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi *et al*., 2010) نشان دادند که کاهش عملکرد گل در گل‌گاوزبان اروپایی به‌واسطه تأخیر در کاشت مربوط به کاهش یافتن طول دوره رشد است.

تراکم گیاه نیز یکی از مهمترین جنبه‌های زراعی می‌باشد که با اثر مستقیمی که بر جذب انرژی خورشیدی و آب دارد رشد و نمو و عملکرد محصول زراعی را متأثر می‌کند (Salehi and Bohrani, 2000). کاشت محصول در تراکمی بایست صورت گیرد که گیاه به‌خوبی سبز شده، استقرار یافته و در هر یک از مراحل رشد فضای کافی جهت بیشترین استفاده از منابع طبیعی و محیطی را داشته باشد و تا حد امکان با شرایط نامساعد روبه‌رو نشود، بدین ترتیب تعیین تراکم مناسب گیاهی، نیازمند آگاهی کامل از ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مراحل فنولوژیکی گیاه، همچنین ارتباط آن با عوامل محیطی می‌باشد (Khajehpour, 2014). تأثیر تراکم بوته بر روی مراحل فنولوژیکی در گیاهان دارویی همیشه‌بهار (Ameri, 2014) و سیاهدانه (Amir-Moradi and Rezvani-Moghadam, 2011) مورد مطالعه قرار گرفته است. طباطبایی و همکاران (Tabatabaie *et al*., 2015) عقیده داشتند که تراکم کاشت بر عملکرد گل خشک معنی‌دار است. همچنین گزارش کردند که با کاهش فاصله ردیف، عملکرد گل در متر مربع افزایش یافت. به‌طوری که فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر با عملکرد ۷۷۸/۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد گل را در گل‌گاوزبان داشت. در آزمایشی عشوری و همکاران (Ashori *et al*., 2014) اثر تراکم‌های ۲ تا ۸ بوته در متر مربع را روی عملکرد و اجزای عملکرد گل در گل‌گاوزبان اروپایی بررسی کردند. در این آزمایش، تراکم اثر معنی‌داری بر عملکرد گل خشک داشت، به‌طوری که تراکم ۶ بوته در متر مربع بیشترین عملکرد گل (۷۹۱/۲ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد.

با توجه به اینکه پژوهش‌های کمی در مورد ارزیابی گل‌گاوزبان اروپایی انجام شده و تاکنون تحقیقی در مورد ارزیابی صفات فنولوژیک گل‌گاوزبان اروپایی در رابطه با درجه– روز رشد تجمعی در ایران مشاهده نشده، لذا این آزمایش با هدف برآورد درجه– روز رشد مراحل فنولوژیکی و رشد گل‌گاوزبان اروپایی در تاریخ و تراکم‌های متفاوت در شرایط آب و هوایی اهواز، برای استفاده بهینه از عوامل اقلیمی و مدیریت زراعی موفق گل‌گاوزبان اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۶–۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان اجرا گردید. این منطقه با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا قرار دارد که از مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید و متوسط بارندگی منطقه ۱۶۹ میلی‌متر است. اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل پنج تاریخ کاشت (۱۵ مهر، ۵ آبان، ۲۵ آبان، ۱۵ آذر و ۵ دی ماه) و چهار تراکم (۶، ۱۰، ۱۴ و ۱۸ بوته در متر مربع) به‌ترتیب به‌عنوان فاکتور اصلی و فرعی در نظر گرفته شدند. هر کرت، به طول ۳ متر و عرض ۴ متر در نظر گرفته شد. کرت‌های فرعی شامل ۸ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از

یکدیگر بودند. با توجه به آزمون خاک (جدول ۲)، کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل (۷۵ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت پایه و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره بود. یک دوم کود اوره به صورت پایه و مابقی به صورت سرک در مرحله ۶-۴ برگی به خاک افزوده شد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی ایستگاه تحقیقاتی دهخدا طی مدت اجرای آزمایش (سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵)

Table 1- Meteorological data of Dehkhoda research station during the experiment (2016-2017)

ماه Month	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	میانگین دما Mean temperature (°C)	بارندگی Rainfall (mm)	ساعات آفتابی Sunny hours (h)	تبخیر Evaporation (mm)
مهر October	14.1	29	27.8	1.1	8.1	7.5
آبان November	14.1	31.8	23	0	7.6	5.4
آذر December	6.7	21	13.9	0.6	6.7	3.1
دی January	7.6	20.2	13.9	1.2	5.9	2.2
بهمن Febrile	5.6	19.5	12.5	0.2	6.1	2.8
اسفند March	10.1	25.4	17.7	0.4	7.4	1.4
فروردین April	16.5	31	23.8	0.1	5.4	7.1
اردیبهشت May	22	40.5	31.3	0.1	7.3	12.6

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری)

Table 2- Some physic-chemical characteristic of the soil in the field experiment (Depth of soil 0-30 cm)

بافت Texture	پتاسیم قابل جذب Available K ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Available P ($mg\ kg^{-1}$)	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)
Silty clay	214	7.2	0.05	0.76	7.4	3.6

بذور (تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان) در تاریخ‌های مورد نظر با تراکم ذکر شده در بالا در شیارهای ایجاد شده به عمق ۳-۲ سانتی‌متری کشت گردیدند. در مرحله ۵-۴ برگی جهت دستیابی به تراکم‌های مورد نظر بوته‌های سبز شده بر روی ردیف به فاصله ۳۳ سانتی‌متر (تراکم ۶ بوته در متر مربع)، ۲۰ سانتی‌متر (تراکم ۱۰ بوته در متر مربع)، فاصله ۱۴ سانتی‌متر (تراکم ۱۴ بوته در متر مربع) و فاصله ۱۲ سانتی‌متر (تراکم ۱۸ بوته در متر مربع) تنک گردیدند. وجین در طول دوره رشد تا بسته‌شدن کامل سایه‌انداز به‌صورت دستی انجام شد. اولین آبیاری به‌صورت کرتی و بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یکبار تا پایان فصل رشد در هر پنج تاریخ کاشت ادامه یافت.

