

جلد ۱۹ شماره ۲

سال ۱۴۰۰

(شماره پیاپی: ۶۲)

نشریه علمی

پژوهشهای زراعی ایران

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات علمی-پژوهشی

- ۱۰۷..... بررسی اثر منابع سیلیسمی در رشد و تولید غده‌های بذری سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)
مهدیه سلطانی، محمد کافی، احمد نظامی، حمیدرضا تقی‌یاری
- ۱۲۱..... بررسی تاثیر کاربرد منابع مختلف کودی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام جدید جو زراعی تحت شرایط دیم
رحیم ناصری، امیر میرزایی، امین عباسی
- ۱۴۱..... اثر حذف برگ بر ویژگی‌های کتی و کیفی ارقام چغندرقد پاییزه در استان گلستان
نورالله تازیکنه، عباس بیابانی، علیرضا صابری، علی راحمی کاریزکی، معصومه نعیمی
- ۱۵۳..... اثر قطع آبیاری در مراحل زایشی و کاربرد پوترسین و کودهای زیستی بر دوره پر شدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گندم
علیرضا محسنی محمدجانلو، رئوف سیدشریفی، سعید خماری
- ۱۶۹..... تأثیر کاربرد اپی‌براسینولید بر تخصیص مواد فتوسنتزی، مقاومت به خشکی و عملکرد دانه دو ژنوتیپ لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)
مهسا محمدی، مجید پوریوسف، افشین توکلی
- ۱۸۵..... بهینه‌سازی سطوح آبیاری و نیتروژن بر عملکرد، کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) با استفاده از مدل‌سازی سطح- پاسخ
پرویز رضوانی مقدم، سرور خرم‌دل، هدا لطیفی، محمودرضا فرزانه بلگردی، سید جلیل داورپناه
- ۲۰۱..... بررسی اعتبار و امکان استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده AgMERRA برای مطالعات اقلیمی-کشاورزی در استان خراسان شمالی
معصومه فرهادی، محسن جهان، محمد بنایان اول

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

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

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

"بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال 1398، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند."

سال 1400

شماره 2

جلد 19

صاحب امتیاز:

دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

پرویز رضوانی مقدم

سر دبیر:

حمیدرضا خزاعی

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

اعضای هیئت تحریریه:

یحیی امام

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)

عبدالرضا باقری

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمدعلی بهدانی

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

محمد بنایان اول

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

مجید جامی الاحمدی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

حمیدرضا خزاعی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

حمید رحیمیان مشهدی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

غلامرضا زمانی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

احمد زارع فیض آبادی

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

فرج اله 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)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

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

نمابر: 38787430

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

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

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه می شود:

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

مقالات پژوهشی

- 107 بررسی اثر منابع سیلیسیمی در رشد و تولید غده‌های بذری سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در سه نوع بافت خاک
مهدیه سلطانی، محمد کافی، احمد نظامی، حمیدرضا تقی‌یاری
- 121 بررسی تأثیر کاربرد منابع مختلف کودی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام جدید جو زراعی تحت شرایط دیم
رحیم ناصری، امیر میرزایی، امین عباسی
- 141 اثر حذف برگ بر ویژگی‌های کمی و کیفی ارقام چغندر قند پاییزه در استان گلستان
نورالله تازیکه، عباس بیابانی، علیرضا صابری، علی راحمی کاریزکی، معصومه نعیمی
- 153 اثر قطع آبیاری در مراحل زایشی و کاربرد پوترسین و کودهای زیستی بر دوره پر شدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گندم
علیرضا محسنی محمدجانلو، رثوف سیدشریفی، سعید خماری
- 169 تأثیر کاربرد اپی‌براسینولید بر تخصیص مواد فتوسنتزی، مقاومت به خشکی و عملکرد دانه دو ژنوتیپ لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)
مهسا محمدی، مجید پوریوسف، افشین توکلی
- 185 بهینه‌سازی سطوح آبیاری و نیتروژن بر عملکرد، کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن در گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) با استفاده از مدل‌سازی سطح - پاسخ
پرویز رضوانی مقدم، سرور خرم‌دل، هدا لطیفی، محمودرضا فرزانه بلگردی، سید جلیل داورپناه
- 201 بررسی اعتبار و امکان استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده AgMERRA برای مطالعات اقلیمی - کشاورزی در استان خراسان شمالی
معصومه فرهادی، محسن جهان، محمد بنایان اول



مقاله پژوهشی

بررسی اثر منابع سیلیسیمی در رشد و تولید غده‌های بذری سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در سه نوع بافت خاک

مهدیه سلطانی¹، محمد کافی²، احمد نظامی³، حمیدرضا تقی‌یاری⁴

تاریخ دریافت: 1396/06/25

تاریخ پذیرش: 1397/02/05

چکیده

سیلیسیم از طریق تخفیف اثرات تنش‌های محیطی و تأثیر بر جذب برخی عناصر ضروری، رشد گیاهان را بهبود می‌دهد. در این آزمایش، اثر چهار ترکیب سیلیسیم‌دار (نانوسیلیکا، سیلیکات‌سدیم، بنتونیت و نانورس) در دو غلظت (1000 و 2000 ppm) بر روی رشد و عملکرد غده‌های بذری سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* Var. Agria)، در سه نوع خاک (رس لوم، لوم و لوم شنی) در شرایط گلخانه بررسی شد. با توجه به عدم رشد و توسعه گیاهان در خاک رس لوم، مقایسه بین تیمارهای اعمال شده فقط در خاک لوم و خاک لوم‌شنی انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که علی‌رغم عدم رشد و توسعه بیشتر برگ و ساقه در گیاهان تحت تیمار سیلیسیم نسبت به تیمار شاهد، خصوصیات مربوط به غده‌های بذری تیمار شده نسبت به شاهد بهبود یافت و در نهایت باعث افزایش نسبت وزن خشک غده‌های بذری به وزن خشک اندام هوایی شد. بررسی اثر اعمال ترکیبات سیلیکاته در غلظت‌های مختلف بر روی تغییرات عملکرد قابل فروش (وزن تر غده‌های بذری) از طریق آنالیز خوشه‌ای و تجزیه علیت نشان داد که در هر دو نوع خاک، کاربرد بنتونیت با غلظت 2000 ppm سبب بهبود وزن غده‌های بذری شد.

واژه‌های کلیدی: بنتونیت، سیلیسیم، غده‌های بذری، مینی‌تیوبر، نانوسیلیکا

مقدمه

با روش کشت‌بافت وجود دارد (Kowalski et al., 2006). با وجود این، در کشورهای کمتر توسعه‌یافته عدم دسترسی به غده‌های بذری با کیفیت مناسب، یک مشکل اساسی و همه‌گیر برای کشاورزان است (Tierno et al., 2014).

تولید انبوه غده‌های عاری از ویروس و دسترسی آسان به آن می‌تواند بخشی از هدررفت سیب‌زمینی در مزرعه را کاهش دهد. پس از مرحله‌ی تولید گلخانه‌ای، برای تولید انبوه غده‌های کلاس‌دار برای مصرف کشاورزان، ادامه کشت در مزرعه انجام می‌شود. از آنجایی که بوته سیب‌زمینی ریشه‌های سطحی و کوچکی دارد (Crusciol et al., 2009)، حساسیت شدیدی را به کمبود آب خاک نشان می‌دهند (Kawakami et al., 2006) و از سوی دیگر ساختمان خاک و توزیع آب در خاک بر رشد و توسعه ریشه گیاه تأثیر بسیاری دارند (Ahmadi et al., 2011a; Wang et al., 2006). همچنین دسترسی گیاه به مواد غذایی نیز به وضعیت ریشه در خاک بستگی دارد، ضمن این‌که حجم خاکی که ریشه‌ی گیاه برای دسترسی به مواد غذایی (به‌خصوص عناصر غیرمتحرک) می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار دهد، تحت تأثیر عمق خاک و شدت ریشه‌دهی گیاه می‌باشد (Smit and Groenwold, 2005).

ساختار خاک به‌عنوان تعیین‌کننده میزان تخلخل، شاخص مناسبی برای تعیین الگوهای توسعه ریشه‌ای (به جای وزن مخصوص ظاهری

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، یکی از چهار گیاه مهم زراعی جهان است (FAO, 2015)، که در اغلب مناطق دنیا و در گستره‌ی وسیعی از طول و عرض جغرافیایی، آب‌وهوا و ارتفاع از سطح دریا قابل رشد است و تقریباً هیچ گیاه زراعی در انرژی و ارزش غذایی در واحد سطح، با آن برابری نمی‌کند (Sieczka et al., 1992).

بیماری‌های ویروسی یکی از بزرگترین مشکلات تولید سیب‌زمینی هستند که همه ساله خسارت‌های شدیدی به این محصول وارد می‌کنند (Singh et al., 2008). از آنجایی که سیب‌زمینی با غده تکثیر می‌شود، امکان تولید غده‌های بذری سالم (Tierno et al., 2014) از گیاهچه‌های عاری از ویروس (تولید شده

1- دانشجوی دکتری رشته اکولوژی گیاهان زراعی، گروه اکروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

2- استاد، گروه اکروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

3- استاد، گروه اکروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

4- دانشیار، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید

رجایی

(Email: nezami@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI:10.22067/jcsc.2020.67434

آمورف (بدون ساختار کریستالی) تقسیم می‌شود (Dekkers *et al.*, 2011). نانوسیلیکا از طریق افزایش جمعیت باکتری‌های مفید خاک و ارتقا وضعیت مواد غذایی در خاک باعث بهبود جوانه‌زنی ذرت شده است (Karunakaran *et al.*, 2013)، از طرفی بررسی‌ها بر روی اثرات گلخانه‌ای نانوسیلیکا بر روی ذرت‌های رشد یافته در گلخانه نیز نشان داد که افزودن نانوسیلیکا به خاک باعث افزایش عملکرد، وزن خشک گیاه و بلال، تعداد گره و طول میانگره در گیاه شد (Yuvakkumar *et al.*, 2011)، همچنین افزودن 15 کیلوگرم در هکتار نانوسیلیکا به خاک شنی لوم، باعث افزایش معنی‌دار ترکیبات آلی مانند پروتئین، کلروفیل و فنول‌های مفید در گیاه ذرت، در مقایسه با سیلیسم معمولی و تیمار شاهد شد (Suriyaprabha *et al.*, 2012).

هدف از این پژوهش، بررسی امکان بهبود بسترهای خاکی از طریق افزایش منابع سیلیسمی و اثر آن بر روی خصوصیات گیاهان و غده‌های تولیدی سیب‌زمینی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد که فاکتور اول نوع خاک (رس لوم، لوم و لوم شنی) و فاکتور دوم تیمار مواد سیلیکاته (جدول 3) و شاهد تعیین شد.

خصوصیات مواد مورد استفاده

نانو رس: نانو رس (بتونیت هیدروفل) از شرکت سیگما_آلد ریچ و با شماره محصول 682659 تهیه شد. فرمول این ترکیب $\text{Si}_6\text{O}_2\text{Al}_2\text{H}$ و وزن مولکولی آن 1/18 گرم بر مول است. فاصله بین لایه‌های آن 8/1 تا 2 نانومتر است. ترکیبات موجود در نانو رس که توسط XRF (Philips Analytical X-Ray B.V) تعیین شده، در جدول 1 ارائه شده است.

و مقاومت مکانیکی) ذکر شده است (Asgarzadeh *et al.*, 2010; Dexter, 2004). مقدار بالای رس خاک به عنوان شاخص محدودکننده عمق ریشه عمل می‌کند و تراکم بالای ریشه در خاک‌های لومی ماسه‌ای به دلیل کمتر بودن مقاومت فیزیکی در مقابل رشد ریشه و مقدار مناسب رس در این خاک‌ها می‌باشد (Ahmadi *et al.*, 2011b).

خاک‌هایی با تراکم بالا رشد رویشی و تولید ریشه‌های ذخیره‌ای را کاهش می‌دهند، به طوری که سیب‌زمینی‌های شیرین (*Ipomea batatas*) رشد یافته در خاک‌های غرقاب و یا بوته‌های رشد یافته به صورت غرقاب در محلول غذایی، توانایی تولید ریشه‌های ذخیره‌ای را نداشتند (Lebot, 2009). مشخص شده است که سیب‌زمینی‌های کشت شده در خاک‌های لوم‌شنی، به‌طور معنی‌داری ریشه‌های بیشتری (حدود دوبرابر) در مقایسه با دیگر انواع خاک تولید کردند (Ahmadi *et al.*, 2008).

رس‌ها و نانورس‌ها به دلیل داشتن سطح مؤثر بالا (Ghormade *et al.*, 2011)، کمک به حفظ رطوبت خاک و بستر (Mura *et al.*, 2013)، قدرت تبادل کاتیونی بالا (Afzali *et al.*, 2010; Tuzen *et al.*, 2006) و از همه مهم‌تر قابلیت بازگشت بی‌خطر به خاک (Uddin, 2008)، در صنعت کشاورزی به عنوان مواد بهبوددهنده‌های بستر کاشت، به کار می‌روند. نانورس‌ها همچنین به عنوان یک اتصال‌دهنده در خاک عمل کرده و باعث حفظ رطوبت در خاک می‌شود و لذا به تأمین شرایط مناسب رطوبتی برای ریشه گیاه و امکان تداوم رشد و نمو آن‌ها در شرایط کمبود آب کمک می‌کنند (Mura *et al.*, 2013). گیاهانی که به‌طور معمول در خاک‌های غنی از مونت مورنولایت رشد می‌کنند، به دلیل وجود عناصر کم مصرف کافی، رشد سریع‌تری داشته، مزه بهتری دارند و به آفات و بیماری‌ها مقاوم‌ترند (Uddin, 2008).

سیلیکا (اکسید سیلیسیم (SiO_2)) اکسید غیرفلزی متشکل از سیلیسیم و اکسیژن است که به نوع کریستالین (کریستاله شده) و

جدول 1- آنالیز ترکیبات موجود در نانو رس به وسیله پراش پرتو ایکس

Table 1- XRF analysis of Nanoclay

نوع ماده Material	Fe_2O_3 %	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Na_2O %	MgO %	K_2O %	TiO_2 %	MnO %	CaO %	P_2O_5 %
مقدار Amount	6.16	53.46	18.16	0.95	2.18	1.32	0.69	0.11	1.85	0.15
نوع ماده Material	LOI%	Ba(ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Mo (ppm)	Cl (ppm)	Zn (ppm)	SO_3 %
مقدار Amount	14.15	1270	9	92	72	50	17	22	64	0.58

جدول 2- آنالیز ترکیبات موجود در بنتونیت به‌وسیله پراش پرتو ایکس

Table 2- XRF analysis of Bentonite

نوع ماده Material	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	MgO %	K ₂ O %	TiO ₂ %	MnO %	CaO %	P ₂ O ₅ %	Fe ₂ O ₃ %
مقدار Amount	43.62	10.15	1.67	3	0.43	0.45	0.11	11.27	0.09	3.04
نوع ماده Material	Ba (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Mo (ppm)	Cl (ppm)	Zn (ppm)	SO ₃ %	LOI %
مقدار Amount	187	2	40	N	95	10	4418	70	0.43	25.10

بنتونیت: بنتونیت به‌کار رفته از معدن بنتونیت چاه امیر (کد: 29100167) در خراسان جنوبی تهیه شد. سنگ بنتونیت پس از کوبیده شدن از الک‌های با مش 70 میکرون عبور داده شد. ترکیبات موجود در رس توسط XRF تعیین شده و در جدول 2 ارائه شده‌اند.

نانوسیلیکا: نانو سیلیکا (SiO₂) از شرکت نانوسا و با شماره محصول SAV20201 تهیه شد. این پودر آمورف و در سایز 20 تا 30 نانومتر در آب محلول است و دارای خلوص 98% می‌باشد.

سیلیکات سدیم: سیلیکات سدیم (Si₃O₂Na) با خلوص 96 درصد استفاده شد و چون پس از انحلال در آب کاملاً یونیزه می‌شود، سایر اندازه‌گیری‌های انجام شده بر مواد مصرفی دیگر، قابل انجام بر روی سیلیکات سدیم نبود.

آماده‌سازی تیمارها

در جدول 3 نحوه آماده‌سازی مواد سیلیکاته به‌کار رفته در این آزمایش توضیح داده شده است. برای افزایش جداسازی لایه‌ها و افزایش سطح تماس ماده مورد نظر تحت زمان‌های مختلف اولتراسونیک قرار گرفت و برای کاهش اثر لخته‌کنندگی سدیم، از تیمار اتانول استفاده شد (Wilson, 2007).

نوع خاک

خصوصیات و بافت خاک‌های مورد استفاده در این آزمایش در جدول 4 ارائه شده است.

جدول 3- نحوه‌ی آماده‌سازی تیمارهای سیلیکاته و شاهد

Table 3- Silicate treatment preparation technique

نوع تیمار Treatment	نحوه‌ی آماده‌سازی Preparation technique
شاهد Control	استفاده از آب مقطر در زمان اعمال تیمار
نانورس (1000ppm) NanoNanoclay	یک گرم نانورس در یک لیتر آب مقطر به همراه نیم سی‌سی اتانول که به مدت پنج دقیقه تحت اولتراسونیک قرار گرفت.
نانورس (2000ppm) Nanoclay	دو گرم نانورس در یک لیتر آب مقطر به همراه نیم سی‌سی اتانول که به مدت پنج دقیقه تحت اولتراسونیک قرار گرفت.
بنتونیت (1000ppm) Bentonite	یک گرم رس بنتونیت در یک لیتر آب مقطر به همراه نیم سی‌سی اتانول که به مدت پنج دقیقه با شیکر در دور rpm1000 کاملاً مخلوط شد.
بنتونیت (2000ppm) Bentonite	دو گرم رس بنتونیت در یک لیتر آب مقطر به همراه نیم سی‌سی اتانول که به مدت پنج دقیقه با شیکر در دور rpm1000 کاملاً مخلوط شد.
نانوسیلیکا (1000ppm) Nanosilica	یک گرم نانوسیلیکا در یک لیتر آب مقطر که به مدت پنج دقیقه تحت اولتراسونیک قرار گرفت.
نانوسیلیکا (2000ppm) Nanosilica	دو گرم نانوسیلیکا در یک لیتر آب مقطر که به مدت پنج دقیقه تحت اولتراسونیک قرار گرفت.
سیلیکات سدیم Sodium Silicate (1000ppm)	یک گرم سیلیکات سدیم در یک لیتر آب مقطر به همراه نیم سی‌سی اتانول که به مدت پنج دقیقه با شیکر در دور rpm1000 کاملاً مخلوط شد.
سیلیکات سدیم Sodium Silicate (2000ppm)	دو گرم سیلیکات سدیم در یک لیتر آب مقطر به همراه نیم سی‌سی اتانول که به مدت پنج دقیقه با شیکر در دور rpm1000 کاملاً مخلوط شد.

جدول 4- خصوصیات و بافت خاک‌های مورد استفاده در آزمایش

Table 4- Soil properties and content of 3 different soils used in experiment

Soil texture	Silt	Sand	Clay	Organic carbon	K	P	N	Organic matter
بافت خاک	سیلت (%)	شن (%)	رس (%)	کربن آلی (%)	پتاسیم (%)	فسفر (%)	نیترژن (%)	ماده آلی (%)
Clay loam	42	28	30	0.176	0.018	0.0093	0.069	0.303
loam	29	53	18	0.234	0.024	0.0068	0.060	0.403
Loam sand	7	83	10	0.307	0.022	0.0083	0.078	0.478

نوع گیاه و روش‌های تیماردهی

در این آزمایش از مینی تیوبرهای رقم آگریا که از شرکت فناوران بذر یکتا خریداری شده بود، استفاده شد. میانگین وزن تر مینی تیوبرهای خریداری شده هفت گرم بوده و به مدت 3 ماه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد برای شکستن خواب نگهداری شده بودند. مینی تیوبرها در هر گلدان هفت کیلویی (در هر گلدان دو مینی تیوبر) کشت شدند و قبل از کشت در داخل هر گلدان یک دیواره پلاستیکی متحرک برای افزایش طول گلدان و خاک‌دهی بدون آسیب زدن به ریشه تعبیه شد. دوبار خاک‌دهی 39 روز بعد از استقرار (برای تحریک غده‌دهی) و 59 روز بعد از استقرار (برای جلوگیری از خوابیدن و نور دیدن غده‌ها) انجام شد. اولین تیماردهی مواد سیلیکاته (نانو و غیر نانو)، 10 روز پس از سبز شدن و اطمینان از استقرار کامل آن‌ها انجام شده و به دلیل آبشویی مواد سیلیکاته، هر 30 روز یکبار تکرار شد. هر دوره تیماردهی، 100 میلی‌لیتر از تیمار به هر گلدان اضافه شد.

در طی دوره رشد دمای روز و شب گلخانه به ترتیب 24 ± 2 و 18 ± 2 تنظیم شده و رطوبت نسبی 40% بود. 90 روز پس از استقرار، گیاهان برداشت شده و صفاتی مانند سطح برگ، تعداد برگ و وزن خشک آن‌ها، طول ساقه، قطر بزرگ، قطر و حجم مینی تیوبر و همچنین وزن تر و وزن خشک مینی تیوبر اندازه‌گیری شد.

آنالیز داده‌ها: برای تجزیه واریانس، آنالیز رگرسیون چندمتغیره استپ وایز، آزمون همبستگی و رسم نمودار دندوگرام از نرم‌افزارهای Minitab (2010، ver 16.2.2) و SAS (2005، ver 9.3.1) و برای آنالیز تجزیه مسیر از نرم‌افزار Path (1390، ver 1.0.7) استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر متقابل نوع خاک و مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) بر همه صفات معنی‌دار بود (جدول 5 و 6). در این بررسی در خاک رس لوم هیچ‌گونه گیاهی نتوانست رشد کند. برای اطمینان از عدم رشد گیاهان به دلیل اثر نوع خاک، گلدان‌ها در دو مرحله واکاری شدند که در هر دو مرحله نیز گیاهچه‌ها بعد از 10 روز خشک شدند. حتی در زمانی که در مرحله دوم واکاری به جای غده از نشاهای آماده استفاده شد، نشاها بعد از چند روز از بین رفتند. به نظر می‌رسد که وجود رس بالا و فشردگی خاک رس لوم دلیل اصلی عدم توسعه ریشه و مرگ گیاهچه‌ها بوده است. ضعیف بودن ریشه‌های سیب‌زمینی علاوه بر

کاهش کاهش کارایی جذب مواد غذایی و آب، باعث حساسیت گیاه به تنش خشکی و ساختار فشرده خاک می‌شود (Vreugdenhil et al., 2011). از طرفی افزودن رس (بتونیت) اضافی به برخی انواع خاک باعث کاهش اکسیژن خاک به دلیل حبس آب شده و در نهایت باعث کاهش رشد می‌شوند (Aghdak et al., 2010).

در بررسی اثر متقابل نوع خاک و مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) بر روی صفت تعداد برگ مشخص شد در خاک لوم غیر از تیمارهای بتونیت (ppm1000)، بتونیت (ppm2000) و نانوسیلیکا (ppm2000) که به ترتیب 5/2 و 12 و 5/2 درصد تعداد برگ را افزایش داده بود، بقیه تیمارهای سیلیکاته (نانو و غیرنانو) تعداد برگ را کاهش دادند و بیشترین کاهش در تیمار نانورس (ppm1000) به مقدار 5/24 درصد مشاهده شد (جدول 7). در خاک لوم‌شنی نیز همه مواد سیلیکاته باعث کاهش تعداد برگ نسبت به شاهد شدند که بیشترین و کمترین کاهش به ترتیب در تیمارهای سیلیکات‌سدیم (ppm1000) و نانورس (ppm1000) و به ترتیب 59 و 5/11 درصد بود (جدول 7).

غیر از تیمارهای نانوسیلیکا (ppm2000) و سیلیکات‌سدیم (ppm2000) که به ترتیب 6 و 5/13 درصد وزن خشک برگ را نسبت به شاهد افزایش دادند، بقیه مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) در خاک لوم باعث کاهش وزن خشک برگ نسبت به شاهد شدند. بیشترین کاهش نیز در تیمار نانورس (ppm1000) و به مقدار 55 درصد بود (جدول 7). در خاک لوم‌شنی نیز دو تیمار نانوسیلیکا (ppm1000) و سیلیکات‌سدیم (ppm1000) به ترتیب به مقدار 5/8 و 2/1 درصد وزن خشک برگ را نسبت به شاهد افزایش دادند. کاربرد بقیه مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) منجر به کاهش وزن خشک برگ شد که بیشترین کاهش را کاربرد سیلیکات‌سدیم (ppm1000) و به مقدار 35 درصد داشت (جدول 7).

مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) در خاک لوم باعث افزایش سطح برگ گیاهان تحت تیمار نسبت به شاهد شدند و فقط کاربرد نانورس (ppm1000) منجر به کاهش سطح برگ نسبت به شاهد شد. بیشترین افزایش سطح برگ در تیمار نانوسیلیکا (ppm2000) دیده شد که 49 درصد بیشتر از شاهد بود (جدول 7). در خاک لوم‌شنی نیز غیر از تیمار بتونیت (ppm1000) که حدود یک درصد سطح برگ را نسبت به شاهد کاهش داد، کاربرد سایر تیمارها منجر به افزایش سطح برگ نسبت به شاهد شدند و بیشترین افزایش در تیمار نانوسیلیکا (ppm1000) به مقدار 168 درصد به دست آمد (جدول 7).

جدول ۵- آنالیز واریانس صفات مورد بررسی اندام هوایی تحت تأثیر بافت خاک و کاربرد مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو)

Table 5- Variance analysis of shoot properties of Minituber plants affected by soil and silicon application									
منابع تغییر	d.f	تعداد برگ	وزن خشک برگ	سطح برگ	ساقه	طول ساقه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	نسبت وزن خشک غده‌های بذری گیاه به وزن خشک اندام هوایی
S.O.V		Leaf no.	Leaf dry weight	Leaf area	Stem height	Shoot dry weight	Shoot dry weight	Minituber dry weight/ shoot dry weight	
خاک	2	854.4**	8857144**	126410**	12277.1**	19.7**	448975**		
Soil									
مواد سیلیکاته	8	3.8**	59163**	2080**	123.7**	0.14**	1.02**		
Silicon									
خاک×مواد سیلیکاته	16	3.6**	53961**	1628**	27.4**	0.09**	0.7**		
soil*silicon									
خطا	54	0.4	3313	41	5.2	0.006	0.07		
error									
Cv	10.5	9.1	9.2	9.5	8.6	19.01			

(**, *, ns: Significantly different in 1 % and 5% of probability, and not Significantly different, respectively) **: پهن‌تریب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۶- آنالیز واریانس صفات مورد بررسی غده‌های بذری تحت تأثیر بستر کاشت و کاربرد مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو)

Table 6- Variance analysis of Minituber properties affected by soil and silicon application									
منابع تغییر	df	میانگین قطر غده‌های	میانگین وزن تر غده‌های	میانگین حجم غده‌های	میانگین وزن خشک	میانگین غده‌های بذری	وزن تر کل غده‌های بذری	یک گیاه	حجم کل غده‌های بذری
S.O.V		Minituber diameter	Mean Minituber wet weight	Mean Minituber volume	Mean Minituber dry weight	Plant Minituber dry weight	Plant Minituber wet weight	Plant Minituber volume	
خاک	2	6945.7**	1647.4**	1459.1**	58.9**	2097.3**	1808.1**		
Soil									
مواد سیلیکاته	8	29.5**	31.2**	26.5**	1.8**	53.1**	44.1**		
Silicon									
خاک×مواد سیلیکاته	16	26.2**	33.07**	32.04**	1.2**	19.7**	20.1**		
Soil*silicon									
خطا	54	7.7	1.8	0.83	0.04	3.07	1.9		
Error									
Cv	14.9	15.2	10.8	12.7	17.3	14.8			

(**, *, ns: Significantly different in 1 % and 5% of probability, and not Significantly different, respectively) **: پهن‌تریب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

(ppm1000) با افزایش 58 درصدی این صفت کمترین مقدار افزایش این نسبت را در خاک لوم شنی داشت (جدول 7). این نسبت برای سیبزمینی نشان‌دهنده تخصیص منابع در شاخساره و اندام اقتصادی گیاه و نحوه انتقال منابع آسمیلانی بین مخزن و منابع است (Lemoine et al., 2013). تغییر این صفت مستلزم تغییر هم‌زمان کارایی اندام‌های هوایی شامل برگ و ساقه و تغییر زمان تشکیل استولن و مکان تشکیل غده‌هاست. افزایش رشد و عملکرد گیاه در حضور سیلیسیم در نتیجه بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه قبلاً تأیید شده است (Samuels et al., 1993)، همچنین بررسی‌های تکمیلی زمان تشکیل ریزغده نشان داد که در حضور سیلیسیم، ریزغده‌ها زودتر از بوته‌های سیبزمینی تیمار نشده با سیلیسیم، تشکیل می‌شوند (Soltani, 2018).

کاربرد مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) در خاک لوم باعث افزایش میانگین قطر غده‌های بذری نسبت به تیمار شاهد شد. کمترین و بیشترین افزایش به‌ترتیب در تیمارهای نانورس (ppm1000) و سیلیکات‌سدیم (ppm2000)، به مقدار 22 و 5/70 درصد افزایش نسبت به شاهد دیده شد (جدول 8). در خاک لوم‌شنی نیز غیر از تیمار بنتونیت (ppm1000) که 20 درصد میانگین قطر غده‌های بذری را نسبت به شاهد کاهش داد، بقیه تیمارها میانگین قطر غده‌های بذری را نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین افزایش میانگین قطر غده‌های بذری در خاک لوم‌شنی در تیمار بنتونیت (ppm2000) با 26 درصد افزایش نسبت به شاهد ثبت شد (جدول 8).

در خاک لوم میانگین وزن ترغده‌های بذری در همه تیمارهای مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) نسبت به شاهد افزایش داشت که بیشترین و کمترین افزایش در تیمارهای سیلیکات‌سدیم (ppm2000) و نانوسیلیکا (ppm1000) به‌ترتیب با 300 و 103 درصد افزایش نسبت به شاهد دیده شد (جدول 8). در خاک لوم‌شنی نیز تیمارهای مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) باعث رشد میانگین وزن ترغده‌های بذری نسبت به شاهد شدند، فقط در تیمار رس (ppm1000) به مقدار 18 درصد این میانگین نسبت به شاهد کاهش داشت. مقدار افزایش در تیمارهای مواد سیلیکاته در این خاک غالباً کمتر از افزایش در خاک لوم بود. بیشترین افزایش نیز در تیمارهای بنتونیت (ppm2000) و نانوسیلیکا (ppm2000) به مقدار 99 درصد دیده شد (جدول 8).

در خاک لوم میانگین حجم غده‌های بذری تحت تأثیر مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت به‌طوری که این افزایش از 71 درصد در تیمار نانوسیلیکا (ppm1000) تا 240 درصد در تیمارهای بنتونیت (ppm1000) و سیلیکات‌سدیم (ppm2000) متغیر بود (جدول 8).

در بررسی اثر متقابل نوع خاک و مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) بر روی طول ساقه مشاهده شد که در خاک لوم، تیمارهای سیلیکاته (نانو و غیرنانو) افزایش طول ساقه را نسبت به شاهد به دنبال داشت. با وجود این کاربرد نانورس (ppm1000) منجر به کاهش 22 درصدی طول ساقه نسبت به شاهد شد. بیشترین افزایش طول ساقه نسبت به شاهد نیز در تیمار بنتونیت (ppm2000)، به مقدار 37 درصد دیده شد (جدول 7). در خاک لوم‌شنی نیز مانند خاک لوم، کاربرد مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) باعث افزایش طول ساقه نسبت به شاهد شد و فقط تیمار نانورس (ppm1000) باعث کاهش طول ساقه (20 درصد) نسبت به شاهد شد. در این خاک تیمار نانوسیلیکا (ppm1000) بیشترین افزایش طول ساقه (47 درصد) را نسبت به شاهد داشت (جدول 7).

افزایش طول ساقه، در کنار کاهش تعداد و وزن خشک برگ و افزایش سطح برگ، نشان‌دهنده تغییر ساختار کانوبی در حضور مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) در این دو نوع خاک است. تحقیقات نشان داده‌اند که در صورت عدم وجود تنش، عملکرد سیبزمینی، رابطه همسویی با میزان نور دریافتی توسط اندام‌های هوایی گیاه دارد (Schittenhelm et al., 2006). همچنین افزودن سیلیسیم با افزایش غلظت رنگدانه‌ها باعث افزایش فتوسنتز در سیبزمینی می‌شود (Pilon et al., 2013).

بررسی اثر متقابل نوع خاک و مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) بر روی وزن خشک اندام هوایی نشان داد که در خاک لوم، تیمارهای نانوسیلیکا (ppm1000) و سیلیکات‌سدیم (ppm1000) هر دو باعث افزایش 11 درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند، در حالی که دیگر تیمارها وزن خشک نسبت به شاهد کاهش داشت و بیشترین کاهش در تیمار نانورس (ppm1000) دیده شد (جدول 7). در خاک لوم شنی تیمارهای نانورس (ppm1000)، بنتونیت (ppm1000) و سیلیکات‌سدیم (ppm1000) باعث کاهش 10 درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند، تیمارهای بنتونیت (ppm2000)، نانوسیلیکا (ppm1000) و سیلیکات‌سدیم (ppm2000) باعث افزایش 18 درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند (جدول 7).