به‌منظور تعیین تاریخ کاشت دقیق مراحل فنولوژیکی گیاه (شامل تعداد روز و درجه-روز رشد تجمعی از کاشت تا شروع سبزشدن، شروع دو برگی، ظهور ساقه گل‌دهنده، شروع گلدهی، گلدهی کامل، شروع پرشدن دانه، پرشدن کامل و شروع برداشت) در طی فصل رشد در هر کرت فرعی با مراجعه ۳ روز یکبار ثبت گردیدند. سپس در هر کرت ۱۰ بوته به‌عنوان شاخص ثبت مراحل فنولوژیک تعیین و علامت‌گذاری شدند. در هر کرت، تاریخی که در آن مراحل فنولوژیک به بیش از ۵۰ درصد بوته‌های علامت‌گذاری شده مشاهده شد، به‌عنوان آن مرحله ثبت گردید. سپس بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه هواشناسی مقادیر واحد حرارتی با مقیاس درجه-روز رشد با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد:

$$GDD=\sum\left\{\frac{Tmax+Tmin}{2}\right\}-Tb \qquad \text{(معادله ۱)}$$

در این رابطه GDD درجه-روز رشد، Tmax حداکثر دمای روزانه هوا، Tmin حداقل دمای روزانه هوا و Tb دمای پایه گل‌گاوزبان اروپایی (۸ درجه سانتی‌گراد، Derikvandi *et al*., 2013) بود. سپس درجه- روز رشد تجمعی اندازه‌گیری شد (Omidbeige, 2009). برای تعیین ارتفاع بوته، پنج بوته از ردیف‌های وسط کرت مورد شمارش و اندازه‌گیری قرار گرفتند. در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، برگ‌های ۳ بوته جدا گردید و سطح هر کدام از برگ‌ها به‌وسیله دستگاه سطح‌سنج برگی دیجیتالی محاسبه گردید. پس از آن با تقسیم سطح برگ‌های

موردنظر بر سطح زمین نمونه‌برداری شده، شاخص سطح برگ در آن مرحله برای هر کرت آزمایشی محاسبه شد. بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، یک متر مربع از هر کرت انتخاب و عملکرد گل خشک در تراکم و تاریخ‌های مختلف بر حسب کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد.

تجزیه واریانس صفات آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD در سطح آماری پنج درصد انجام گرفت. جهت رسم منحنی‌ها و نمودارها از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۳) استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به درجه- روز رشد تجمعی برخی مراحل فنولوژیک نشان داد که تاریخ‌های مختلف کاشت تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال خطای یک درصد داشتند. در حالی‌که اثر تراکم و اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بوته بر روی هیچ‌کدام از این مراحل تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین صفات فنولوژی نشان داد که درجه- روز رشد تجمعی و تعداد روز از کاشت تا سبزشدن در تاریخ کاشت اول (۱۵ مهر)، به‌ترتیب ۲۰۰/۶ درجه-روز رشد و ۸/۷ روز بوده است و با تأخیر در کاشت (تاریخ کاشت ۵ دی) به ۱۲۶/۶ درجه- روز رشد و ۲۱/۴ روز رسید (جدول ۴). بالاتر بودن میانگین دمای هوا در ابتدای فصل رشد باعث شد که با افزایش دما، نمو تسریع‌یافته و دوره زمانی رشد و نمو کوتاه گردد. در همین رابطه احمدی و همکاران (Ahmadi *et al*., 2012) اعلام نمودند که وقوع مرحله سبزشدن به طول روز، درجه حرارت، شرایط آب و هوایی بستگی دارد و تأخیر در تاریخ کاشت باعث کاهش میزان نیاز حرارتی این مرحله می‌شود. بیشترین درجه- روز رشد تجمعی مرحله ۲ برگ حقیقی با میانگین ۱۴۹/۵ درجه-روز رشد و ۷/۹ روز به تاریخ کاشت ۱۵ مهر تعلق داشت، در حالی که تاریخ کاشت ۵ دی با میانگین ۹۶/۹ درجه- روز رشد و با مدت ۲۴/۴ روز کمترین مقدار این صفت را به خود اختصاص داد. همچنین تاریخ کاشت ۵ دی با تاریخ کاشت ۲۵ آبان در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۴).

در بررسی خصوصیات رویشی و زایشی گل‌گاوزبان اروپایی در شرایط آب و هوایی مشهد، مدت زمان از شروع سبزشدن تا شروع دوبرگ حقیقی را میانگین ۱۵ روز گزارش کرده‌اند (Nasiri *et al*., 2013). جدول مقایسه میانگین نشان داد که بین تاریخ کاشت‌های مختلف میزان درجه- روز رشد در مرحله ظهور ساقه گل‌دهنده متفاوت بوده و حداکثر درجه- روز رشد مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۶۹۵/۸ درجه-روز رشد و ۵۱/۸ روز بود که با تأخیر در کاشت به‌علت کاهش میانگین دمای هوا، میانگین درجه- روز رشد کاهش یافت (جدول ۴). میانگین تعداد روز از مرحله شروع دو برگ حقیقی تا ظهور ساقه گل‌دهنده در شرایط آب و هوایی اهواز، ۵۷ تاریخ‌های کاشت نیز از نظر درجه- روز رشد تجمعی در مرحله زمان گلدهی اختلاف معنی‌داری داشتند. که این امر به‌علت تفاوت در میانگین دما در تاریخ کاشت‌های مختلف بود.

بیشترین درجه- روز رشد تجمعی در زمان گلدهی متعلق به تاریخ کاشت ۱۵ آذر با میانگین ۲۰۷/۴ درجه- روز رشد و تعداد ۱۱/۶ روز و ۱۵ مهر با میانگین ۱۹۸/۹ درجه- روز رشد و تعداد ۳۳ روز بود (جدول ۴). احتمالاً علت این افزایش به دلیل افزایش طول دوره برای تکمیل مراحل فنولوژیکی نبوده بلکه به دلیل برخورد این مرحله با دمای بالاتر در تاریخ کاشت چهارم نسبت به تاریخ کاشت اول است. در شرایط آب و هوایی یاسوج نیز با تأخیر در تاریخ کاشت نسبت به تاریخ کاشت نرمال، به دلیل افزیش دما در مراحل پایانی رشد، رشد رویشی و زایشی گیاه و تعداد روز از کاشت تا رسیدگی، کاهش یافت (Fathi *et al*., 2001). تحقیقات دیگر نیز نشان داد که در مقایسه با تاریخ کاشت‌های دیرتر، دمای تجمعی در بیشتر مراحل فنولوژیکی در تاریخ کاشت نرمال بیشتر است (Sikder, 2009). روز گزارش شده است (Derikvandi *et al*., 2013).

نتایج تاریخ کاشت‌های تأخیری (۱۵ آذر و ۵ دی) نشان داد که با تأخیر در کاشت به‌دلیل کاهش طول دوره رشد، نیاز حرارتی برای مرحله گلدهی کامل کاهش می‌یابد به‌طوری که کمترین درجه- روز رشد تجمعی در این مرحله با میانگین ۱۲۴/۹ درجه- روز رشد به تاریخ کاشت ۵ دی با ۹/۶ روز و بیشترین درجه- روز رشد تجمعی به تاریخ کاشت اول با میانگین ۲۰۰/۳ درجه- روز رشد و متوسط ۲۸ روز تعلق داشت (جدول ۴). در بررسی صفات فنولوژیکی شش توده و دو رقم اصلاح شده گل‌گاوزبان اروپایی در شرایط آب و هوایی اهواز، طول دوره گلدهی کامل ۳۳ روز گزارش گردید (Derikvandi *et al*., 2013).