اثر متقابل نوع خاک و مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) بر روی نسبت وزن خشک غده‌های بذری به وزن خشک اندام هوایی باعث افزایش این نسبت در همه مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) در هر دو نوع خاک در مقایسه با شاهد شد. در خاک لوم بیشترین و کمترین افزایش به‌ترتیب در تیمار بنتونیت (ppm2000) و نانوسیلیکا (ppm2000) به‌ترتیب با 190 و 50 درصد و در خاک لوم‌شنی دو تیمار بنتونیت (ppm1000) و نانوسیلیکا (ppm1000) هر دو با 175 درصد، بیشترین افزایش این نسبت را در مقایسه با شاهد داشتند، در حالی که نانوسیلیکا

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و کاربرد مواد سیلیکاته (نانو و غیر نانو) بر ویژگی‌های اندام هوایی سیب‌زمینی

نوع خاک Soil type	نوع تیمار Silicon source	تعداد برگ Leaf no.	وزن خشک برگ (mg) Leaf dry weight	سطح برگ (cm ²) Leaf area	طول ساقه (cm) Stem height	نسبت وزن خشک غده‌های بذری گیاه به وزن خشک اندام هوایی	
						وزن خشک اندام هوایی (g) Shoot dry weight	وزن خشک اندام هوایی Minituber dry weight/ shoot dry weight
لوم Loam	شاهد Control	11abc	1220abc	119.5d	36.4c-e	1.8ab	lg
	نانورس (1000ppm) Nanoclay	8.3def	669.7hi	67.4fg	28.4fg	lg	2.5a-d
	نانورس (2000ppm) Nanoclay	8.7def	1049.2cd	120.1d	42.7bc	1.6bc	1.7d-g
	بتونیت (1000ppm) Bentonite	11.3ab	964.3de	130.5cd	45.5ab	1.6bc	2.4b-e
	بتونیت (2000ppm) Bentonite	12.3a	1154.3bc	177.1a	50a	1.8ab	2.9ab
	نانوسلیکا (1000ppm) Nanosilica	11abc	1080.2cd	126.8d	41.3bcd	1.7bc	2.2b-e
	نانوسلیکا (2000ppm) Nanosilica	11.3ab	1297.6ab	177.8a	41.4bcd	2a	1.5c-g
	سیلیکات سدیم (1000ppm) Sodium Silicate	10bcd	1212abc	148bc	38.7b-e	1.7bc	1.9c-f
	سیلیکات سدیم (2000ppm) Sodium Silicate	9.3b-e	1384.2a	163.8ab	38.6b-e	2a	1.9c-f
	شاهد control	11.3ab	840.4e-h	43.7h	25.4gh	1.1efg	1.2fg
لوم شنی Loam sand	نانورس (1000ppm) Nanoclay	10bcd	739fgh	76.8ef	20.4h	1fg	1.8c-f
	نانورس (2000ppm) Nanoclay	9.3b-e	778fgh	53.8gh	35ef	1.1efg	2.4b-d
	بتونیت (1000ppm) Bentonite	8.7def	787.1e-h	43.3h	32.6e-g	1fg	3.3a
	بتونیت (2000ppm) Bentonite	9c-e	849.7e-h	71efg	37.2c-f	1.3ef	2.6a-c
	نانوسلیکا (1000ppm) Nanosilica	9.7b-e	921.7def	117.5d	37.3cde	1.3ef	1.9c-f
	نانوسلیکا (2000ppm) Nanosilica	8.3def	736ghi	91.4e	34ef	1.1fg	3.3a
	سیلیکات سدیم (1000ppm) Sodium Silicate	6.7f	553i	71.2efg	33.7ef	lg	2.9ab
	سیلیکات سدیم (2000ppm) Sodium Silicate	7.7ef	859.7e-g	82ef	33.8ef	1.3ef	2.3b-e

Means in each column with the same letters are not significantly different. تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (در سطح ۵٪) تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و کاربرد مواد سیلیکاته (نانو و غیر نانو) بر غده‌های بندری
Table 8- Soil and silicon application interaction effects on Minituber properties

نوع خاک Soil type	نوع تیمار Silicon source	میانگین قطر غده‌های بندری Minituber diameter (mm)	میانگین وزن تر غده‌های بندری Mean Minituber wet weight (g)	میانگین وزن خشک غده‌های بندری Mean Minituber dry weight (g)	میانگین حجم غده‌های بندری Mean Minituber volume (cm ³)	وزن تر کل غده‌های بندری یک گیاه Plant Minituber wet weight (g)	حجم کل غده‌های بندری یک گیاه Plant Minituber volume (cm ³)
لوم Loam	شاهد Control	19.7d	5.5i	1h	5.9j	9.5ef	9fg
	نانوسیلیکا (1000ppm) Nanoclay	24.1bcd	14.4b-f	2.2def	13.3cd	10.8def	10.7efg
	نانوسیلیکا (2000ppm) Nanoclay	28.1a-d	12.3efg	2.6cd	11.9def	13.6c-f	13.2c-f
	بنتونیت (1000ppm) Bentonite	29.9ab	18.8ab	3.6a	20.1a	18.7abc	19ab
	بنتونیت (2000ppm) Bentonite	27.9a-d	12.9d-g	2.7bcd	11.2d-g	23a	21.2a
	نانوسیلیکا (1000ppm) Nanosilica	28.2a-d	11.2f-h	1.8e-g	10.1e-h	17bc	16.3bcd
	نانوسیلیکا (2000ppm) Nanosilica	30.8ab	16.8bcd	3.3ab	15.3bc	14.8cde	12.3def
	سیلیکات سدیم (1000ppm) Sodium Silteate	30.2ab	16.5b-e	3.1a-c	13.7bcd	16.6c	13.6cde
	سیلیکات سدیم (2000ppm) Sodium Silteate	33.6a	22a	3.7a	20.1a	22.3ab	20ab
	شاهد Control	26a-d	8.7ghi	1.4gh	8.5ghi	8.4f	7.8g
لوم شنی Loam sand	نانوسیلیکا (1000ppm) Nanoclay	26.4a-d	10.5fgh	1.7fgh	9.6fgh	10.9def	9.1fg
	نانوسیلیکا (2000ppm) Nanoclay	28.4a-d	12.2efg	2.5cde	12.9cde	13.2c-f	13.7cde
	بنتونیت (1000ppm) Bentonite	20.8cd	7.1hi	1.3gh	7.4hi	16.8bc	17abc
	بنتونیت (2000ppm) Bentonite	32.7ab	17.2bcd	3.3ab	15.4bc	17.2bc	14.6cde
	نانوسیلیکا (1000ppm) Nanosilica	30.4ab	13.2c-f	2.9bc	13cd	13.2c-f	12.3def
	نانوسیلیکا (2000ppm) Nanosilica	26.7a-d	17.3bc	3.4ab	16.3b	17.2bc	16.8abc
	سیلیکات سدیم (1000ppm) Sodium Silteate	27.5a-d	12fg	2.5c-e	12def	13.9c-f	13.3c-f
	سیلیکات سدیم (2000ppm) Sodium Silteate	28.7abc	12.4efg	2.6cd	11d-g	15.5cd	13.6cde

Means in one column with same letters are not significantly different (5% of probability). تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (در سطح 5٪)

(*et al.*, 2013)، افزایش سطح برگ و طول ساقه و در نتیجه شاخساره کارتر (*Gong et al.*, 2003; *Yang et al.*, 2008) سیستم ریشه‌ای بزرگتر و جذب مواد غذایی بیشتر (*Ma and Yamaji*, 2008) در حضور سیلیسیم در گیاه اشاره کرد. همچنین با افزودن انواع رس‌ها به خاک به دلیل تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها (*Suzuki*, 2004)، تشکیل حفره‌های ریز در خاک‌های دارای شن نسبت به حفره‌های درشت افزایش معنی‌داری می‌یابند (*Hassan and AbdelWahab*, 2013)، که باعث کمک به نگهداری آب و در نهایت افزایش ظرفیت زراعی خاک و بهبود آب در دسترس گیاه می‌شود (*Satjeand Nelson*, 2009). از برآیند بهبود شرایط خاک و گیاه، بهبود تولید و توسعه غده‌ها حاصل می‌شود و البته از دیدگاه دیگر در مقایسه دو خاک می‌توان گفت بزرگتر بودن غده‌های بذری خاک لوم به دلیل بزرگتر بودن منبع تولیدی مواد کربوهیدراتی به دلیل توسعه مناسب اندام‌های فتوسنتزکننده یعنی برگ و ساقه و در نتیجه افزایش قدرت منبع بوده است (*White et al.*, 2015).

آنالیز کلاستر صفات اندازه‌گیری شده گیاهان در خاک لوم، تیمارهای سیلیکاته را در سه گروه اصلی گروه اول: شاهد، نانورس (*ppm2000*)، نانوسیلیکا (*ppm1000*)، بنتونیت (*ppm1000*)، گروه دوم: نانورس (*ppm1000*) و گروه سوم: بنتونیت (*ppm1000*)، نانوسیلیکا (*ppm2000*)، سیلیکات سدیم (*ppm1000*)، سیلیکات سدیم (*ppm2000*) طبقه‌بندی کرد (شکل 1).

همچنین صفات گیاهان در خاک لوم‌شنی، تیمارهای سیلیکاته را در چهار گروه اصلی گروه اول: شاهد، بنتونیت (*ppm1000*)، نانورس (*ppm1000*)، گروه دوم: نانورس (*ppm2000*)، نانوسیلیکا (*ppm2000*)، نانوسیلیکا (*ppm1000*)، گروه سوم: بنتونیت (*ppm1000*)، سیلیکات سدیم (*ppm2000*) و در نهایت گروه چهارم: سیلیکات سدیم (*ppm1000*)، توسط آنالیز کلاستر گروه‌بندی شدند (شکل 2).

در آنالیز رگرسیون چند متغیره استپ وایز برای متغیر وزن ترغده‌های بذری به‌عنوان عملکرد قابل فروش غده‌های بذری، سه صفت وزن خشک برگ، حجم کل غده‌های بذری تولیدی در یک گیاه و وزن خشک غده‌های بذری یک گیاه بالاترین همبستگی معنی‌دار را در خاک لوم با وزن ترغده‌های بذری داشتند (جدول 9).

پس از آنالیز تجزیه علیت صفات در آنالیز رگرسیون چند متغیره، اثرات مستقیم و غیر مستقیم هر کدام بر روی وزن ترغده‌های بذری در خاک لوم اندازه‌گیری شد. تغییرات این سه صفت به تنهایی 85 درصد از تغییرات وزن ترغده‌های بذری را توجیه می‌کند (جدول 9). بر اساس نتایج تجزیه علیت، وزن خشک غده‌های بذری و حجم کل غده‌های بذری بیشترین اثر مستقیم را داشت و اثر مستقیم وزن خشک برگ بر روی وزن ترغده‌های بذری ناچیز بود (جدول 9).

در خاک لوم‌شنی غیر از تیمار بنتونیت (*ppm1000*) که باعث کاهش میانگین حجم غده‌های بذری به مقدار 13 درصد نسبت به شاهد شد، بقیه مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) این مقدار را نسبت به شاهد افزایش دادند و بیشترین افزایش نیز در تیمار نانوسیلیکا (*ppm2000*)، به مقدار 91 درصد دیده شد (جدول 8).

کاربرد مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) در خاک لوم، وزن خشک غده‌های بذری را نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داد. این افزایش بین 80 تا 170 درصد، در تیمارهای نانوسیلیکا (*ppm1000*) و سیلیکات سدیم (*ppm2000*) متغیر بود (جدول 8). در خاک لوم‌شنی نیز کاربرد مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) باعث بهبود میانگین وزن خشک غده‌های بذری نسبت به شاهد شد و فقط در تیمار بنتونیت (*ppm1000*) کاهش 7 درصدی این صفت نسبت به شاهد دیده شد. تغییر مثبت دیگر تیمارها در این خاک کمتر از خاک لوم بود و بین 21 تا 142 درصد در تیمارهای نانورس (*ppm1000*) و نانوسیلیکا (*ppm2000*) ثبت شد (جدول 8).

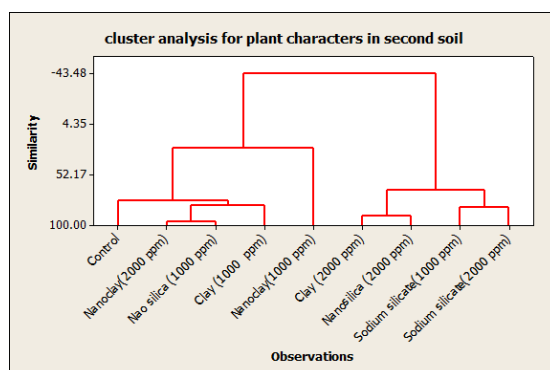
مجموع وزن‌تر کل غده‌های بذری تولیدی در یک گیاه، در هر دو خاک لوم و لوم‌شنی بر اثر کاربرد مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که این افزایش در برخی موارد به بیش از دوبرابر رسید. در خاک لوم، تیمار بنتونیت (*ppm2000*) و در خاک لوم‌شنی تیمار نانوسیلیکا (*ppm2000*) به‌ترتیب 142 و 107 درصد، مجموع وزن‌تر کل غده‌های بذری تولیدی در یک گیاه را نسبت به شاهد افزایش دادند که بیشترین مقدار افزایش این صفت بین تیمارهای مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) در هر خاک بود. کمترین افزایش در خاک لوم و لوم‌شنی نیز در تیمار نانورس (*ppm1000*) به‌ترتیب به مقدار 5/13 و 30 درصد مشاهده شد (جدول 8).

در خاک لوم همه مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو)، حجم کل غده‌های بذری تولیدی در یک گیاه را نسبت به شاهد افزایش دادند. کمترین افزایش در تیمار نانورس (*ppm1000*) و بیشترین افزایش در تیمار بنتونیت (*ppm2000*)، به‌ترتیب به مقدار 19 و 135 درصد ثبت شد (جدول 8). در خاک لوم‌شنی نیز حجم کل غده‌های بذری تولیدی در یک گیاه پس از کاربرد مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) نسبت به شاهد بهبود یافت. در این خاک نیز کمترین افزایش در تیمار نانورس (*ppm1000*) و بیشترین افزایش در تیمار بنتونیت (*ppm1000*)، به‌ترتیب به مقدار 5/28 و 157 درصد مشاهده شد (جدول 8).

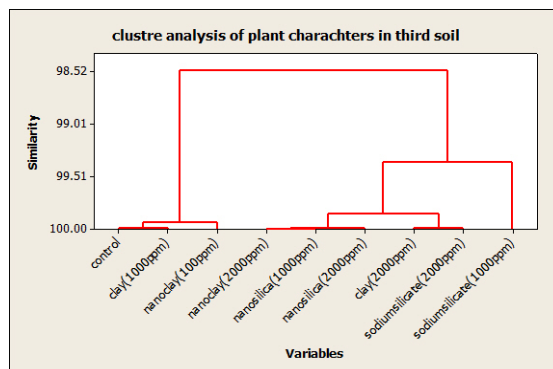
افزایش همه خصوصیات غده‌های بذری در حضور مواد سیلیکاته (نانو و غیرنانو) نسبت به شاهد بیانگر بهبود شرایط تولید عملکرد در حضور سیلیسیم است که می‌تواند به دو علت بهبود شرایط گیاه و بهبود ساختار خاک باشد. در رابطه با بهبود ساختار گیاه می‌توان به توانایی گیاه برای تولید مخزن بزرگتر به دلیل فشار تورگر بیشتر (Yin

مورد استفاده قرار گرفت که در کل این چهار صفت 99 درصد از تغییرات وزن تر غده‌های بذری را توجیه کردند (جدول 10). در بین اثرات مستقیم، اثر مستقیم تغییر حجم کل غده‌های بذری و وزن خشک غده‌های بذری بیشترین اثر را بر روی وزن تر غده‌های بذری داشتند و دیگر اثرات مستقیم قابل چشم‌پوشی بود (جدول 10). در اثرات غیر مستقیم نیز تغییر حجم غده‌های بذری از طریق تغییر سه صفت دیگر بر روی وزن تر غده‌های بذری و تغییر وزن خشک غده‌های بذری از طریق سه صفت دیگر بر روی وزن تر غده‌های بذری قابل توجه بود و دیگر اثرات غیر مستقیم قابل چشم‌پوشی بودند (جدول 10).

بین اثرات غیر مستقیم نیز اثر تغییر وزن خشک کل غده‌های بذری از طریق تغییر حجم کل غده‌های بذری و برعکس بالاترین اثرات غیر مستقیم بر تغییر وزن تر غده‌های بذری را داشت و دیگر اثرات غیر مستقیم قابل چشم‌پوشی بودند (جدول 9). در آنالیز رگرسیون چند متغیره استپ وایز برای متغیر وزن تر غده‌های بذری به‌عنوان عملکرد قابل فروش، چهار صفت سطح برگ، میانگین قطر غده‌های بذری، حجم کل غده‌های بذری تولیدی گیاه و وزن خشک کل غده‌های بذری تولیدی در یک گیاه بالاترین همبستگی معنی‌دار را با عملکرد نشان دادند (جدول 10). صفات با همبستگی معنی‌دار تعیین شده در تجزیه استپ وایز، برای بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر روی تغییرات وزن تر غده‌های بذری



شکل 1- آنالیز کلاستر اثر تیمارهای اعمال شده بر روی صفات اندازه‌گیری شده در خاک لوم
Figure 1- Cluster analysis of the effect of applied treatments on the measured traits in loam soil



شکل 2- آنالیز کلاستر اثر تیمارهای اعمال شده بر روی صفات اندازه‌گیری شده در خاک لوم‌شنی
Figure 2- Cluster analysis of the effect of applied treatments on the measured traits in sandy loam soil

جدول 9- اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات انتخاب شده در آنالیز رگرسیون چند متغیره بر روی وزن تر غده‌های بذری در خاک لوم
Table 9- Direct and indirect effect of plant and Minituber properties change on Minituber wet weight in loam soil

	همبستگی Correlation	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم Indirect effect		
			وزن خشک برگ Leaf dry weight	حجم کل غده‌های بذری یک گیاه Plant Minituber volume	وزن خشک غده‌های بذری یک گیاه Plant Minituber volume
وزن خشک برگ Leaf dry weight	0.26**	0.10	-	0.021	0.014
حجم کل غده‌های بذری یک گیاه Plant Minituber volume	0.96**	0.38	0.076	-	0.36
وزن خشک غده‌های بذری یک گیاه Plant Minituber dry weight	0.97**	0.59	0.079	0.56	-

residue: 0.156

ns, *, ** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال 5 و 1 درصد

ns, *, **: respectively significantly different in 1 % and 5% of probability, and not significantly different

جدول 10- اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات انتخاب شده در آنالیز رگرسیون چند متغیره بر روی وزن تر غده‌های بذری در خاک لوم شنی
Table 10- Direct and indirect effect of plant and Minituber properties change on Minituber wet weight in loamsand soil

	همبستگی Correlation	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم indirect effect			
			میانگین قطر غده‌های بذری Mean Minituber diameter	سطح برگ Leaf area	حجم کل غده‌های بذری یک گیاه Plant Minituber volume	وزن خشک غده‌های بذری یک گیاه Plant Minituber dry weight
میانگین قطر غده‌های بذری Mean Minituber diameter	0.63**	0.08	-	0.03	0.045	0.047
سطح برگ Leaf area	0.37*	0.04	0.022	-	0.013	0.016
حجم کل مینی تیورهای یک گیاه Plant Minituber volume	0.97**	0.46	0.25	0.12	-	0.44
وزن خشک غده‌های بذری یک گیاه Plant Minituber dry weight	0.98**	0.48	0.27	0.16	0.46	-

residue : 0.09

ns, *, ** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال 5 و 1 درصد

ns, *, **: respectively significantly different in 1 % and 5% of probability, and not significantly different

نتیجه‌گیری

خاک لوم که از تجزیه رگرسیون استپ وایز به‌دست آمده و اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها حاصل از تجزیه علیت و کلاستر با جدول میانگین اثرات متقابل خاک و تیمار مشاهده می‌شود که در صفتهای

با مقایسه صفتهای با همبستگی بالا با وزن تر غده‌های بذری در

بالاترین وزن خشک کل غده‌های بذری نیز در همین سه تیمار تولید شد. بالاترین قطر غده‌های بذری در تیمارهای بنتونیت (ppm2000) و نانوسیلیکا (ppm1000) بود و بیشترین سطح برگ را نیز تیمارهای نانوسیلیکا (ppm1000) و نانوسیلیکا (ppm2000) داشتند (جدول‌های 7، 8 و 10، شکل 2).

تیمارهای بنتونیت (ppm2000) و نانوسیلیکا (ppm2000) در دو صفت اصلی با اثر مستقیم بالا بر روی عملکرد وزن تر غده‌های بذری مشترک بودند، اما با توجه به این که اثرات مستقیم و غیر مستقیم و همبستگی صفت میانگین قطر غده‌های بذری بیشتر از سطح برگ بر روی عملکرد است و بنتونیت (ppm2000) در میانگین قطر غده‌های بذری هم تولید مناسبی داشت، می‌توان نتیجه گرفت در خاک لوم‌شنی تیمار بنتونیت (ppm2000) بهترین تیمار بوده است.

حجم کل غده‌های بذری تولیدی در گیاه و وزن خشک کل غده‌های بذری تولیدی در گیاه، تیمار بنتونیت (ppm2000) بهترین عملکرد را داشت. در صفت وزن خشک برگ تیمار سیلیکات‌سدیم (ppm2000) بالاترین وزن را تولید کرده بود (جدول‌های 7 و 9، شکل 1). با توجه به ناچیز بودن اثرات مستقیم و غیرمستقیم وزن خشک برگ نسبت به دو صفت دیگر بر روی وزن تر غده‌های بذری می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در خاک لوم، بنتونیت (ppm2000) بهترین تیمار برای افزایش وزن تر غده‌های بذری می‌باشد.

مقایسه صفت‌هایی با همبستگی بالا با عملکرد حاصل از تجزیه رگرسیون استپ وایز و تجزیه علیت با جدول اثرات متقابل خاک با تیمار و آنالیز خوشه‌ای در خاک لوم‌شنی، نشان داد که بالاترین حجم کل غده‌های بذری تولیدی گیاه در تیمارهای بنتونیت (ppm1000)، بنتونیت (ppm2000) و نانوسیلیکا (ppm2000) حاصل شده است و

References

1. Aghdak, P., Mobli, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., and Shakeri, F. 2010. Effects of adding Bentonite to different substrates on vegetative growth and yield of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 1: 31-41.
2. Ahmadi, S., Andersen, M. N., Lærke, P. E., Plauborg, F., Sepaskhah, A., Jensen, C. R., and Hansen, S. 2011a. Interaction of different irrigation strategies and soil textures on the nitrogen uptake of field grown potatoes. International Journal of Plant Production 5: 263-274.
3. Ahmadi, S. H., Andersen, M. N., and Plauborg, F. 2008. Potato root growth and distribution under three soil types and full, deficit and partial root zone drying irrigations. Plant and Soil 206: 123-136.
4. Ahmadi, S. H., Plauborg, F., Andersen, M. N., Sepaskhah, A. R., Jensen, C. R., and Hansen, S. 2011b. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Root distribution. Agricultural Water Management 98: 1280-1290.
5. Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M. R., Mahboubi, A. A., Nosrati, A., and Dexter, A. R. 2010. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. Plant and Soil 335: 229-244.
6. Drusciol, C. A. C., Pulz, A. L., Lemos, L. B., Soratto, R. P., and Lima, G. P. P. 2009. Effects of Silicon and Drought Stress on Tuber Yield and Leaf Biochemical Characteristics in Potato. Crop Science 49.
7. Dexter, A. 2004. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma 120: 201-214.
8. Karunakaran, G., Suriyaprabha, R., Manivasakan, P., Yuvakkumar, R., Rajendran, V., Prabhu, P., and Kannan, N. 2013. Effect of Nanosilica and silicon sources on plant growth promoting rhizobacteria, soil nutrients and maize seed germination. IET Nanobiotechnology 7: 70-77.
9. Kawakami, J., Iwama, K., and Jitsuyama, Y. 2006. Soil water stress and the growth and yield of potato plants grown from microtubers and conventional seed tubers. Field Crops Research 95: 89-96.
10. Kowalski, B., Terry, F., Herrera, L., and Peñalver, D. 2006. Application of Soluble Chitosan in vitro and in the Greenhouse to Increase Yield and Seed Quality of Potato Minitubers. Potato Research 49: 167-176.
11. Lebot, V. 2009. "Tropical Root and Tuber Crops: Cassava, Sweet Potato, Yams and Aroids," CABI, No.17.
12. Lemoine, R., La Camera, S., Atanassova, R., Dédaldéchamp, F., Allario, T., Pourtau, N., Bonnemain, J.-L., Laloi, M., Coutos-Thévenot, P., and Maurousset, L. 2013. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. Frontiers in Plant Science 4: 2.
13. Mura, S., Seddaiu, G., Bacchini, F., Roggero, P. P., and Greppi, G. F. 2013. Advances of Nanotechnology in agro-environmental studies. Italian Journal of Agronomy 8: 18.
14. Pilon, C., Soratto, R. P., and Moreno, L. A. 2013. Effects of Soil and Foliar Application of Soluble Silicon on Mineral Nutrition, Gas Exchange, and Growth of Potato Plants. Crop Science 53: 1605-1614.
15. Samuels, A., Glass, A., Ehret, D., and Menzies, J. 1993. The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: changes in surface characteristics. Annals of Botany 72: 433-440.
16. Satje, A., and Nelson, P. 2009. Bentonite treatments can improve the nutrient and water holding capacity of sugarcane soils in the wet tropics. Proc. Australian Soc. Sugar Cane Technol 31: 166-176.

17. Sieczka, J. B., Thornton, R. E., and Chase, R. 1992. Commercial potato production in North America. Potato Association of America handbook (USA).
18. Singh, P. R., Valkonen, T. J. P., Gray, M. S., Boonham, N., Jones, C. R. A., Kerlan, C., and Schubert, J. 2008. Discussion paper: The naming of Potato virus Y strains infecting potato. Archives of Virology 153: 1-13.
19. Smit, A. L., and Groenwold, J. 2005. Root characteristics of selected field crops: Data from the Wageningen Rhizolab (1990-2002). Plant and Soil 272: 365-384.
20. Soltani, M. 2018. Potato mini tuber production improvement by enhancing the different greenhouse sowing bed conditions and soil with Nano-clay, clay and silicon, PhD thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Agriculture department.
21. Tierno, R., Carrasco, A., Ritter, E., and de Galarreta, J. I. R. 2014. Differential Growth Response and Minituber Production of Three Potato Cultivars under Aeroponics and Greenhouse Bed Culture. American Journal of Potato Research 91: 346-353.
22. Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., Taylor, M. A., MacKerron, D. K., and Ross, H. A. 2011. "Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives: Advances and Perspectives," Elsevier, ISBN: 0080525059.
23. Wang, F.-X., Kang, Y., and Liu, S.-P. 2006. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. Agricultural Water Management 79: 248-264.
24. White, A. C., Rogers, A., Rees, M., and Osborne, C. P. 2015. How can we make plants grow faster? A source-sink perspective on growth rate. Journal of Experimental Botany.
25. Wilson, M. J. 2007. Handbook of Clay Science, F. Bergaya, B. K.G. Theng, G. Lagaly (Eds.). Elsevier, Amsterdam. 2006, ISBN: 978-0-08-044183-2 (book review). Geoderma 139: 420-421.



Effects of Silicon Application at Nano and Micro Scales on the Growth and Production of Potato Minitubers (*Solanum tuberosum* Var. Agria) under Three Soil Texture

M. Soltani¹, M. Kafi¹, A. Nezami^{1*}, H. R. Taghiyari²

Received: 16-09-2017

Accepted: 25-04-2018

Introduction: Many experiments have shown that Silicon (Si) can reduce the effect of both biotic and abiotic stresses in plants caused by plant diseases, pest damage, salinity, drought, heavy metal toxicity, nutrient imbalance, water logging, high radiation, high temperature, wounding, and freezing. It has been indicated that silicon has a beneficial role in plant nutrition such as enhancement in absorbing nitrogen, phosphorus, potassium and zinc. Beneficial results of silicon application on plant growth and physiology made farmers and researchers to use silicon as a fertilizer. Silicon fertilizers are applied as slag, compost, rice straw, calcium and sodium silicates in both foliar and soil applications. Potato is not considered as a Si-accumulating but studies have implied that Si supply may alleviate damaging effects that result from drought and also reduce stem lodging and increase tuber yield increased leaf area, specific leaf area, and pigment concentration (chlorophyll a and carotenoids) as well as photosynthesis and transpiration rates of well watered potato plants.

Materials and Methods: This experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with three replications, in department of agronomy, Ferdowsi university of Mashhad, Iran, in 2015. In this research, the effects of four different silicon compounds (Nano-silica, sodium silicate, hydrophilic Bentonite (Nano-clay), and Bentonite), in two concentrations (1000 ppm and 2000 ppm) on the growth characteristics of potato Minitubers (*Solanum tuberosum* Var. Agria) plants and production under three different soil texture (clay loam, loam and sandy loam), were investigated. In order to determine the best treatment in each soil, variance analysis was done along with cluster analysis, stepwise multi regression analysis and path analysis, and the results of all analysis were compared.

Results and Discussion: Due to the lack of development of plants in clay loam soil, the comparison between treatments was done only in loam soils and sandy loam soils. The results showed that despite the lack of leaf and stem development in silicon treated plants, the Minituber characteristics improved compared to the control, which resulted in an increase in the ratio of Minituber dry weight to shoot dry weight.

based on plant performance, Cluster analysis for loam soil categorized silicate treatments in 3 groups: first (control, Bentonite (2000 ppm), Nano-silica (2000 ppm)), second (Nano-clay (1000 ppm), Bentonite (1000 ppm), Nano-silica (1000 ppm)) and third (Nano-clay (1000 ppm), Sodium Silicate (1000 ppm), Sodium Silicate (2000 ppm)). In loam sand soil this grouping was in four groups: first (control, Bentonite (1000 ppm), Nano-clay (1000 ppm)), second (Nano-clay (2000 ppm), Nano-silica (2000 ppm), Nano-silica (1000 ppm)), third (Bentonite (2000 ppm), Sodium Silicate (2000 ppm)) and forth (Sodium Silicate (1000 ppm)).

Path analysis showed in loam soil three traits (leaf dry weight, total plant Minituber volume, total plant Minituber dry weight) have the most direct and indirect effect on Minituber fresh weight (as potato yield). In loam sand soil four traits (mean Minituber diameter, leaf area, total plant Minituber volume, total plant Minituber dry weight) were indicated to have the most direct and indirect effect on Minituber fresh weight (as potato yield).

Conclusions: Investigating the effect of applying silicate treatments in different concentrations on Minituber wet weight (as Minituber yield) by cluster analysis and path analysis showed that in both soils, Bentonite (2000 ppm) had the most effect on traits responsible for Minituber wet weight changes.

Keywords: Bentonite, Minitubers, Nanoclay, Nanosilica, Silicon

1- Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

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



مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر کاربرد منابع مختلف کودی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام جدید جو زراعی تحت شرایط دیم

رحیم ناصری^{1*}، امیر میرزایی²، امین عباسی³

تاریخ دریافت: 1399/07/06

تاریخ پذیرش: 1400/03/08

چکیده

به منظور بررسی اثر قارچ میکوریزا بر فعالیت برخی آنزیمهای آنتی اکسیدان و خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام مختلف جو در شرایط دیم، آزمایشی مزرعهای در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله طی سال زراعی 1398-99 اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل ارقام جو (محلی، ماهور، خرم و فردان) و تیمار منابع کودی شامل: شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، 50 درصد کود شیمیایی فسفر، قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*)، *Glomus etunicatum* and *Rhizophagus irregularis*)، قارچ میکوریزا + 50 درصد کود شیمیایی فسفر و 100 درصد کود شیمیایی فسفر بودند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که اثر برهمکنش رقم × منابع کودی بر فعالیت برخی آنزیمهای آنتی اکسیدان و خصوصیات فیزیولوژیکی تاثیر معنی دار داشت. رقم جو فردان در قارچ میکوریزا + 50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش فعالیت های آسکوربات پراکسیداز (85/7 درصد)، گلوکاتینون پراکسیداز (86/5 درصد)، کاتالاز (76/1 درصد)، پراکسیداز (77/3 درصد)، سوپر اکسیددسموتاز (76/9 درصد)، کلروفیل a (88/6 درصد)، کلروفیل b (92 درصد) و موجب کاهش میزان مالون دی آلدئید (62/9 درصد) و پراکسید هیدروژن (96/06 درصد) گردید و رقم جو محلی در تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان فعالیت های آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، سوپر اکسیددسموتاز و رنگیزه های فتوسنتزی بودند. با توجه به نتایج این پژوهش، در بین ارقام جو دیم مورد استفاده رقم جو فردان به همراه قارچ میکوریزا + 50 درصد کود شیمیایی فسفر در زراعت دیم به دلیل بالا بودن صفات فیزیولوژیکی می تواند توصیه گردد.

واژه های کلیدی: آنزیمهای آنتی اکسیدان، تنش خشکی، کلروفیل، میکوریزا

مقدمه

بخش زیادی از اراضی کشور در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته است. در این مناطق مهم ترین عامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی کمبود آب می باشد که در شرایط دیم به دلیل تغییرات در میزان و نحوه پراکنش نزولات آسمانی شدت بیشتری دارد. از این رو تولید محصولات زراعی در شرایط دیم هموار با ریسک همراه است که ممکن است درجه ثبات و پایداری تولید را کاهش دهد (Eskandari and Alizadeh-Amraie, 2017). قارچ میکوریزا در کشاورزی ارگانیک از اهمیت ویژه ای برخوردار است، در رابطه همزیستی تمام ویژگی های ریشه گیاه میزبان تحت تاثیر قرار گرفته و

همچنین موجب بهبود ارتباط آبی در گیاه میزبان می شود (Zarei et al., 2013). قارچ میکوریزا از طریق افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه (Robert et al., 2008)، تنظیم اسمزی یا میزان تعرق (Asrar and Elhindi, 2011)، افزایش جذب در شرایط سطوح پایین رطوبت خاک آب و انتقال توسط هیف ها (Fagbola et al., 2001)، تنظیم اسمزی از طریق حفظ تورژسانس (Asrar and Elhindi, 2011)، افزایش فعالیت فتوسنتز، افزایش پرولین، تجمع کربوهیدرات ها و بهبود وضعیت عناصر غذایی و غیر مستقیم و بالا بردن ظرفیت آنتی اکسیدانی و موجب بهبود روابط آبی می گردد (Asrar et al., 2012). وو و زیا (Wu and Xia 2006) افزایش میزان کلروفیل در گیاهچه های تلقیح شده با قارچ میکوریزا به میزان 23 درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون حضور قارچ میکوریزا) گزارش کردند. به طور کلی، بهبود شرایط تغذیه ای و محیطی سبب زیاده شدن توان گیاه در تولید میزان کلروفیل در برگ ها و تولید انرژی زیاده تر می شود که این عامل میزان کلروفیل برگ تاثیر می گذارد. افزایش میزان کلروفیل در اثر تلقیح با میکوریزا به دلیل جذب فسفر از خاک توسط گیاه نسبت داده اند (Smith and Read, 2008). در گزارش های عبدالنصر (Aboul-Nasr, 1996) و وو و ویکسا (Wu and Xia, 2006)

- 1- گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی، آموزشده فنی مهندسی و کشاورزی دهلران، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
- 2- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
- 3- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه (*) نویسنده مسئول:
(Email: r.naseri@ilam.ac.ir)
DOI: 10.22067/jcsc.2021.37177.0

در نظر گرفته شد. قارچ (*Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum* and *Rhizophagus irregularis*) مورد استفاده در این پژوهش از موسسه خاک و آب کرج تهیه شد. قبل از کاشت گندم، قارچ میکوریزا که هر گرم آن دارای 70 اسپور زنده، با بذرها تلقیح و آغشته شد و پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در شیارهای ایجاد شده کشت شدند. مشخصات رقم‌های جو مورد بررسی در این آزمایش در جدول 1 نشان داده شده است. آمار هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول 2 ارائه شده است. مقدار بذر مصرفی برای هر هکتار 120 کیلوگرم بود. کودهای نیتروژن و فسفر بر اساس آزمون خاک (جدول 3) مورد استفاده قرار گرفتند. کود نیتروژن (از منبع اوره) به میزان 120 کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) مصرف شد. کود فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) به میزان 50 کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت مصرف گردید.

در مرحله گرده‌افشانی، برگ پرچم پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و پس از قرار دادن نمونه‌ها در اُرت مایع به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت سنجش آنزیم آسکوربات پراکسیداز روش ناکانو و آسادا (Nakano and Asada, 1981) با اسپکتروفتومتر در طول موج 290 نانومتر استفاده شد. سنجش سوپراکسیددسموتاز به روش دیندسا (Dhindsa, 1981) صورت گرفت. اندازه‌گیری فعالیت پراکسیداز از روش مک‌آدام و همکاران (Mac-Adam et al., 1992) انجام گرفت. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز طبق روش ناکانو و آسادا (Nakano and Asada, 1981) مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید، پس از جدا کردن مقدار نیم‌گرم از نمونه برگ تازه در طول موج 532 نانومتر اندازه‌گیری گردید (Stewart and Bewley, 1980). جهت سنجش میزان پرولین از روش بیتز و همکاران (Bates et al., 1973) استفاده شد.

به‌منظور سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی از برگ پرچم جهت اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کارتنوئید از روش آرنون (Arnon, 1967) استفاده شد و پس از سانتریفیوژ میزان جذب نور توسط عصاره حاصل از دستگاه اسپکتروفوتومتر و در طول موج‌های 663 (کلروفیل a)، 646 (کلروفیل b) و 473 (کارتنوئید) تعیین گردید:

اظهار شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود. سونگ (Song, 2005) اظهار داشت قارچ میکوریزا موجب بهبود ریزوسفر خاک و در نتیجه توسعه ریشه و خطر اکسیداسیون کم می‌شود. تلقیح گیاه با قارچ میکوریزا به واسطه افزایش ساختار و راندمان فتوسنتزی سبب افزایش وزن خشک برگ و اندام هوایی شده که در نهایت موجب افزایش بیوماس نهایی می‌شود (Alipour et al., 2016). دلیل افزایش محتوای نسبی آب برگ توسط قارچ میکوریزا را می‌توان به دلیل نقش هیف‌ها در جذب و هدایت آب به سمت ریشه گیاه میزان و در نتیجه موجب انجام فتوسنتز بیشتر می‌شود (Abbasi et al., 2016). Seyahjani et al., نشان داده شده‌است که قارچ میکوریزا موجب جذب بیشتر آب می‌شود، که دلیل این موضوع را تغییر ساختار و رشد بهتر ریشه از جمله افزایش تعداد انشعابات ریشه بیان کردند (Berta et al., 2005; Khalvati et al., 2005).

با توجه به کاهش عملکرد دانه غلات در شرایط دیم، می‌توان با بررسی و نقش میکروارگانیسم‌ها از قبیل قارچ میکوریزا روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحت شرایط دیم به دستاوردهای جدیدی دست یافت. بنابراین آزمایش حاضر با هدف بررسی و نقش قارچ میکوریزا روی خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام جو تحت شرایط دیم صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور نقش قارچ میکوریزا روی فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام جو در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله با عرض جغرافیایی 33 درجه و 45 دقیقه و با طول جغرافیایی 34 درجه و 46 دقیقه و ارتفاع 975 متر از سطح دریا طی سال زراعی 99-1398 اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ارقام جو دوردیفه (محلی، ماهور، خرم و فردان) و تیمار منابع کودی شامل: شاهد (عدم مصرف کود)، 50 درصد کود شیمیایی فسفر، قارچ میکوریزا، قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و 100 درصد کود شیمیایی فسفر بودند. در هر کرت تعداد خطوط هشت ردیف و طول هر ردیف چهار متر، با فاصله ردیف 20 سانتی‌متری و فاصله هر تکرار یک متر

جدول 1- خصوصیات ارقام جو مورد بررسی در این آزمایش

Table 1- Barley cultivars characteristics in this experiments

ارقام	منشا	تنش خشکی	سال معرفی	اقلیم
Cultivars	Source	Drought stress	Release year	Climate
ماهور	ICARDA	متحمل	1386	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر
Mahoor		Tolerant		Warm and semi-warm
خرم	ICARDA	متحمل	1390	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر
Khorram		Tolerant		Warm and semi-warm
فردان	ICARDA	متحمل	1397	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر
Fardan		Tolerant		Warm and semi-warm

جدول 2- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی 1398-99
Table 2- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2019-2020 cropping seasons

Month	ماه	حداقل دما		میزان بارش	حداقل رطوبت نسبی	
		Min temp (°C)	Max temp (°C)	Precipitation (mm)	Min. RH (%)	Max. RH (%)
Oct.	مهر	13.2	37.2	15	18	41
Nov.	آبان	0.8	27.2	44.6	33	73
Dec.	آذر	0.2	19.6	134.4	53	83
Jan.	دی	-2	16.4	37.4	47	84
Feb.	بهمن	-8.5	19.5	60.3	43	79
Mar.	اسفند	1.7	24.8	267.1	47	84
Apr.	فروردین	2.6	26.6	33.5	40	80
May	اردیبهشت	4.8	36.5	11.3	24	64
Jun.	خرداد	16	39.7	0	12	31

جدول 3- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش 1398-99
Table 3- Soil physical and chemical properties of experimental area

Table 3- Soil physical and chemical properties of experimental area											
بافت خاک	آهن	روی	مس	منگنز	منیزیم	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	کربن آلی	شوری	اسیدیته
Soil texture	Fe	Zn	Cu	Mn	Mg	Available P	Available K	Total N	Organic Carbon	E.C	pH
	(mg kg ⁻¹)								(%)	(dS m ⁻¹)	
Clay loam	10	1.4	5.2	12	216	6	280	0.13	1.5	0.40	7.1

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اثر برهمکنش رقم × منابع مختلف کودی روی آسکوربات پراکسیداز، گلوکاتیون پراکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز معنی‌دار بود (جدول 4). بیشترین و کمترین میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز، گلوکاتیون پراکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز به ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) به ترتیب موجب افزایش 76/1، 85/7، 77/3 و 76/9 درصدی در فعالیت آسکوربات پراکسیداز، گلوکاتیون پراکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز گردید. البته بین رقم‌های ماهور و خرم نیز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری از نظر فعالیت آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتیون پراکسیداز مشاهده نشد و در یک گروه مشابه تحت قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر قرار دادند (شکل 1 و 2)، همانطور که شکل‌های مربوط به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نشان می‌دهد کاربرد کود شیمیایی فسفر، قارچ میکوریزا و کاربرد توأم آن با سایر ارقام مختلف جو نیز نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) دارای فعالیت آنزیمی بیشتری بود (شکل‌های 1 تا 5).

$$\text{Chlorophyll a} = \frac{(19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645})V}{100W} \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = \frac{(19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663})V}{100W} \quad (2)$$

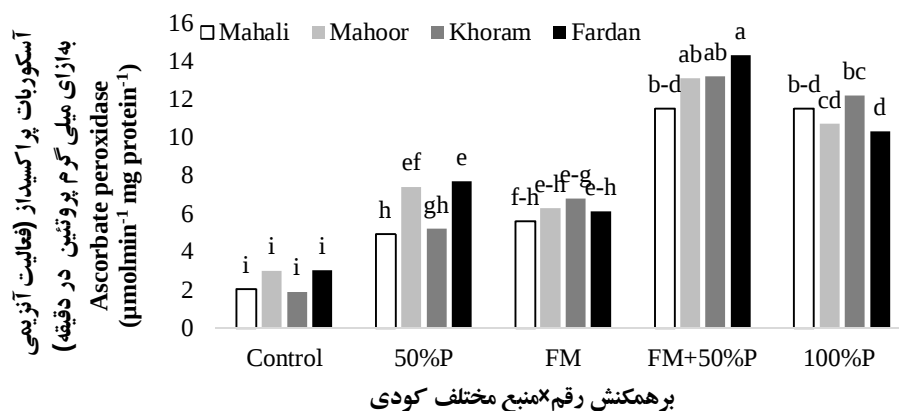
$$\text{Carotenoid content} = 100 \frac{(A_{470}) - 3.27(mgchl.a) - 104(mgchl.b)}{227} \quad (3)$$

V = حجم محلول صاف شده (محلول رویی حاصل از سانتیفریوژ)، W = وزن تر نمونه (گرم)، A = جذب نور در طول موج‌های 663، 645 و 470 نانومتر W = وزن تر نمونه بر حسب گرم. جهت اندازه‌گیری تعداد دانه تعداد 10 سنبله به صورت تصادفی از هر تیمار انتخاب و بر اساس شمار دانه در هر سنبله موجود، تعداد دانه در سنبله محاسبه گردید. به منظور اندازه‌گیری و تعیین وزن هزار دانه از هر کرت آزمایشی به صورت تصادفی شمارش و توسط ترازوی دیجیتالی وزن شد. عملکرد دانه بوته‌های موجود در هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای به صورت جداگانه کف بر و اندازه‌گیری شد. تجزیه داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و ترسیم شکل‌ها با نرم‌افزار اکسل صورت گرفتند.

نتایج و بحث

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

با توجه به جدول تجزیه واریانس صفات مربوط به فعالیت



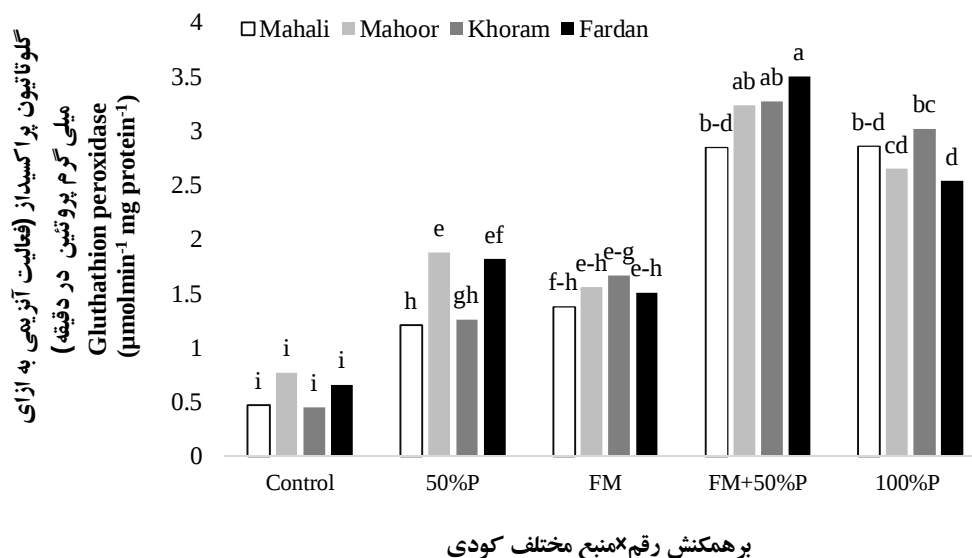
Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل 1- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر آسکوربات پراکسیداز

Figure 1- Interaction of cultivar×fertilizer sources on ascorbate peroxidase

سطوح آنتی اکسیدانتی در گیاه تلقیح شده با قارچ می شود (Baslam and Goicoechea, 2012). رویز سانچز و همکاران (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2010) نشان دادند که قارچ میکوریزا سبب بهبود عملکرد فتوسنتزی از طریق تجمع ترکیبات مثل گلوتاتیون که سبب محافظت غشاء لیپیدی در برابر هیدروژون پراکسید می گردد.

در گزارش های ناصری و همکاران (Naseri *et al.*, 2017) نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا روی گندم موجب افزایش فعالیت سیستم دفاعی گیاه و موجب بالا رفتن فعالیت های آنتی اکسیدانی گیاه از جمله زیاد شدن فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز گردید. در برخی گزارش نیز نشان داده شده است که قارچ میکوریزا سبب افزایش



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل 2- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر گلوتاتیون پراکسیداز

Figure 2- Interaction of cultivar×fertilizer sources on glutathione peroxidase

پراکسیداز، پراکسیداز و کاتالاز در گیاه می گردد (Wu and Zou, 2009).

سایر گزارش ها نیز نشان دادند که قارچ میکوریزا سبب افزایش فعالیت آنزیم های اکسیدانتی از قبیل سوپر اکسید دسموتاز، گلوتاتیون

جدول ۴- تجزیه واریانس (اینگین برسات) صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحت کاربرد کود شیمیایی نیروزن و باکتری های افزاینده رشد در ارقام مختلف جو دیم
Table 4- Analysis of variance (mean squares) for physiologic and biochemical traits under application of nitrogen chemical fertilizer and mycorrhizal fungi in dry land barley cultivars

منبع تغییر	S.O.V.	درجه آزادی d.f	اسکورات پرآکسیداز Ascorbate peroxidase	گلوتاتیون پرآکسیداز Glutathion peroxidase	کتالاز catalase	پرآکسیداز peroxidase	پرآکسیداز super oxid dismutase	سوپراکسید دیسموتاز	پرآکسید هیدروژن Hydrogen Peroxide	مالون دی آلدهید Malonde aldehyde	کاروتنید Carotenoids	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	نسبت کلروفیل a/b	قندهای محلول soluble sugar	پروتئین محلول Leaf soluble protein	درسته Grains spike ⁻¹	تعداد دانه	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عائد دانه Grain yield
تکرار Replication		2	4.3	0.27	4.3	23.4	67.7	3.1	145.8	0.49	0.36	0.34	0.27*	0.035	5.3**	6.5	62.3	25.1	2871850.7	
رقم Cultivar (C)		3	3.7*	0.23*	11.6**	28.3**	81.9**	3.03**	257.8**	1.8**	0.28*	0.27*	0.27*	0.035	5.3**	0.82**	203.8**	29.8**	3148800.08**	
منبع کودی Fertilizer source (FS)		4	215.4**	13.4**	93.7**	110.5**	320.2**	43.7**	1006.6**	16.7**	0.21**	0.21**	0.21**	0.21**	30.9**	10.38**	494.01**	110.8**	9799611.6**	
برهمکنش C × FS		12	2.5*	0.16*	1.5**	2.9**	7.9**	0.44**	48.8**	0.66	0.039	0.039	0.039	0.039	0.73	0.13	16.9*	4.7**	342748.1*	
خطا Error		38	1.001	0.062	0.41	0.62	1.9	0.088	14.4	0.094	0.072	0.072	0.062	0.021	0.78	0.074	8.3	1.5	140705.4	
ضرب تفریق (درصد) CV (%)		-	12.7	12.8	8.6	9.6	9.8	13.5	11.1	11.5	14.4	14.1	14.1	13.1	21.4	13.2	13.4	3.9	15.4	

* and ** : significant at the 5% and 1% levels, respectively

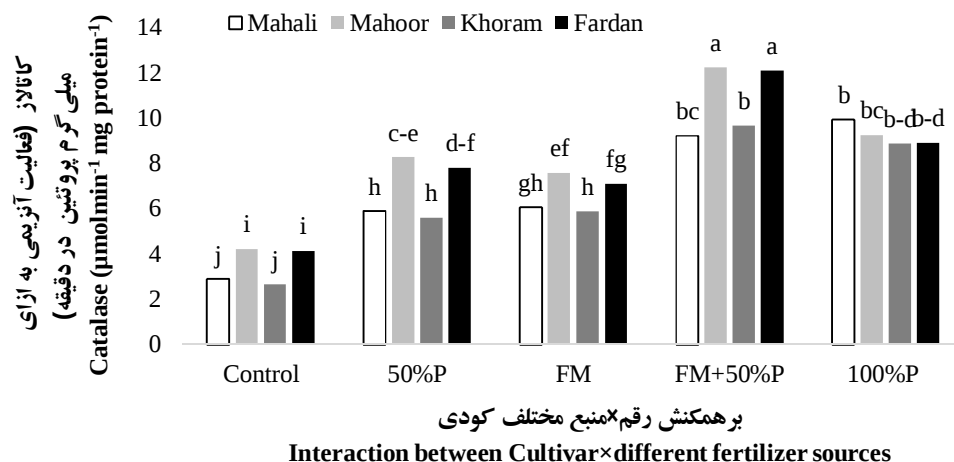
و : به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول 5- مقایسه میانگین ساده صفات فیزیولوژیک تحت تاثیر رقم و منبع کودی در شرایط دیم

Table 5- Simple comparison of physiological traits by affected cultivar and fertilizer source under dryland conditions

رقم	Cultivar	کارتنوید Carotenoids (mg.g ⁻¹ fresh weight)	نسبت کلروفیل a/b	قندهای محلول soluble sugar (mg.g ⁻¹ Dw)	پرولین Prolin (μmol/g FW)	پروتیین محلول برگ Leaf soluble protein (mg.g ⁻¹ fresh weight)
محلی	Mahali	2.5a	1.075a	3.59b	1.85b	10.50c
ماهور	Mahoor	2.74a	1.12a	4.12b	2.12a	10.78ab
خرم	Khoram	2.63a	1.078a	3.86b	2.05ab	10.56bc
فردان	Fardan	2.74a	1.18a	4.97a	2.23a	11.02a
منابع مختلف کودی	fertilizer source					
شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)	Control	1.24d	1.012c	2.07d	0.73d	9.35d
50 درصد کود شیمیایی فسفر	50%P	2.16c	1.037b	3.49c	1.72c	10.54c
قارچ میکوریزا	FM	2.10c	1.037b	3.68c	1.66c	10.53c
قارچ میکوریزا + 50 درصد کود شیمیایی فسفر	FM+50%P	4.07a	1.34a	6.15a	3.32a	11.75a
100 درصد کود شیمیایی فسفر	100%P	3.68b	1.14b	5.29b	2.89b	11.40b

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. Means, in each column and each factor, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.



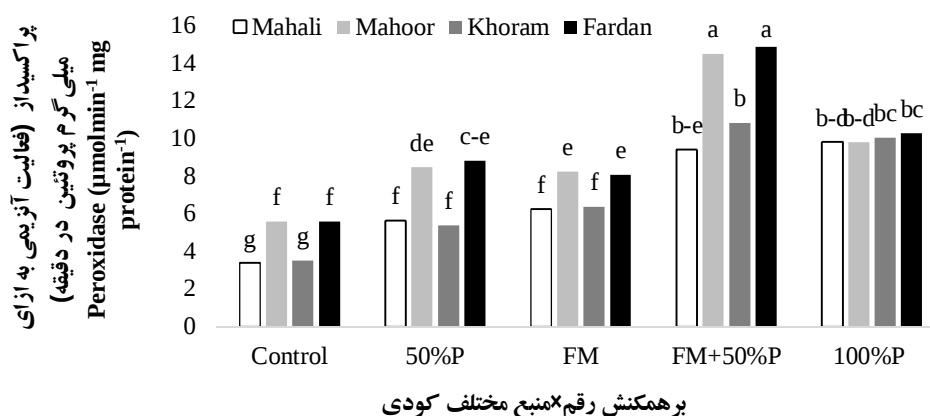
شکل 3- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر کاتالاز
Figure 3- Interaction of cultivar×fertilizer sources on catalase

همکاران (Zhu et al., 2011) افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز در گیاه تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا گزارش کردند. قارچ میکوریزا سبب تولید مواد آنتی‌اکسیدانی که نتیجه این افزایش موجب کم‌شدن گونه‌های اکسیژن فعال و محافظت سلول‌ها می‌شود. زیاده‌شدن میزان آنزیم‌های پراکسیداز در تلقیح با قارچ میکوریزا در

در سایر گزارش‌های سایر محققین نیز نشان داده شد که تلقیح بذر گندم با قارچ میکوریزا سبب کاهش گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد (Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008)، که از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز گزارش شده‌است (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004). زهو و

(Lozano, 2004)

سایر گزارش‌ها نیز اشاره شده است (Ali *et al.*, 2005; Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008; Porcel and Ruiz-



برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی
Interaction between Cultivar×different fertilizer sources

شکل 4- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر پراکسیداز

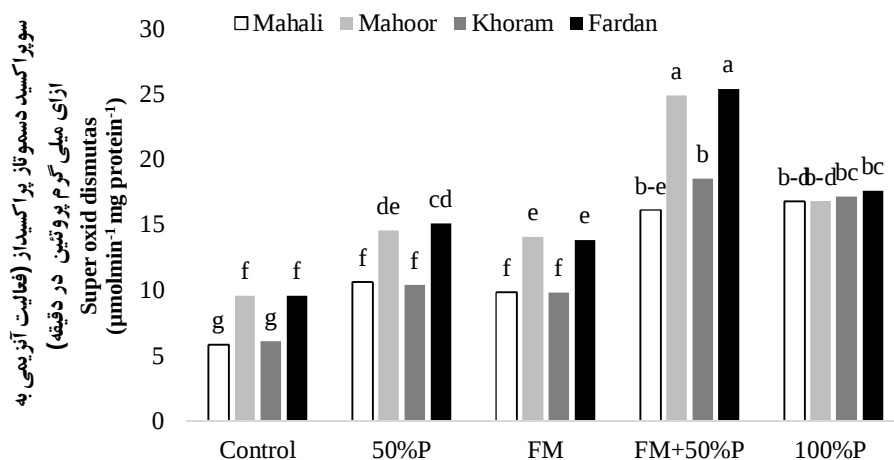
Figure 4- Interaction of cultivar×fertilizer sources on peroxidase

مثل کاتالاز در تیمار ریزوباکترها محرک رشد در سایر گزارش‌ها نیز آمده است (Heidari and Golpayegani, 2011).

پراکسید هیدروژن

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر پراکسید هیدروژن معنی‌دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین میزان پراکسید هیدروژن به ترتیب مربوط به تیمارهای رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر بود، که نسبت به کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش 96/06 درصدی در پراکسید هیدروژن گردید (شکل 6). در شرایطی که گیاه با کمبود آب مواجهه گردد، منتج به زیاده شدن گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد. کلروپلاست، میتوکندری و پراکسی‌زوم محل تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشند. افزایش سطح گونه‌های فعال اکسیژن سبب خسارت شدیدی به مکانیسم‌های سلولی شده که در نهایت مرگ سلول را موجب می‌گردد (Ishikawa *et al.*, 2010). افت فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در رقم جو محلی احتمالاً به دلیل عدم تعادل بین فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها، سبب عملکرد دانه (شکل 13) ضعیف آن شده‌است. بدین ترتیب با تجمع پراکسید هیدروژن، سلول مورد حمله قرار گرفته و این عوامل سبب می‌شود تا غلات در شرایط دیم حساس‌تر باشد (Naseri *et al.*, 2017a).

پورسل و ریزلوزانو (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004) افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را در کاربرد میکوریزا عنوان کردند. سیستم فتوسنتزی گیاه توسط تولید گونه‌های فعال آسیب فراوانی می‌بیند. یکی از راه‌های رویارویی گیاه جهت کم کردن آثار مخرب گونه‌های اکسیژن فعال، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله سوپراکسید دیسموتاز بوده که سبب پاک‌سازی پراکسید هیدروژن می‌گردند (Hong and Ji-Yan, 2007). سیستم آنزیمی مانند آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و سیستم غیر آنزیمی شامل گلوتاتیون می‌باشد (Xu *et al.*, 2008). احمدزاده (Ahmadzadeh, 2011) نشان داد که کم‌آبی در ارقام مختلف گندم نان سرعت فعالیت این آنزیم را افزایش داده است. این موضوع نشان می‌دهد که گیاهان برای مقابله با خشکی و از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال و مبارزه با تنش ایجاد شده، سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت خود را افزایش می‌دهند. محققان نشان داده‌اند که کم‌آبی سبب کاهش صفات زراعی لوبیا قرمز و افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز شده است. ریزوباکترها محرک رشد از طریق افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نقش مهمی را در محیط ریزسفر از طریق فراهم‌سازی حذف رادیکال‌های آزاد ایفا می‌کند (Wang *et al.*, 2007). سایر گزارش‌ها نیز نشان داده شده است بالابودن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت موجب بالارفتن قدرت تحمل گیاه به تنش خشکی می‌گردد، فعالیت گلوتاتیون ردوکتاز و کاتالاز در ارقام مقاوم به خشکی گندم در مقایسه با ارقام حساس به خشکی مشاهده گردید (Naseri *et al.*, 2017). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی

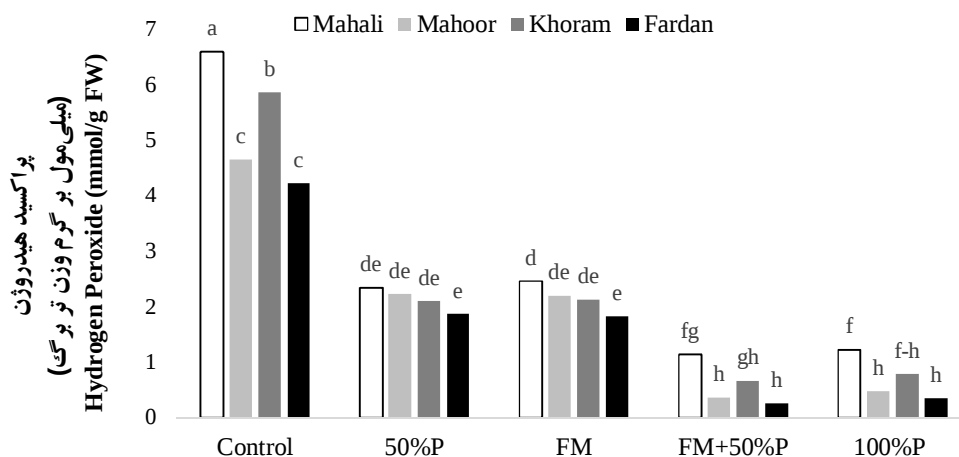


برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی

Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل 5- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر سوپراکسید دسموتاز پراکسیداز

Figure 5- Interaction of cultivar×fertilizer sources on super oxid dismutas



برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی

Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل 6- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر پراکسید هیدروژن

Figure 6- Interaction of cultivar×fertilizer sources on hydrogen peroxidas

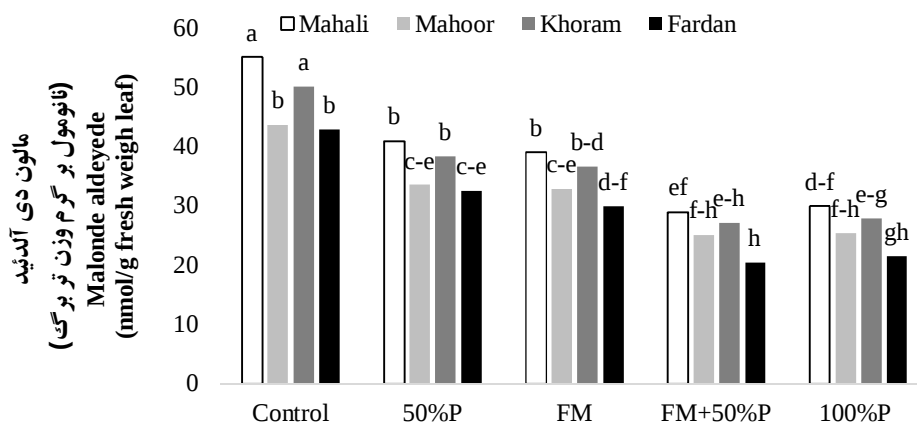
بیشترین میزان مالون دی آلدئید از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و کمترین میزان آن از رقم فردان و تحت که نسبت به کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش 62/9 درصدی در میزان مالون دی آلدئید گردید (شکل 7). اسرار و همکاران (Asrar *et al.*, 2012) نشان دادند قارچ میکوریزا موجب کاهش نشت پذیری غشاء می گردد. زهو و همکاران

مالون دی آلدئید

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر مالون دی آلدئید معنی دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین میزان مالون دی آلدئید به ترتیب مربوط به تیمارهای رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر بود.

(2004 و ریوز-لوزانو Ruiz-Lozano, 2003) نشان داده شد که غلظت مالون دی آلدئید در تیمارهای تلقیح شده با قارچ میکوریزا کمتر است. مالون دی آلدئید یکی از تولیداتی که در نتیجه واکنش تجزیه غشاء و پراکسید غشاء لیپیدی می باشد (Ahmad et al., 2012).

(Zhu et al., 2011) نشان دادند که در شرایط کم آبی نشت پذیری غشاء افزایش می یابد. آن ها در آزمایش خود نشان دادند نشت پذیری غشاء در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا به دلیل کم کردن ناشی تنش اکسیداتیو بود. در گزارش های وو و همکاران (Wu and Xia,



برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی

Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل 7- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر مالون دی آلدئید

Figure 7- Interaction of cultivar×fertilizer sources on malonate aldehyde

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر کلروفیل a معنی دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a به ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش 88/6 درصدی در میزان کلروفیل a گردید. در این پژوهش بین رقم های جو ماهر و خرم نیز از نظر آماری اختلاف معنی داری مشاهده نشد و در یک گروه مشابه تحت قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر قرار داشتند (شکل 8). دستگاه فتوسنتز نسبت به محدودیت آب حساس می باشد (Wahid et al., 2007) و کم شدن میزان فتوسنتز به دلیل کمبود آب سبب کاهش رشد گیاه و در نهایت عملکرد دانه در گندم گزارش شده است (Naseri et al., 2017b). شائو و همکاران (Shao et al., 2007) در تحقیقات خود روی گندم اظهار داشتند که کلروفیل برگ یکی از پارمترهای مهم برای میزان فتوسنتز بوده و از این پارمتر می توان جهت برآورد فتوسنتز استفاده کرد. علت کم شدن کاهش میزان فتوسنتز در شرایط دیم از طریق تخریب در عملکرد و ساختمان کلروپلاست و کم شدن در میزان کلروفیل (Xu et al., 1995)، پیری زودرس در برگ (Talukder et al., 2014) و کم شدن میزان سطح سبز برگ که در مرحله زایشی گیاه اتفاق می افتد، عنوان شده است

قارچ میکوریزا سبب بهبود عناصر غذایی و همچنین محافظت گیاه میزبان را در مقابل تنش های غیر زیستی از جمله گرما و کم آبی برعهده خواهد داشت (Borde et al., 2012). محدودیت آب و گرما سبب زیاد شدن نشت پذیری غشاء در ماش (Kumar et al., 2011)، گندم (Almeselmani et al., 2009) و نخود (Kaushal et al., 2012; Arunkumar et al., 2013) شد.

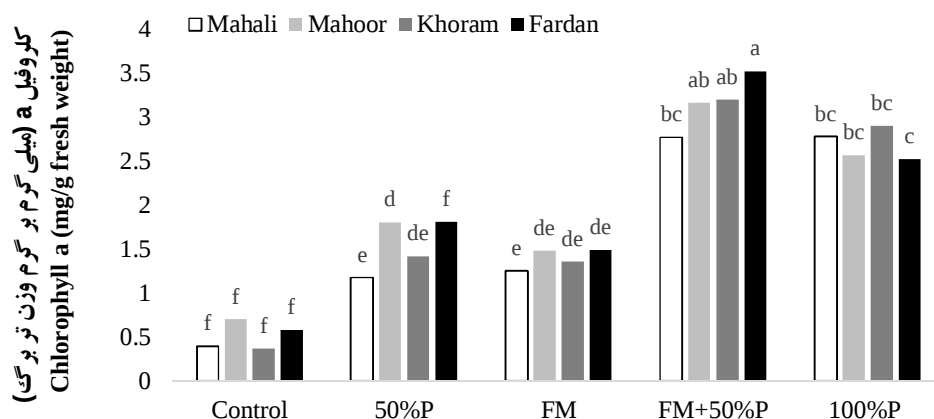
کارتونوئید

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی میزان کارتونوئید معنی دار گردید (جدول 4). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین میزان کارتونوئید بود و کمترین میزان در رقم محلی مشاهده گردید (جدول 5). در این پژوهش مشاهده گردید که تیمار مخلوط قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر در موجب افزایش میزان کارتونوئید گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان کارتونوئید بود (جدول 5). بالا بودن میزان کارتونوئید در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح با قارچ میکوریزا) در گزارش های سایر محققین نیز اشاره شده است (Wu and Xia, 2004; Allen et al., 2010).

کلروفیل a

رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط قارچ میکوریزا در گیاه میزبان در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) در گزارش‌های سایر پژوهشگران نیز آمده است (Tasang and Maum, 1999). همچنین در فلفل تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا کلروفیل a و b به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزا افزایش یافت (Demir, 2004).

(Wang et al., 2011). گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا موجب افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (Raesi et al., 2019). سایر تحقیقات نیز نشان داد که قارچ میکوریزا از طریق افزایش در هدایت روزنه‌ها و میزان فتوسنتز موجب افزایش در غلظت کلروفیل a و b می‌گردد (Selvaraj and Chellappan, 2006). افزایش میزان



برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی
Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل 8- اثر برهمکنش رقم×منبع کودی بر کلروفیل a
Figure 8- Interaction of cultivar×fertilizer sources on chlorophyll a

کاهش ورود دی‌اکسید کربن و به دنبال آن کاهش تولید مواد فتوسنتزی مثل ATP، NADPH (Efeoglu et al., 2009) و محدودیت تثبیت دی‌اکسید کربن می‌گردد. زمانی که گیاه با کمبود عنصر غذایی فسفر مواجهه شود، سرعت فتوسنتز به دلیل محدودیت در چرخه کالوین کاهش می‌یابد (De Groot et al., 2001). نتایج مثبت استفاده از قارچ میکوریزا در رشد و وزن خشک گیاه به دلیل زیاد شدن بهبود روابط آبی، جذب عناصر غذایی و افزایش میزان کلروفیل نسبت داده شده است (Alipour et al., 2016). کودهای زیستی حل‌کننده فسفر از طریق کمک به جذب نیتروژن، فسفر و گوگرد در گیاه و نقشی که این عناصر در تولید کلروفیل و تأمین آنزیم‌های دارند، سبب افزایش میزان فتوسنتز شده‌اند (Yousefpoor et al., 2014). بالا بودن میزان غلظت کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح با قارچ میکوریزا) در گزارش‌های سایر محققین نیز اشاره شده است (Wu and Xia, 2004; Allen et al., 2010).

نسبت کلروفیل a/b

با توجه به جدول تجزیه واریانس تنها اثرات اصلی مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر نسبت کلروفیل a/b معنی‌دار گردید

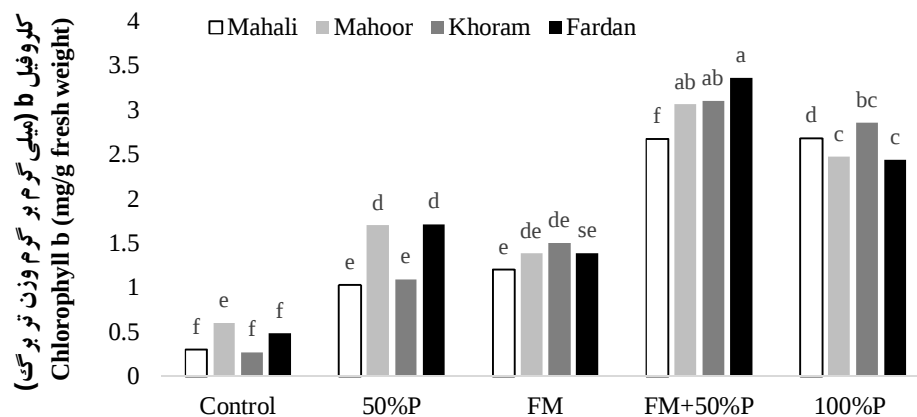
کلروفیل b

اثر برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر کلروفیل b معنی‌دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین میزان کلروفیل b به ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش 92 درصدی در میزان کلروفیل b گردید. در این پژوهش بین رقم‌های جو ماهور و خرم نیز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه مشابه تحت قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر قرار داشتند (شکل 9). کلروفیل به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می‌شود، به دلیل این که میزان کلروفیل یکی از عوامل مهم در تعیین فتوسنتز بوده، بنابراین کاهش آن در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده به حساب آید (Tajalli et al., 2013).

در سیستم فتوسنتز محدودیت آب بر میزان کلروفیل، قطع جریان الکترون، تغییرپذیری گرمایی فتوسیستم II و کاهش کربن تثبیت‌شده تأثیرگذار خواهد بود (Kaur et al., 2015). کم‌آبی سبب ایجاد یک سری واکنش‌هایی نظیر بسته شدن روزنه‌ها در گیاه شده که سبب

کاربرد قارچ میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی اثر معنی‌داری روی نسبت کلروفیل a/b داشته، به گونه‌ای که این نسبت تحت شرایط تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا افزایش از خود نشان داد (Heshmati et al., 2016).

(جدول 4). تیمار مخلوط قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش نسبت کلروفیل a/b گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول 5). در سایر پژوهش‌های انجام گرفته نیز نشان داده شد که



برهمکنش رقم × منبع مختلف کودی
Interaction between Cultivar × different fertilizer sources

شکل 9- اثر برهمکنش رقم × منابع کودی بر کلروفیل b

Figure 9- Interaction of cultivar × fertilizer sources on chlorophyll b

شیمیایی فسفر به همراه قارچ میکوریزا در مراحل مختلف رشد گیاه در شرایط دیم با افزایش نسبت کلروفیل a/b موجب پایداری فتوسنتز در طی دوره تنش می‌گردد.

قندهای محلول برگ

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر قندهای محلول برگ معنی‌دار گردید (جدول 4). رقم فردان دارای بیشترین میزان قندهای محلول برگ و کمترین آن در رقم محلی مشاهده گردید (جدول 5). همچنین تیمار مخلوط قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش قندهای محلول برگ گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول 5). کم شدن قندهای محلول در شرایط تنش خشکی از کاهش دسترسی به کربوهیدرات‌ها در اثر کاهش فتوسنتز ناشی می‌شود (Rahimi et al., 2020). آسیب به غشای سلولی در پی تنش کم‌آبی نیز تنظیم اسمزی را محدود کرده، به طوری که محتوای آب برگ بیشتر در تنش کم‌آبی ممکن است از تجمع اسمولیت‌ها از قبیل قندهای محلول جلوگیری و تاثیر گیاهان تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا روی غلظت قندهای محلول به علت افزایش فتوسنتز گزارش شده است (Fouad et al., 2014). در سایر گزارش‌های محققین نیز افزایش میزان قندهای محلول برگ در کاربرد قارچ میکوریزا روی گندم نسبت به

بدین ترتیب بر اساس این نتایج می‌توان بیان نمود در شرایط کمبود آب در حضور قارچ میکوریزا به همراه مصرف کود شیمیایی فسفر علاوه بر استحکام بافت‌های گیاهی و برگ‌ها، موجب بقای بیشتر برگ‌ها و افزایش میزان کلروفیل نیز می‌گردد و این امر باعث تداوم عمل فتوسنتز شده و نقش مهمی را در افزایش عملکرد دانه خواهد داشت. در سایر گزارش‌ها نیز بیان شده است که یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی متأثر از تنش خشکی، میزان کلروفیل برگ بوده که در اثر خشکی کاهش در رنگیزه‌های فتوسنتزی مشاهده گردید. این روند کاهشی را به دلیل از بین رفتن آنزیم‌های بیوسنتزی رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین القای تجزیه شدن یا مهار سنتز آن‌ها در شرایط تنش نسبت دادند (Afshar Mohamadian et al., 2018). نقوی و همکاران (Naghavi et al., 2015) از دلایل دیگر کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش خشکی را تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با گونه‌های فعال اکسیژن عنوان کردند. آنچه مشخص است کلروفیل a رنگدانه مهم فتوسنتز I بوده و محل استقرار آن، غشا تیلاکوئیدهاست، کاهش مقدار این کلروفیل، یکی از نشانه‌های تنش بوده و تجزیه کلروفیل و یا کاهش سنتز آن، هر دو به واسطه تخریب در ساختار تیلاکوئیدها عنوان گردیده است (Azimi et al., 2020). نتایج این آزمایش مشخص نمود که مصرف کود

تیمار شاهد (عدم کاربرد قارچ میکوریزا) مشاهده شد (Naseri *et al.*, 2017). بالا بودن غلظت قندهای محلول در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در شرایط کم آبی حکایت از نقش مطلوب قارچ میکوریزا در گیاه میزبان دارد (Subramanian and Charest, 1995). با توجه به پایین بودن میزان بارندگی‌ها (جدول 2) در منطقه ایلام که بعد از اسفندماه جو دیم معمولاً نیاز ضروری به آب دارد، که میزان بارندگی معمولاً به آن حدی نیست که نیاز جو را به آب برطرف نماید. پورسل و ریزو-لوزانو (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004) نیز افزایش قندهای محلول را گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا گزارش کردند.