بر اساس جدول مقایسه میانگین از بین ۵ تاریخ کاشت، تاریخ کاشت ۵ آبان با میانگین ۲۵۷/۳ درجه- روز رشد در مدت ۱۹/۱ روز بیشترین و تاریخ کاشت ۵ دی با میانگین ۱۳۶/۹ درجه- روز رشد در مدت ۸/۳ روز کمترین نیاز حرارتی را در مرحله شروع پرشدن دانه به خود اختصاص دادند (جدول ۴). پایین بودن میانگین درجه- روز رشد تجمعی در این مرحله احتمالاً به‌دلیل کوتاهی دوره رشد مذکور بوده که در روزهای کمتری وارد مرحله پرشدن شده است. در کشت‌های تأخیری، گرمای آخر فصل باعث رسیدگی سریع گیاه، کوتاهی دوره پرشدن دانه و ممانعت از انتقال بهینه مواد فتوسنتزی به دانه‌ها می‌گردد (Khayat, 2009). بیشترین نیاز حرارتی مرحله پرشدن کامل معادل ۶۲۷/۱ درجه- روز رشد در مدت ۲۵/۸ روز در تاریخ کاشت ۱۵ مهر به‌دست آمد و در حالی‌که کمترین این صفات در تاریخ کاشت ۵ دی به‌دست آمد.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در گل‌گاوزبان اروپایی تحت تأثیر تاریخ کاشت و تراکم بوته

Table 3- Analysis of variance (MS) of measured characteristics in borage as affected by sowing date and plant density

		میانگین مربعات (MS)											
منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی d.f	شروع سبز شدن Emergence initiation	شروع ۲ برگ حقیقی 2 true leaves initiation	ظهور ساقه گلدهنده Flowering stem emergence	شروع گلدهی Flowering initiation	گلدهی کامل Full flowering	شروع پرشدن دانه Seed fill initiation	پرشدن کامل Complete fill	شروع برداشت بذر Seed harvesting initiation	کل فصل رشد Total growth season	ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ LAI	عملکرد گل خشک Dried flower
Replication تکرار	2	174.96^{ns}	118.66^{ns}	1689.66^{ns}	139.32^{ns}	186.26^{ns}	224.89^{ns}	868.68^{ns}	51.13^{ns}	5834.48^{ns}	231.80^{ns}	0.09^{ns}	5413.16^{ns}
Sowing date تاریخ کاشت	4	14087.86**	6736.89**	408197.82**	31462.67**	9851.66**	24058.60**	455762.81**	5317.98**	16824.99**	2104.77**	4.64**	298599.78**
Error a خطای اصلی	8	148.83	141.67	1493.18	135.30	184.81	172.46	722.55	26.61	2202.47	138.36	0.05	10071.88
Plant density تراکم بوته	3	173.55^{ns}	201.59^{ns}	1702.98^{ns}	161.51^{ns}	126.38^{ns}	107.20^{ns}	651.62^{ns}	74^{ns}	6269.14^{ns}	615.17**	0.62*	278722.90**
Sowing date × Plant density تاریخ کاشت × تراکم بوته	12	180.67^{ns}	163.96^{ns}	1687.80^{ns}	232.84^{ns}	154.57^{ns}	206.33^{ns}	643.93^{ns}	20.81^{ns}	3470.22^{ns}	110.19^{ns}	0.48**	7492.88^{ns}
Error b خطای فرعی	30	183.13	146.32	1542.10	206	185.63	171.72	676.06	29.80	2936.62	112.38	0.15	8019.67
CV (%) ضریب تغییرات	-	8.30	9.72	8.11	9.14	8.06	6.21	7.98	7.15	3.17	11.97	13.90	19.23

ns، *و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال خطای پنج و یک درصد

ns, * and **: Non-significant, significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

جدو ل٤- مقایسه میانگین مراحل فنولوژیک در گل‌گاوزبان اروپایی تحت اثر تاریخ کاشت

Table 4- Mean comparison of phonologic stages in borage as affected by Sowing date

تعداد روز و درجه روز–رشد تجمعی Number of Day and Growth Degree– Day accumulation (GDD)										
تاریخ کاشت Sowing date	روز از کاشت تا سبزشدن From planting to emergence	درجه روز– رشد تجمعی (GDD)	روز از سبزشدن تا شروع ۲ برگ حقیقی From emergence to 2 true leaves initiation	درجه روز– رشد تجمعی (GDD)	روز از شروع ۲ برگ حقیقی تا ظهور ساقه گل‌دهنده From 2 true leaves initiation to flowering stem emergence	درجه روز– رشد تجمعی (GDD)	روز از ظهور ساقه گل‌دهنده تا شروع گلدهی From stem emergence to flowering initiation	درجه روز– رشد تجمعی (GDD)	روز از شروع گلدهی تا گلدهی کامل From beginning flowering to full flowering	درجه روز– رشد تجمعی (GDD)
۱۵ مهر 15 October	8.7e	200.6a	7.9e	149.5a	51.8c	695.8a	33a	198.9a	28a	200.3a
۵ آبان 5 November	12.9d	191.1a	11.9d	136.7b	66.5a	498.1b	25.1b	112.8c	16.7b	186.3b
۲۵ آبان 25 November	15.3c	167.3b	17.3c	101.2c	65b	452.4b	13.5c	171.9b	14.6c	171.2c
۱۵ آذر 15 December	19.2b	129.1c	22.7b	137.6b	48.7d	338.9c	11.6d	207.4a	12.3d	161.7c
۵ دی 5 January	21.4a	126.6c	24.4a	96.9c	51.4c	301.3d	6.7e	93.6d	9.6e	124.9d
LSD (0.05)	1.3	11.48	1.2	11.2	1.1	37.1	1.32	10.9	1.28	12.79

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند

Means with the same letters in each column are not significantly different

ادامه جدول٤ -

Table 4- continued

تاریخ کاشت Sowing date	روز از گلدهی کامل تا شروع پرشدن دانه From full flowering to beginning seed fill	درجه روز- رشد تجمعی (GDD)	روز از شروع پرشدن دانه تا پرشدن کامل From beginning seed fill to complete fill	درجه روز- رشد تجمعی (GDD)	روز از پرشدن کامل دانه تا شروع برداشت بذر From complete fill to beginning seed harvesting	درجه روز- رشد تجمعی (GDD)	تعداد روز در کل فصل رشد Number of days total growth season	درجه روز- رشد تجمعی (GDD)
	تعداد روز و درجه روز-رشد تجمعی Number of day and Growth Degree – Day accumulation (GDD)							
15 October ۱۵ مهر	13.5b	229.4b	25.8a	627.1a	7.1a	103.1a	181.6a	2450.1a
5 November ۵ آبان	19.1a	257.3a	19.1b	418.3b	5.7b	85.5b	171.6b	1877.8b
25 November ۲۵ آبان	13.1b	217.4bc	13.1c	212.7c	5.1b	79.4c	157.2c	1573.7c
15 December ۱۵ آذر	10.5c	214.1c	9.5d	197.4cd	4.5b	66.6d	142.3d	1452.9d
5 January ۵ دی	8.3d	136.9d	7.3e	173.3d	4.5b	46.9e	131.8e	1100.7e
LSD (0.05)	1.88	12.36	1.24	25.3	1.17	4.8	5.29	54.63