پرولین

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر میزان پرولین برگ معنی‌دار گردید (جدول 4). رقم فردان دارای بیشترین میزان پرولین برگ بود و کمترین میزان آن در رقم محلی مشاهده گردید (جدول 5). تیمار مخلوط قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر در موجب افزایش میزان پرولین گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول 5). بررسی‌های صورت گرفته بیانگر آن است که قارچ میکوریزا ضمن آن که سبب رشد می‌گردد، موجب افزایش میزان پرولین برگ می‌گردد (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004). افزایش محتوای پرولین سبب محافظت غشا سلولی و کنترل گونه‌های فعال اکسیژن و پاکسازی رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Liang *et al.*, 2013). افزایش در میزان پرولین برگ در گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا به دلیل شرایط آبی خوب و تغذیه مناسب غذایی بهتر نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح)، عنوان شده‌است (Ruiz-Lozano, 2003). قارچ میکوریزا از طریق تاثیر بر ریشه، تنظیم فشار اسمزی، تغییر در انعطاف‌پذیری دیواره سلولی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع پرولین روی گیاه میزبان اثرگذاری خود را نشان می‌دهد (Alipour *et al.*, 2016). میکروارگانیزم‌های خاک دارای تاثیر معنی‌داری بر میزان پرولین می‌باشند، در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا میزان پرولین افزایش معنی‌داری از خود نشان داد (Asrar *et al.*, 2012). گزارش شده است که گیاه ماش تلقیح شده با قارچ میکوریزا از رشد بهتر و میزان بالاتر پرولین برخوردار بود (Udaiyan *et al.*, 1997). در گزارش‌های سایر محققین نیز نشان داده شده‌است که قارچ میکوریزا سبب افزایش در میزان صفات فیزیولوژیکی از جمله غلظت پرولین می‌گردد (Yooyongwech *et al.*, 2013).

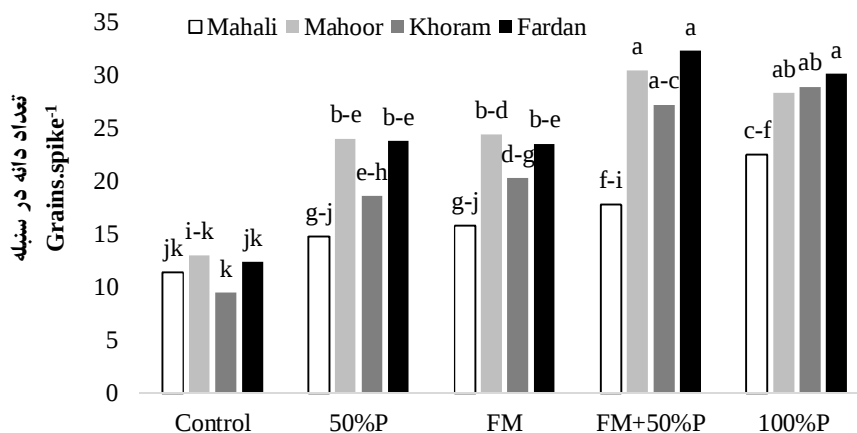
پروتئین محلول برگ

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود

شیمیایی فسفر و کود زیستی بر پروتئین محلول برگ معنی‌دار گردید (جدول 4). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین پروتئین محلول برگ بود و کمترین آن در رقم محلی مشاهده گردید (جدول 5). در این پژوهش مشاهده گردید که تیمار مخلوط قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر در موجب افزایش پروتئین محلول برگ گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول 5). کاربرد کودهای زیستی، از طریق تثبیت زیستی بیشتر نیتروژن، موجب زیاد شدن سنتز اسیدهای آمینه در برگ‌ها و به انباشتگی پروتئین در برگ‌ها کمک می‌کند (Momeni *et al.*, 2020). در سایر پژوهش‌های صورت گرفته افزایش مقدار پروتئین در برگ‌ها در کاربرد قارچ میکوریزا به علت جذب عناصر غذایی بیشتر و در دسترس قرار دادن نیتروژن و فسفر عنوان نمودند (Ram Rao *et al.*, 2007).

عملکرد و اجزای عملکرد

صفت تعداد دانه در سنبله یکی از پارامترهای مهم و تعیین‌کننده عملکرد به حساب می‌آید، که در این آزمایش تحت تاثیر برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول 4). بیشترین و کمترین تعداد دانه به ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش 70/5 درصدی تعداد دانه در سنبله گردید (شکل 10). با توجه به این که در شرایط دیم گیاه با تنش‌های مختلف از جمله کم آبی و گرما مواجه می‌گردد و در شرایط ایلام معمولاً از فروردین میزان بارندگی کم می‌گردد (جدول 2) که این کمبود بارندگی با مرحله گرده‌افشانی و متعاقب آن تشکیل دانه همراه می‌باشد. در گزارش‌های سایر محققان بیان شده است که در مرحله زایشی، یک دوره کوتاه تنش گرما می‌تواند به طور معنی‌داری سبب کم شدن جوانه‌های گل و موجب زیاد شدن سقط گل می‌شود (Annisa *et al.*, 2013). در تیمارهای شاهد میزان تعداد دانه در سنبله در تمامی ارقام مورد پژوهش به شدت کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند اما در تیمارهای قارچ میکوریزا ما حداکثر تعداد دانه در سنبله را شاهد هستیم. بنابراین به نظر می‌رسد قارچ میکوریزا از طریق افزایش طول دوره رشد تحت شرایط دیم و افزایش سطح برگ موجب کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی و گرما گردید. آنچه مشخص است در مرحله گرده‌افشانی که عمل تلقیح صورت می‌گیرد، کمبود رطوبت در این مرحله موجب کاهش میزان کلروفیل (شکل 8 و 9) و افزایش میزان غلظت گونه‌های فعال اکسیژن (شکل 6) و نشت یونی (شکل 7) می‌گردد.



برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی

Interaction between cultivar×different fertilizer sources

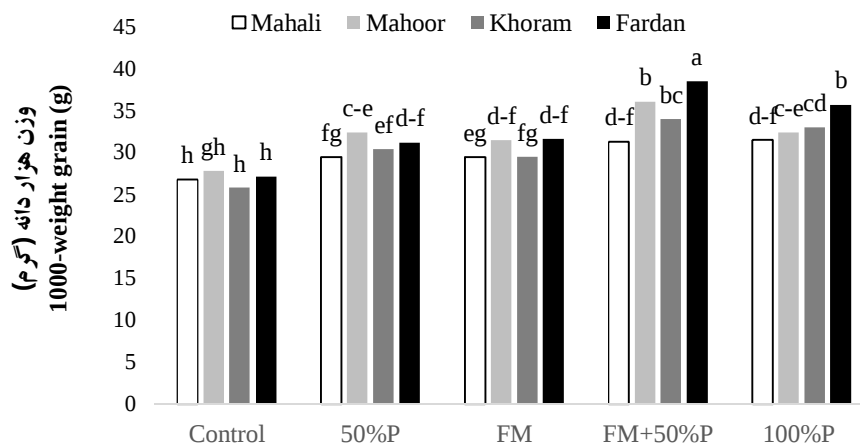
شکل 10- برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی بر تعداد دانه در سنبله

Figure 11- Interaction of cultivar×fertilizer sources on grains.spike⁻¹

سوپراکسیدسموتاز (شکل 5) و میزان رنگ‌دانه‌های کلروفیل (شکل 8 و 9) و در نهایت زیاد شدن وزن هزار دانه گردید.

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش 79/3 درصدی در عملکرد دانه گردید (شکل 12). استفاده قارچ میکوریزا در تمامی ارقام جو سبب افزایش عملکرد دانه گردید، بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح قارچ میکوریزا در ارقام مختلف جو را می‌توان به افزایش میزان کلروفیل (شکل‌های 8 و 9) و کاهش نشت یونی (شکل 7) نسبت داد. قارچ مایکوریزا میزان تولید هورمون‌های رشدی (جبرلین، اکسین و سیتوکینین) افزایش داده که از این طریق رشد و نمو بهتر و در نهایت تولید عملکرد دانه بیشتر خواهد شد (Sohrabi et al., 2019). سادات و همکاران (Sadat et al., 2010) در آزمایش‌های خود بر گندم نشان دادند استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه گردید. نتایج این بررسی، نقش سودمند قارچ میکوریزا را به‌ویژه در کاهش خسارت انتهایی فصل در شرایط دیم را تأیید کرد. گزارش شده است قارچ میکوریزا از طریق کلونیزه کرده و افزایش ریشه گیاه سبب انتشار و توسعه ریشه به منظور کسب آب و مواد غذایی که منتج به تولید عملکرد دانه بیشتری می‌گردد (Hassanpour and Behnam Zand, 2014).

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول 4). بیشترین و کمترین وزن هزار دانه به ترتیب مربوط به تیمارهای رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر و رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بود، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش 30/9 درصدی وزن هزار دانه گردید (شکل 11). زمانی که گیاه به دوران رسیدگی نزدیک می‌گردد مواد حاصل از فتوسنتز را به اندام‌های زایشی (دانه‌ها) منتقل می‌کند. قارچ میکوریزا از طریق تسریع و تقویت این عمل سبب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. آنچه مشخص است در شرایط آب و هوایی ایلام و در مرحله تشکیل و پر شدن دانه که عملاً کمبود آب و گرما را شاهد هستیم (جدول 2) کمبود رطوبت موجب می‌گردد که عمل تشکیل دانه و پر شدن دانه به خوبی صورت نگیرد و با مشکل مواجه گردد که نتیجه آن چروکیدگی و کاهش وزن هزار دانه می‌باشد. قارچ میکوریزا موجب تأخیر در پیری برگ‌ها، کاهش ریزش برگ‌ها و همچنین موجب زیاد شدن میزان آب قابل دسترس گیاه و در نهایت موجب زیاد شدن میزان کلروفیل (Naseri et al., 2017b) (شکل 8 و 9) می‌گردد، بنابراین مواد غذایی و مواد فتوسنتزی بیشتری در اختیار دانه‌ها قرار داده که این امر سبب و سبب افزایش اندازه و حجم دانه‌ها می‌شود که مجموعه این عوامل موجب وزن دانه می‌گردد (Abasi syah Jani et al., 2017). نتایج این پژوهش نشان داد که تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا سبب زیاد شدن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی مثل کاتالاز (شکل 3)، پراکسیداز (شکل 4) و

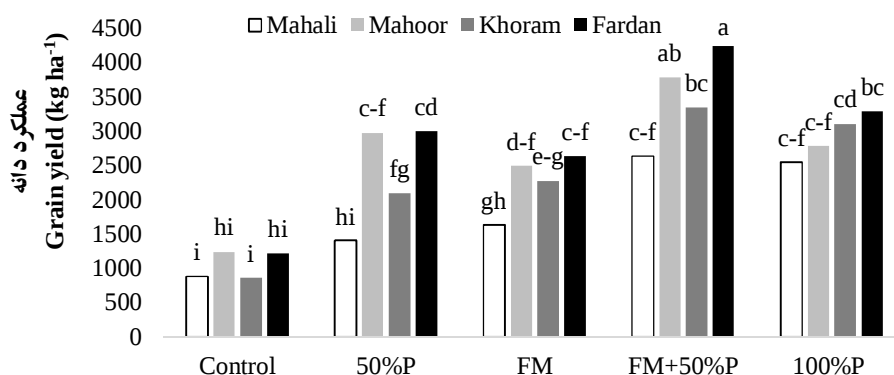


برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی

Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل 11- برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی بر وزن هزار دانه

Figure 12- Interaction of cultivar×fertilizer sources on 1000-grain weight



برهمکنش رقم×منبع مختلف کودی

Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل 12- برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی بر عملکرد دانه

Figure 13- Interaction of cultivar×fertilizer sources on grain yield

فیزیولوژیکی افزایش پیدا کردند. رقم فردان× قارچ میکوریزا+50 درصد کود شیمیایی فسفر دارای حداکثر فعالیت رنگزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (سوپر اکسیددسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز) که نتیجه آن بهبود رشد و عملکرد دانه بود. با توجه به نتایج این پژوهش، در بین ارقام جو دیم مورد استفاده رقم جو فردان به همراه قارچ میکوریزا +50 درصد کود شیمیایی فسفر در زراعت دیم منطقه می‌تواند توصیه گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در شرایط دیم منطقه صفات فیزیولوژیک (میزان کلروفیل برگ) در تمامی ارقام جو مورد مطالعه نسبت به تیمار کاربرد قارچ میکوریزا و کود شیمیایی فسفر از خود کاهش نشان دادند، در این پژوهش نیز حداکثر فعالیت پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در رقم محلی×تیمار شاهد مشاهده شد، اما هنگامی که تلقیح با قارچ میکوریزا استفاده گردید خصوصیات

References

1. Abasi Syah Jani, E., Yarnai, M., Farhoosh, F., Khorshidi Benam, M., and Asadi Rahmani, H. 2017. Effect of

- razobium phazeoli bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on yield and yield components of red bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) under water tension deficit. *Crop Physiology Journal* 10 (40): 19-34. (in Persian with English abstract).
2. Aboul-Nasr, A. 1996. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on *Tagetes erecta* and *Zinnia elegans*. *Mycorrhiza* 6: 61-64.
3. Afshar Mohamadian, M., Omidipour, M., and Jamal Omid, F. 2018. Effect of different drought stress levels on chlorophyll fluorescence indices of two bean cultivars. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 31 (3): 511-525. (in Persian with English abstract).
4. Ahmad, P., Hakeem, K. R., Kumar, A., Ashraf, M., and Akram, N. A. 2012. Salt-induced changes in photosynthetic activity and oxidative defense system of three cultivars of mustard (*Brassica juncea* L.). *African Journal of Biotechnology* 11 (11): 2694-2703.
5. Ahmadizadeh, M., Valizadeh, M., Zaefizadeh, M., and Shahbazi, H. 2011. Antioxidative protection and electrolyte leakage in durum wheat under drought stress condition. *Journal of Applied Sciences Research* 7 (3): 236-246.
6. Ali, M. B., Hahn, E., and Paek, K. 2003. Effects of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in *Phalaenopsis*. *Plant Physiology and Biochemistry* 43: 213-223.
7. Alipour, H., Nikbakht Etemadi, A., N., Nourbakhsh, F., and Rejali F. 2016. The Efficiency of Mycorrhizal Fungi on Growth Characteristics and some Nutrients Uptake of Plane tree Seedling (*Platanus orientalis* L.). *Journal of Horticultural Science* 29 (4): 537-546. (in Persian with English abstract).
8. Allen, M. F., Edith B., Jennifer L., Lansing A., Kurt S., Pregitzer B., Ron L., Hendrick C., Roger W., Ruess D., and Collins, S. L. 2010. Responses to chronic N fertilization of ectomycorrhizal pinon but not arbuscular mycorrhizal juniper in a pinon-juniper woodland. *Journal of Arid Environments* 74: 1170-1176.
9. Almeselmani, M., Deshmukh, P. S., and Sairam, R. K. 2009. High temperature stress tolerance in wheat genotypes: role of antioxidant defense enzymes. *Acta Agronomica Academiae Scientiarum Hungaricae* 57: 1-14.
10. Amiri Farsani, F., Chorom, M., and Enayatzamir, N. 2013. Effect of biofertilizer and chemical fertilizer on wheat yield under two soil types in experimental greenhouse. *Soil and Water* 27 (2): 441-451. (in Persian with English abstract).
11. Annisa, A., Chen, S., Turner, N. C., and Cowling, W. A. 2013. Genetic variation for heat tolerance during the reproductive phase in *Brassica rapa*. *Agronomy Journal of Crop Science* 199: 424-435.
12. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23: 112-121.
13. Arunkumar, R., Sairam, R. K., Deshmukh, P. S., Pal, M., Khetarpal, M. S., Pandey, S. K., Kushwaha, S. R. and Singh, T. P. 2012. High temperature stress and accumulation of compatible solutes in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Indian Journal of Plant Physiology* 17: 145-150.
14. Asrar, A. W. A., and Elhindi, K. M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences* 18: 93-98.
15. Asrar, A. A., Abdel-Fattah, G. M., and Elhindi K. M. 2012. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) plants grown under well-watered and water stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. *Photosynthetica* 50 (2): 305-316.
16. Azimi, M., Taheri, M., Khoshzaman, T., Tokasi, M., Sohrabi, E., Dadras, A., and Abdollahi, A. 2020. Investigation of Drought Tolerance Using Metabolites and Photosynthetic Characters in Zard Olive (*Olea Europaea* L.) Cultivar Plants. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 51 (4): 873-883. (in Persian with English abstract).
17. Baslam, M., and Goicoechea, N. 2012. Water deficit improved the capacity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of antioxidant compounds in lettuce leaves. *Mycorrhiza* 22: 347-359.
18. Bates, L. S., Waldren, R. P., and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39 (1): 205-207.
19. Berta, G., Sampo, S., Gamalero, E., Massa, N., and Lemanceau, P. 2005. Suppression of Rhizoctonia root-rot of tomato by *Glomus mossae* BEG12 and *Pseudomonas fluorescens* A6RI is associated with their effect on the pathogen growth and on the root morphogenesis. *European Journal of Plant Pathology* 111: 279-88.
20. Borde, M., Dudhane, M., and Jite, P. 2012. Growth, water use efficiency and antioxidant defense responses of mycorrhizal and non mycorrhizal *Allium sativum* L. under drought stress condition. *Annals of Plant Protection Sciences* 1: 6-11.
21. De Groot, C. C., Marcelis, L. F. M., van der Boogaard, R., and Lambers, H. 2001. Growth and dry-mass partitioning in tomato as affected by phosphorus nutrition and light. *Plant, Cell and Environment* 24: 1309-1317.
22. Demir, S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological, growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology* 28: 85-90.
23. Efeoglu, B., Ekmekci, Y., and Cicek, N. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany* 75: 34-42.
24. Dhindsa, R. S. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany* 32 (1):

- 93-101.
25. Eskandari, H., and Alizadeh-Amraie, A. 2017. Grain yield and energy efficiency of a barley dry land farming system as affected by supplemental irrigation at flowering stage. *Journal of Crops Improvement* 18 (4): 871-880. (in Persian with English abstract).
26. Eydzadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., and Soufizadeh, S. 2010. Effect of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. *Journal of Agroecology* 2 (2): 292-301. (in Persian with English abstract).
27. Fagbola, O., Osonubi, O., Mulongox, K., and Odunfa, S. A., 2001. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhiza on the growth of *Gliricidia sepium* (Jacq), Walp, *Leucaenal leucocephala* (Lam). De wit. In simulated eroded soil conditions. *Mycorrhiza* 11: 215-223.
28. Fouad, M. O., Essahibi, A., Benhiba, A., and Qaddoury, A. 2014 Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi in the protection of olive plants against oxidative stress induced by drought. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12: 763-771.
29. Hamel, C., and Plenchette, C. 2007. Mycorrhizae in crop production. Haworth, Binghampton.
30. Hassanpour, J., and Zand, B. 2014. Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed inoculation with bio-fertilizers on reduction of drought stress damage. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research* 1 (2): 1-12. (in Persian with English abstract).
31. Hong, W., and Ji-Yan, J. 2007. Effects of zinc deficiency and drought stress on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Science in China* 6 (8): 988-995.
32. Heidari, M., and Golpayegani, A. 2011. Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 11: 57-61.
33. Heshmati, S., Amini Dehaghi, M., Rezazadeh, A., and Fathi Amirkhiz, K. 2016. Study the effect of different phosphorus fertilizers on physiological characteristic of photosynthetic pigments and soluble sugars of safflower under water deficit condition. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14 (2): 304-317.
34. Ishikawa, T., Takahara, K., Hirabayashi, T., Matsumura, H., Fujisawa, S., Terauchi, R., Uchimiya, H., and Kawai-Yamada, M. 2010. Metabolome analysis of response to oxidative stress in rice suspension cells overexpressing cell death suppressor Bax inhibitor-1. *Plant Cell Physiology* 51: 9-20.
35. Kaur, R., Bains, T. S., Bindumadhava, H., and Nayyar, H., 2015. Responses of mungbean (*Vigna radiata* L.) genotypes to heat stress: Effects on reproductive biology, leaf function and yield traits. *Scientia Horticulturae* <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.015>.
36. Kaushal, N., Awasthi, R., Gupta, K., Gaur, P., Siddique, K. H. M., Nayyar, H. 2013. Heat-stress induced reproductive failures in chickpea (*Cicer arietinum* L.) are associated with impaired sucrose metabolism in leaves and anthers. *Functional Plant Biology* 40: 1334-1349.
37. Khalafallah, A. A., Abo-Ghalia, and 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.
38. Khalvati, M. A., Mozafar, A., and Schmidhalter, V. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart* 7 (6): 706-712.
39. Kumar, S., Kaur, R., Kaur, N., Bhandhari, K., Kaushal, N., Gupta, K., Bains, T. S., and Nayyar, H. 2011. Heat-stress induced inhibition in growth and chlorosis in mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) is partly mitigated by ascorbic acid application and is related to reduction in oxidative stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 33: 2091-2101.
40. Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., and Becker, D. F. 2013. Proline Mechanisms of Stress Survival. *Antioxidant and Redox Signaling Journal* 19: 998-1011.
41. Mac-Adam, J. W., Nelson C. J., and Sharp R. E. 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology* 99 (3): 872-878.
42. Momeni, F., Abdali-Mashhadi, A., Siadat, S. A., Pakdaman-Sardrood, B., and Ghobadi, M. 2020. Effect of Application of Biofertilizers and Salicylic Acid on Biochemical Characteristics and Grain Elements of Chickpea Cultivars (*Cicer arietinum* L.) under Rainfed Conditions of Kermanshah Crop [hysiology Journal 12 (47): 5-25.
43. Naghavi, M. R., Toorchi, M., Moghaddam, M., and Shakiba, M. R. 2015. Evaluation of diversity and traits correlation in spring wheat cultivars under drought stress. *Notulae Scientia Biologicae* 7 (3): 349-354.
44. Nakano, Y., and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22: 867-880.
45. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2017a. Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on root characteristics, some activities of antioxidative enzymes of wheat under dry land conditions. *Applied Research of Plant Ecophysiology* 5 (1): 163-188. (in Persian with English abstract).

46. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2017b. Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal fungi on some activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics of wheat under dry land conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture* 6 (1): 1-34. (in Persian with English abstract).
47. Naseri, R., Soleymani Fard, A., Mirzaei, A., Darabi, F., and Fathi, A. 2019. The effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics and root growth of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions of Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research* 10 (2): 62-78. (in Persian with English abstract).
48. Porcel, R., and Ruiz-Lozano, J. M. 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany* 55: 1743-50.
49. Raesi, R., Fakheri, B., and Mahdinezhad, N. 2019. Evaluation of the effect of *Glomus fasciolaria* on some morphological characteristics, photosynthetic pigments and antioxidant activity of Chicory (*Cichorium intybus* L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12 (2): 495-505. (in Persian with English abstract).
50. Rahimi, A., Dovlati, B., Amirnia, R., and Heydarzade, S. 2020. Effect of application of mycorrhizal fungus and *Azotobacter* on physiological characteristics of *Trigonella foenum-graecum* L. under water stress conditions. *Iranian Journal of Plant Biology* 11 (4): 3-17. (in Persian with English abstract).
51. Ram Rao, D. M., Kodandaramaiah, J., Reddy, M. P., Katiyar R. S. and Rahmathulla, V. K. 2007. Effect of VAM fungi and bacterial biofertilizers on mulberry leaf quality and silkworm cocoon characters under semi-aride conditions. *Caspian Journal of Environmental Science* 5 (2): 111-117.
52. Robert, M., Auge, R. M., Heather, D., Carl, F., Sams, E. A., and Ghazala, N. 2008. Hydraulic conductance and water potential gradients in squash leaves showing mycorrhiza-induced increases in stomatal conductance. *Mycorrhiza* 18: 115-121.
53. Ruiz-Lozano, J. M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress, new perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza* 13: 309-317.
54. Ruiz-Sánchez, M., Aroca, R., Muñoz, Y., Armada, E., Polón, R., and Ruiz-Lozano, J. M. 2010. The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Journal of Plant Physiology* 167: 862-869.
55. Sadat, A., Savaghebi, Gh., Rejali, F., Farahbakhsh, M., Khavazi, K., and Shirmardi M. 2010. Effects of some Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil. *Journal of Water and Soil* 24 (1): 53-62. (in Persian with English abstract).
56. Selvaraj, T., and Chellappan, P. 2006. *Arbuscular mycorrhizae*: a diverse personality. *Journal of Central European Agriculture* 7 (2): 349-358.
57. Shao, H. B., Chu, Y., Wu, G., Zhang, J. H., Lu, Z. H., and Hu, Y. C., 2007. Changes of some antioxidative physiological indices under soil water deficits among 10 wheats (*Triticum aestivum* L.) genotypes at tillering stage. *Colloids and Surfaces* 54: 143-149.
58. Smith, S. E., and Read, D. J., 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*, third ed., Academic Press, London, UK.
59. Sohrabi, Y., Weisany, W., Heidari, Gh., Mohammadi, Kh., and Ghasemi Golezani, K. 2019. Effects of mycorrhiza fungi species application on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Environmental stresses in Crop Science* 12 (2): 507-524. (in Persian with English abstract).
60. Song, H. 2005. Effects of vam on host plant in condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology* 1 (3): 44-48.
61. Stewart, R. R., and Bewley, J. D. 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology* 65 (2): 245-248.
62. Tajalli, H., Mousavi, S., Baradaran, R., Saberi, M., and Arazmjoo, E. 2013. Evaluation of 20 barley genotypes under the terminal drought condition. *Journal of Crop Ecophysiology* 7 (25 (1)): 91-104. (in Persian with English abstract).
63. Talukder, A.S.M.H.M., McDonald, G. K., and Gill, G. S. 2014. Effect of short-term heat stress prior to flowering and early grain Seton the grain yield of wheat. *Field Crops Research* 160: 54-63.
64. Tasang, A., and Maum, M. A. 1999. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastal foredunes. University of Waterloo, Canada. *Plant Ecology* 144: 159-166.
65. Tewari, A. K., and Tripathy B. C. 1998. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. *Plant Physiology* 117: 851-858.
66. Udaiyan, K., Devi, A. P. G., Chitra, A., and Greep, S. 1997. Possible role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on drought tolerance in *Vigna unguiculata subsp. unguiculata* (L.) Walp and *Leucaena latisiliqua* L. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 20: 135-146.
67. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., and Foolad, M. R. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany* 61: 199-223.
68. Wang, Y. J., Wang, H. M., Yang, C. H., Wang, Q., and Mei, R. H. 2007. Two distinct manganese-containing superoxide dismutase genes in *Bacillus cereus*: their physiological characterizations and roles in surviving in

- wheat rhizosphere. FEMS Microbiology Letters 272: 206-213.
69. Wang, X., Cai, J., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., and Cao, W. 2011. Pre-anthesis high-temperature acclimation alleviates damage to the flag leaf caused by post-anthesis heat stress in wheat. Journal of Plant Physiology 168: 585-593.
70. Wu, Q. S., Zou, and Y. N. 2009. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. Plant Soil Environment 55: 436-442.
71. Wu, Q. S., and Xia, R. X. 2004. The relation between vesicular-arbuscular mycorrhizae and water metabolism in plants. Chinese Agricultural Science Bulletin 20 (1): 188-192.
72. Wu, B., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., and Wong, M. H. 2005 Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. A greenhouse trial. Geoderma 125 (1-2): 155-162.
73. Wu, Q. S., and Xia, R. X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163: 417-425.
74. Yooyongwech, S., Phaukinsang, N., Cha-Um, S., and Supaibulwatana, K. 2013. Arbuscular mycorrhiza improved growth performance in *Macadamia tetraphylla* L. grown under water deficit stress involves soluble sugar and proline accumulation. Plant Growth Regulation 69: 285-293.
75. Zhu, X., Song, F., and Liu, S. 2011. Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. Journal of Food, Agriculture and Environment 9: 583-587.
76. Xu, P. L., Guo, Y. K., Bai, J. G., Shang, L., and Wang, X. J. 2008. Effects of long-term chilling on ultrastructure and antioxidant activity in leaves of two cucumber cultivars under low light. Physiologia Plantarum 132: 467-478.
77. Xu, Q. A., Paulsen, A. Q., Guikema, J. A., and Paulsen, G. M. 1995. Functional and ultrastructural injury to photosynthesis in wheat by high-temperature during maturation. Journal of Experimental Botany 35: 43-54.
78. Yousefpoor, Z., Yadavi, A., Balouchi, H., and Farajee, H. 2014. Evaluation of yield and some physiological, morphological and phenological characteristics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) influenced by biological and chemical fertilizer of nitrogen and phosphorus. Journal of Agroecology 6 (3): 508-519. (in Persian with English abstract).
79. Zhu, X., Song, F., and Liu, S. 2011. Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. Journal of Food, Agriculture and Environment 9: 583-587.



Effect of Application of Different Fertilizer Sources on Physiological and Biochemical Traits of new Cultivars of Barley under Dryland Conditions

R. Naseri^{1*}, A. Mirzeai², A. Abbasi³

Received: 27-09-2020

Accepted: 29-05-2021

Introduction

Mycorrhiza fungus is of special importance in organic agriculture and in relation to the coexistence of all root characteristics of the host plant is affected and also improves the water relationship in the host plant. With application of mycorrhizal fungus, the plant absorbs soil water better and as a result, by increasing the relative moisture content of the leaves, the stomata are open for a longer time and carbon dioxide processing is done optimally, resulting in more photosynthesis, which ultimately leads to increased yield. The aim of this research in rainfed agriculture is to reduce the stresses on rainfed wheat. In rainfed wheat cultivation, the plant gets its water requirement from rainfall. In most cases, the plant water needs are not met in this way. Due to the reduction of grain yield of rain-fed barley cultivars, new achievements can be reached by investigating the role of plant growth-promoting bacteria on physiological and biochemical traits under rain-fed conditions. Considering that no research has been reported on the role of plant growth promoting bacteria on rainfed barley in the country and especially in Ilam province. Therefore, the present experiment was conducted to investigate the effect of plant growth promoting bacteria on the activity of antioxidant enzymes and physiological traits of rain-fed barley cultivars.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of inoculation with mycorrhizal fungi on some physiologic and biochemical traits of barley cultivars in rainfed conditions, a factorial field experiment was carried out in the form of a randomized complete block design with three replications in the farm station of Sarablah Agricultural Research Center during 2019-2020 cropping season. Experimental treatments including factor of barley cultivars (Mahali, Mahour, Khoram and Fardan) and fertilizer sources treatment including: control (without fertilizer source), 50% P fertilizer, mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum* and *Rhizophagus irregularis*), mycorrhizal fungi + 50% P chemical fertilizer and 100% P chemical fertilizer.

Results and Discussion

The results of this experiment showed that the interaction between cultivar×fertilizer sources had a significant effect on the activity of some antioxidant enzymes and physiological properties. Fardan cultivar×mycorrhizal fungi +50% P chemical fertilizer increases the activities of ascorbate peroxidase ($14.3 \mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg protein}^{-1}$), glutathion peroxidase ($3.5 \mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg protein}^{-1}$), catalase ($12.1 \mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg protein}^{-1}$), peroxidase ($14.8 \mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg protein}^{-1}$), super oxid dismutas ($25.4 \mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg protein}^{-1}$), chlorophyll a ($3.5 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh weight), chlorophyll b ($3.3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh weight) and reduces malonde aldehyede ($20.4 \text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh weigh leaf) and hydrogen Peroxide ($0.26 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ FW) and Mahali cultivar× control treatment (without fertilizer sources) had the lowest activities of ascorbate peroxidase, peroxidase, superoxide dismutase and photosynthetic pigments.

Conclusions

The results of this study showed that in the dryland conditions of the region, physiological traits (leaf chlorophyll content) were significantly reduced in all studied barley cultivars. In this study, the maximum activity of hydrogen peroxide and malondealdehyede in the Mahali cultivar×control treatment was observed, but when inoculation was used with mycorrhizal fungus, observed an increase in physiological characteristics. Fardan cultivar×Mycorrhiza+50% P fertilizer with maximum activity of photosynthetic pigments and antioxidant enzymes (superoxide desmutase, catalase and peroxidase) which resulted in increased growth and yield. According to the results of this study, among the rainfed barley cultivars used, Fardan cultivar with mycorrhizal

1- Department of Plant Production Technology, Dehloran Faculty of Agriculture and Engineering, Ilam University, Ilam, Iran

2- Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran

3- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

(*- Corresponding Author Email: r.naseri@ilam.ac.ir)

fungi +50% P fertilizer can be recommended in rainfed agriculture of the region.

Acknowledgements

This research was derived from a research project that was carried out at Sarablah Agricultural Research Station. Thanks to all the colleagues who accompanied and helped the authors during the implementation of this study.

Keywords: Antioxidant enzymes, Chlorophyll, Drought stress, Mycorrhiza



مقاله پژوهشی

اثر حذف برگ بر ویژگی‌های کمی و کیفی ارقام چغندر قند پاییزه در استان گلستان

نورالله تازی که¹، عباس بیابانی^{2*}، علیرضا صابری³، علی راحمی کاریزکی⁴، معصومه نعیمی⁵

تاریخ دریافت: 1399/07/15

تاریخ پذیرش: 1400/02/01

چکیده

در گیاهان، برگ‌ها، اصلی‌ترین محل دریافت تابش خورشیدی و تولید مواد فتوسنتزی هستند، به همین دلیل برآورد میزان کاهش عملکرد ناشی از بین رفتن برگ‌ها، نقش مهمی در مدیریت مزرعه دارد. به منظور بررسی اثر حذف اندام هوایی (برگ و دم‌برگ) در مراحل مختلف رشد رویشی بر عملکرد و کیفیت ریشه چغندر قند، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ورسن گرگان در سال زراعی 1398-99 اجرا گردید. عامل اول شامل 6 رقم تجاری چغندر قند پاییزه (5 رقم خارجی و رقم داخلی شریف) و عامل دوم شامل سرزنی در اردیبهشت‌ماه (مرحله میانی رشد)، سرزنی در خردادماه (مرحله نهایی رشد) و تیمار شاهد (عدم سرزنی) انجام شد. در پایان فصل رشد صفات کمی و کیفی ریشه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد ارقام چغندر قند در صفات درصد قند ناخالص (عیار)، قند خالص، سدیم، پتاسیم، ضریب استحصال شکر و قند ملاس اختلاف معنی‌داری از خود نشان دادند؛ ولیکن از نظر صفات نیتروژن مضره و الکالیت به بین ارقام اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. سرزنی چغندر قند باعث کاهش درصد قند، نیتروژن و عملکرد ریشه و افزایش میزان الکالیت و پتاسیم ریشه گردید. بیشترین ضایعات عملکرد ریشه زمانی که برگ چغندر قند در مراحل میانی رشد (اردیبهشت‌ماه) حذف شدند به‌دست آمد، به‌طوری که کاهش عملکرد ریشه در سرزنی اردیبهشت‌ماه نسبت به سرزنی خردادماه بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت. در مجموع، مرحله‌ای از رشد گیاه که حذف برگ صورت می‌گیرد و فاصله آن تا زمان برداشت بر عملکرد و خواص کیفی چغندر قند موثر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خسارت برگ، درصد قند، مراحل رشد، عملکرد ریشه

مقدمه

شکل بهاره و پاییزه در مناطق مختلف وجود دارد. امکان توسعه کشت پاییزه چغندر قند علاوه بر خوزستان و ایلام در استان‌های خراسان، فارس، گلستان، اصفهان، کرمانشاه و کرمان نیز وجود دارد (Ahmadi et al., 2018b). مهم‌ترین عاملی که می‌توان آن را به‌عنوان شاخصی بارز برای اولویت و برتری کشت پاییزه چغندر قند نسبت به کشت بهاره معرفی کرد، استفاده بهینه از نزولات آسمانی در طول دوره رشد و کارایی مصرف آب در زراعت چغندر قند پاییزه می‌باشد (Sharifi, 2001). با توجه به خشکسالی‌های اخیر در کشور و محدودیت منابع آب، توسعه کشت پاییزه می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب جهت سازش با شرایط خشک‌سالی معرفی شود (Ahmadi et al., 2018b).

در گیاهان، برگ‌ها اصلی‌ترین محل دریافت تابش خورشیدی و تولید مواد فتوسنتزی هستند، به همین دلیل برآورد میزان کاهش عملکرد ناشی از ریزش برگ‌ها، نقش مهمی در مدیریت مزرعه دارد (Hassanvandi and Hosseinpour, 2018). به‌جز تأثیرات عوامل تنش‌زا، برخی کشاورزان طی دوره رشد ممکن است از برگ چغندر قند برای تغلیف دام‌ها نیز استفاده کنند. در این شرایط نیز برگ‌ها صدمه می‌بینند (Mohammadian and Taleghani, 2019). در پژوهش اثر برگ‌زدایی بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند در مشهد گزارش

چغندر قند با نام علمی *Beta vulgaris* L. گیاهی دگرگشن، دیپلوئید و دو ساله از تیره اسفناج است، که برای تولید ریشه ذخیره‌ای کشت می‌شود. طول دوره رشد چغندر قند، بسته به شرایط محیطی و ژنوتیپ، از 5 تا 9 ماه متغیر می‌باشد و به‌عنوان گیاهی دیررس شناخته می‌شود (Khajehpor, 2011). چغندر قند از نظر تامین قند مورد نیاز جامعه و تامین علوفه اهمیت زیادی دارد (Mostafavi et al., 2016). در ایران به دلیل تنوع آب و هوایی امکان کشت چغندر قند به

- 1- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه گنبد کاووس
 - 2- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس
 - 3- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
 - 4- استادیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس
 - 5- استادیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس
- (*) - نویسنده مسئول:
Email: abs346@yahoo.com
DOI: 10.22067/jcsc.2021.37178.0

آن‌ها مشاهده نمودند که برگ‌زدایی آخر فصل تأثیر متفاوتی بر ارقام چغندر قند داشت به‌طوری‌که رشد مجدد در برخی از ارقام بیشتر بود و سطح برگ خود را افزایش دادند.

استان گلستان از قطب‌های مهم کشت پاییزه در کشور به‌شمار می‌رود. با توجه به سیاست‌های ابلاغی وزارت جهاد کشاورزی، چند سالی است که چغندر قند پاییزه در استان گلستان کشت می‌شود. به نظر می‌رسد تأثیر خسارت حذف برگ در مراحل مختلف رشد گیاه چغندر قند به دلیل طولانی بودن دوره رشد این گیاه متفاوت باشد. زمان برداشت چغندر قند در گلستان اوایل تیرماه می‌باشد. در ماه‌های پایانی رشد (اردیبهشت و خرداد) با گرم شدن هوا امکان از بین رفتن برگ در اثر عوامل طبیعی نظیر آفات (کرم برگ‌خوار)، بیماری‌های برگ (سرکوسپورا)، پیری زودرس برگ و تنش خشکی وجود دارد. همچنین با توجه به اهمیت علوفه چرای مزارع چغندر قند در اواخر دوره رشد برای تغلیف دام مورد توجه کشاورزان گردیده است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر زمان حذف برگ بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام تجاری چغندر قند پاییزه در منطقه گرگان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش سال زراعی 98-99 در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی ورسن گرگان وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی گلستان واقع در طول جغرافیایی 54 درجه و 19 دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی 36 درجه و 19 دقیقه شرقی با ارتفاع 37 متر از سطح دریا اجرا شد. منطقه مورد آزمایش بر اساس مدل آمبرژه جزء نواحی نیمه مرطوب معتدل قرار دارد. میانگین حداقل و حداکثر دمای منطقه 12/7 و 24/1 درجه سانتی‌گراد که حداقل دما نسبت به میانگین بلندمدت تغییری نداشته ولی حداکثر دما نسبت به میانگین بلندمدت (23/1) یک درجه بیشتر بوده است. میانگین بارندگی سالیانه منطقه مورد آزمایش 521 میلی‌متر که نسبت به میانگین بلندمدت تغییری نداشته است. میانگین رطوبت نسبی هوای منطقه در طول سال 68 درصد که نسبت به میانگین بلندمدت 3 درصد کمتر بوده است.

شده است که عملکرد ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد قند ناخالص تحت تأثیر زمان برگ‌زدایی قرار گرفت، در حالی‌که زمان برگ‌زدایی تأثیری بر درصد قند ناخالص، قند خالص، درصد قند ملاس و عملکرد قند خالص نداشت (Kamandi *et al.*, 2008). آن‌ها بیان نمودند که برگ‌زدایی سبب حذف بخشی از سطح فتوسنتزکننده و کاهش تولید مواد فتوسنتزی شده و همزمان الگوی اختصاص مواد از ریشه به سمت اندام‌های هوایی تغییر می‌کند؛ در نتیجه عملکرد و ماده خشک ریشه چغندر قند کاهش می‌یابد. محمدیان (Mohammadian, 2016) در پژوهش تأثیر شدت حذف برگ بر عملکرد و کیفیت ریشه چغندر قند در کرج گزارش نمود که حذف برگ‌های چغندر قند در اواخر فصل رشد (دوره پوشش کامل برگ گیاه) نسبت به تیمار شاهد باعث کاهش میزان قند خالص، قند ناخالص و ضریب استحصال شکر گردید. همچنین حذف 100 درصد برگ‌های چغندر قند در مرحله اولیه رشد 9 درصد، در مرحله توسعه پوشش گیاهی 12 درصد، در مرحله اواسط فصل رشد 30 درصد و در مرحله انتهای فصل رشد 7 درصد کاهش عملکرد ریشه چغندر قند را به دنبال داشته است. وی گزارش نمود که تأثیر حذف برگ در دوره میانی رشد بیش از تأثیرات آن در دوره رسیدگی تکنولوژیک است. سرمست گروسی و همکاران (Sarmast Garousi *et al.*, 2012) در آزمایش تأثیر شدت و زمان برگ‌زدایی بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند گزارش نمودند که 100 درصد برگ‌زدایی بر درصد قند تأثیری نداشته است، ولیکن باعث کاهش عملکرد ریشه گردید. در پژوهش حذف کامل برگ‌ها در سه رقم چغندر قند پاییزه در خوزستان گزارش گردید که حذف برگ در ارقام آنتک و ویکو منجر به کاهش عملکرد ریشه گردید و به دنبال آن عملکرد شکر سفید نیز به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد، ولی در رقم شریف حذف برگ تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ریشه و عملکرد قند نداشت و باعث افزایش درصد قند گردید (Hassanvandi and Hosseinpour, 2018). در مطالعه‌ای دیگر در رابطه با پاسخ ژنوتیپ‌های چغندر قند به سه مرحله برگ‌زدایی گزارش شده است که با اعمال تیمارهای برگ‌زدایی، صفات شاخص سطح برگ، درصد ساکارز، عملکرد قند و سدیم مضره ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (Tsialtas *et al.*, 2011).

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر تا 30 سانتی‌متر)

Table 1- Physical and chemical properties of soil at the test site (depth zero to 30 cm)

سیلت رس لوم	بافت خاک
Silt clay loam	Soil text
323	پتاسیم P (ppm)
4	فسفر P (ppm)
0.014	نیترژن کل %N
0.45	EC (dS.m ⁻¹)
7.7	اسید ایته pH
1.43	کربن آلی %OC

اتوماتیک از ریشه‌ها خمیر تهیه شد. درصد قند ناخالص (SC)¹ به روش پلاریمتری²، سدیم و پتاسیم ریشه به روش فلیم‌فتمتری³، نیتروژن مضره از روش عدد آبی، خصوصیات کیفی دیگر از قبیل الکالیت (ALC)⁴، قند ملاس (MS)⁵، (Kunz et al, 2002)، درصد قند خالص (WSC)⁶، ضریب استحصال شکر یا راندمان استحصال (ECS)⁷، به ترتیب با استفاده از روابط (1) تا (4) محاسبه شد. در این روابط α -amino-N و K Na به ترتیب مقدار سدیم، پتاسیم و نیتروژن مضره (میلی اکوی والان در صد گرم وزن تر ریشه) و MS، قند ملاس (درصد) است.

$$ALC = (K + Na) / \alpha\text{-amino-N} \quad (1)$$

$$MS = 0.343(Na + K) + 0.094(\alpha\text{-amino-N}) - 0.31 \quad (2)$$

$$WSC = SC - MS \quad (3)$$

$$ECS = (WSC / SC) \times 100 \quad (4)$$

$$RDM = M2 / M1 \times 100 \quad (4)$$

برای محاسبه درصد ماده خشک ریشه (RDM)⁸ مقدار 100 گرم ریشه چغندر قند (M1) در دمای 103 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت (M2) در اون قرار داده شد و سپس درصد ماده خشک طبق رابطه (5) محاسبه شد. تجزیه و تحلیل صفات مورد ارزیابی در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در این آزمایش نشان داد که ارقام چغندر قند در صفات درصد قند ناخالص (عیار)، قند خالص، سدیم و پتاسیم ریشه، ضریب استحصال شکر و قند ملاس اختلاف معنی‌داری از خود نشان دادند؛ ولیکن از نظر صفات نیتروژن مضره، الکالیت، ماده خشک و عملکرد ریشه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. تیمارهای زمان سرزنی برگ به غیر از سدیم و قند ملاس در بقیه صفات مورد بررسی در این آزمایش معنی‌دار گردید. اثر متقابل ارقام و سرزنی فقط در صفت پتاسیم ریشه معنی‌دار گردید (جدول 2).

عملیات آماده‌سازی بستر بذر شامل شخم، رتباتور، تسطیح و ایجاد فارو قبل از کشت انجام شد. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و برآورد میزان عناصر مورد نیاز از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام و نمونه مرکب به آزمایشگاه ارسال شد. میزان کود شیمیایی مورد نیاز قبل از کشت بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول 1) و بنا به توصیه آزمایشگاه تغذیه بخش خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی گلستان (200 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و 300 کیلوگرم در هکتار اوره) مصرف گردید (جدول 1). کود اوره در سه مرحله (75 کیلوگرم قبل از کاشت، 125 کیلوگرم در مرحله 4-6 برگی و 100 کیلوگرم در مرحله 12-16 برگی) مصرف گردید.

بذور منورم شش رقم چغندر قند پاییزه از بانک ژن موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند تهیه شد. ارقام برابر با نقشه کاشت در اول آبان 1398 به وسیله دستگاه کارنده ایورد در بالای پشته‌ها با فاصله ردیف 50 سانتی‌متر و فاصله روی ردیف 18 سانتی‌متر (تراکم 110 هزار بوته در هکتار) کشت شد. ابعاد کرت به طول 8 و عرض 2/5 متر (5 خط) در نظر گرفته شد. عملیات داشت شامل تنک کردن در مرحله 4-6 برگی، وجین دستی علف‌هرز، یک بار مبارزه شیمیایی با علف کش فن مدیفام + دس مدیفام + اتوفوموزیت به میزان 3 لیتر در هکتار در مرحله دو تا چهار برگی چغندر قند انجام شد. مزرعه در تاریخ 7 خردادماه سال 1399 یک مرحله به صورت نشتی آبیاری شد. عامل اول شامل 6 رقم چغندر قند پاییزه شامل پنج رقم خارجی (مونوتانا، جراکاواس، رزاگلد، چیمنه، ولس) و رقم داخلی شریف بود. عامل دوم در سه سطح، عدم سرزنی (تیمار شاهد)، سرزنی در تاریخ 25 اردیبهشت‌ماه (مرحله میانی رشد)، سرزنی در 15 خردادماه (مرحله نهایی رشد) اعمال شد. دو مرحله که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، منطبق بر تقسیم‌بندی مراحل رشد چغندر قند توسط فانو (Doorenbos and Kassam, 1979) بود. سرزنی با استفاده از داس صورت گرفت و کل اندام هوایی (دم برگ و برگ) از ارتفاع 5 سانتی‌متری بالای طوقه قطع شد. در پایان فصل رشد بوته‌های دو ردیف حاشیه، نیم متر از ابتدا و انتهای ردیف حذف گردید. جهت تعیین عملکرد، ریشه‌های باقی‌مانده سه خط وسط در تاریخ 1399/4/7 برداشت و توزین گردید. وزن خالص آن به عنوان عملکرد ریشه لحاظ شد. جهت محاسبه صفات کیفی و تجزیه‌های شیمیایی بلافاصله تعداد 25 ریشه از نمونه‌های برداشت شده به طور تصادفی به آزمایشگاه تکنولوژی قند موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند (کرج) ارسال شد.

ابتدا ریشه‌ها در آزمایشگاه شسته، در ادامه توسط دستگاه

1- Sugar content

2- Polarimetry

3- Flame photometry

4- Alcalinity

5- Molasses sugar

6- White sugar content

7- Extraction coefficient of sugar

8- Root dry mater

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات عملکرد و کیفیت ریشه ارقام چغندر قند در تیمارهای سرزنی در شرایط کشت پاییزه
Table 2- Analysis of variance of yield and root quality traits of sugar beet cultivars in topping treatments at autumn sowing condition

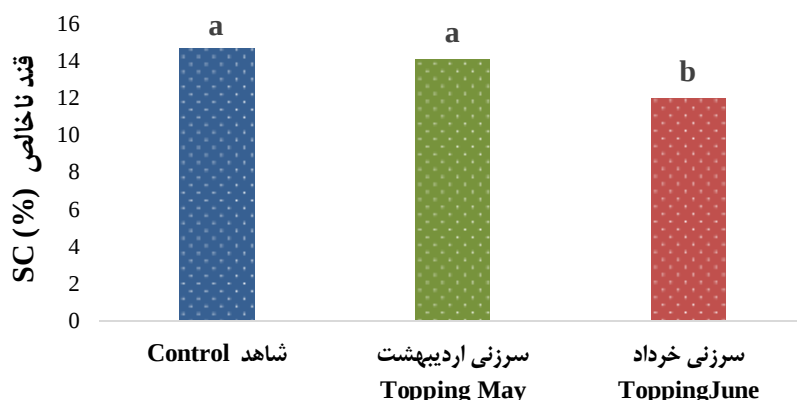
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات MS										
		درصد قند ناخالص SC	سدیم Na	پتاسیم K	نیترژن مضره α-N	WSC	درصد قند خالص	ECS شکر	ضریب استحصال	قند ملاس MS	الکالینه ALC	ماده خشک RDM
تکرار Replication	2	2 ^{ns}	1.2 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.2 ^{ns}	3.06 ^{ns}	3.06 ^{ns}	32.4 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.03 ^{ns}	7.32 ^{ns}	285 ^{ns}
رقم Cultivar	5	4.5 ^{**}	2.6 ^{**}	2.4 ^{**}	0.05 ^{ns}	9.8 ^{**}	112 ^{**}	112 ^{**}	1.02 ^{**}	0.12 ^{ns}	7.12 ^{ns}	123 ^{ns}
سرزنی Topping	2	34.5 [*]	0.22 ^{ns}	2.1 ^{**}	0.27 [*]	31.5 ^{**}	64.2 [*]	64.2 [*]	0.21 ^{ns}	0.92 ^{**}	30.6 ^{**}	2452 ^{**}
اثر متقابل C×T	10	0.68 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.53 [*]	0.009 ^{ns}	0.92 ^{ns}	7.2 ^{ns}	7.2 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1.7 ^{ns}	373 ^{ns}
خطا Error	34	1.17	0.45	0.22	0.06	1.7	19.1	19.1	0.12	0.9	4.1	181
CV		7.9	26	10.1	19	12	5.6	5.6	14.8	14	10.6	14.6

ns: Non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.
درصد # و ##، به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد

درصد قند ناخالص (عیار)

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ارقام تجاری چغندر قند از لحاظ قند ناخالص اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول 2). بیشترین درصد قند ناخالص مربوط به رقم رزاگلد با میانگین 14/75 درصد و کمترین آن در رقم چمنه با میانگین 13/04 درصد مشاهده شد. در مطالعه تعیین رقم مناسب چغندر قند پاییزه در شهرستان‌های جوین و جغتای گزارش شد که بین ارقام مورد آزمایش بیشترین درصد قند ناخالص در رقم مراک با 17/84 درصد و کمترین درصد قند در رقم مونوتانا با 14/2 درصد مشاهده شد (Ahmadi et al., 2018a). با اعمال تیمار سرزنی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده گردید؛ به‌طوری‌که بیشترین درصد قند با 14/74 درصد در تیمار شاهد و کمترین درصد قند در تیمار سرزنی خردادماه با 12/08 درصد

مشاهده شد (شکل 1). بین سرزنی اردیبهشت و خرداد نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل 1). مقایسه میانگین ارقام در تیمار سرزنی نشان داد که رقم رزاگلد در هر سه تیمار شاهد، سرزنی اردیبهشت و سرزنی خردادماه به‌ترتیب با 15/9، 12/5 و 12/7 درصد بیشترین عیار را به خود اختصاص داده است (جدول 3). در تیمار شاهد کمترین درصد قند مربوط به رقم شریف با 13/8 درصد بود و در تیمار سرزنی اردیبهشت و خردادماه، رقم چمنه به‌ترتیب با 13/2 و 11/2 درصد کمترین درصد قند را به خود اختصاص داد (جدول 3). نتایج این آزمایش نشان داد اگر برگ‌های چغندر قند به دلایلی از بین برود در بین ارقام رقم رزاگلد بهتر توانسته است نسبت به سایر ارقام در مدت زمان کمتری برگ‌های خود را بازسازی و افت درصد قند خود را جبران نماید.



شکل 1- تاثیر تیمار سرزنی بر درصد قند ناخالص چغندر قند در شرایط کشت پاییزه استان گلستان
Figure 1- The effect of topping treatment on the sugar content in sugar beet in the autumn sowing condition

قند در ریشه تأثیر می‌گذارد. در نتیجه درصد قند ناخالص (عیار) در اثر سرزنی و حذف برگ کاهش می‌یابد. همچنین قطع برگ موجب تحریک رشد برگ‌های جدید و مصرف قند ذخیره شده می‌گردد، زیرا برگ‌های جدید از قند موجود در ریشه برای رشد استفاده می‌نمایند.

میزان سدیم، پتاسیم و نیتروژن ریشه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ارقام مورد استفاده در این آزمایش از نظر میزان سدیم ریشه اختلاف معنی‌داری داشتند، ولی از نظر نیتروژن مضره اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول 2). بیشترین میزان سدیم ریشه در رقم جراکاواس با 3/19 میلی‌اکی‌والان در صد گرم خمیر چغندر قند و کمترین میزان در رقم رزاگلد با 1/7 میلی‌اکی‌والان در صد گرم خمیر چغندر قند مشاهده شد.

در ارتباط با اثر زمان حذف برگ بر درصد قند گزارشات متفاوتی وجود دارد؛ به‌عنوان مثال (Kamandi et al., 2008; Jadidi et al., 2010; Mohammadian, 2016) به کاهش درصد قند در اثر برگ‌زدایی و حذف پهنک برگ چغندر قند اشاره نمودند؛ در مقابل (Hassanvandi and Hosseinpour, 2018) و سرمست گروسی و همکاران (Sarmast Garousi et al., 2012) در آزمایش خود به عدم اختلاف معنی‌دار حذف برگ بر درصد قند چغندر قند اشاره نمودند. از نتایج حاصل از این آزمایش استنباط می‌گردد، از آنجایی که ذخیره قند در ریشه وابسته به تولید مواد فتوسنتزی توسط برگ‌ها می‌باشد، با آسیب دیدن و از بین رفتن برگ‌ها در اثر عوامل زنده و غیرزنده محیطی متعدد نظیر پیری برگ، تنش‌های خشکی و گرما، حشرات برگ‌خوار (مانند کارادرینا) و عوامل بیماری‌زای برگی (نظیر سرکوسپورا)، سطح اندام‌های فتوسنتزکننده کاهش یافته و بر ذخیره

جدول 3- نتایج مقایسه میانگین تیمارهای سرزنی بر صفت درصد قند ناخالص (عیار) ارقام چغندر قند در شرایط کشت پاییزه

Table 3- Mean comparison of topping treatments on sugar content in sugar beet cultivar in the autumn sowing condition

ارقام Cultivars	شاهد (Control)	سرزنی اردیبهشت ماه (Topping May)	سرزنی خرداد ماه (Topping June)
مونوتانا Monotana	14.1bc	13.2b	12.2a
چیمه Chemineh	14.6abc	13.2b	11.2a
رزاکلد Rosagold	15.9a	15.7a	12.5a
جراکاواس Jerra-kws	14.3bc	13.8b	12.1a
شریف Sharif	13.8c	13.6b	12a
ولس Veles	15.5ab	14.9ab	12.4a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

The mean of same letters of each column at the level of 5% of LSD test did not show a significant difference.

ماه با 5/2 میلی‌اکی والان در صد گرم خمیر ریشه بیشترین و رقم جراکاواس در تیمار سرزنی خرداد ماه با 3/9 میلی‌اکی والان در صد گرم خمیر ریشه کمترین میزان پتاسیم را داشته است. پتاسیم، که در صنعت قند به آن خاکستر اطلاق می‌گردد؛ جزء شاخص بسیار مهم کیفیت چغندر قند می‌باشد و هرچه مقدار کمی آن بیشتر باشد، کیفیت چغندر قند کمتر می‌شود (Moharramzadeh et al., 2017). در ارتباط با اثر سرزنی بر ناخالصی‌های ریشه گزارش‌های متفاوتی وجود دارد. به عنوان مثال (Kamandi et al., 2008) و (Mohammadian, 2016) گزارش کردند که زمان سرزنی باعث افزایش ناخالصی‌های ریشه (سدیم، پتاسیم و نیتروژن) گردیده است. در حالی که (Jadidi et al., 2010) و (Hassanvandi and Hosseinpour, 2018) آزمایش‌های خود عدم اختلاف معنی‌دار ناخالصی‌های ریشه را در تیمار حذف برگ نسبت به تیمار شاهد گزارش نمودند.

زمان سرزنی باعث اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بین تیمارها از نظر میزان نیتروژن ریشه گردید، ولیکن از نظر سدیم ریشه معنی‌دار نشد (جدول 2). بیشترین نیتروژن ریشه در تیمار شاهد با 2/1 و کمترین سرزنی خرداد ماه با 1/6 میلی اکی والان در صد گرم خمیر ریشه کمترین میزان نیتروژن مضره را به خود اختصاص دادند (جدول 4). سرمست گروسی و همکاران (Sarmast Garousi et al., 2012) نیز کاهش نیتروژن ریشه چغندر قند در اعمال 100 درصد برگ‌زدایی نسبت به تیمار شاهد را گزارش نمودند. می‌توان نتیجه گرفت با حذف برگ گیاه در صد تولید برگ‌های جدید برآمده، برای تولید برگ‌های جدید نیتروژن مورد نیاز می‌باشد. از آنجا که بخش عظیمی از نیتروژن توسط ریشه تامین می‌گردد، به همین دلیل با اعمال تیمار سرزنی میزان نیتروژن ریشه کاهش پیدا کرد. اثر متقابل رقم و سرزنی فقط در تیمار پتاسیم ریشه معنی‌دار گردید (جدول 2)؛ به طوری که رقم شریف در تیمار سرزنی اردیبهشت

جدول 4- نتایج مقایسه میانگین تیمارهای سرزنی بر صفات کیفی ارقام چغندر قند در شرایط کشت پاییزه

Table 4- Means comparison of topping treatments on yield and quality traits of sugar beet in the autumn sowing condition

فاکتورهای آزمایش Experiment factor	نیتروژن مضره α -N (meq.100g beet)	الکالیت ALC	قند خالص WSC	ضریب استحصال شکر ECS (%)	ماده خشک ریشه RDM
شاهد (Control)	2.1a	3.3b	11.7a	79.7a	19.8a
سرزنی اردیبهشت ماه (Topping May)	1.66b	5.2a	11.0a	77.6ab	20.1b
سرزنی خرداد ماه (Topping June)	1.60b	4.5a	9.2b	75.9b	17.7b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the means with the similar letters did not show a significant difference ($P \leq 0.05$) based on LSD test.

الکالیته

نتایج نشان داد که ارقام از نظر میزان الکالیته اختلاف معنی‌داری از خود نشان ندادند (جدول 2). با این حال میزان الکالیته در رقم چمنه 5/4 و در رقم رزاگلد 3/9 مشاهده شد. تیمار زمان سرزنی نیز از لحاظ این صفت معنی‌دار گردید؛ به‌طوری‌که در تیمار سرزنی خردادماه با 5/2 بیشترین و در تیمار شاهد با 3/3 کمترین میزان الکالیته مشاهده شد (جدول 4). اثر متقابل رقم و سرزنی نیز معنی‌دار نشد (جدول 2). محمدیان (Mohammadian, 2016) به وجود اختلاف معنی‌دار و افزایش میزان الکالیته در اثر اعمال تیمار برگ‌زدایی چغندر قند اشاره داشته است. الکالیته نسبت $K+Na/N$ می‌باشد و این سه عنصر (پتاسیم، سدیم و نیتروژن) به‌عنوان قلیایی‌کننده محیط از عوامل عمده ناخالصی‌ها بوده و هرچه این مقدار افزایش یابد عدم خلوص شیرهای خام افزایش می‌یابد (Cooke and Scott, 1993).

ماده خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارقام چغندر قند از نظر درصد ماده خشک ریشه اختلاف معنی‌داری از خود نشان ندادند (جدول 2). با این حال بالاترین ماده خشک ریشه مربوط به رقم ولس با 20/3 درصد و کمترین مربوط به رقم چمنه با 17/8 درصد مشاهده شد. تیمارهای زمان سرزنی نیز در این صفت با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد از خود نشان دادند، بیشترین ماده خشک ریشه در تیمار سرزنی اردیبهشت ماه با 20/1 درصد و کمترین آن در تیمار سرزنی خردادماه با 17/7 درصد مشاهده گردید (جدول 4)، که با نتایج (Kamandi et al., 2008) مطابقت داشته است. از نتایج حاصل می‌توان استنباط نمود که با اعمال سرزنی، الگوی جابه‌جایی مواد تغییر پیدا نموده است. در حالت طبیعی مواد غذایی در برگ و اندام هوایی تولید و به سمت ریشه حرکت کرده و در آنجا ذخیره می‌گردد. با اعمال سرزنی، گیاه جهت جبران و ترمیم سطح برگ از دست رفته مقدار زیادی از مواد خشک ریشه و همچنین مواد فتوسنتزی که بعداً تولید می‌شود، جهت توسعه برگ و اندام هوایی اختصاص داده و در نتیجه مواد فتوسنتزی کمتری به ریشه انتقال می‌یابد. اثر متقابل رقم در سرزنی معنی‌دار نشد (جدول 2).

عملکرد ریشه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین ارقام اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، با این حال بیشترین عملکرد ریشه مربوط به رقم چمنه با میانگین 98 تن در هکتار، کمترین عملکرد ریشه مربوط به رقم رزاگلد با میانگین 88 تن در هکتار مشاهده شد. زمان سرزنی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ریشه داشته است (جدول 1). بیشترین عملکرد ریشه با 103 تن در هکتار در تیمار شاهد و کمترین عملکرد ریشه با 80 تن در هکتار در سرزنی اردیبهشت‌ماه مشاهده شد (شکل

به نظر می‌رسد در زمان انتقال ذخایر قندی غده جهت رشد اندام‌های هوایی، میزان انتقال قندهای محلول نظیر ساکارز بیش از ترکیبات دیگر نظیر قندهای ساختمانی بوده در نتیجه درصد قند خالص کاهش یافته است.

ضریب استحصال شکر

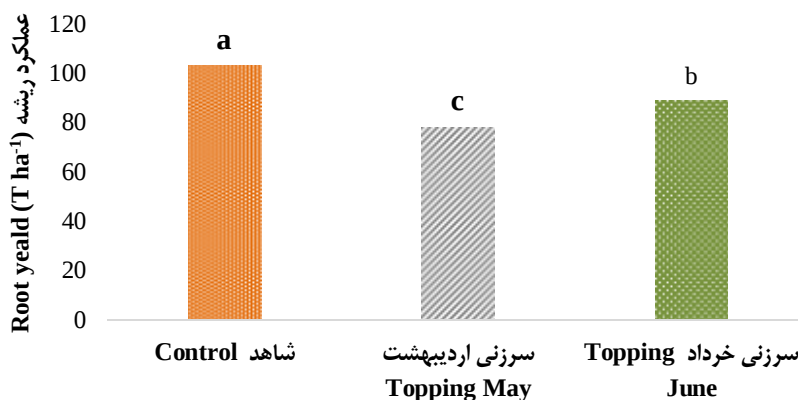
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارقام چغندر قند از نظر ضریب استحصال شکر در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری از خود نشان دادند (جدول 2). بالاترین ضریب استحصال شکر مربوط به رقم رزاگلد با 83/3 درصد و کمترین مربوط به رقم شریف با 74/3 درصد مشاهده شد. کیفیت چغندر قند تحت تأثیر عوامل شیمیایی و فیزیکی ریشه قرار دارد که بر فرآوری، عملکرد قند یا فرآورده‌های جانبی آن اثر دارند. ضریب استحصال (خلوص عصاره) عبارت است از نسبت قند به کل مواد جامد محلول به صورت درصد، هرچه این ضریب بالا باشد؛ نشانگر کیفیت بالا در میزان استخراج قند از شیر خواهد بود (Cook and Scott, 1993). همچنین تیمارهای زمان سرزنی نیز در این صفت با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد از خود نشان دادند، به‌طوری‌که بیشترین ضریب استحصال در تیمار شاهد با 79/7 درصد و کمترین آن در تیمار سرزنی خردادماه با 75/9 درصد مشاهده گردید (جدول 4). نتایج این آزمایش با نتایج (Mohammadian, 2016) همسو بوده است. نتایج نشان داد که کاهش درصد قند ناخالص و خالص در تیمارهای سرزنی نسبت به تیمار شاهد و همچنین افزایش ناخالصی‌های ریشه (پتاسیم و سدیم) باعث کاهش ضریب استحصال شکر گردید.

ملاس

درصد قند ملاس به‌طور مستقیم از روی ناخالصی‌های ریشه محاسبه می‌گردد. در این آزمایش بعد از جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها، نتایج نشان داد که ارقام از نظر درصد قند موجود در ملاس اختلاف معنی‌داری از خود نشان دادند (جدول 2). بیشترین درصد قند ملاس در رقم شریف با 2/7 درصد و کمترین آن در رقم رزاگلد با 1/8 درصد مشاهده شد. نیازیان و همکاران (Niazian et al., 2011) به اختلاف معنی‌دار قند ملاس ژنوتیپ‌های چغندر قند در خوزستان اشاره نمودند. تیمار سرزنی باعث اختلاف معنی‌داری بین تیمارها نگردید (جدول 2). ملاس شیرهای است که از آن آخرین محصول قند به‌دست می‌آید و نمی‌توان قند بیشتری از آن کریستال نمود. عمده ماده خشک ملاس چغندر قند، ساکارز بوده که تقریباً 21 درصد آن را تشکیل می‌دهد و همچنین مقدار اندکی قندهای احیائی و رافینوز در ملاس وجود دارد. بنابراین هرچه قدر میزان ساکارز در ملاس کم باشد کیفیت آن بیشتر بوده و به اصطلاح ضریب استحصال بالا است (Cook and Scott, 1993). اثر متقابل رقم در سرزنی نیز معنی‌دار نشد (جدول 2).

درصدی عملکرد ریشه در اثر برگ‌زدایی نسبت به تیمار شاهد را گزارش نمودند. از نتایج حاصله می‌توان استنباط نمود که با نزدیک شدن به اواخر دوره رشد و زمان برداشت محصول (کامل شدن رشد ریشه) روند تولید برگ در گیاه کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل از بین رفتن برگ‌های مسن‌تر که مقدار فتوسنتز آن‌ها کمتر از تنفس می‌باشد، درخواست کمتری برای استفاده از مواد پرورده (از نوع ذخیره شده در ریشه و یا جاری) وجود داشته، در نتیجه حذف برگ در مرحله پایانی در مقایسه با مرحله میانی رشد، تأثیر کمتری بر عملکرد نهایی ریشه دارد.

2). نتایج این آزمایش نشان داد که عملکرد ریشه در تیمار سرزنی اردیبهشت‌ماه نسبت به تیمار شاهد 22/4 درصد همچنین تیمار سرزنی خردادماه نسبت به تیمار شاهد 10/6 درصد کاهش داشته است (شکل 1)، که با نتایج (Mohammadian, 2016) و جدیدی و همکاران (Jadidi et al., 2010) همسو بوده است. محمدیان (Mohammadian, 2016) گزارش نمود که حذف 100 درصد برگ‌های چغندر قند در مرحله اواسط فصل رشد 30 درصد و در مرحله انتهای فصل رشد 7 درصد کاهش عملکرد ریشه چغندر قند را به دنبال داشته است. جدیدی و همکاران (Jadidi et al., 2010) کاهش 36



شکل 2- تأثیر تیمار سرزنی بر عملکرد ریشه چغندر قند در شرایط کشت پاییزه استان گلستان
Figure 2- The effect of topping treatment on root yield of sugar beet in the autumn sowing condition

کاهش تولید مواد فتوسنتزی شده و همزمان الگوی اختصاص مواد از ریشه به سمت اندام‌های هوایی تغییر می‌کند، در نتیجه عملکرد ریشه کاهش می‌یابد. در مجموع در سرزنی اردیبهشت‌ماه خواص کمی ریشه چغندر قند (عملکرد و ماده خشک) بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت. در سرزنی خردادماه خواص کیفی ریشه چغندر قند (قند خالص و ناخالص، ضریب استحصال شکر، سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره و ملاس) بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت.

سپاسگزاری

بدینوسیله از جناب آقای دکتر طالقانی رئیس محترم موسسه اصلاح و تهیه بذر چغندر قند و همچنین کارکنان زحمتکش موسسه به جهت مساعدت در تجزیه صفات کیفی این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد ریشه در رقم چمنه با میانگین 98 تن در هکتار و کمترین عملکرد ریشه در رقم رزاگلد با میانگین 88 تن در هکتار مشاهده شد. حذف برگ در مرحله میانی (اردیبهشت‌ماه) باعث کاهش قند ناخالص، قندخالص، ضریب استحصال شکر، نیتروژن مضره و عملکرد ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. حذف برگ در مرحله پایانی رشد (خردادماه) نیز باعث کاهش درصد قندخالص، قند ناخالص، ضریب استحصال شکر، وزن خشک ریشه و نیتروژن مضره گردید. در عوض میزان الکالیت و پتاسیم ریشه در هر دو مرحله حذف برگ افزایش پیدا نمود. بیشترین ضایعات عملکرد زمانی که برگ چغندر قند در مراحل میانی رشد (اردیبهشت‌ماه) حذف شدند به دست آمد، به طوری که کاهش عملکرد ریشه در سرزنی اردیبهشت‌ماه نسبت به سرزنی خردادماه بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت. برگ‌زدایی، سبب حذف بخشی از سطح فتوسنتزکننده و

References

1. Ahmadi, M., Rezaei, J., Mahzoni, S. J., Ahmadi, G., and Shamsabadim A. 2018a. Investigating the possibility of autumn cultivation of sugar beet and determining the appropriate cultivar in Joven and Joghatai counties. Final report of Sugar Beet Seed Breeding Research Institute. 20 p. (in Persian).
2. Ahmadi, M., Shahbazi, H., Soltani, J., Taleghani, D., Ghaemi, A. S., Sabzevari, S., Hesadi, P., Hojjati, S., and Salarikhah, M. 2018b. Achievements of research and development of autumn sugar beet cultivation in Khorasan provinces. *Iranian Journal of Sugar Industries* 41 (240-241): 5-8. (in Persian).
3. Cook, D. A., and Scott, R. K. 1993. Sugar beet crop: principle and practical. Chapman and Hall. London.
4. Doorenbos, J., and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage paper No 33. FAO. Rome, Italy. 193 p.
5. Farahmand, Kh. M., Faramarzi, A., and Moharramzadeh, M. 2013. Possibility of autumn sugar beet planting in Moghan region. *Agriculture and Plant Breeding Journal* 9 (3): 45-55.
6. Hassanvandi, M. S., and Hosseinpour, M. 2018. Effect of leaf removal on quantitative and qualitative characteristics of autumn sugar beet cultivars in Khuzestan. Ninth National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources. (in Persian).
7. Jadidi, T., Hajjam, S., and Kamali, Gh. 2010. The effect of leaf sheath removal intensity at different stages of growth on root yield and sugar beet quality. *Iranian Journal of Crop Sciences* 12 (3): 252- 264. (in Persian).
8. Kamandi, A., Nezami, A., Kouchaki, A., and Nasiri Mahallati, M. 2008. The effect of defoliation on quantitative and qualitative yield of sugar beet in Mashhad. *Iranian Journal of Crop Research* 6 (2): 371- 382. (in Persian).
9. Khajehpor, M. R. 2011. Industrial plants. Jihad Esfahan University. 326 p.
10. Kunz, M., Martin, D., and Puke, H. 2002. Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. *Zuckerindustrie* 127: 13-21.
11. Mohammadian, R., and Taleghani, D. 2019. The importance of leaf area and damage to it on the quality and yield of sugar beet. *Extention Magazine. Publication of agricultural education*. 24 p. (in Persian).
12. Mohammadian, R. 2016. Effect of planting time and leaf removal intensity on yield and root quality of sugar beet. *Iranian Journal of Crop Sciences* 18 (2): 88-103. (in Persian).
13. Moharramzadeh, M., Taleghani, D., and Sadeghi Shoa, M. 2017. Evaluation of different cultivars of sugar beet for autumn sowing in Moghan region. Fourth International Conference on Agricultural and Environment. 14p. (in Persian).
14. Mostafavi, K., Razizadeh, M., and Rajabi, A. 2016. Analysis of root yield stability in sugar beet cultivars using biplot graphic method. *Journal of Agriculture and Plant Breeding* 12 (4): 1-13.
15. Niazi, M., Rajabi, A., Amiri, R., Mortazavian, S. M. M., and Orazizadeh, M. R. 2011. Genetic study of some morphological traits of sugar beet root through dialysis analysis and GGE-biplot method. *Breed of Crops* 1 (2): 87-99. (in Persian).
16. Sarmast Garousi, A., Mohammadian, R., Haj Seyyed Hadi, M. R., and Noshad, H. 2012. Effects of defoliation intensity and timing on quantitative and qualitative yields of sugar beet. *Plant Ecophysiology* 4: 151-157.
17. Sharifi, H. 2001. Investigation of the effect of planting and harvesting time on newly introduced sugar beet cultivars. Final report of the research plan. Safiabad Agricultural Research Center, Dezful. 48: 38-41. (in Persian).
18. Tsialtas, J. T., Soulioti, E., Maslaris, N., and Papakosta, D. K. 2011. Effect of defoliation on leaf physiology of sugar beet cultivars subjected to water stress and re-watering. *International Journal of Plant Production* 5 (3): 207-220.