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند

Means with the same letters in each column are not significantly different

تأثیر تاریخ‌های کاشت بر در درجه- روز رشد تجمعی مراحل شروع و پایان پرشدن دانه یکسان بود. نتایج نشان داد با تأخیر در کاشت نیاز حرارتی و مدت زمان لازم برای برداشت گل‌گاوزبان اروپایی کاهش می‌یابد. به‌طوری که بیشترین نیاز حرارتی در تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۱۰۳/۱ درجه- روز رشد در مدت ۷/۱ روز و کمترین مقدار در تاریخ کاشت ۵ دی با میانگین ۴۶/۹ درجه- روز رشد در مدت ۴/۵ روز به‌دست آمد. همچنین با تأخیر در کاشت، به علت گرمای آخر فصل تمامی تاریخ‌های کاشت به‌جز تاریخ کاشت ۱۵ مهر، تقریباً رسیدگی یکسانی داشتند (جدول ۴).

نتایج جدول مقایسه میانگین نیز نشان داد که بیشترین نیاز حراتی کل فصل رشد در تاریخ کاشت ۱۵ مهر با ۲۴۰۵/۱ درجه- روز در مدت ۱۸۱/۶ روز و کمترین نیاز حرارتی با میانگین ۱۱۰۰/۷ درجه- روز و با ۱۳۱/۸ تعداد روز در تاریخ کاشت ۵ دی به‌دست آمد (جدول ۴). یکی از دلایل اصلی کاهش یا افزایش درجه- روز رشد در تاریخ‌های کاشت ذکر شده عمدتاً به این دلیل است که چنانچه گیاه در زمان مناسب کشت شود، متوسط درجه حرارت مورد نیاز خود در مدت زمان کوتاه‌تری دریافت کرده و مراحل رشد خود را در مدت زمان مناسب و با درجه حرارت مطلوب‌تری سپری می‌نماید. بالعکس با تأخیر در تاریخ کاشت گیاه حرارت مورد نیاز خود را در هر یک از مراحل رشدی در مدت زمان طولانی‌تری دریافت کرده و در نتیجه هر یک از مراحل رشد به‌دلیل برخورد با شرایط نامساعد کاهش و در نهایت گیاه درجه- روز رشد مناسب را جهت اتمام طول دوره رشد خود کسب نمی‌نماید. از این رو، کاهش درجه- روز رشد در دو تاریخ کاشت ۱۵ آذر و ۵ دی عمدتاً حاصل عوامل نامطلوب فوق می‌باشد. نتیجه آزمایشات مختلف نشان دادند که طول کل دوره فصل رشد در گل‌گاوزبان اروپایی به‌ترتیب ۱۱۰ روز در شرایط آب و هوایی مشهد (Nasiri *et al*., 2013) و ۱۱۳ روز در شرایط آب و هوایی اهواز (Derikvandi *et al*., 2013) بوده است.

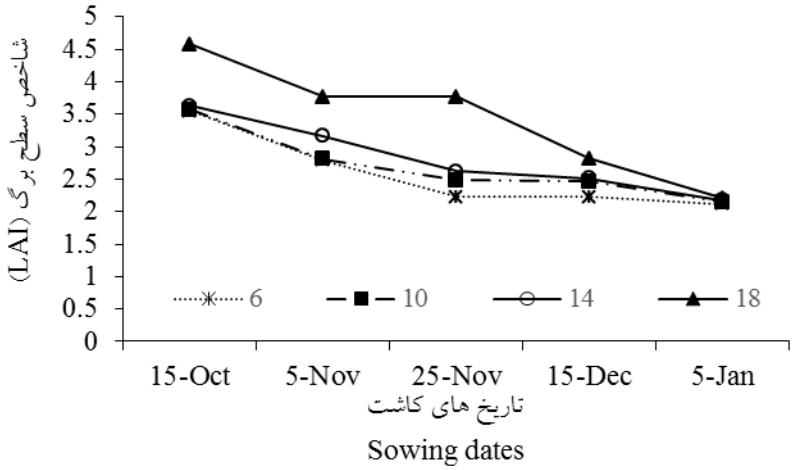
در جمع‌بندی نهایی تعیین تاریخ کاشت مناسب برای رشد و توسعه گیاه برای اجتناب از درجه حرارت پایین در زمان کاشت و درجه حرارت بالا در دوره گلدهی و پرشدن ضروری است. بر اساس یافته‌های به‌دست آمده در این پژوهش در کشت‌های تأخیری آذرماه و دی‌ماه از یک طرف مرحله سبز شدن و توسعه برگ‌ها با سرمای دی‌ماه و بهمن‌ماه مواجه شد و سبب کندی رشد گردید و از طرف دیگر مراحل حساس دوره گلدهی و پرشدن دانه با تنش گرمای اسفندماه و فروردین ماه مواجه و سبب کاهش شدید عملکرد گل و

دوره رویشی و زایشی شد. بنابراین توصیه می‌شود از کشت گل‌گاوزبان اروپایی در ماه‌های آذر و دی اجتناب گردد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاریخ کاشت و تراکم بوته اثر معنی‌داری روی ارتفاع بوته داشتند، اما برهمکنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). با تأخیر در تاریخ کاشت از ارتفاع بوته‌ها کاسته شد. در تاریخ کاشت ۱۵ مهر ارتفاع بوته‌ها ۱۰۰/۵ سانتی‌متر (بلندترین) ولی در تاریخ کاشت ۵ دی ۶۷/۶ سانتی‌متر (کوتاه‌ترین) بود (جدول ۵). تأخیر در زمان کاشت و کوتاهی طول دوره رشد موجب شد گیاه فرصت کافی برای ذخیره کردن مواد غذایی پیدا نکند و ارتفاع بوته کاهش یابد (Ebrahimi *et al*., 2010). احتمالاً افزایش ارتفاع گل گاوزبان در تاریخ کاشت اول به‌دلیل طولانی بودن فصل رشد، دریافت درجه- روز رشد بیشتر، رشد رویشی بهتر و در نتیجه فرصت کافی جهت افزایش طول میانگره است.

بیشترین ارتفاع بوته به‌ترتیب در تراکم‌های سوم (۹۳/۸ سانتی‌متر) و چهارم (۹۱/۱ سانتی‌متر) و دوم (۸۹/۲ سانتی‌متر) بود که اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد و کمترین مقدار ارتفاع بوته (۷۹/۲ سانتی‌متر) از تراکم اول به‌دست آمد (جدول ۵). یکی از دلایل افزایش ارتفاع بوته به‌موازات افزایش تراکم بوته در واحد سطح می‌تواند ناشی از رقابت بوته‌های گل‌گاوزبان برای استفاده از تشعشع خورشیدی باشد. در تراکم‌های بالا نفوذ نور به داخل سایه‌انداز گیاهی کاهش و رقابت بین بوته‌ها برای بهره‌مندی از نور خورشید افزایش می‌یابد، لذا گیاه برای فرار از سایه مجبور به افزایش فاصله میانگره می‌شود (Tazeh *et al*., 2015).