Effect of Leaf Removal on Quantitative and Qualitative Characteristics of Autumn Sugar Beet Cultivars in Golestan Province

N. Tazikeh¹, A. Biyabani^{2*}, A. Saberi³, Ali. Rahemi Karizaki⁴, M. Naimi⁵

Received: 06-10-2020

Accepted: 21-04-2021

Introduction

Sugar beet, scientifically known as *Beta vulgaris* L, is allogamous, diploid, biennial plant of the spinach genus that is cultivated to produce storage roots. The growth period of sugar beet, depending on environmental conditions and genotype, varies from 5 to 9 months and is known as a late maturing plant. Therefore, estimating the yield reduction due to leaf fall plays an important role in farm management. In addition to the effects of stressors, some farmers may use sugar beet leaves to raise livestock during the growing season. In this case, too, the leaves are damaged. In the experiment of complete removal of leaves in three sugar beet cultivars, it was observed that complete removal of leaves in Antek and Vico cultivars led to reduced root yield and subsequently white sugar yield was significantly reduced, but In Sharif cultivar, leaf removal had no significant effect on root yield and sugar yield. They also reported that leaf removal increased the percentage of root sugar in Sharif cultivar. Effect of leaf removal time on quantitative and qualitative characteristics of autumn sugar beet cultivars in Gorgan region.

Materials and Methods

This experiment was carried out in factorial design during the 2019-2020 crop year in Varsen of Gorgan based on randomized complete block design with three replications. The first factor includes 6 autumn sugar beet cultivars including Monotana, Jerra-kws, Rosagold, Chimneh, Veles and Sharif and the second factor includes three levels, pruning in May (leaf development), pruning in June (reducing leaf development) and no pruning (control). Pruning was done using a sickle and the entire aerial part (petiole and leaves) was cut from a height of 5 cm above the crown. Seed bed preparation operations including plowing, retorting, leveling and farrowing were performed before planting. According to the planting plan, they were planted by hand on top of the ridges on November 2019. At the end of the growing season of each harvested plant, root yield and qualitative traits were calculated. The most common method of measuring sugar percentage by polarimetry method was calculated using saccharimeter, sodium and potassium by flame photometry method, harmful nitrogen by aqueous number method and other qualitative characteristics. The analyzed traits were analyzed using SAS software and the means were compared by LSD method at a statistical level of 5%.

Results and Discussion

Sugar beet cultivars showed significant differences in sugar content (grade), sodium, potassium, extractable sugar content, sugar and molasses extraction coefficient; However, no significant differences were observed between cultivars in terms of harmful nitrogen, alkalinity and root dry matter. Leaf pruning treatments except sodium and molasses were significant in other studied traits. The interaction between cultivars and pruning has also been significant in potassium and molasses traits. Significant differences were observed between the treatments by applying pruning treatment; So that the highest percentage of sugar (14.7%) was observed in the control treatment and the lowest percentage of sugar was observed in the June treatment (12%). The highest root yield was related to Chamineh cultivar with an average of 98 tons per hectare and the lowest root yield was related to Rosagold cultivar with an average of 80 tons per hectare. Due to the decrease in leaf production at the end of the sugar beet growing season, the amount of damage caused by root yield in leaf removal treatment in

1- PhD student of Agriculture, Gonbad Kavous University

2- Associate Professor of Crop Physiology, Department of Crop Production, Faculty of Agricultural and Natural Recourses, Gonbad Kavous University

3- Assistant Professor, Agronomy and Horticulture Department of Agricultural and Natural Recourses Research and education of Golestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran

4- Assistant Professor of Crop Physiology, Department of Plant Production, Faculty of Agricultural and Natural Recourses, Gonbad Kavous University

5- Assistant Professor Crop Ecology, Department of Plant Production, Faculty of Agricultural and Natural Recourses, Gonbad Kavous University

(*- Corresponding Author Email: abs346@yahoo.com)

the final stages of growth (June pruning) is much less than the effect of leaf removal in the middle stage of growth.

Conclusions

Removal of sugar beet leaves in the final stages of growth had an effect on root quality properties such as sugar content, extractable sugar percentage and sugar extraction coefficient and root yield and reduced the mentioned traits. Root impurities also increased due to defoliation. Most yield losses were obtained when sugar beet leaves were removed or eliminated in the middle stages of growth (May pruning).

Keywords: Leaf damage, Growth stage, Percentage of sugar, Root yield



مقاله پژوهشی

اثر قطع آبیاری در مراحل زایشی و کاربرد پوترسین و کودهای زیستی بر دوره پر شدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گندم

علیرضا محسنی محمدجانلو^{1*}، رئوف سیدشریفی²، سعید خماری³

تاریخ دریافت: 1399/09/18

تاریخ پذیرش: 1399/11/27

چکیده

به منظور بررسی اثر قطع آبیاری در مراحل زایشی و کاربرد پوترسین و کودهای زیستی بر دوره پر شدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گندم، آزمایش فاکتوریلی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی 1397-98 اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به عنوان شاهد، قطع آبیاری در 50% مرحله سنبله‌دهی و قطع آبیاری در 50% مرحله آبستنی (چکمه‌ای شدن) به ترتیب به عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی) و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به عنوان شاهد، کاربرد میکوریز (*Glomus Intraradices*)، کاربرد توأم سودوموناس (*Pseudomonas Putida Strain 186*) و فلاوباکتریوم (*Flavobacterium Spp*)، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم) و محلول‌پاشی پوترسین در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به عنوان شاهد، کاربرد 0/5 و یک میلی‌مولار) بودند. از مدل دو تکه‌ای برای کمی‌سازی مولفه‌های پر شدن دانه استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد حداکثر وزن دانه (0/0641 گرم)، سرعت پر شدن دانه (2/28 میلی‌گرم در روز)، طول دوره (39/7 روز) و دوره موثر پر شدن دانه (28/14 روز) در ترکیب تیماری آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین و حداقل مقادیر این صفات (به ترتیب 0/0361 گرم، 1/6 میلی‌گرم در روز، 33/15 و 22/57 روز) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین به دست آمد که از افزایش به ترتیب 56/77، 5/42، 76/19 و 68/24 درصدی در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بودند. آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین، حجم و وزن خشک ریشه را به ترتیب 124/37 و 123/47 درصد افزایش داد. عملکرد دانه در قطع آبیاری در مرحله آبستنی و ظهور سنبله نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. بیش‌ترین عملکرد (682/68 گرم در مترمربع) در آبیاری کامل، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم (686/42 گرم در مترمربع) و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین (618/02 گرم در مترمربع) به دست آمد. بر اساس نتایج این بررسی، به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و پوترسین می‌تواند به دلیل بهبود صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، عملکرد دانه‌ی گندم را تحت شرایط محدودیت آبی در مراحل زایشی افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: سرعت پر شدن دانه، کودهای بیولوژیک، محدودیت آبیاری، میکوریز

مقدمه

(Reddy et al., 2004)، تخریب غشای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و کاهش محتوای کلروفیل های a و b ظاهر می‌شود (Ashraf et al., 1994). محدودیت آبی موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌شود و این کاهش در شرایط تنش می‌تواند ناشی از توقف عرضه مواد فتوسنتزی، کاهش محتوای آب دانه و یا توقف فعالیت متابولیکی مخزن باشد (Hammer et al., 2009).

در سال‌های اخیر استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشدی مانند پلی‌آمین‌ها برای کاهش اثر تنش‌های محیطی در گیاهان مطرح شده است. پلی‌آمین‌ها در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک نظیر رشد و نمو گل و میوه، پیری برگ، و پاسخ گیاه به تنش‌های زنده و غیرزنده

محدودیت آبی از مهم‌ترین عوامل محیطی موثر در کاهش رشد و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و علایم آن به صورت کاهش کلروفیل (Monakhova and Chernyadev, 2002)، کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پر شدن دانه و کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها

1- دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

2- استاد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

3- دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(*) - نویسنده مسئول: (Email: a.mohseni55@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jcsc.2021.67402.1000

فتوستتزی و مؤلفه‌های پر شدن دانه، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله (*Triticosecale*) شد. کادر و همکاران (Kader et al., 2002) اظهار داشتند که مصرف ازتوباکتر با تأثیر مثبت بر رشد ریشه‌ها به افزایش 18 درصدی عملکرد گندم منجر شد.

در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور بخشی از دوران رشد زایشی گندم با محدودیت آبی روبه‌رو است. از این رو استفاده از روش‌هایی که موجب کاهش یا تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی شود ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا به دلیل اهمیت کودهای زیستی و پوترسین در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از تنش و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش توأم این عوامل، موجب شد تا اثر تلقیح کودهای زیستی و محلول‌پاشی پوترسین بر عملکرد، برخی صفات نظیر مؤلفه‌های پر شدن دانه و محتوای کلروفیل گندم در شرایط قطع آبیاری در مراحل زایشی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی 48 درجه و 20 دقیقه طول شرقی و 38 درجه و 19 دقیقه عرض شمالی و ارتفاع 1350 متر از سطح دریا طی سال زراعی 98-1397 اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در 50% مرحله ظهور سنبله و قطع آبیاری در 50% مرحله آبستنی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی بر اساس کد 55 و 43 مقیاس BBCH) و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم) و محلول‌پاشی پوترسین در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، کاربرد 0/5 و یک میلی‌مولار) بودند. محلول‌پاشی پوترسین یک هفته بعد از ساقه‌روی و قبل از قطع آبیاری در مرحله آبستنی انجام شد. کودهای زیستی شامل قارچ میکوریز *Glomus intraradices* و باکتری سودوموناس *Pseudomonas putida* Strain 186 و فلاوباکتریوم *Flavobacterium Spp* بود. مایه تلقیح باکتری‌های مورد نیاز، از موسسه خاک و آب تهیه شد. برای تلقیح بذرها از مایه تلقیحی که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود استفاده گردید. از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این مخلوط به مدت دو ساعت در محل خشک و تاریک قرار داده شد و سپس کشت شد. میکوریز از شرکت زیست فناوران توران تهیه و به استناد توصیه شرکت مذکور به میزان 20 گرم در هر متر مربع خاک (200 کیلوگرم در هکتار) به‌روش استاندارد و توصیه شده جیانینازی (Gianinazzi et al., 2001) سه تا چهار روز قبل از کاشت با بخش سطحی خاک مخلوط شد. تعداد

محیطی موثر است (Kusano et al., 2008). مکانیسم فیزیولوژی پلی‌آمین‌ها در شرایط تنش به‌درستی شناخته نشده است، ولی به‌دلیل خاصیت پلی‌کاتیونی می‌توانند با اتصال به ماکرومولکول‌های آنیونی شامل فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها موجب پایداری غشا و ساختارهای ماکرو مولکولی سلول‌ها شده (Alcázar et al., 2006) و به‌عنوان یک برداشت‌کننده موثر گونه‌های فعال اکسیژن عمل کنند (Mahros et al., 2011). همچنین پوترسین می‌تواند در حفظ یکپارچگی و بقای غشای سیتوپلاسمی و اندامک‌های سلولی در شرایط تنش خشکی نقش اساسی ایفا کند (Zhang and John, 2005). بررسی‌های گوپتا و همکاران (Gupta et al., 2012) نشان داد کاربرد پوترسین در شرایط خشکی در گندم، تعداد سنبله، وزن سنبله و عملکرد دانه را افزایش داد.

یکی دیگر از راه‌های تعدیل یا کاهش اثر تنش‌ها، کاربرد کودهای زیستی است. این کودها در شرایط تنش نه‌تنها موجب افزایش مقاومت گیاهان می‌شود بلکه میکروارگانیسم‌های از دست رفته خاک را نیز جبران می‌کنند (Seyed Sharifi and Namvar, 2016). بررسی‌های جارک و همکاران (Jarak et al., 2012) نشان داد که تلقیح توأم باکتری‌های سودوموناس پوتیدا (*Pseudomonas putida*)، باسیلوس (*Bacillus*) و ازتوباکتر کروکوکوم (*Azotobacter chroococcum*) موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه‌ی ذرت شد. کریچنر و همکاران (Kirchner et al., 1993) در بررسی تأثیر تلقیح بذر گندم و جو با فلاوباکتریوم (*Flavobacterium*)، افزایش عملکردی معادل 300-500 کیلوگرم در هکتار را گزارش نمودند. میکوریزها (*Mycorrhiza*) نیز به‌دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از راه نفوذ سیلیوم قارچ در خاک و دسترسی گیاهان زراعی به حجم بیشتری از خاک، در افزایش جذب آب و عناصر غذایی، بسیار موثرند (Seyed Sharifi and Namvar, 2016). مادر و همکاران (Mader et al., 2011) گزارش کردند که تلقیح توأم بذر گندم با میکوریز و سودوموناس، عملکرد را به میزان 41 درصد نسبت به شاهد افزایش داد. بررسی‌های گروور و همکاران (Grover et al., 2010) نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز می‌تواند با جذب بیشتر آب، به رشد بهتر گیاه به‌خصوص تحت شرایط تنش، کمک کنند. افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریز نسبت به تیمار شاهد در بررسی‌های اسرار و همکاران (Asrar et al., 2012) نیز عنوان شده است. موشی و همکاران (Moucheshi et al., 2012) نشان دادند با کاربرد قارچ میکوریز محتوای کلروفیل a، b و کل در تیمارهای تلقیح شده به‌ترتیب 13/7، 33/5 و 17/4 درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح با قارچ میکوریز) افزایش یافت. خیری زاده آروق (Kheirizadeh Arough, 2016) گزارش کرد که کاربرد میکوریز، سودوموناس پوتیدا و ازتوباکتر کروکوکوم با افزایش وزن و حجم ریشه و بهبود محتوای رنگیزه‌های

مطلوب و توصیه شده برای این رقم است. به منظور اطمینان از عدم تداخل آب آبیاری به کرت‌های مجاور، فاصله‌ی بین کرت‌ها یک متر و نیم در نظر گرفته شد. در طول اجرای آزمایش کود خاصی در مزرعه استفاده نشد. در طول دوره رشد، کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. شرایط اقلیمی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی به ترتیب در جدول 1 و 2 آورده شده است.

تقریبی اسپور زنده در هر گرم قارچ حدود 100 اسپور بود. رقم مورد کشت رقم آبی گاسکوژن بود که از شرکت تعاونی تولیدی پیراقوم اردبیل تهیه شد. این رقم پا بلند، با تیپ رشد زمستانه و مقاوم به سرما و خوابیدگی و در گروه ارقام با کیفیت نانوائی بسیار خوب قرار دارد. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به طول دو متر با فواصل بین ردیفی 25 سانتی متر و تراکم 400 بذر در مترمربع بود که تراکم

جدول 1- ویژگی‌های جوی در طول دوره رشدی (ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل)

Table 1- Atmospheric parameters during the period of wheat growth (Source; Ardabil Meteorology Department)

پارامترهای اقلیمی Parameters climatic	مهر Oct	آبان Nov	آذر Dec	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul	مرداد Aug
بارندگی (mm) Rainfall	9	35.8	32.9	28.4	59.7	25.9	40	29.5	13	0.1	0
میانگین دما (°C) Temperature mean	14.1	7.6	5.7	1.8	2.7	4.1	8	12.4	17.6	18.8	19.7
جمع ساعات آفتابی (Sunny hours)	193.4	122.3	101	183.5	172.6	173.6	163	258.1	287.7	366	314.1
متوسط رطوبت نسبی (%) Relative humidity mean	76	81	79	68	72	71	73	63	58	62	61

جدول 2- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2- Physical and chemical characteristics of experimental farm soil

مشخصه Characteristic	pH	بافت Texture	EC dS.m ⁻¹	عصاره اشباع SP	آهک Lime	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی O.C	نیترژن کل N	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn
							(%)					mg.kg ⁻¹	
مقادیر (Amounts)	7.8	Loam	2.3	49	14.4	23	42	35	0.62	0.06	8.29	202	18

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 پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه (1) قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه از رابطه $EFP = MGW / GFR$ استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992). در این رابطه EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است. محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ با استفاده از روش (Arnon, 1949) و بر اساس روابط (2) تا (5) برآورد شد.

$$a = (19/3 \times A_{663} - 0/86 \times A_{645}) \times V / 100 \quad W \quad (2)$$

به منظور بررسی تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر سرعت پر شدن دانه، نمونه برداری از 17 روز بعد از ظهور سنبله در فواصل زمانی هر چهار روز یک بار انجام شد. در هر بار نمونه برداری پنج سنبله از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی انتخاب و بعد از انتقال به آزمایشگاه، دانه‌ها از سنبله جدا شده و به مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه دار در دمای 130 درجه سانتی گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک دانه از محاسبه وزن خشک کل به تعداد دانه برآورد شد (Ronanini et al., 2004). به منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی دو تک‌ای به کمک رویه DUD و برنامه NLIN Proc نرم افزار SAS به صورت رابطه (1) استفاده گردید.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < T_0 \\ a + bt & t > T_0 \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان، b شیب خط تا مرحله رسیدگی وزنی که بیانگر سرعت پر شدن دانه است، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت

22/56 درصدی در حالت آبیاری کامل نسبت به شرایط قطع آبیاری در آبستنی برخوردار بود. کاربرد توأم میکوریز با سودمونات و فلاوباکتریوم در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی از افزایش به ترتیب 26/45، 45 و 31/4 درصدی و محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین در مقایسه با عدم محلول پاشی از افزایش به ترتیب 15/2، 27/3 و 18/4 درصدی محتوای کلروفیل های a، b و کلروفیل کل برخوردار بودند (جدول 4).

اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری در کود زیستی نشان داد که محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در شرایط قطع آبیاری در آبستنی و عدم کاربرد کودهای زیستی در مقایسه با آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودمونات و فلاوباکتریوم به ترتیب 59/27، 121/9 و 74/6 درصد کاهش یافتند (جدول 5). همچنین در ترکیب تیماری سطوح آبیاری در پوترسین، آبیاری کامل با کاربرد 0/5 میلی مولار پوترسین موجب افزایش به ترتیب 32/2، 75/3 و 45/7 درصدی محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در مقایسه با شرایط قطع آبیاری در آبستنی و عدم محلول پاشی پوترسین شد (جدول 6). حداکثر میزان کارتنوئید (12/18 میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودمونات و فلاوباکتریوم و محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین و کمترین آن (5/28 میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی پوترسین به دست آمد (جدول 7) که از افزایش 130/7 درصدی برخوردار بود. سقفی و همکاران (Saghafi et al., 2013) در گندم نشان دادند که تلقیح با باکتری سودمونات در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) موجب افزایش صفات فیزیولوژیکی گردید. آنان همچنین بیشترین میزان کلروفیل را در تلقیح با باکتری سودمونات مشاهده کردند.

چاندراکسکار و همکاران (Chandrasekhar et al., 2005) اثر مفید تلقیح بذر با آروسپریلیوم بر افزایش محتوای کلروفیل را، به در دسترس بودن بالاتر نیتروژن به واسطه تثبیت نیتروژن نسبت دادند. کاربرد غلظت های مختلف پوترسین نیز منجر به بهبود محتوای کلروفیل شد. ال-باسیونی و همکاران (El-Bassiouny et al., 2008) بیان کردند که استفاده از پوترسین به طور قابل توجهی محتوای رنگدانه های فتوسنتزی را (کلروفیل a، b و کل) در برگ گندم را افزایش داد. نتایج مشابهی نیز توسط کوئی و همکاران (Couee et al., 2004) مبنی بر این که کاربرد پوترسین موجب تأخیر در پیری و کاهش از دست دادن کلروفیل می شود، گزارش شده است. برخی محققان معتقدند محلول پاشی پوترسین با القای داخلی سیتوکین موجب تحریک بیوسنتز کلروفیل و تمایز کلروپلاست در گندم می شود (El-Bassiouny et al., 2008; Xie et al., 2004).

$$(3) \quad b = \frac{V}{100 W} (19/3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663})$$

$$(4) \quad \text{کلروفیل کل} = \text{کلروفیل a} + \text{کلروفیل b}$$

$$(5) \quad \text{کارتنوئید} = \frac{1000 (A_{470} - 1/82 C_a - 85/02 C_b)}{198}$$

در این روابط V حجم استون استفاده شده و W وزن نمونه گیاهی استفاده شده است.

قبل از کاشت در ردیف های اصلی هر واحد آزمایشی، تعدادی کیسه های پلاستیکی به قطر 40 سانتی متر در عمق 40 سانتی متری خاک و هم سطح با دیگر خطوط کاشت قرار داده شد تا امکان برآورد دقیق وزن و حجم ریشه در سطح مشخصی از مزرعه فراهم شود. تراکم کاشت در این کیسه ها مشابه تراکم دیگر قسمت های کاشته شده در نظر گرفته شد. برای تعیین وزن و حجم ریشه ها پس از خارج سازی ریشه ها از خاک در زمان رسیدگی، ریشه ها برای خشک شدن در آون با دمای 75 درجه سانتی گراد به مدت 72 ساعت یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت 0/001 گرم توزین شد. حجم ریشه با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه گیری شد، طوری که اختلاف حجم ایجاد شده پس از ورود ریشه ها در آب استوانه مدرج به عنوان حجم ریشه منظور شد. عملکرد دانه از سطحی معادل یک متر مربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه ای برآورد شد. برای تجزیه داده ها و رسم شکل ها از نرم افزارهای SAS و Excel استفاده شد. میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، محلول پاشی با پوترسین بر وزن خشک و حجم ریشه، محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید، حداکثر وزن دانه، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول 3).

محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، محلول پاشی با پوترسین، اثر ترکیب تیماری آبیاری در کودهای زیستی و اثر ترکیب تیماری آبیاری در پوترسین بر محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و اثر ترکیب تیماری سه جانبه آبیاری، کودهای زیستی و پوترسین بر محتوای کارتنوئید در سطح احتمال یک و پنج درصد درصد معنی دار بود (جدول 3). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل از افزایش به ترتیب 83/2، 34/28 و

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و پوترسین بر وزن و حجم ریشه، محتوای کلروفیل، عملکرد دانه و مولفه‌های پر شدن دانه گندم
Table 3- Analysis of variance the effect of irrigation levels, biofertilizers and putrescine on root weight and volume, Chlorophyll content, grain yield and grain filling components of wheat

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	وزن خشک ریشه Root weight	حجم ریشه Root volume	میانگین مربعات MS					دوره موثر پر شدن دانه Effective grain filling period	عملکرد دانه Grain yield
				کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنoid Carotenoids	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period
تکرار	2	531.12 ^{ns}	6379.39*	0.0003 ^{ns}	0.004**	0.002 ^{ns}	13.4**	0.003**	5.062**	1929.11**
کود آبیاری	2	5535.12**	29134.95**	0.025**	0.011**	0.072**	17.22**	0.0005**	0.022**	130.41**
پوترسین	3	8584.14**	42189.12**	0.023**	0.009**	0.063**	34.8**	0.0005**	0.603**	3.68**
I*B	2	6207.11**	37264.12**	0.017**	0.007**	0.048**	24.72**	0.0005**	0.507**	13.66**
I*P	6	306.53 ^{ns}	3183.1*	0.002*	0.001*	0.008**	3.11*	0.00003**	0.044**	0.28**
B*P	4	569.37*	2207.17 ^{ns}	0.002*	0.001*	0.009**	4.33*	0.00006**	0.072**	0.52**
I*B*P	6	622.47*	3272.45*	0.0003 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	2.94*	0.00001**	0.025**	0.15 ^{ns}
I*B*P	12	510.38*	2824.76*	0.0005 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	2.99*	0.00002**	0.031**	0.62**
خطا	70	256.47	1531.54	0.001	0.0007	0.002	1.47	0.000001	0.001	0.11
CV		12.5	13.5	11.4	22.3	10.7	16.5	2.9	2.1	0.9
تغییرات (%)										

*، ** and ^{ns}: Significant at 5% and 1% respectively and non-significant.

^{ns} و ***: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی داری.

12.8

جدول 4- مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و محلول پوترسین بر محتوای کلروفیل و عملکرد دانه گندم
Table 4- Mean comparisons of the effects of irrigation levels, biofertilizers and putrescine on Chlorophyll content and grain yield of wheat

		کلروفیل a	کلروفیل کل	کلروفیل b	عملکرد دانه
		Chlorophyll a	Total Chlorophyll (mg. g ⁻¹ FW)	Chlorophyll b	Grain yield (g. m ⁻²)
سطوح آبیاری Irrigation levels	قطع آبیاری در مرحله آبستنی Irrigation withholding in booting	0.184c	0.105b	0.390c	453.3c
	قطع آبیاری در سنبله‌دهی Irrigation withholding in heading	0.319b	0.129a	0.449b	641.24b
	آبیاری کامل Full irrigation	0.337a	0.141a	0.478a	682.68a
	LSD 5%	0.0169	0.0131	0.022	35.77
کودهای زیستی Bio fertilizers	عدم کاربرد کود زیستی No application bio fertilizer	0.276c	0.102c	0.379c	489.55d
	کاربرد توأم سودموناس و فلاوباکتریوم both application Psedomunas and Flavobacterim	0.311b	0.124b	0.435b	686.42a
	کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتریوم Both application of mycorrhiza with Psedomunas and Flavobacterim	0.349a	0.148a	0.498a	624.04b
	کاربرد میکوریز Mycorrhiza application	0.318b	0.125b	0.444b	569.61c
	LSD 5%	0.0195	0.0152	0.0254	41.3
محلول پوترسین foliar application Putrescine	عدم محلول‌پاشی no foliar application	0.291c	0.11c	0.402c	569.33b
	0/5 میلی‌مولار پوترسین 0.5 mM putrescine	0.313b	0.125b	0.439b	589.87ab
	1 میلی‌مولار پوترسین 1 mM putrescine	0.335a	0.14a	0.476a	618.02a
	LSD 5%	0.0169	0.0131	0.022	35.77

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

In each column means followed by the same letter(s) are not significantly different

بود (جدول 7). فنگ و همکاران (Feng et al., 2002) در بررسی تاثیر محدودیت آبی با کاربرد میکوریز در ذرت، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی در نتیجه همزیستی با میکوریز (جنس گلوموس) افزایش یافت و علت را به افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در ریشه‌ها و ظرفیت بالای چنین گیاهانی برای تنظیم اسمزی نسبت دادند. ساریگ و همکاران (Sarig et al., 1992) تعدیل اثر محدودیت آبی در شرایط کاربرد کودهای زیستی به‌خصوص میکوریز را به افزایش سطح ریشه نسبت دادند که با افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی منجر به بهبود رشد گیاه می‌شود. مانسک و همکاران (Manske et al., 2000) علت افزایش وزن و عملکرد ریشه گندم در تلقیح بذر با ازتوباکتر را به ایندول استیک اسید تولید شده در کنار سایتوکینین توسط ازتوباکتر نسبت دادند که از طریق رشد ریشه‌های جانبی موجب افزایش وزن ریشه می‌شود.

وزن و حجم ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و محلول‌پاشی با پوترسین بر وزن خشک و حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک و حجم ریشه (به ترتیب 180/95 گرم در متر مربع و 445 سانتی‌متر مکعب در متر مربع) در شرایط آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین و کمترین این مقادیر (به ترتیب 80/97 گرم در متر مربع و 198/33 سانتی‌متر مکعب در متر مربع) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی با پوترسین به‌دست آمد (جدول 7)، طوری که وزن و حجم ریشه در ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین در مقایسه با ترکیب تیماری قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین از افزایش به ترتیب 123/47 و 124/37 درصدی برخوردار

جدول 5- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری و کودهای زیستی بر محتوای کلروفیل و عملکرد دانه گندم
Table 5- Means comparison the effects of treatment compound irrigation levels and biofertilizers on Chlorophyll content and grain yield of wheat

ترکیب تیماری Treatments combination		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g ⁻¹ FW)	کلروفیل کل Total Chlorophyll	عملکرد دانه Grain yield (g. m ⁻²)
I ₁	B ₁	0.248e	0.082f	0.331e	403.42e
	B ₂	0.278de	0.103ef	0.382de	496.8cd
	B ₃	0.315bc	0.126bcde	0.442bc	470.65cd
	B ₄	0.296cd	0.108ef	0.404cd	442.31de
I ₂	B ₁	0.285cd	0.109def	0.395cd	529.35c
	B ₂	0.316bc	0.126bcde	0.443bc	762.83a
	B ₃	0.335b	0.137bcd	0.473b	655.08b
	B ₄	0.34b	0.144b	0.484b	617.71b
I ₃	B ₁	0.295cd	0.114cde	0.41cd	535.88c
	B ₂	0.338b	0.142bc	0.48b	799.64a
	B ₃	0.395a	0.182a	0.578a	746.38a
	B ₄	0.318bc	0.125bcde	0.443bc	648.81b
LSD 0.05		0.036	0.027	0.053	66.58

I₁, I₂ و I₃: به ترتیب قطع آبیاری در آبستنی، قطع آبیاری در سنبله‌دهی، آبیاری کامل
B₁, B₂, B₃ و B₄: به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز
میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند
I₁, I₂ and I₃; irrigation withholding in booting, irrigation withholding in heading and full irrigation respectively
B₁, B₂, B₃ and B₄; no biofertilizer, both application Psedomunas and Flavobacterim, both application of mycorrhiza with Psedomunas and Flavobacterim, application of mycorrhiza, respectively
In each column means followed by the same letter(s) are not significantly different

جدول 6- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری و پوترسین بر محتوای کلروفیل گندم
Table 6- Means comparison the effects of treatments compounds irrigation levels and putrescine on Chlorophyll content of wheat

ترکیب تیماری Treatments combination		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g ⁻¹ FW)	کلروفیل کل Total Chlorophyll
I ₁	P ₁	0.261f	0.089e	0.35f
	P ₂	0.274ef	0.098de	0.373ef
	P ₃	0.318bcd	0.128bc	0.446bcd
I ₂	P ₁	0.297de	0.118cd	0.416de
	P ₂	0.312cd	0.12cd	0.433cd
	P ₃	0.348ab	0.148ab	0.497ab
I ₃	P ₁	0.316bcd	0.124bcd	0.44cd
	P ₂	0.354a	0.156a	0.51a
	P ₃	0.34abc	0.142abc	0.483abc
LSD 0.05		0.035	0.025	0.053

I₁, I₂ و I₃: به ترتیب قطع آبیاری در آبستنی، قطع آبیاری در سنبله‌دهی، آبیاری کامل
P₁, P₂ و P₃: به ترتیب عدم محلول‌پاشی، کاربرد 0/5 و 1 میلی‌مولار پوترسین
میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند
I₁, I₂ and I₃; irrigation withholding in booting, irrigation withholding in heading and full irrigation, respectively
P₁, P₂ and P₃; no foliar application, application 0.5 and 1 mM of putrescine, respectively
In each column means followed by the same letter(s) are not significantly different

جدول 7- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری، کودهای زیستی و پوترسین بر وزن و حجم ریشه، کارتنوئید، حداکثر وزن تک دانه، دوره موثر، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم

Table 7- Means comparison the effects of treatments combination irrigation levels, biofertilizers and putrescine on root weight and volume, carotenoids, maximum of grain weight, effective period, rate and grain filling period of wheat

ترکیب تیماری Treatments combination	وزن خشک ریشه Root weight (g. m ²)	حجم ریشه Root volume (cm ³)	محتوای کارتنوئید Carotenoids (mg. g ⁻¹ FW)	حداکثر وزن تک دانه Maximum of grain weight (g)	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate (mg. day ⁻¹)	طول دوره پر شدن دانه filling Grain period (day)	دوره موثر پر شدن دانه Effective grain filling period (days)
I ₁ ×B ₁ ×P ₁	80.97o	198.33n	5.28l	0.0361r	1.6s	33.15q	22.57p
I ₁ ×B ₂ ×P ₁	109.45k-n	243.33j-n	6.67f-l	0.0397p-q	1.69o-q	34.05o-p	23.52n
I ₁ ×B ₃ ×P ₁	108.6l-n	246.67i-n	6.2g-l	0.0432m-n	1.86j-k	33.59p-q	23.24n-o
I ₁ ×B ₄ ×P ₁	107.88l-n	225l-n	5.89h-l	0.0416n-p	1.81k-l	33.54p-q	22.96n-p
I ₁ ×B ₁ ×P ₂	95.38m-o	223.33l-n	5.68k-l	0.0384p	1.69o-q	34.17n-o	22.73o-p
I ₁ ×B ₂ ×P ₂	103.05m-o	238.33j-n	5.66k-l	0.0417n-p	1.79 l-m	33.90o-p	23.32n
I ₁ ×B ₃ ×P ₂	137.97d-j	296.67e-j	7.4e-k	0.0484i	1.97g-i	35.44k	24.56l-m
I ₁ ×B ₄ ×P ₂	106.42l-o	241.67j-n	6.13g-l	0.0418n-p	1.78 l-n	34.69m-n	23.51n
I ₁ ×B ₁ ×P ₃	85.42n-o	206.67m-n	5.82i-l	0.0415n-p	1.83k-l	34.93l-m	22.67p
I ₁ ×B ₂ ×P ₃	141d-l	295e-k	7.71d-j	0.0485i	2g-h	34.83m	24.24m
I ₁ ×B ₃ ×P ₃	148.35b-e	335b-f	8.44b-f	0.0518f-h	2.12d-e	35.61j-k	24.45m
I ₁ ×B ₄ ×P ₃	151b-e	340b-e	8.83b-e	0.0508h	2.07e-f	35.67i-k	24.56l-m
I ₂ ×B ₁ ×P ₁	106.93l-o	231.67k-n	5.75j-l	0.0406o-p	1.65q-r	36.06i-j	24.60l-m
I ₂ ×B ₂ ×P ₁	115.7i-m	273.33f-l	5.69k-l	0.0437j-m	1.72n-p	35.97i-k	25.41k
I ₂ ×B ₃ ×P ₁	131.03e-l	295e-k	7.32e-k	0.0513g-h	1.97g-i	37.42g-h	26.06j
I ₂ ×B ₄ ×P ₁	113.33j-m	270g-m	7.83b-h	0.0453j-m	1.7o-q	37.55e-h	26.65f-i
I ₂ ×B ₁ ×P ₂	116.07h-m	268.33g-m	5.82i-l	0.0422n-o	1.73m-p	36.21i	24.39m
I ₂ ×B ₂ ×P ₂	143.35b-f	316.67c-h	8.02b-g	0.0463i-j	1.74m-o	37.31h	26.61g-j
I ₂ ×B ₃ ×P ₂	142.07c-h	315d-h	7.77c-i	0.0509h	2.03f-g	37.50f-h	25.09k-l
I ₂ ×B ₄ ×P ₂	131.33e-l	290e-k	6.62f-l	0.0483i	1.96h-i	37.59e-h	24.77l-m
I ₂ ×B ₁ ×P ₃	110.27k-n	265g-m	5.92h-l	0.0455j-l	1.74m-o	37.53e-h	26.12i-j
I ₂ ×B ₂ ×P ₃	135.03e-k	308d-i	8.81b-e	0.0540e-f	1.98g-i	37.68d-h	27.26b-e
I ₂ ×B ₃ ×P ₃	150.53b-e	340b-e	9.44b-d	0.0551d-e	2.03f-g	38.28b-c	27.13d-g
I ₂ ×B ₄ ×P ₃	169.38a-b	393.33a-b	9.75b	0.0611b	2.26a-b	37.48f-h	27.07e-g
I ₃ ×B ₁ ×P ₁	107.05l-n	236.67j-n	5.96h-l	0.0433l-n	1.64q-s	37.44f-h	26.42h-j
I ₃ ×B ₂ ×P ₁	117.15g-m	256.67h-n	6.63f-l	0.0457j-k	1.68o-r	37.26h	27.20c-f
I ₃ ×B ₃ ×P ₁	154.52b-e	340b-e	8.58b-f	0.0545d-e	2.03f-g	37.97c-g	26.84e-h
I ₃ ×B ₄ ×P ₁	109.88k-n	240j-n	6.41g-l	0.0435k-n	1.62r-s	37.61e-h	26.83e-h
I ₃ ×B ₁ ×P ₂	117.4f-m	243.33j-n	6.26g-l	0.0445j-m	1.67p-r	38b-f	26.68f-i
I ₃ ×B ₂ ×P ₂	154.83b-e	345b-e	9.7b-c	0.0575c	2.14c-d	38.33b-c	26.85e-h
I ₃ ×B ₃ ×P ₂	161.82a-d	371.67b-d	9.67b-d	0.0610b	2.2b-c	34.4b	27.74a-c
I ₃ ×B ₄ ×P ₂	167.7a-c	380b- c	9.68b-d	0.0563c-d	2.08d-f	38.08b-e	27.06e-g
I ₃ ×B ₁ ×P ₃	113.23j-m	255h-n	5.9h-l	0.0454j-m	1.68o-r	38.43b-c	27.02e-g
I ₃ ×B ₂ ×P ₃	142.02c-h	323.33c-g	7.85b-h	0.0533e-g	1.92i-j	38.24b-d	27.79a-b
I ₃ ×B ₃ ×P ₃	180.95a	445a	12.18a	0.0641a	2.28a	39.17a	28.14a
I ₃ ×B ₄ ×P ₃	142.38c-g	315d-h	7.44e-k	0.0513g-h	1.87j-k	38.46b-c	27.47b-d
LSD	26.08	63.72	1.97	0.0022	0.065	0.5613	0.56

I₁ و I₂: به ترتیب قطع آبیاری در آبستنی، قطع آبیاری در خوشه دهی و آبیاری کامل

B₁, B₂, B₃ و B₄: به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز

P₁, P₂ و P₃: به ترتیب عدم محلول پاشی، کاربرد 0/5 و 1 میلی مولار پوترسین

میانگین های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند

I₁, I₂ and I₃; irrigation withholding in booting, irrigation withholding in heading and full irrigation respectively

B₁, B₂, B₃ and B₄; no biofertilizer, both application Psedomunas and Flavobacterim, both application of mycorrhiza with Psedomunas and Flavobacterim, application of mycorrhiza, respectively. P₁, P₂ and P₃; no foliar application, application 0.5 and 1 mM of putrescine, respectively.

Means with similar letters in each column are not significantly different

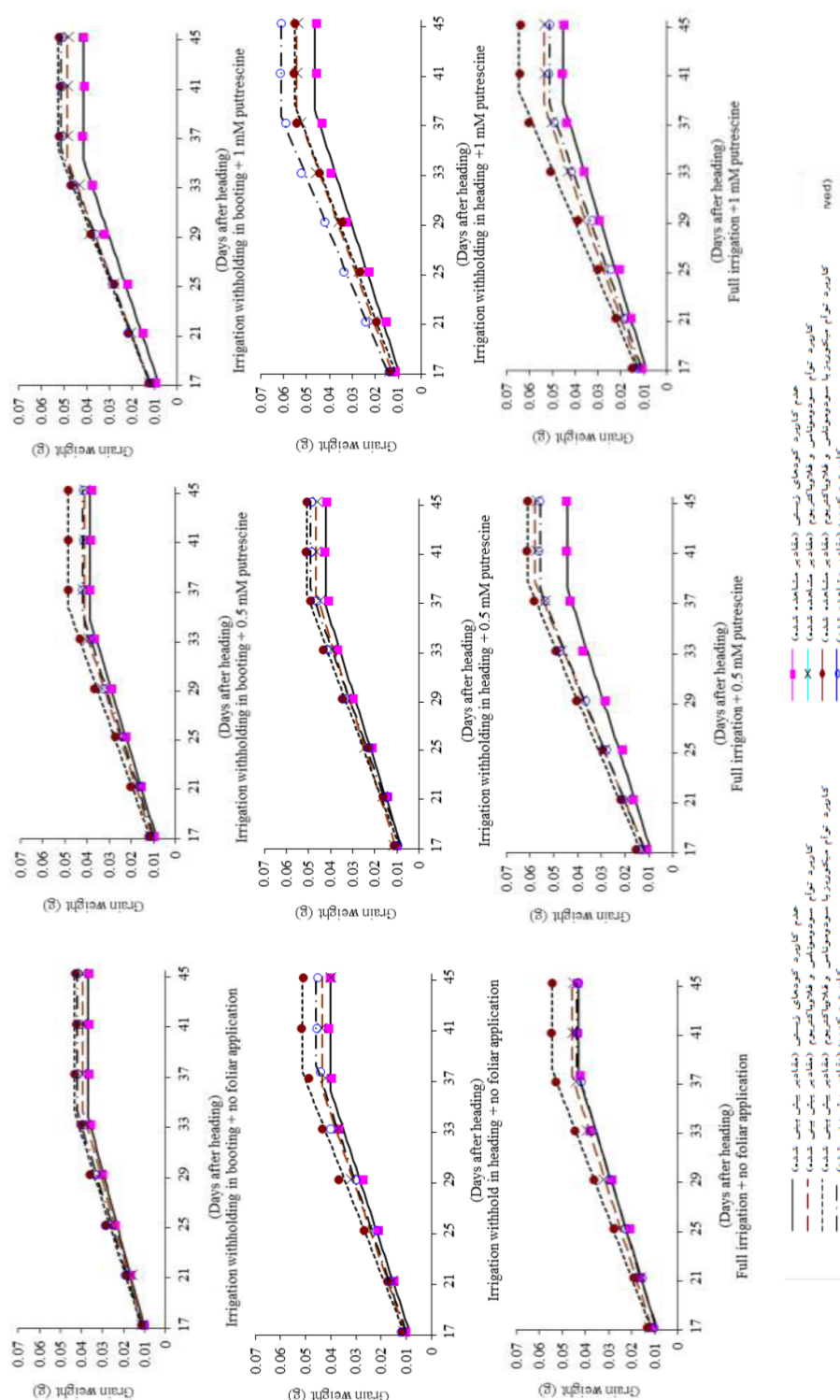
مشابهی نیز توسط عمادی و همکاران (Emadi et al., 2014) گزارش شده است.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، محلول پاشی با پوترسین، اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری در کود زیستی بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول 3). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد (682/68 گرم در مترمربع) در آبیاری کامل، کاربرد توأم سودموناس و فلاوباکتریوم (686/42 گرم در مترمربع) و محلول پاشی یک میلی‌مولار پوترسین (618/02 گرم در مترمربع) به‌دست آمد (جدول 4). کمترین عملکرد به‌ترتیب در قطع آبیاری در مرحله آبستنی (453/3 گرم در مترمربع)، عدم کاربرد کود زیستی (489/55 گرم در مترمربع) و عدم محلول پاشی (569/33 گرم در مترمربع) حاصل شد (جدول 4). مقایسه میانگین ترکیب تیماری سطوح آبیاری در کود زیستی نشان داد که بالاترین عملکرد دانه (799/44 و 746/38 گرم در مترمربع) به‌ترتیب در حالت آبیاری کامل به‌ترتیب با کاربرد توأم سودموناس و فلاوباکتریوم و کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتریوم و کمترین آن (403/42 گرم در مترمربع) در شرایط قطع آبیاری در آبستنی و عدم کاربرد کودهای زیستی مشاهده شد (جدول 5). به‌نظر می‌رسد که افزایش وزن و حجم ریشه از طریق افزایش جذب مواد غذایی، بالا بودن محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل (جدول 4، 5 و 6) و کارتنوئید تحت اثر ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی یک میلی‌مولار پوترسین (جدول 7) موجب افزایش عملکرد دانه شده است. همچنین می‌توان بخشی از افزایش عملکرد دانه را به بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه نسبت داد به این صورت که در شرایط آبیاری کامل و کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی پوترسین با افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه موجب می‌شود مواد بیشتری در دانه‌ها ذخیره شده و از این طریق موجب افزایش عملکرد دانه شود. Mishra et al., 2010) همکاران (Mishra et al., 2010) اظهار داشتند که تحت شرایط تنش، کودهای زیستی می‌تواند اثرات مثبتی در تحمل به تنش خشکی، عملکرد و رشد گیاه داشته باشد. برخی تحقیقات نشان داده‌اند که بین قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های محرک رشد اثر متقابل وجود دارد (Antunes et al., 2006). بر اساس مطالعات بارگس و همکاران (Burgess et al., 2012) تلقیح بذر با آزوسپیریولوم لیپوفرورم (*Azospirillum lipoferum*) توسعه ریشه و عملکرد دانه را در گندم بهاره و ذرت در شرایط کمبود آب افزایش داد. روستی و همکاران (Roesti et al., 2006) علت افزایش عملکرد در نتیجه تلقیح بذر با باکتری‌ها را به افزایش جذب مواد غذایی قابل دسترس، افزایش وزن ریشه در طول دوره رشد در رقابت با پاتوژن‌های ریشه نسبت دادند.

مؤلفه‌های پر شدن دانه: بر اساس جدول تجزیه واریانس اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و پوترسین و اثر ترکیب تیماری این سه عامل بر حداکثر وزن تک دانه، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). بررسی روند پر شدن دانه نشان داد که الگوی نمو بذر در تیمارهای مورد بررسی تقریباً مشابه است به این ترتیب که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی) پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به‌صورت یک خط افقی درآمد (شکل 1). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وزن تک دانه، سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه به‌ترتیب از افزایش 77/56، 42/5، 19/76 و 24/68 درصدی در ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتریوم و محلول پاشی یک میلی‌مولار پوترسین در مقایسه با قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی پوترسین برخوردار بود (جدول 7).

بخشی از بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه را می‌توان به اثر کودهای زیستی بر محتوای کلروفیل نسبت داد (جدول 4، 5 و 7). 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. بخشی از بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه با کاربرد کودهای زیستی را می‌توان به اثر این کودها در افزایش وزن و حجم ریشه نسبت داد (جدول 7). در این راستا توگای و همکاران (Togay et al., 2008) اظهار داشتند که کودهای زیستی با تولید هورمون‌های محرک رشد و افزایش رشد ریشه و کمک به قابلیت دسترسی به عناصر غذایی، منجر به افزایش طول دوره پر شدن دانه می‌شود. به بیانی دیگر کودهای زیستی می‌توانند با تامین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، امکان تداوم بیش‌تر دوره پر شدن دانه را نیز فراهم سازند. آلوارو و همکاران (Alvaro et al., 2008) اظهار نمودند در شرایط مطلوب رطوبتی، افزایش نسبی طول دوره پر شدن دانه با ایجاد فرصت بیشتر برای انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها به افزایش عملکرد کمک می‌کند ولی در شرایط محدودیت آبی به دلیل توقف عرضه مواد فتوسنتزی و یا توقف فعالیت متابولیکی مخزن طول دوره پر شدن دانه کاهش می‌یابد (Ahmadi and Baker, 2001).

یکی از اثرات شناخته شده پوترسین، اثر ویژه آن‌ها بر جلوگیری از تخریب غشاء و پیری زودرس برگ‌ها می‌باشد (Malabika and Wu, 2001) از این رو به نظر می‌رسد کاربرد برگ‌ی پوترسین با افزایش محتوای کلروفیل (جدول 6 و 7) در طول دوره رشد موجب افزایش سرعت پر شدن دانه و دوره پر شدن مؤثر دانه شده است. نتایج



شکل 1- تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و محلول پوترسین بر روند پر شدن دانه گندم
Figure 1- Effect of irrigation levels, biofertilizers and putrescine on grain filling components of wheat

با افزایش محدودیت آبی حداکثر وزن دانه، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه، محتوای کلروفیل، وزن و حجم ریشه و عملکرد دانه کاهش یافت. نتایج نشان داد که در شرایط محدودیت شدید آبی یا قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین وزن ریشه (86٪)، حجم ریشه (71٪)، محتوای کارتنوئید (57٪)، سرعت پر شدن دانه (40٪)، طول دوره پر شدن دانه (29٪) و دوره مؤثر پر شدن دانه (7٪) را در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی با پوترسین تحت چنین شرایطی افزایش داد. همچنین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عملکرد دانه در کاربرد توام هر دو باکتری 23/1 درصد و در حالت استفاده میکوریز با کاربرد توام هر دو باکتری 16/6 درصد در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی تحت چنین شرایطی افزایش یافت. از این رو به نظر می رسد کاربرد کودهای زیستی و پوترسین می تواند به دلیل بهبود صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، عملکرد دانه ی گندم را تحت شرایط محدودیت آبی افزایش دهد.

در پژوهش امرایی (Amraei, 2018) عملکرد و خصوصیات زراعی گندم تحت تاثیر کاربرد کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر افزایش معنی داری نشان داد. تائو و همکاران (Tao et al., 2012) اظهار داشتند که در نتیجه کاربرد توأم باکتری ها قادرند تا حدودی از اثر مخرب رادیکال های آزاد اکسیژن در شرایط تنش جلوگیری کنند و افزایش میزان عملکرد تحت تاثیر باکتری در شرایط کمبود آب عمدتاً به همین عامل مربوط می شود. عمادی و همکاران (Emadi et al., 2013) نشان دادند که محلول پاشی برگي پوترسین باعث افزایش عملکرد دانه به میزان 88/8 درصد در رقم چمران و 91/1 درصد در رقم استار و افزایش در اجزای عملکرد، میزان نشاسته و پروتئین دانه نسبت به تیمار شاهد گردید. آنان بیشترین عملکرد دانه را در محلول پاشی برگي پوترسین در مرحله آبستنی و پنجه زنی و کمترین آن را در عدم محلول پاشی گزارش کردند و اظهار داشتند که محلول پاشی پوترسین به دلیل افزایش طول عمر برگ پرچم و طول دوره پر شدن مؤثر دانه موجب افزایش عملکرد دانه شد.

نتیجه گیری

References

- Ahmadi, A., and Baker, D. A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. *Journal of Agricultural Science* 136: 257-269.
- Alcázar, R., Marco, J. C., Cuevas, M., Patrón, A., Ferrando, P., Carrasco, A. F., Tiburcio F., and Altabella, T. 2006. Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnol. Lett.* 28: 1867-1876.
- Alvaro, F., Royo, C., Garcia del Moral, L. F., and Villegas, D. 2008. Grain filling and dry matter translocation responses to source-sink modifications in a historical series of durum wheat. *Crop Science* 48: 1523-1531.
- Amraei, B., Ardakani, M. R., Rafei, M., Paknejad, F., and Rejali, F. 2018. Effect of biofertilizer (*Mycorrhizal* and *Azotobacter*) application on yield and some agronomic characters of wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) under dry land conditions of Khorramabad, Lorestan province. *Journal of Agronomy and Plant Breeding* 12 (2): 1-17.
- Antunes, P. M., Deaville, D., and Goss, M. J. 2006. Effect of two AMF life strategies on tripartite symbiosis with *Bradyrhizobium Japonicum* and soybean. *Mycorrhiza* 16: 167-173.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24 (1): 1-15.
- Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H., and Ala, S. A. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiology Plant* 16 (3): 185-191.
- Asrar, A. A., Abdel-Fattah, G. M., and Elhindi, K. M. 2012. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) plants grown under well watered and water stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. *Photosynthetica* 50 (2): 305-316.
- Burgess, M. H., Miller, P., and Jones, C. 2012. Pulse crops improve energy intensity and productivity of cereal production in Montana, U.S.A. *Journal of Sustainable Agriculture* 36: 544-561.
- Couée, I., Hummel, I., Sulman, C., Gouesbet, G., and El-Amrani, A. 2004. Involvement of polyamines in root development. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 76: 1-10.
- Chandrasekhar, B. R., Ambrose, G., and Jayabalan, N. 2005. Influence of biofertilizer and nitrogen source level on the growth and yield of *Echinochloa frumentacea* (Roxb.) Link. *Journal of Agricultural Technology* 1 (2): 223 - 234.
- El-Bassiouny, H. M., Mostafa, H. A., El-Khawas, S. A., Hassanein, R. A., Khalil, S. I., and Abd El- Monem, A. A. 2008. Physiological responses of wheat plant to foliar treatments with arginine or putrescine. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 2: 1390-1403.
- Ellis, R. H., 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.
- Emadi, M. S., Hassibi, P., and Azimi, A. 2013. Effect of foliar application of putrescine and nutrient elements on two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences* 15 (3): 247-261. (in Persian).

15. Emadi, M. S., Hassibi, P., and Azimi, A. 2014. Effect of leaf application putrescine and nutrient elements on some physiological characteristics of two bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in Ahvaz, The Plant Production 37 (4): 107-118. (in Persian).
16. Feng, G., Zhang, F. S., Li, X. L., Tian, C. Y., Tang, C., and Rengel, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza* 12: 185-190.
17. 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.
18. 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.
19. Gupta, S., Agarwal, V., and Gupta, N. K. 2012. Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 18: 331-336.
20. Hammer, G., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C., Pszkwicz, S., and Cooper, M. 2009. Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in U.S. Corn Belt? *Crop Science*. 49: 299-312.
21. Jarak, M., Mrkovacki, N., Bjelic, D., Josic, D., Hajnal-Jafari, T., and Stamenov, D. 2012. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on maize in greenhouse and field trial. *African Journal of Microbiology Research* 6 (27): 5683-5690.
22. Kader, M. K., Mmian, H., and Hoyue, M. S. 2002. Effects of *Azotobacter* inoculants on the yield and nitrogen uptake by wheat. *Journal of Biological Sciences* 2 (4): 250-261.
23. Kheirizadeh Arough, Y. 2016. Effects of nano zinc oxide foliar application, arbuscular mycorrhizal fungus and free living nitrogen fixing bacteria on yield and some physiological traits of Triticale under salinity and water limitation condition. PhD thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (in Persian).
24. Kirchner M. J., Wollum A. G., and King, L. D. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 57:1289-1295.
25. Kusano, T., Berberich, T., Tateda, C., and Takahashi, Y. 2008. Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta* 228 (3): 367-381.
26. Mader, P., Kaiser, F., Adholeya, A., Singh, R., Uppal, H. S., Sharma, A. K., Srivastava, R., Sahai, V., Aragno, M., Wiemken, A., Johri, B. N., and Fried, P. M. 2011. Inoculation of root microorganisms for sustainable wheat-rice and wheat-black gram rotations in India. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 609-619.
27. Mahros, K. M., Badawy, E. M., Mahgoub, M. H., Habib, A., and El-Sayed, I. 2011. Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of (*Chrysanthemum indicum* L.) Plant. *Journal of American Science* 7 (3): 399-408.
28. Malabika, R., and Wu, R. 2001. Arginine decarboxylase transgene expression and analysis of environmental stress tolerance in transgenic rice. *Plant Science* 160: 869-875.
29. Manske, G. B., Luttger, A., Behle, R. K., Vlek, P. G., and Cimmit, M. 2000. Enhancement of mycorrhiza (VAM) infection, nutrient efficiency and plant growth by *Azotobacter chroococcum* in wheat. *Journal of Plant Breeding Biological* 78-83.
30. Mishra, M., Kumar, U., Mishra, P. K., and Prakash, V. 2010. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria for the enhancement of *cicer arietinum* L. Growth and germination under salinity. *Advances in Biological Research* 4: 92-96.
31. Monakhova, O. F., and Chernyadev, I. I. 2002. Protective role of kartolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. *Applied Biochemistry and Microbiology* 38 (4): 373-380.
32. Moucheshi, A., Heidari, M. T., and Assad, B. 2012. Alleviation of drought stress effects on wheat using arbuscular mycorrhizal symbiosis. *International Journal of Agricultural Science* 2: 35-47.
33. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
34. Roesti, D., Gaur, R., Johariz, B. N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawalieet, K., and Aragno, M. 2006. Plant growth stage, fertilizer management promoting rhizobacteria affect the community structure in rain-fed wheat field. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 1111-1120.
35. Ronanini, D. R., Savin, R., and Hall, A. J. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crops Research* 83: 79-90.
36. Saghafi, K., Ahmadi, J., Asgharzadeh, A., and Bakhtiari, S. 2013. The effect of microbial inoculants on physiological responses of two wheat cultivars under salt stress. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 1 (4): 421-431.
37. Sarig, S., Okon, Y., and Blum, A. 1992. Effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on growth dynamics and hydraulics conductivity of Sorghum bicolor roots. *Journal of Plant Nutrition* 15: 805-819.

38. Seyed Sharifi, R., and Namvar, A. 2016. Biofertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardabili press. 280 pp. (in Persian).
39. Tao, H., Morris, T. F., and Neafsey, J. 2012. Nutrient applications reported by farmers compared with performance-based nutrient management plans. *Agronomy Journal* 104: 437-447.
40. 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 arietinum* L.). *African Journal of Biotechnology* 7: 776-782.
41. 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.
42. Xie, Z., Jiag, D., Dai, T., Jing, Q., and Cao, W. 2004. Effects of exogenous ABA and cytokinin on leaf photosynthesis and grain protein accumulation in wheat ears cultured in vitro. *Plant Growth Regulation* 44: 25-32.
43. Zhang, K., and John, P. 2005. Raised level of cyclin dependent kinase after prolonged suspension culture of *Nicotiana plumbaginifolia* is associated with more rapid growth and division, diminished cytoskeleton and lost capacity for regeneration: implications for instability of cultured plant cells. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 82: 295-308.



Effects of Holding Irrigation at Reproductive Stages and Putrescine and Bio Fertilizers Application on Grain Filling Period, Chlorophyll Content and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.)

A. Mohseni Mohammadjanlou^{1*}, R. Seyed Sharifi², S. Khomari³

Received: 08-12-2020

Accepted: 15-02-2021

Introduction

Drought is the most severe abiotic stress factor limiting plant growth and crop production. Many physiological processes in plants are impaired by drought stress. Also, this stress can damage the photosynthesis of plants, pigments and plastids reduce chlorophyll a, chlorophyll b and other carotenoids, hydrolyze proteins and prevalent photochemical reactions in most plants. The response of plants to drought stress depends on several factors such as developmental stage, severity, duration of stress, and cultivar genetics. Several strategies have been developed in order to decrease the water limitation-induced toxic effects on plant growth, among them use of bio fertilizers and putrescine play a key role in yield improvement. The aim of this study was to investigate the effects of irrigation withholding during reproductive stage and putrescine and bio fertilizers application on grain filling period, chlorophyll content and yield of wheat.

Materials and Methods

A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm, faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili during 2018-2019. Factors experiment were included irrigation at three levels (full irrigation as control, irrigation withholding in 50 percent of heading stage and irrigation withholding in 50 percent booting stage as moderate and severe water limitation respectively) and bio fertilizers at four levels (no bio fertilizer, application of mycorrhiza (*Glomus Intraradices*), both application *Pseudomonas* (*Pseudomonas Putida* Strain 186) and *Flavobacterim* Spp, application of mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterim*), foliar application putrescine in three levels (foliar application with water as control and foliar application 0.5 and 1 mM of putrescine). Mycorrhiza fungi was purchased from the Zist Fanavar Turan corporation and soils were treated based on method of Gianinazzi et al. (2001). *Pseudomonas* and *flavobacterium* were isolated from the rhizospheres of wheat by Research Institute of Soil and Water, Tehran, Iran. Two part linear model was used to quantifying the grain filling parameters. In this study, total chlorophyll, chlorophyll a, b, carotenoid, grain filling components and yield of wheat 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)/rate of grain filling (g.day⁻¹).

Results and Discussion

Means comparison showed that maximum of grain weight (0.0641 g), grain filling rate (2.28 mg.day⁻¹), grain filling period (39.7 day) and effective grain filling period (28.14 day) were obtained in full irrigation, application of mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterim* and foliar application 1 mM of putrescine and the least of these traits (0.0361 g, 1.6 mg. day⁻¹, 33.15 and 22.57 days respectively) were obtained in irrigation withholding at booting stage and no application of putrescine and bio fertilizers, there were an increase about 77.56%, 42.5%, 19.76% and 24.68% in this treatment compounds in comparison with withholding at booting stage and no application of putrescine and bio fertilizers. Full irrigation, both application *Pseudomonas* and *Flavobacterim*

1- PhD student, Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(*- Corresponding Author Email: a.mohseni55@yahoo.com)

with mycorrhiza and foliar application 1 mM of putrescine increased volume and root dry weight 124.37 and 123.47% respectively. Grain yield under irrigation withholding in heading and booting stages decreased in comparison with full irrigation. The highest grain yield was obtained in full irrigation (682.68 g.m^{-2}), both application *Pseudomonas* and *Flavobacterim* (686.42 g.m^{-2}) and foliar application 1 mM of putrescine (618.02 g.m^{-2}).

Conclusions

Based on the results of this study, it seems both application of mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterim* and foliar application 1 mM of putrescine with full irrigation can increase grain yield of wheat due to improve biochemical and physiological traits under water limitation condition in reproductive stages.

Keywords: Bio fertilizers, Grain filling rate, Mycorrhiza, Water limitation



مقاله پژوهشی

تأثیر کاربرد اپی براسینولید بر تخصیص مواد فتوسنتزی، مقاومت به خشکی و عملکرد دانه دو ژنوتیپ لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)

مهسا محمدی^{1*}، مجید پوریوسف²، افشین توکلی³

تاریخ دریافت: 1399/10/22

تاریخ پذیرش: 1400/03/10

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد اپی براسینولید بر تخصیص مواد فتوسنتزی لوبیا، پژوهشی به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال زراعی 1395-1394 اجرا شد. در این پژوهش، آبیاری مطلوب و تنش خشکی در کرت‌های اصلی و ژنوتیپ‌های لوبیا (رقم کوشا و ژنوتیپ COS16) و غلظت‌های مختلف اپی براسینولید (عدم کاربرد هورمون یا شاهد، 2، 4 و 6 میکرومولار) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در مرحله گل‌دهی، تنش خشکی اعمال (قطع آبیاری تا رسیدن پتانسیل آب خاک به $-1/5$ مگاپاسکال) و بوته‌های لوبیا با اپی براسینولید محلول‌پاشی شد و سپس آبیاری مجدد صورت گرفت. نتایج نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی و نیز هورمون‌پاشی بر محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین، میزان مالون‌دی‌آلدهید، وزن خشک برگ، ساقه، غلاف و کل و عملکرد دانه معنی‌دار بود. هم‌چنین، اثر متقابل تنش خشکی در ژنوتیپ‌ها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک برگ، ساقه، غلاف و عملکرد دانه شد و گیاه در شرایط تنش خشکی، مواد فتوسنتزی کمتری را به برگ و ساقه و مواد فتوسنتزی بیشتری را به غلاف، اختصاص داد. بالاترین عملکرد دانه در رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب (با میانگین 3025/45 کیلوگرم بر هکتار) و پایین‌ترین میزان این صفت در ژنوتیپ COS16 در شرایط تنش خشکی (با میانگین 980/89 کیلوگرم بر هکتار) مشاهده گردید. کاربرد اپی براسینولید باعث افزایش وزن خشک برگ، ساقه، غلاف و عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد. بالاترین عملکرد دانه با کاربرد 2 میکرومولار اپی براسینولید (با میانگین 2068/2 کیلوگرم بر هکتار) حاصل شد و کاربرد این غلظت، عملکرد دانه را به میزان 46/07 درصد نسبت به شاهد افزایش داد. هم‌چنین، کاربرد اپی براسینولید با کاهش در میزان مالون‌دی‌آلدهید و افزایش در محتوای نسبی آب برگ و میزان پرولین باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی شد. بنابراین، کاربرد اپی براسینولید را به عنوان راهکاری جهت افزایش عملکرد دانه لوبیا و افزایش مقاومت به خشکی این گیاه می‌توان پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش خشکی، عملکرد دانه، مالون‌دی‌آلدهید، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

است که تغییرات زیادی را در خصوصیات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه القا می‌کند. تنش خشکی باعث کاهش عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن دانه لوبیا می‌شود (Munoz-Perea et al., 2006). هم‌چنین، اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی به طور معنی‌داری موجب کاهش وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، وزن خشک غلاف، زیست‌توده، نسبت وزن ساقه، نسبت وزن برگ و عملکرد دانه گیاه لوبیا چیتی شد (Rezaei and Jabbari, 2015). یکی از موضوعات مورد اهمیت در شکل‌گیری عملکرد دانه چگونگی توزیع مواد فتوسنتزی در گیاهان می‌باشد. این موضوع خصوصاً زمانی که گیاه با تنش خشکی مواجه می‌شود ممکن است از اهمیت بیشتری برخوردار باشد. تجمع ماده‌ی خشک به عنوان یک صفت مهم برای حصول عملکرد بالا در حبوبات مورد توجه است (Saxena et al., 1990). اغلب همبستگی قوی و مثبت بین ماده‌ی خشک کل تولیدی و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی مشاهده شده‌است (Shenkut and Brick, 2003). علاوه بر

امروزه اهمیت پروتئین در رژیم غذایی بشر بر کسی پوشیده نیست و تلاش متخصصان در تأمین منابع پروتئینی و ترکیب آن‌ها با سایر منابع غذایی به منظور تأمین نیازهای غذایی بشر، سبب توجه ویژه آنان به حبوبات، به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع غذایی سرشار از پروتئین با محتوای 18 تا 32 درصد (Singh and Saxena, 2000) شده‌است. لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) با داشتن پروتئین، فیبر و مواد کانی بالا به عنوان یک غذای کامل مطرح است (Pfeiffer and McClafferty, 2007). خشکی، یکی از تنش‌های مهم غیرزیستی

1- دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

2- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

3- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

(*) - نویسنده مسئول: mahsa89.mohammadi@gmail.com

DOI: 10.22067/jcsc.2021.68288.1010

انجام شد.

مواد و روش‌ها

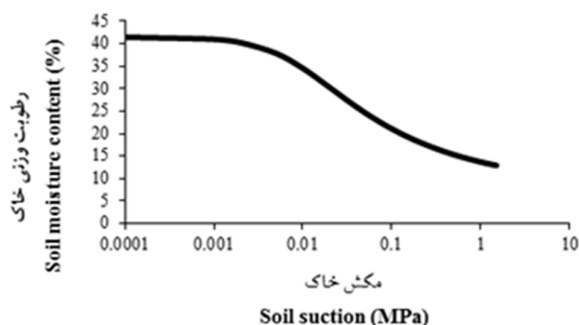
پژوهش حاضر در سال زراعی 1395-1394 در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه زنجان واقع در عرض جغرافیایی 36 درجه و 40 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 48 درجه و 24 دقیقه شرقی و ارتفاع 1594 متر از سطح دریا اجرا شد. شهرستان زنجان دارای آب و هوای سرد و خشک کوهستانی با متوسط بارندگی حدود 293/5 میلی‌متر است که معمولاً از اواخر آبان شروع و تا اواسط بهار ادامه می‌یابد. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد که در آن آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی در کرت‌های اصلی قرار گرفت و ژنوتیپ‌های لوبیا (در دو سطح رقم کوشا با تیپ رشد ایستاده و رشد نامحدود و ژنوتیپ COS16 با تیپ رشد ایستاده و رشد محدود) و غلظت‌های مختلف براسینواستروئید (در چهار سطح عدم کاربرد هورمون یا شاهد، 2، 4 و 6 میکرومولار) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. به‌منظور آماده‌سازی زمین، در پاییز سال 1394 شخم عمیق زده شد و در فصل بهار جهت یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه از دیسک و ماله استفاده گردید. کشت در اردیبهشت ماه سال 1395 انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف به طول سه متر بود. کاشت به‌صورت مسطح، فاصله‌ی ردیف‌های کاشت 50 سانتی‌متر، فاصله‌ی بوته‌ها بر روی ردیف پنج سانتی‌متر و تراکم 40 بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. سیستم آبیاری به‌صورت قطره‌ای بود و اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی تا زمان اعمال تیمارها بر اساس شرایط محیطی هفته‌ای یکبار صورت گرفت. در مراحل مختلف رشد گیاه، علف‌های هرز از طریق وجین دستی کنترل شدند. در مرحله‌ی گل‌دهی (به‌گل رفتن 50 درصد بوته‌های واحدهای آزمایشی)، به‌طور همزمان برای هر دو ژنوتیپ، تنش خشکی اعمال شد. برای اعمال تنش خشکی، در مرحله‌ی گل‌دهی آبیاری قطع شده و تا رسیدن پتانسیل آب خاک به 1/5 - مگاپاسکال ادامه یافت (Contour-Ansel *et al.*, 2010) و سپس آبیاری مجدد انجام شد. همزمان با اعمال تنش خشکی، بوته‌های لوبیا با براسینواستروئید (پی‌براسینولید، $C_{28}H_{48}O_6$ ، جرم مولکولی 480/68 گرم بر مول، سیگما، آمریکا) با غلظت‌های ذکر شده توسط آب‌پاش دستی محلول‌پاشی شد. برای تعیین پتانسیل آب خاک از منحنی رطوبتی خاک استفاده گردید (شکل 1). برای این منظور، بعد از قطع آبیاری هر دو روز یکبار نمونه‌برداری از خاک صورت گرفت و درصد رطوبت وزنی خاک تعیین شد و با کمک منحنی رطوبتی خاک، پتانسیل آب مشخص گردید و زمانی که پتانسیل آب خاک به 1/5 - مگاپاسکال رسید تیمار تنش، آبیاری مجدد شد (مدت زمان اعمال تنش خشکی، 15 روز به‌طول انجامید). همچنین، تیمار شاهد به‌طور تقریبی هر هفته یکبار آبیاری

تجمع ماده‌ی خشک، تسهیم مواد پرورده بین اندام‌های مختلف گیاه در تعیین عملکرد دانه بسیار مهم است (Frahm *et al.*, 2004). تنش خشکی الگوی تخصیص مواد فتوسنتزی را نیز تغییر می‌دهد. یک صفت مهم برای سازگاری به خشکی، ظرفیت ارقام برای توزیع مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده به دانه است و ارقامی مقاوم به خشکی محسوب می‌شوند که در تولید مواد فتوسنتزی و انتقال به دانه و غلاف کارآمدتر باشند (Romdhane *et al.*, 2009).

براسینواستروئیدها، گروهی از هورمون‌های استروئیدی هستند که نقشی محوری در بسیاری از پدیده‌های نمو ایفا می‌کنند و از طریق تغییر در متابولیسم گیاه و حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی، منجر به افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Talaat and Shawky, 2013). اطلاعات زیادی مبنی بر مکانیزمی که براسینواستروئیدها باعث تحمل به تنش می‌شوند، وجود ندارد. به‌طور کلی پیشنهاد شده است که براسینواستروئیدها پاسخ به تنش را با یک توالی پیچیده از واکنش‌های بیوشیمیایی، مانند فعال‌سازی یا غیر فعال‌سازی واکنش‌های آنزیمی کلیدی، القای سنتز پروتئین‌ها و تولید ترکیبات شیمیایی دفاعی مختلف تنظیم می‌کنند (Bajguz and Hayat, 2009). در برخی مطالعات مشخص شده‌است که براسینواستروئیدها مقاومت گیاه در برابر تنش و آسیب‌های گیاهی را افزایش می‌دهند و موجب افزایش سازگاری در برابر شرایط نامساعد محیطی می‌شوند. برای مثال، کاربرد خارجی براسینولید با افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، محتوای پروتئین‌ها، محتوای نسبی آب برگ و محتوای پرولین، اثرات زیان‌بار تنش خشکی را در ذرت کاهش داد (Anjum *et al.*, 2011). همچنین، کاربرد خارجی براسینولید، باعث بهبود مقاومت به خشکی رقم سوپر با سماتی برنج شد (Farooq *et al.*, 2009). در مطالعه‌ای بیان شد که محلول‌پاشی خارجی براسینواستروئیدها باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و افزایش غلظت قندهای محلول و پرولین شد که در نهایت منجر به کاهش غلظت مالون‌دی‌آلدئید و هدایت الکتریکی در برگ‌های تنش‌دیده سوپا گردید (Zhang *et al.*, 2008).

همان‌گونه که اشاره گردید مکانیزم چگونگی تحمل گیاه به تنش با کاربرد براسینواستروئیدها مشخص نیست، بنابراین افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، افزایش محتوای پرولین و افزایش محتوای نسبی آب برگ با کاربرد هورمون پی‌براسینولید و نیز افزایش عملکرد دانه از طریق افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها با کاربرد این هورمون از جمله فرضیه‌های این مطالعه می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد پی‌براسینولید بر تخصیص مواد فتوسنتزی و برخی صفات مرتبط با مقاومت به خشکی دو ژنوتیپ لوبیا در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی و امکان افزایش عملکرد دانه لوبیا با کاربرد این هورمون

گردید.