شاخص سطح برگ تحت اثر تیمارهای تاریخ کاشت، تراکم بوته و اثر متقابل آنها تفاوت معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بوته نشان داد که تاریخ کاشت ۱۵ مهر در تراکم ۱۸ بوته در متر مربع با میانگین ۴/۵ بیشترین و تاریخ کاشت ۵ دی با تراکم ۶ بوته در متر مربع با میانگین ۲/۱ کمترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داد (شکل ۱).



شکل ۱- تغییرات شاخص سطح برگ در تاریخ‌های مختلف کاشت در تراکم‌های مورد آزمایش

Figure 1- Variation of LAI at different sowing date in experimental densities

به‌نظر می‌رسد با تأخیر در کاشت به‌ویژه در تاریخ‌های کاشت ۱۵ آذر و ۵ دی، با کاهش تعداد روز و درجه- روز رشد تجمعی مراحل فنولوژی تولید و توسعه برگ‌های جدید تحت تأثیر قرار گرفته است و پیامد آن کاهش شاخص سطح برگ بوده است. احتمالاً دلیل این امر مواجه شدن با دمای بالا و در نتیجه کاهش شاخص سطح برگ نسبت به تاریخ کاشت ۱۵ مهر و ۵ آبان باشد (Rahimi *et al*., 2009). در این آزمایش با افزایش تراکم شاخص سطح برگ افزایش یافت که با مطالعات سایر محققان در گیاه دارویی نعناع مطابقت داشت (Zehtab-Salmasi *et al*., 2008).

در گیاه دارویی گل‌گاوزبان، محصول اقتصادی مورد نظر عملکرد گل در واحد سطح است و مدیریت زراعی بایستی به‌گونه‌ای باشد که حداکثر میزان تولید گل حاصل شود. نتایج نشان داد که تیمارهای تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد گل اثر معنی‌داری داشته ولی اثر متقابل آنها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین و کمترین عملکرد گل به‌ترتیب مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ مهر (۷۲۰/۷ کیلوگرم در هکتار) و ۵ دی (۳۰۶/۵ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۵). زیاد بودن عملکرد گل در تاریخ کاشت‌های زودتر احتمالاً به دلیل طولانی‌تر بودن فصل رشد، استفاده از شرایط اقلیمی مناسب اوایل رشد و درجه- روز رشد بالا باشد. به‌نظر می‌رسد که تأخیر در کشت از طریق کوتاه کردن فصل رشد و کاهش پتانسیل فتوسنتزی گیاه و مصادف شدن دوره گلدهی با دماهای بالای اواخر اسفند و اوایل فروردین باعث از بین رفتن گل‌های گل‌گاوزبان شده و عملکرد گل

خشک کاهش یافت (Galavi *et al*., 2007). تحقیقات سپهری و همکاران (Sepehri *et al*., 2015) نشان داد که کاهش دوره رشد در اثر تأخیر در کاشت، باعث کاهش عملکرد گل می‌شود. تاریخ کاشت‌های انتهایی با بنیه رشدی ضعیف‌تر و همچنین ارتفاع بوته کمتر وارد مرحله گلدهی گردیده که در نتیجه کاهش عملکرد را نیز به دنبال داشت. همبستگی این صفت با عملکرد گل مثبت و بالا (۰/۴۷**) بوده است که نشان می‌دهد که تاریخ کاشت زودتر ارتفاع بوته بیشتر، عملکرد بیشتری به دنبال دارد.

با توجه به اینکه گل‌گاوزبان گیاهی رشد نامحدود است، تنظیم تراکم مناسب بوته به‌خصوص در دوره رشد زایشی از اهمیت زیادی برخوردار است (Tabatabaie *et al*., 2011). افزایش تراکم و در نتیجه تعداد بوته بیشتر در واحد سطح عامل اصلی برتری تراکم ۱۴ بوته در متر مربع در میزان گل تولیدی در واحد سطح و در نتیجه برتری عملکرد گل نسبت به دیگر تراکم‌ها است (Marisol-Berti *et al*., 2003). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد گل به میزان تقریبی ۵۸۶/۲ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۱۴ بوته در متر مربع به‌دست آمد (جدول ۵). تراکم مناسب (۱۴ بوته در متر مربع) به‌دلیل افزایش تعداد بوته در واحد سطح، عملکرد گل بالاتری به‌دنبال دارد (Jamshidi, 2008). افزایش بیش از حد تراکم به‌دلیل محدود شدن فضا برای رشد تک بوته و افزایش رقابت، کاهش عملکرد گل را به دنبال دارد. این نتایج بیانگر تأثیرپذیری تولید گل‌گاوزبان از عوامل محیطی و مدیریت به‌زراعی بود که با نتایج عشوری‌لتمحله و همکاران (Ashoori-Latmahalleh *et al*., 2011) روی گل‌گاوزبان ایرانی مطابقت داشت.

در گل‌گاوزبان اروپایی مورد مطالعه، فرض ارتباط فیزیولوژیک عام و مطلق، بین درجه- روز رشد تجمعی مراحل فنولوژیک با عملکرد گل تأیید می‌شود. همبستگی عملکرد گل با ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، مراحل شروع سبزشدن، شروع ۲ برگ حقیقی، ظهور ساقه گل‌دهنده، گلدهی کامل، شروع پرشدن دانه، پرشدن کامل و شروع برداشت در سطح احتمال یک درصد و با مرحله شروع گلدهی در سطح احتمال پنج درصد مثبت و معنی‌دار بود. بنابراین تغییر در این صفات می‌تواند بر عملکرد گل اثر قابل توجهی داشته باشد. ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ نیز با تمامی مراحل فنولوژی دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری بود (جدول ۶). ضرایب همبستگی مربوط به سایر صفات در جدول ۶ منعکس شده است.

جدول ٦- نتایج همبستگی بین عملکرد گل، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و مراحل فنولوژیک در گل‌گاوزبان اروپایی

Table 6- Correlation among flower yield, plant height, LAI and pheenologic stages of Borage

صفات فنولوژیک Pheenologic traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
عملکرد گل (1) Flower yield	1										
ارتفاع بوته (2) Plant height	0.47**	1									
شاخص سطح برگ (3) LAI	0.65**	0.48**	1								
شروع سبزشدن (4) Emergence initiation	0.52**	0.55**	0.56**	1							
شروع ۲ برگی حقیقی (5) 2 true leaves initiation	0.37**	0.43**	0.41**	0.43**	1						
ظهور ساقه گل‌دهنده (6) Flowering stem emergence	0.60**	0.53**	0.72**	0.80**	054**	1					
شروع گلدهی (7) Flowering initiation	0.27*	0.33**	0.32**	0.12^{ns}	0.43**	0.34**	1				
گلدهی کامل (8) Full flowering	0.61**	0.61**	0.57**	0.75**	0.60**	0.76**	0.44**	1			
شروع پرشدن دانه (9) Seed fill initiation	0.39**	0.62**	0.50**	0.65**	0.58**	0.56**	0.36**	0.75**	1		
پرشدن کامل (10) Complete fill	0.67**	0.56**	0.72**	0.80**	0.64**	0.88**	0.22^{ns}	0.75**	0.53**	1	
شروع برداشت (11) Seed harvesting initiation	0.57**	0.63**	0.68**	0.83**	0.61**	0.87**	0.45**	0.82**	0.78**	0.82**	1

نتیجه‌گیری

در شرایط اقلیمی اهواز، با تأخیر در کاشت گل‌گاوزبان اروپایی به دلیل احتمال برخورد مراحل حساس فنولوژیک با شرایط نامساعد محیطی، طول دوره و درجه- روز رشد گیاه کاهش یافت و در نهایت منجر به کاهش عملکرد گل گردید. به‌نظر می‌رسد مواجه با گرما در اواخر فصل رشد، دلیل کاهش چرخه زندگی گیاه باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، برای استفاده از پتانسیل محیطی در شرایط اقلیمی نظیر اهواز برای دستیابی به عملکرد گل پایدار، کاشت گل‌گاوزبان اروپایی در محدوده زمانی ۱۵ مهر قابل توصیه می‌باشد. در این تاریخ کاشت بیشترین طول دوره رشد تا زمان برداشت مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین روز ۱۸۱/۶ و میانگین درجه- روز رشد ۲۴۰۵/۱ بود. این امر باعث شد مجموع درجه حرارت دریافتی توسط گیاه به نسبت تاریخ کاشت‌های بعدی بیشتر باشد.

References

1. Ahmadi, A. R., Gharineh, M. H., Bakhshandeh, A. M., Fathi, Gh., and Naderi, A. 2012. Study of phenological and growth of canola cultivars to thermal unit accumulation in three planting dates Ahvaz climate. Journal of Plant Production 19 (4): 97-116. (in Persian with English abstract).
2. Al-Doori, S. 2012. Influence of sowing dates on growth, yield and quality of some flax genotypes (*Linum usitatissimum* L.). College of Educational Research Journal 12 (1): 733-746.
3. Ameri, A. A., Rabbani-Nasab, H., Jalilvand, M. R., and Imani, M. 2014. The survey on phenological stages, the effect of nitrogen fertilizer levels and plant density and stage of flower harvest on flower production, active ingredients of Marigold (*Calendula officinalis*). Journal of North Khorasan University of Medical Sciences 4: 57-66. (in Persian with English abstract).
4. Amini, A., Nader, A., and Lakzadeh, I. 2011. Investigation of phonological stages and grain yield of mid maturity wheat genotypes in Response to different Growth Degree– Day (GDD). The quarterly Academic Journal of Crop Physiology 10: 121-135. (in Persian with English abstract).
5. Amir-Moradi, Sh., and Rezvai-Moghadam, P. 2011. Effect of density and time of nitrogen use on morphological characteristics, phonological stages, yield and yield components of black currant (*Nigella sativa*). Journal of Horticulture (Agricultural Sciences and Technology) 25 (3): 351-360. (in Persian).
6. Ashoori-Latmahalleh, D., Noorhosseini-Niyak, S. A., and Safarzadeh-Vishekaei, M. N. 2011. Effects of plant density and planting pattern on yield and yield components of Iran ox-tongue (*Echium amoenum Fisch and Mey*) in North of Iran. Journal of Medicinal Plants Research 5 (6): 932-937.
7. Ashori, D., Hosseini, A. N., and Safarzadeh, M. N. 2014. Effect of plant density and planting arrangement on yield and yield components of (*Echium amoenum Fisch & Mey*) in Guilan province. Quarterly. Journal of Horticulture Science (Agricultural Sciences and Technology) 28 (2): 135-143. (in Persian).
8. Butler, T. J., Gerald, W. E., Hussey, M. A., and Lavery, J. R. 2002. Rate of leaf Appearance in Crimsou Clover. Crop Science 42: 237-241.
9. Chung, S., Kong, S., and Seong, K. Y. 2002. Gamma-linolenic acids in (*borago officinalis* L.) reverse epidermal hyperproliferation in guinea pigs. Journal of Nutrition 132 (10): 3090-3094.
10. Derikvandi, M., Mahmudi-Surstanti, M., Chehrazi, M., and Jafari, A. A. 2013. Study of phenological traits of some populations and cultivars of Borage (*Borago officinalis* L.) in Ahvaz climate. Second National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Hamedan. (in Persian).
11. Ebrahimi, A., Moaveni, P., and Aliabadi-Farahani, H. 2010. Effects of planting dates and compost on mucilage variations in borage (*Borago officinalis* L.) under different chemical fertilization systems. International Journal of Biotechnology and Molecular Biology Research 1 (5): 58-61.
12. Fathi, Gh., Siadat, S. A., Roozbeh, N., Abdali-Mashhadi, A. R., and Ebrahimpour, F. 2001. Effect of planting date and seed density on yield and grain yield components of wheat Dena cultivar in Yasouj air condition. Journal of Agricultural Science and Natural Resources 8 (3): 77-65. (in Persian).
13. Galavi, M., Ramroudi, M., and Mansouri, S. 2007. Effect of sowing dates on yield, yield components and quality of isabgol (*Plantago ovata*) in Sistan region. Pajouhesh and Sazandegi in natural resources 77: 135-140. (in Persian).
14. Jamshidi, Kh. 2008. Effect of row spacing and plant density on quantitative aspects of chamomile flower (*Matricaria Chamomilla*). Iranian Journal of Agricultural Science 31: 203-209. (in Persian with English abstract).
15. Khajehpour, M., 2014. Fundamentals of Agriculture. Jihad University Publishing of Isfahan Press, 658 P.
16. Khayat, M., and Gohary, M. 2009. The sowing date effects on yield, yield components, growth index and phenological traits of canola in Ahwaz. Agricultural New Discoveries 3: 233-248. (in Persian).
17. Koocheki, A., and Nasiri-Mahalati, M. 1992. Agricultural Plants Ecology. Jihad University Publishing of Mashhad Press, 291 P.

18. Marisol-Berti, D., Rosemarie-wilckens, E., Felicitas-Hevia, H., and Alejandro-Montecino, Y. 2003. Influence of sowing date and seed origin on the of capitul (*Calendula officinalis* L.) during two growing seasons in Chili. Agricalture Technology 63 (1): 3-9.
19. Naderi, A. 2013. Efficiency of temperature unit and degree of cumulative growth of phonological stages and their relationship with yield of wheat genotypes. Journal of Crop Physiology (Islamic Azad University Ahvaz Branch) 18: 115-128. (in Persian).
20. Naghdi-Badi, H., Zainali-Mobarakeh, Z., Omidi, H., and Reza-Zadeh, S. 2012. Morphologic, agronomic and phytochemical changes in borage (*Borago officinalis* L.) as effected by chemical and biofertilizers. Journal of Medicinal Plants Research. 9: 145-156. (in Persian with English abstract).
21. Nasiri, S., Azizi, M., Arroi, h., Zandvifard, Z., and Shabani, Z. 2013. Evaluation of morphological, phenologic properties of Borage (*Borago officinalis* L.) medicinal properties cultivated under Mashhad Climate. First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Hamedan. (in Persian).
22. Omidbeige, R. 2009. Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Quds Razavi Press, Mashhad. 347 P.
23. Rahimi, M., Nourmohammadi, Gh., and Ainehband, A. 2009. Effect of planting date and nitrogen on yield, yield components and effective ingredients of Lemon herb (*Linum usitatissimum* L.). Modern Agricultural Knowledge 5 (14): 22-13. (in Persian).
24. Salehi, F., and Bohrani, M. J. 2000. Sunflower summer planting yield as affected by plant populatino and nitrogen application rates. Iran Agriculture Research 18: 63-72.
25. Sepehri, A., Mehranrad, T., and Karami, A. 2015. Effect of planting date and plant density on yield, harvest index and calendic acid content of two varieties of marigold (*Calend ula officinalis* L.) in Arak. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 25 (1): 1-12. (in Persian).
26. Sikder, S. 2009. Accumulation heat unit and phonology of wheat cultivars as influenced by late sowing heat stress condition. Journal of Agriculture and Rural development 7 (1&2): 57-64.
27. Tabatabaie, R., Amini-Dehaghi, M., Shahmoradi, M., and Kaviani-Ahangar, F. 2011. Effects of planting date and different amounts of nitrogen fertilizer on the yield and yield components of two marigold varieties (*Calendula Officinalis* L.). Journal of Crop Science 5: 103-118. (in Persian with English abstract).
28. Tabatabaie, S. A., Zare, M., Zarezada, M., Yoosefi, M., and Soltani, M. 2015. Effect of phosphorous and plant density on economic yield of Iranian borage. Quarterly Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 106: 178-184. (in Persian with English abstract).
29. Tazeh, K., Piri, I., and Mostafavi-Rad, M. 2015. Effects of plant density on flower, essential oil yield and some important agronomic indices of borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Plant Production Research 22 (4): 87-100. (in Persian with English abstract).
30. Wettasinghe, M., and Shahidi, F. 2005. Fe (III) chelation activity of extract of borage and evening primrose meals. Food Research International 35: 65-71.
31. Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F., and Alyari, H. 2008. Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperita* L.). Plant Sciences Research 1 (1): 24-26.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 2, Summer. 2018, p. 511-523

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۵۲۳-۵۱۱

Assessment of Required Growing Degree Days Phenologic Stages and Growth of Borage in Different Sowing and densities

H. Hasanvand[1*]- S. A. Siadat[2]- A. Bakhshandeh[2]- M. R. Moradi Telavat[3]- A. Poshtdar[4]

Received: 05-11-2017
Accepted: 12-02-2018

Introduction: One of the main goals of modern farming is to better understand crop growth and development for optimal use of environmental resources and, consequently, more yield .The study of the growth and development of crops such as Borage (*Borago officinalis* L.) during the growing season allows the sensitive stages of plant life to be identified and managed in an optimal way and for them to achieve high yields. Since the weather condition of each region varies in different seasons, it is difficult to determine the time of sensitive stages of growth to unfavorable environmental conditions. One of the main advantages of determining the phenology of a plant is the optimal use of ecological factors to increase its performance, Because according to the meteorological statistics in each area and the determination of the temperature requirement for each phonological stage and the entire plant growth period, many of the issues of planting, including sowing date and plant density, can be identified at the best possible time and achieved more production. Thus, this experiment carried out in order to assessment of required growing degree days (GDD) phenologic stages and growth borage in different sowing and densities.

Materials and Methods: A field research was conducted as a split plot arrangement based on randomized complete block design (RCBD) with three replications at farm at experimental field of Khouzestan Ramin Agriculture and Natural Resources University, Iran during 2016-2017 cropping season. Five sowing date (15 October, 5 and 25 November, 15 December and 5 January) as main plat and four plant densities including of 6, 10, 14 and 18 plants per m^{-2} as sub plots comprised experimental treatment. Growth degree– day (GDD) accumulation of phenological stages (Emergence initiation, Two true leaves initiation, Flowering stem emergence, Flowering initiation, Full flowering, Seed fill initiation, Complete fill, Seed harvesting initiation, Total growth season), Dry flower yield, Plant height and Leaf area index of borage were measured. Analysis of variance and comparison of means was performed by SAS software and least significant difference test (LSD), 5% level probability, respectively.

Results and Discussion: The results showed that the effect of sowing date on the length of different phonologic periods was significant, but the effect of plant density and the interaction between sowing date and plant density on this trait was not significant. The highest and the lowest growth degree– day from sowing to different stages of growth were obtained on 15 October and 5 January, respectively. With delay in sowing, the average number of days and growth degree– day (GDD) accumulation decreased in most phonologic stages. The effect of sowing date and plant density had significant effect on flower yield and plant height. With 720.8 $kg.ha^{-1}$ of dry flower yield, first sowing date (15 October) was the best treatment. Increasing of plant density was increased plant height, and flower yield. So that the highest dry flower yield was achieved with an average of 586.3 $kg.ha^{-1}$ at a density with 14 plant per m^{-2}. Interaction effect of sowing date and plant density on leaf area index was also significant. So that sowing dates of 15 October at 18 plant per m^{-2} had the highest leaf area index. Determining the relationship between borage phonologic stages and GDD will be very beneficial in applying the principles of management, especially in determining the appropriate sowing date.

1- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University
3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University
(*- Corresponding Author Email: h1167.hasanvand@gmail.com)

Conclusions: For the highest dry flower yield in Ahvaz climate, the best sowing date for borago was 15 October and the best planting density was 14 plants per m^{-2}. There was also significant correlation between flower yield and growth degree-day (GDD) accumulation showed that the regulation of sowing date is very important for completing growth and development stages.

Keywords: Correlation, Flower yield, Heat requirement, Khuzestan, Leaf area index

Contents

Temporal and Spatial Variation of Wheat and Bean Yields, Case Study: Khorasan-e Razavi province 281
Kh. Pooya Nasab- M. Bannayan Aval- R. Gorbani- S. Sanjani- F. Yaghoubi
Effect of Organic and Biological Fertilizers on Nitrogen, Phosphorous and Potassium Contents, Photosynthetic Pigments and Active Ingredient in Coneflower (*Echinacea Purpurea* L.) 297
H. Fayazi- A. Abdali Mashhadi- A. Koochekzadeh- A. Papzan- M. H. Arzanesh
Evaluation of Freezing Tolerance in Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) 314
S. M. Mirmiran- A. Nezami- M. Kafi
Effect of Green Manure and Different Nitrogen levels on Yield and Yield Components of Common Purslane (*Portulaca oleracea* L.) 331
H. Javadi- P. Rezvani Moghaddam- M. H. Rashed Mohasel- M. J. Seghatoleslami
Effect of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence and Forage Yield of Two Forage Millet Cultivars (*Pennisettum americanum var nutrifeed* and *Punicum sp var. pishahang*) 343
K. Najafi Babady- P. Hassibi- H. Roshanfekr- S. Broumand Nassab
Studying the Effect of Foliar Application of Methanol and Ethanol on Morphological and Biochemical Characteristics of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* c.v. Keshkeni luvelou) 353
M. Moghaddam- R. Narimani- Gh. Rostami- S. Mojarab
Determination of Optimal Acidity and Concentration of Nano and Micro Sodium Silicate on Efficiency of Foliar Application of Potato Plantlets 367
M. Kafi- B. Saadatian
Effect of Row Spacing and Seeding Rate on Seed Yield and Yield Components of Winter Oilseed Rape cv. Okapi in Flat versus Ridge Planting 379
M. Yazdandoost Hamedani
Investigating Different Systems of Nutrition: Organic Fertilizers, Inorganic and Blended, on How Wheat Grain Protein Changes 392
E. Amjadian- A. Ghanbari
Evaluation of Physiological and Agronomic Characteristics Related to Drought Tolerance in Spring Rapeseed 404
B. Pasban Eslam
Evaluation of Rapeseed Oil Yield under Different Spraying Time of Boric acid and Zinc sulfate in Sistan Region 419
M. Forouzandeh
The Effect of Integrated management of Conservation Tillage and *Lathyrus sativus* Cover Cropping on *Cucurbita pepo* Yield and Selected Soil Quality Indicators 433
E. Esfandiary ekhlas- M. Nael- J. Hamzei
The Effect of Row Spacing on Plant Architecture, Yield and Seed Quality of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) 445
M. Mounian Ardestani- F. Ghaderi-Far- E. Zeinali- M. H. Ghorbani- M. Gorzin
Quantifying Leaf Development of Different Wheat Cultivars: I- Production and Senescence of Main Stem Leaves in the Field 457
J. Pourreza- A. Soltani
Evaluating the Effect of Smoke-water and Nitrogen Fertilizer on Wheat (*Triticum* aestivum L.) Ecophysiological Traits 474
F. Noroozi Shahri- B. Gholami- S. Jalali Honarmand- F. Mondani- M. Saeedi
Chitosan Nano-particles Application on Growth, Physiology and Mineral Element Contents of Milk thistle (*Silybum marianum*) under Salinity Stress Condition 490
S. Safikhan- K. Khoshbakht- M. R. Chaichi- A. Amini- B. Motesharezadeh
Effects of Bio-fertilizer and Nano Iron Oxide on Yield, Chlorophyll Content and Modeling of Some Components of Grain Filling Period of Barley (*Hordeum vulgare* L.) under Salinity Stress Levels 508
S. Dadashzadeh- R. Seyed Sharifi- S. Farzaneh
Assessment of Required Growing Degree Days Phenologic Stages and Growth of Borage in Different Sowing and densities 522
H. Hasanvand- S. A. Siadat- A. Bakhshandeh- M. R. Moradi Telavat- A. Poshtdar

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 16 **No. 2** **2018**

Publisher Ferdowsi University of Mashhad

Managing P. Rezvani Moghaddam (Agroecology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editor- in-chief H.R. Khazaei (Crop Physiology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop Ecology	Prof., University of Birjand
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Rahimian-Mashhadi, H.	Crop Physiology	Prof., Tehran University
Zamani, Gh.R.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Zare- Feizabadi, A.	Crop Ecology	Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province
Shahriari-Ahmadi, F.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Nezami, A.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mazaheri, D.	Crop Ecology	Prof., Tehran University
Khazaei, H.R.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Address: Iranian Journal of Field Crops Research Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture Mashhad, Iran

P. O. Box: 91775-1163

Email: cesc@ferdowsi.um.ac.ir

Web Site: https://jcesc.um.ac.ir

Ferdowsi University of Mashhad

Iranian Journal of Field Crops Research

Vol.16 No.2

2018

ISSN:2008-1472

Contents

Temporal and Spatial Variation of Wheat and Bean Yields, Case Study: Khorasan-e Razavi province 281
Kh. Pooya Nasab- M. Bannayan Aval- R. Gorbani- S. Sanjani- F. Yaghouei

Effect of Organic and Biological Fertilizers on Nitrogen, Phosphorous and Potassium Contents, Photosynthetic Pigments and Active Ingredient in Coneflower (*Echinacea Purpurea* L.) 297
H. Fayazi- A. Abdali Mashhadi- A. Koocheki-zadeh- A. Papzan- M. H. Arzanesh

Evaluation of Freezing Tolerance in Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) 314
S. M. Mirmiran- A. Nezami- M. Kafi

Effect of Green Manure and Different Nitrogen levels on Yield and Yield Components of Common Purslane (*Portulaca oleracea* L.) 331
H. Javadi- P. Rezvani Moghaddam- M. H. Rashed Mohassel- M. J. Seghatoleslami

Effect of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence and Forage Yield of Two Forage Millet Cultivars (*Pennisetum americanum var nutrifeed* and *Panicum sp var. pishahang*) 343
K. Najafi Babady- P. Hassibi- H. Roshanfekr- S. Broumand Nassab

Studying the Effect of Foliar Application of Methanol and Ethanol on Morphological and Biochemical Characteristics of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* c.v. Keshkeni luvelou) 353
M. Moghaddam- R. Narimani- Gh. Rostami- S. Mojarab

Determination of Optimal Acidity and Concentration of Nano and Micro Sodium Silicate on Efficiency of Foliar Application of Potato Plantlets 367
M. Kafi- B. Saadatian

Effect of Row Spacing and Seeding Rate on Seed Yield and Yield Components of Winter Oilseed Rape cv. Okapi in Flat versus Ridge Planting 379
M. Yazdandoost Hamedani

Investigating Different Systems of Nutrition: Organic Fertilizers, Inorganic and Blended, on How Wheat Grain Protein Changes 392
E. Amjadian- A. Ghanbari

Evaluation of Physiological and Agronomic Characteristics Related to Drought Tolerance in Spring Rapeseed 404
B. Pasban Eslam

Evaluation of Rapeseed Oil Yield under Different Spraying Time of Boric acid and Zinc sulfate in Sistan Region 419
M. Forouzandeh

The Effect of Integrated management of Conservation Tillage and *Luthyrus sativus* Cover Cropping on *Cucurbita pepo* Yield and Selected Soil Quality Indicators 433
E. Esfandiary ekh'as- M. Nael- J. Hamzei

The Effect of Row Spacing on Plant Architecture, Yield and Seed Quality of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) 445
M. Moumian Ardestani- F. Ghaderi-Far- E. Zeinali- M. H. Ghorbani- M. Gorzin

Quantifying Leaf Development of Different Wheat Cultivars: I- Production and Senescence of Main Stem Leaves in the Field 457
J. Pourreza- A. Soltani

Continue Content in cover