شکل 1- منحنی رطوبتی خاک محل انجام پژوهش
Figure 1- Soil moisture curve of the place of research

مخلوط به مدت 15 دقیقه در 12000 دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و 2 میلی‌لیتر از محلول روشن‌آور در آن جمع‌آوری گردید. به محلول روشن‌آور جمع‌آوری شده مقدار 4 میلی‌لیتر محلول 0/5 درصد تیوباریتوریک اسید (TBA) حاوی 20 درصد تری‌کلرواستیک اسید (TCA) اضافه شد. مخلوط به مدت 30 دقیقه در حمام آب گرم در دمای 95 درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس مخلوط بلافاصله در حمام آب یخ قرار داده شد تا کاملاً سرد شود. سپس مخلوط به مدت 10 دقیقه در 10000 دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و محلول روشن‌آور آن جمع‌آوری گردید. میزان جذب مخلوط در طول موج 532 نانومتر، به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و سپس جذب سایر رنگیزه‌های غیراختصاصی در 600 نانومتر تعیین شد و از میزان جذب در 532 نانومتر کسر گردید (Heath and Packer, 1968). اندازه‌گیری تخصیص مواد فتوسنتزی در دو مرحله (اوج تنش خشکی و یک هفته پس از آبیاری مجدد) صورت گرفت. به این منظور در هر مرحله، 10 بوته از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی انتخاب و به برگ، ساقه و غلاف تفکیک شدند. سپس اندام‌های تفکیک شده به مدت 48 ساعت در آون الکتریکی در دمای 70 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و با ترازوی حساس توزین شدند. نسبت وزن برگ، ساقه و غلاف از تقسیم وزن خشک برگ، ساقه و غلاف به وزن خشک کل محاسبه گردید. در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی کامل مزرعه، مساحت دو مترمربع از سطح مزرعه برداشت شده و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها (با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد) و ضرایب همبستگی با استفاده از نرم‌افزار (9.1) SAS محاسبه گردید. جهت رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار (2013) Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

اثر تنش خشکی و هورمون‌پاشی هر دو در سطح احتمال یک

محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین و میزان مالون‌دی‌آلدهید در زمان اوج تنش خشکی (زمانی که پتانسیل آب خاک به 1/5- مگاپاسکال رسیده و هورمون‌پاشی صورت گرفته بود) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، پس از جداسازی برگ‌ها از بوته‌ها، برگ‌ها در فویل آلومینیومی پیچیده شده و در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها داخل پتری‌دیش محتوی آب مقطر قرار داده شد و به مدت 24 ساعت، جهت آب‌گیری کامل نگهداری شدند. پس از 24 ساعت وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد و سپس در آون در دمای 75 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت خشک گردیده و وزن خشک برگ‌ها اندازه‌گیری شد. سپس محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه (1) محاسبه شد (Smart and Bingham, 1974).

$$(1) \quad 100 \times ((\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})) = \text{محتوای نسبی آب برگ}$$

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین، 0/5 گرم از نمونه‌ی برگ تر به همراه 10 میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک 3 درصد در هاون کوبیده تا محلول همگن ایجاد شود. پس از سانتریفیوژ، دو میلی‌لیتر از محلول حاصل با دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و دو میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین در یک لوله‌ی آزمایش مخلوط شدند و به مدت یک ساعت در حمام بن ماری در دمای 100 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از گذشت یک ساعت، نمونه‌ها به حمام یخ منتقل شده و پس از سرد شدن، به محتویات لوله‌ی آزمایش، 4 میلی‌لیتر تولوئن اضافه و به شدت به هم زده شدند. در نهایت میزان جذب در طول موج 520 نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر (Lambda 25; PerkinElmer, Waltham, MA, USA) قرائت گردید (Bates et al., 1973). برای اندازه‌گیری محتوای مالون‌دی‌آلدهید، ابتدا 0/2 گرم برگ تر در هاون چینی کاملاً پودر شده و سپس 4 میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک اسید 1 درصد به آن اضافه شد و کاملاً هموژنیزه گردید. سپس

آبیاری مطلوب شد (جدول 2). افزایش اسمولیت‌های سازگار از قبیل پرولین، یک سازوکار محافظتی تحت تنش خشکی است که نقش بسیار مهمی در تنظیم اسمزی و افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی دارد. به نظر می‌رسد تنش خشکی باعث می‌شود گلوتامین که پیش‌ماده مشترک ساخت کلروفیل و پرولین است، کم‌تر در مسیر ساخت کلروفیل شرکت داشته باشد و بیش‌تر در تولید پرولین مصرف شود. افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش باعث محافظت از غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و کاهش میزان گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد (Liang et al., 2013). تنش خشکی باعث افزایش معنی‌داری در مقدار پرولین در نخود (Najaphy et al., 2010)، عدس (Allahmoradi et al., 2013) و باقلا (Siddiqui et al., 2015) نیز شده‌است. اگرچه در برخی از گیاهان ثابت شده‌است که تغییرات میزان پرولین با توانایی آن‌ها برای تحمل به شرایط تنش مرتبط است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای انتخاب گیاهان مقاوم به تنش استفاده شود (Niknam et al., 2006)، اما دیده شده که در گیاهان حساس به خشکی مانند کاساوا (Sundaresan and Sudhakaran, 1995) و لوبیا (Andrade et al., 1995) تجمع پرولین فقط نشانه‌ای از بروز تنش می‌باشد. با توجه به این که در این آزمایش نیز بین دو ژنوتیپ لوبیا از نظر تغییرات میزان پرولین تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول 2)، بنابراین به نظر می‌رسد در این آزمایش نیز تجمع پرولین فقط نشانه‌ای از اعمال تنش خشکی باشد. همچنین، کاربرد غلظت‌های مختلف اپی‌براسینوئید باعث افزایش محتوای پرولین نسبت به شاهد شد که تنها در کاربرد 4 میکرومولار اپی‌براسینوئید معنی‌دار بود (جدول 2). کاربرد غلظت 4 میکرومولار اپی‌براسینوئید، محتوای پرولین را به میزان 82/22 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). براسینوئیدها با تأثیر بر بیان ژن‌های مسئول بیوسنتز پرولین، موجب افزایش محتوای پرولین می‌گردند (Talaat and Shawky, 2013). از آنجایی که براسینوئیدها موجب افزایش بیوسنتز اسیدهای نوکلئیک در سلول‌های گیاهی می‌شوند (Bajguz, 2000)، لذا ممکن است افزایش پرولین با اعمال اپی‌براسینوئید، ناشی از افزایش سنتز اسیدهای نوکلئیک در سلول‌های گیاهی و تبدیل آن‌ها به اسید آمینه پرولین نیز باشد. گزارش شده‌است که اعمال براسینوئید با افزایش فعالیت‌های پرولین-5-کربوکسیلات سینتاز (P5CS) و ارنیتین-8-آمینوترانسفراز (OAT) و بازداری از فعالیت پرولین دهیدروناز (PDH) باعث افزایش مقدار پرولین در گیاه می‌شود (Zhanli et al., 2016). در پژوهش‌های دیگری نیز کاربرد براسینوئیدها در شرایط تنش موجب افزایش محتوای پرولین گردیده‌است (Rady, 2011; Agami, 2013).

درصد بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود (جدول 1). اعمال تنش خشکی باعث کاهش 35/04 درصدی در محتوای نسبی آب برگ شد (جدول 2). عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب در گیاه، محتمل‌ترین دلیل کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی است. به عبارت دیگر در شرایط تنش خشکی، به دلیل کاهش درصد رطوبت خاک، ریشه‌ها قادر به تأمین آب از دست رفته از طریق تعرق نبوده و در نتیجه پتانسیل آب برگ و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. کمبود آب، محتوای نسبی آب را در برگ‌های لوبیا (Korir et al., 2006; Lizana et al., 2006) و عدس (Salehpour et al., 2009) نیز کاهش داده‌است. کاربرد غلظت‌های مختلف اپی‌براسینوئید، محتوای نسبی آب برگ را در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول 2). بالاترین محتوای نسبی آب برگ با کاربرد 4 میکرومولار اپی‌براسینوئید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت و کاربرد این غلظت، محتوای نسبی آب برگ را به میزان 17/75 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). از آنجایی که محتوای نسبی آب برگ با جذب آب توسط ریشه‌ها و همچنین با اتلاف آب در اثر تعرق مرتبط است، لذا افزایش محتوای نسبی آب برگ توسط اعمال براسینوئیدها ممکن است مربوط به کاهش تلفات آب گیاهچه‌ها در اثر تعرق (Li et al., 2008) و همچنین، نتیجه‌ی تنظیم اسمزی و افزایش جذب آب از خاک (Talaat and Shawky, 2016) باشد. از آنجایی که پرولین، اسید آمینه‌ی کلیدی در تنظیم اسمزی است و در پژوهش حاضر نیز مقدار پرولین با کاربرد اپی‌براسینوئید به‌طور معنی‌داری افزایش یافته‌است (جدول 2)، بنابراین افزایش محتوای نسبی آب برگ با کاربرد اپی‌براسینوئید می‌تواند به دلیل تنظیم اسمزی و افزایش جذب آب از خاک باشد. گزارش شده‌است که تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ‌های ذرت شد ولی کاربرد براسینوئید باعث بهبود محتوای نسبی آب برگ در هر دو شرایط تنش و عدم تنش گردید (Anjum et al., 2011). همچنین، تحت تنش شدید خشکی، محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب گیاهچه‌های *Robinia pseudoacacia* تیمار شده با 0/2 میلی گرم بر لیتر براسینوئید به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بوده‌است (Li et al., 2008). کاربرد براسینوئیدها در گیاهان مختلف از جمله لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) (Rady, 2011)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) (Hayat et al., 2012) و برنج (*Oryza sativa*) (Thussagunpanit et al., 2015) نیز باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ شده‌است.

محتوای پرولین

اثر تنش خشکی در سطح پنج درصد و هورمون‌پاشی در سطح یک درصد بر محتوای پرولین معنی‌دار بود (جدول 1). اعمال تنش خشکی باعث افزایش 126/06 درصدی در محتوای پرولین نسبت به

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف دو ژنوتیپ لوبیا با اعمال چهار غلظت اپی‌براسینوئید در دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی
Table 1- Analysis of variance for different traits of two common bean genotypes evaluated at four concentrations of EBL and two levels of irrigation (optimal and drought stress)

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی d.f	محتوای نسبی Relative water content	محتوای پروتئین Proline content	مالتوئیدیالدهید Malondialdehyde content	میانگین مربعات Mean Squares										نسبت وزن خشک به کل Ratio of stem dry weight to total	نسبت وزن خشک به کل Ratio of pod dry weight to total	نسبت وزن خشک به کل Ratio of seed yield to total		
					محتوای نسبی Relative water content	محتوای پروتئین Proline content	مالتوئیدیالدهید Malondialdehyde content	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک غلاف Pod dry weight	وزن خشک کل Total dry weight	نسبت وزن خشک برگ به کل Ratio of leaf dry weight to total	نسبت وزن خشک ساقه به کل Ratio of stem dry weight to total	نسبت وزن خشک غلاف به کل Ratio of pod dry weight to total					
تکرار Replication	2	118.92 ^{ns}	2.03 ^{ns}	0.35 ^{ns}	1.07 ^{ns}	2.31 ^{ns}	0.05 ^{ns}	6.00 ^{ns}	17.33 ^{ns}	42.70 ^{ns}	53.30 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.68 ^{ns}	0.27 ^{ns}	187.62 ^{ns}	42.94 ^{ns}	384286.77 ^{ns}	
آبیاری Irrigation	1	10666.75 ^{**}	1228.01 [*]	35.01 ^{**}	27.33 ^{**}	26.88 [*]	0.88 [*]	128.76 [*]	18.28 ^{ns}	0.26 ^{ns}	22.90 ^{ns}	6.43 ^{ns}	26.98 ^{**}	37.48 ^{**}	191.85 [*]	131.06 ^{ns}	5.86 ^{ns}	81.49 [*]	29224641.05 [*]
خطای آبیاری Error	2	70.10	13.58	0.13	0.26	0.44	0.02	1.32	13.07	9.03	26.53	0.66	0.24	0.29	2.43	67.58	61.97	2.81	522929.00
ژنوتیپها Genotypes	1	143.11 ^{ns}	0.05 ^{ns}	3.38 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.004 ^{ns}	1.61 ^{ns}	22.52 ^{ns}	8.68 ^{ns}	3.24 ^{ns}	1.66 [*]	0.12 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.99 ^{ns}	247.75 ^{**}	103.80 ^{ns}	30.82 ^{ns}	2810849.76 ^{**}
غلظت‌های اپی‌براسینوئید EBL concentrations	3	280.78 ^{**}	134.84 ^{**}	3.62 [*]	1.15 [*]	1.52 [*]	0.31 ^{**}	6.94 ^{**}	76.26 ^{ns}	4.22 ^{ns}	59.15 ^{**}	1.45 [*]	2.65 [*]	8.38 ^{**}	31.13 ^{**}	12.92 ^{ns}	90.46 ^{ns}	165.57 ^{ns}	1111848.91 ^{**}
آبیاری × ژنوتیپها Irrigation × Genotypes	1	181.35 ^{ns}	2.34 ^{ns}	0.66 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.46 ^{ns}	0.23 [*]	1.78 ^{ns}	111.32 ^{ns}	20.84 ^{ns}	35.83 ^{ns}	0.005 ^{ns}	2.15 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	2.01 ^{ns}	3.35 ^{ns}	144.76 ^{ns}	104.06 ^{ns}	854880.42 [*]
آبیاری × غلظت‌های Irrigation × EBL concentrations	3	102.43 ^{ns}	11.36 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.75 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1.85 ^{ns}	47.63 ^{ns}	11.26 ^{ns}	22.24 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.41 ^{ns}	1.96 ^{ns}	3.75 ^{ns}	14.12 ^{ns}	40.53 ^{ns}	99.72 ^{ns}	103955.50 ^{ns}
ژنوتیپها × غلظت‌های Genotypes × EBL concentrations	3	33.19 ^{ns}	59.40 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.54 ^{ns}	1.01 ^{ns}	0.03 ^{ns}	3.08 ^{ns}	5.37 ^{ns}	17.20 ^{ns}	18.45 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.35 ^{ns}	2.38 ^{ns}	62.37 ^{ns}	8.27 ^{ns}	40.24 ^{ns}	112591.72 ^{ns}
آبیاری × ژنوتیپها × غلظت‌های Irrigation × Genotypes × EBL concentrations	3	27.72 ^{ns}	35.18 ^{ns}	0.64 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.50 ^{ns}	20.51 ^{ns}	45.42 ^{ns}	8.89 ^{ns}	0.53 ^{ns}	0.60 ^{ns}	1.78 ^{ns}	2.61 ^{ns}	57.56 ^{ns}	110.90 ^{ns}	309.88 [*]	43080.59 ^{ns}
خطای کل Total Error	28	49.64	22.79	1.12	0.39	0.48	0.03	1.51	37.18	38.20	11.21	0.38	0.63	0.72	3.03	25.56	45.91	77.40	139151.25

Peak of drought stress and ^{ns} one week after re-irrigation (ns, * and ** indicate no significant and significant difference at the probability level of 5% and 1%, respectively).

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مختلف دو ژنوتیپ لوبیا با اعمال چهار غلظت اپی‌براسینوئید در دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی
Table 2- Mean comparison for different traits of two common bean genotypes evaluated at four concentrations of EBL and two levels of irrigation (optimal and drought stress)

Table 2- Mean comparison for different traits of two common bean genotypes evaluated at four concentrations of EBL and two levels of irrigation (optimal and drought stress)																						
محتوای نسبی آب Relative water content (%)	محتوای پرولین Proline (μmol g ⁻¹ FW)	مالتوئیدیالدهید Malondialdehyde content (μmol g ⁻¹ FW)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of pod dry weight to total ++										نسبت وزن خشک به کل Ratio of seed yield to total ++									
			وزن خشک غلاف Pod dry weight ++ (g plant ⁻¹)	وزن خشک کل Total dry weight ++ (g plant ⁻¹)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of pod dry weight to total ++ (%)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of seed yield to total ++ (%)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of pod dry weight to total ++ (%)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of seed yield to total ++ (%)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of pod dry weight to total ++ (%)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of seed yield to total ++ (%)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of pod dry weight to total ++ (%)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of seed yield to total ++ (%)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of pod dry weight to total ++ (%)	نسبت وزن خشک به کل Ratio of seed yield to total ++ (%)								
Irrigation levels																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						
Genotypes																						
توزیع آبیاری																						

Peak of drought stress and ^{ns} one week after re-irrigation (Mean values sharing similar letter(s) are not significant at p<0.05, according to Duncan's multiple range tests).

محتوای مالون دی آلدیید

اثر تنش خشکی در سطح یک درصد و هورمون پاشی در سطح پنج درصد بر محتوای مالون دی آلدیید معنی دار بود (جدول 1). اعمال تنش خشکی باعث افزایش 93/96 درصدی در محتوای مالون دی آلدیید نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول 2). پراکسیداسیون لیپیدهای غشا به عنوان نشانه‌ای از آسیب اکسیداتیو در نظر گرفته شده و اغلب از آن به عنوان شاخصی برای تعیین میزان آسیب وارد شده به غشا تحت تنش استفاده می‌شود. در شرایط تنش خشکی، میزان پراکسیداسیون لیپیدها افزایش یافته و در نتیجه میزان مالون دی آلدیید در سلول‌های تحت تنش افزایش می‌یابد (Gunes et al., 2007; Eraslan et al., 2006). محققان در بررسی‌های متعدد، افزایش مالون دی آلدیید در شرایط تنش خشکی را گزارش کرده‌اند (Yasar et al., 2010; Svetleva et al., 2012). همچنین، کاربرد غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید باعث کاهش محتوای مالون دی آلدیید نسبت به شاهد شد و پایین‌ترین محتوای مالون دی آلدیید با کاربرد 6 میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت‌های این هورمون تفاوت معنی‌داری نداشت و کاربرد این غلظت، محتوای مالون دی آلدیید را به میزان 38/76 درصد نسبت به شاهد کاهش داد (جدول 2). کاهش محتوای مالون دی آلدیید در اثر استفاده از اپی‌براسینولید، بیان‌گر نقش این ترکیبات در حفظ ساختار و پایداری غشاهای پلاسمایی در حضور عوامل تنش‌زا می‌باشد. لذا در این پژوهش، کاهش تجمع مالون دی آلدیید در اثر تیمار با اپی‌براسینولید در شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و حفظ سلامت غشاء تحت تنش خشکی می‌باشد. از آنجایی که گیاه به‌منظور حفاظت از غشای سلولی و سایر اندام‌ها از خسارت اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن، سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان آنزیمی و غیرآنزیمی را توسعه می‌دهد، بنابراین کاربرد اپی‌براسینولید از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و نیز افزایش محتوای پرولین (جدول 2) که به عنوان سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی محسوب می‌شود، منجر به کاهش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و به دنبال آن کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاها و در نتیجه تولید کمتر مالون دی آلدیید گردید. در این راستا، پژوهشگران متعددی عنوان داشتند که براسینواستروئیدها از طریق تأثیر بر بیان ژن‌های مسؤول کنترل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث افزایش مقاومت گیاهان در برابر خسارت اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند (Bajguz et al., 2006; Hayat, 2009; Choe et al., 2006). گزارشی نیز مبنی بر کاهش مالون دی آلدیید با کاربرد اپی‌براسینولید وجود دارد و محققان افزایش مقدار و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پروتئین‌های دفاعی در حفاظت ساختمان کلروپلاست، دستگاه فتوسنتزی و کاهش تنش

اکسیداتیو را دلیل این کاهش دانسته‌اند (Ozdamir et al., 2004). کاهش تجمع مالون دی آلدیید با اعمال براسینواستروئیدها توسط پژوهشگران دیگری نیز گزارش شده‌است (Rady, 2011; Talaat and Shawky, 2013; Thussagunpanit et al., 2015) که همسو با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.

تخصیص مواد فتوسنتزی به برگ

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک برگ در زمان اوج تنش خشکی نشان داد که اثر تنش خشکی در سطح یک درصد و هورمون پاشی در سطح پنج درصد بر این صفت معنی دار بود (جدول 1). اعمال تنش خشکی باعث کاهش 46/60 درصدی در وزن خشک برگ نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول 2). بالاترین وزن خشک برگ با کاربرد 6 میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت و کاربرد این غلظت، وزن خشک برگ را به میزان 36/02 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). نتایج تجزیه واریانس نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک کل در زمان اوج تنش خشکی نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین شرایط آبیاری، ژنوتیپ‌ها، هورمون پاشی و اثرات متقابل آن‌ها بود (جدول 1).

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک برگ در زمان یک هفته پس از آبیاری مجدد نیز بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها و هورمون پاشی هر دو در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول 1). رقم کوشا (با میانگین 2/05 گرم بر بوته) نسبت به ژنوتیپ COS16 (با میانگین 1/68 گرم بر بوته) وزن خشک برگ بالاتری داشت (جدول 2). بالاترین وزن خشک برگ با کاربرد 6 میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت و کاربرد این غلظت، وزن خشک برگ را به میزان 52/59 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). نتایج تجزیه واریانس نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک کل در زمان یک هفته پس از آبیاری مجدد نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد بود (جدول 1). رقم کوشا نسبت به ژنوتیپ COS16، از لحاظ اختصاص وزن خشک کل به وزن خشک برگ برتری داشت (در رقم کوشا، 27/82 درصد و در ژنوتیپ COS16، 23/28 درصد از وزن خشک کل به وزن خشک برگ اختصاص یافته بود) (جدول 2).

در بین اندام‌های گیاهی، برگ‌ها حساسیت بیشتری نسبت به تنش دارند (Gorka et al., 2011). در پژوهش حاضر نیز تنش خشکی، وزن خشک برگ را تحت تأثیر قرار داد و باعث کاهش معنی‌دار آن شد (جدول 2). کاهش مشاهده شده در وزن خشک برگ بر اثر تنش خشکی را می‌توان به کاهش ذخیره‌ی مواد فتوسنتزی در برگ و یا تسریع پیری و ریزش برگ‌های پایینی دانست. کاهش وزن

(جدول 1). اعمال تنش خشکی باعث کاهش 42/74 درصدی در وزن خشک ساقه نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول 2). بالاترین وزن خشک ساقه با کاربرد 6 میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت و کاربرد این غلظت، وزن خشک ساقه را به میزان 47/57 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). نتایج تجزیه واریانس نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک کل در زمان یک هفته پس از آبیاری مجدد نشان‌دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین شرایط آبیاری، ژنوتیپ‌ها، هورمون‌پاشی و اثرات متقابل آن‌ها بود (جدول 1).

تنش خشکی وزن خشک ساقه را در هر دو مرحله‌ی نمونه‌برداری (اوج تنش خشکی و یک هفته پس از آبیاری مجدد) به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول 2). این کاهش وزن را می‌توان به دو عامل کاهش فتوسنتز جاری و نیز افزایش میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه به غلاف در شرایط تنش خشکی و در نتیجه تخلیه‌ی ذخایر ساقه مرتبط دانست. از آن جایی که، از مرحله‌ی شروع پر شدن دانه به بعد، شکل‌گیری مقصدهای قوی (دانه‌های در حال رشد) و در نتیجه نیاز بالا به مواد فتوسنتزی، از یک‌سو و کاهش اندازه‌ی مبدأ فتوسنتزی، به دلیل وجود محدودیت‌های بیرونی و درونی (محدودیت عوامل محیطی و پیری برگ‌ها) و در نتیجه عرضه‌ی پایین مواد فتوسنتزی از سوی دیگر، شرایط محدودیت مبدأ را در گیاه ایجاد می‌کند، بنابراین در این حالت انتقال مجدد مواد ذخیره شده‌ی ساقه جهت جبران محدودیت مبدأ رخ می‌دهد. کاهش وزن خشک ساقه در اثر تنش خشکی در پژوهش‌های دیگری روی نخود (Cicer arietinum) (Sivaramaiah et al., 2007) و یونجه (Medicago sativa) (Erice et al., 2010) نیز گزارش شده‌است. همچنین، افزایش وزن خشک ساقه در هر دو مرحله اوج تنش خشکی و یک هفته پس از آبیاری مجدد، با کاربرد غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید نسبت به شاهد می‌تواند به دلیل افزایش سرعت فتوسنتز و در نتیجه افزایش ماده‌ی خشک تولیدی و ذخیره‌ی بیشتر مواد فتوسنتزی در این تیمارها باشد (جدول 2).

تخصیص مواد فتوسنتزی به غلاف

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک غلاف در زمان اوج تنش خشکی نشان داد که اثر تنش خشکی در سطح پنج درصد، هورمون‌پاشی در سطح یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ‌ها در سطح پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول 1). رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی (به ترتیب با میانگین‌های 0/79 و 0/38 گرم بر بوته) به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین وزن خشک غلاف را داشت (شکل 2). اعمال تنش خشکی در ژنوتیپ COS16 باعث کاهش 20/63 درصدی و در رقم کوشا باعث کاهش 51/90 درصدی در وزن خشک غلاف شد (شکل 2).

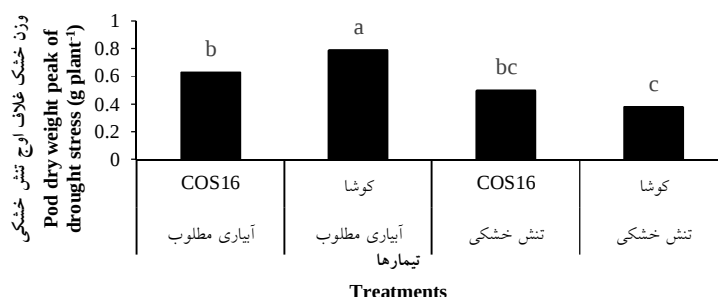
خشک برگ در گیاه یونجه نیز در اثر تنش شدید خشکی گزارش شده‌است (Erice et al., 2010). کاربرد غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید، وزن خشک برگ را در هر دو مرحله اوج تنش خشکی و یک هفته پس از آبیاری مجدد، نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). افزایش سطح و وزن خشک برگ با کاربرد اپی‌براسینولید با توانایی گیاه در جذب بیشتر نور و در نتیجه بهبود کارایی فتوسنتز در ارتباط است. افزایش وزن خشک برگ در اثر کاربرد اپی‌براسینولید ممکن است به فعالیت بافت‌های مرستمی گیاه و افزایش تعداد و اندازه‌ی سلول‌ها نسبت داده شود که در نهایت اندازه‌ی برگ، سطح برگ و در نتیجه وزن خشک برگ را افزایش می‌دهد (Prakash et al., 2008). معنی‌دار نبودن اثر تنش خشکی بر وزن خشک برگ در زمان یک هفته پس از آبیاری مجدد به احتمال زیاد پیری و ریزش اغلب برگ‌ها به دلیل نزدیک شدن به پایان فصل رشد و رسیدگی کامل مزرعه بود که باعث شد وزن خشک برگ در این زمان بین تیمارهای آبیاری مطلوب و تنش خشکی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشته باشد (جدول 1 و 2). وزن خشک برگ‌ها که در مرحله‌ی اول نمونه‌برداری در تیمار آبیاری مطلوب 44/14 درصد و در تیمار تنش خشکی 42/91 درصد از وزن خشک کل را تشکیل می‌داد از نظر درصد مواد تخصیص‌یافته به این اندام‌ها کاهش چشمگیری نشان داد (در تیمار آبیاری مطلوب 23/90 درصد و در تیمار تنش خشکی 27/20 درصد از وزن خشک کل به وزن خشک برگ اختصاص یافته بود) که بیانگر صدور مواد فتوسنتزی ساخته شده در طی این دوره به سایر بخش‌های گیاه می‌باشد. کاهش در وزن برگ و درصد مواد خشک اختصاص‌یافته به آن در مراحل آخر رشد با توجه به فرآیند پیری و ریزش برگ‌ها امری دور از انتظار نیست.

تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک ساقه در زمان اوج تنش خشکی نشان داد که اثر تنش خشکی و هورمون‌پاشی هر دو در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول 1). اعمال تنش خشکی باعث کاهش 44/25 درصدی در وزن خشک ساقه نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول 2). بالاترین وزن خشک ساقه با کاربرد 6 میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت و کاربرد این غلظت، وزن خشک ساقه را به میزان 39/81 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). نتایج تجزیه واریانس نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک کل در زمان اوج تنش خشکی نشان‌دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین شرایط آبیاری، ژنوتیپ‌ها، هورمون‌پاشی و اثرات متقابل آن‌ها بود (جدول 1). نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک ساقه در زمان یک هفته پس از آبیاری مجدد نیز نشان داد که اثر تنش خشکی در سطح یک درصد و هورمون‌پاشی در سطح پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود

نسبت وزن خشک غلاف به وزن خشک کل با کاربرد 4 میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد غلظت 2 میکرومولار از این هورمون تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول 2). کاربرد غلظت 4 میکرومولار اپی‌براسینولید، نسبت وزن خشک غلاف به وزن خشک کل را به میزان 56/67 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2).

همچنین، بالاترین وزن خشک غلاف با کاربرد 4 میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد به‌طوری‌که کاربرد این غلظت، وزن خشک غلاف را به میزان 105/41 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). نتایج تجزیه واریانس نسبت وزن خشک غلاف به وزن خشک کل در زمان اوج تنش خشکی نیز نشان داد که اثر هورمون‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول 1). بالاترین



شکل 2- اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ‌ها بر وزن خشک غلاف در زمان اوج تنش خشکی (میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند)

Figure 2- Interaction between irrigation levels and genotypes on the pod dry weight of the peak of the drought stress (Mean values sharing similar letter(s) are not different, significantly at $p \leq 0.05$, according to Duncan's multiple range tests)

خشک غلاف به وزن خشک کل نسبت به آبیاری مطلوب شد و در سایر تیمارهای مورد آزمایش، نسبت وزن خشک غلاف به وزن خشک کل در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول 3).

در مرحله‌ی اول نمونه‌برداری بخش عمده‌ی وزن گیاه را ساقه (46/02) درصد در شرایط آبیاری مطلوب و 45/88 درصد در شرایط تنش خشکی) و کمترین ماده‌ی خشک را غلاف (9/84) درصد در شرایط آبیاری مطلوب و 11/22 درصد در شرایط تنش خشکی) تشکیل داد ولی از این مرحله به بعد افزایش قابل ملاحظه‌ای در وزن خشک و درصد تخصیص مواد فتوسنتزی به غلاف مشاهده شد (38/24) درصد در شرایط آبیاری مطلوب و 35/63 درصد در شرایط تنش خشکی، از ماده‌ی خشک اندام هوایی به غلاف اختصاص یافت). این افزایش سهم با کاهش در درصد مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به برگ و ساقه همراه بود و بیانگر تغییر مسیر مواد فتوسنتزی از سایر اندام‌ها به دانه می‌باشد (جدول 2). همچنین، در شرایط تنش خشکی، وزن خشک غلاف در هر دو ژنوتیپ کاهش یافت ولی درصد بیشتری از زیست‌توده‌ی گیاه به غلاف اختصاص پیدا کرد (در شرایط آبیاری مطلوب، 9/84 درصد و در شرایط اعمال تنش خشکی، 11/22 درصد از وزن خشک کل به وزن خشک غلاف اختصاص یافته بود ولی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند) (جدول 2).

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک غلاف در زمان یک هفته پس از آبیاری مجدد نیز نشان داد که اثر تنش خشکی و هورمون‌پاشی هر دو در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول 1). اعمال تنش خشکی باعث کاهش 48/10 درصدی در وزن خشک غلاف نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول 2). بالاترین وزن خشک غلاف با کاربرد 4 میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد غلظت 6 میکرومولار از این هورمون تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول 2). کاربرد غلظت 4 میکرومولار اپی‌براسینولید، وزن خشک غلاف را به میزان 104/68 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). نتایج تجزیه واریانس نسبت وزن خشک غلاف به وزن خشک کل در زمان یک هفته پس از آبیاری مجدد نشان‌دهنده‌ی وجود تفاوت معنی‌دار بین تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ‌ها و هورمون‌پاشی هر دو در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول 1). ژنوتیپ COS16 در شرایط آبیاری مطلوب با کاربرد 6 میکرومولار اپی‌براسینولید (با میانگین 46/78 درصد) بالاترین نسبت وزن خشک غلاف به وزن خشک کل را داشت که به‌جز تیمار رقم کوشا در شرایط اعمال تنش خشکی بدون کاربرد هورمون، با سایر تیمارهای مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری نداشت و رقم کوشا در شرایط اعمال تنش خشکی بدون کاربرد هورمون (با میانگین 20/41 درصد) پایین‌ترین این صفت را به خود اختصاص داد (جدول 3). اعمال تنش خشکی تنها در رقم کوشا بدون کاربرد هورمون باعث کاهش نسبت وزن

جدول 3- اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ‌ها و هورمون‌پاشی بر نسبت وزن خشک غلاف به کل در زمان یک هفته پس از آبیاری مجدد
Table 3- Interaction between irrigation levels and genotypes and hormone spraying on the ratio of pod dry weight to total of the one week after re-irrigation

شرایط آبیاری Irrigation levels	ژنوتیپ‌ها Genotypes	غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید Different concentrations of EBL (µM)	نسبت وزن خشک غلاف به کل در زمان یک هفته پس از آبیاری مجدد Ratio of pod dry weight to total of the one week after re-irrigation
آبیاری مطلوب Optimal irrigation	COS16	0	31.31 ab
		2	29.71 ab
		4	42.49 a
		6	46.78 a
	Kusha	0	38.8 a
		2	36.06 ab
		4	39.74 a
		6	41.05 a
تنش خشکی Drought stress	COS16	0	39.88 a
		2	43.81 a
		4	37.82 a
		6	30.12 ab
	Kusha	0	20.41 b
		2	31.05 ab
		4	42.27 a
		6	39.71 a

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean values sharing similar letter(s) are not different, significantly at $p \leq 0.05$, according to Duncan's multiple range tests.

کل گیاه نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول 2). بالاترین وزن خشک کل گیاه با کاربرد 6 میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت و کاربرد این غلظت، وزن خشک کل گیاه را به میزان 38/92 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک کل گیاه در زمان یک هفته پس از آبیاری مجدد نیز نشان داد که اثر تنش خشکی در سطح پنج درصد و هورمون‌پاشی در سطح یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول 1). اعمال تنش خشکی باعث کاهش 42/46 درصدی در وزن خشک کل گیاه نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول 2). بالاترین وزن خشک کل گیاه با کاربرد 4 میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت و کاربرد این غلظت، وزن خشک کل گیاه را به میزان 67/32 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2). در شرایط آبیاری مطلوب، به دلیل فراهمی رطوبت و در نتیجه مهیا بودن شرایط رشدی، وزن خشک کل گیاه به‌طور معنی‌داری بیش از تیمار تنش خشکی بود ولی در شرایط تنش خشکی، به دلیل کاهش آماس سلولی و به دنبال آن کاهش سطح و وزن خشک برگ و از طرف دیگر کاهش سرعت فتوسنتز باعث کاهش وزن خشک کل گیاه گردید (جدول 2). محققین اظهار داشتند نخستین پاسخ گیاه به تنش خشکی بسته شدن روزنه‌ها، کاهش رشد برگ‌ها و در نتیجه کاهش تولید مواد فتوسنتزی خواهد بود که در نهایت باعث کاهش وزن خشک کل گیاه می‌شود (Neumann, 1995).

بنابراین، مشاهده شد که گیاه لوبیا در شرایط تنش خشکی با اختصاص کمتر مواد فتوسنتزی به برگ و ساقه و اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به غلاف، تمایل به اجتناب از شرایط تنش‌زا (Rezaei and Jabbari, 2015) دارد. در شرایط آبیاری مطلوب، وزن خشک غلاف با وزن خشک برگ ($r=0/53^{**}$) و وزن خشک ساقه ($r=0/55^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد ولی در شرایط اعمال تنش خشکی، همبستگی مثبت ولی ضعیفی بین وزن خشک غلاف با وزن خشک برگ ($r=0/45^{*}$) و وزن خشک ساقه ($r=0/39^{ns}$) دیده شد که نشان می‌دهد در شرایط آبیاری مطلوب با افزایش رشد اندام‌های هوایی و افزایش فتوسنتز خالص، وزن خشک غلاف افزایش یافت ولی در شرایط اعمال تنش خشکی، اختصاص کمتر مواد فتوسنتزی به برگ و ساقه و نیز افزایش انتقال مجدد فتوسنتزی، باعث افزایش وزن خشک غلاف گردید (جدول 4 و 5). به نظر می‌رسد که کاربرد اپی‌براسینولید به دلیل افزایش سرعت فتوسنتز و تحریک رشد اندام‌های هوایی، باعث افزایش وزن خشک برگ و ساقه و نهایتاً افزایش وزن خشک غلاف و تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به غلاف نسبت به شاهد گردید (جدول 2).

وزن خشک کل گیاه

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن خشک کل گیاه در زمان اوج تنش خشکی نشان داد که اثر تنش خشکی در سطح پنج درصد و هورمون‌پاشی در سطح یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول 1). اعمال تنش خشکی باعث کاهش 44/61 درصدی در وزن خشک

جدول 4- همبستگی صفات مختلف دو ژنوتیپ لوبیا با اعمال چهار غلظت اپی براسینولید در شرایط آبیاری مطلوب

Table 4- Correlations for different traits of two common bean genotypes evaluated at four concentrations of EBL and level of optimal irrigation

	نسبت وزن خشک غللاف به کل Ratio of pod dry weight to total	نسبت وزن خشک ساقه به کل Ratio of stem dry weight to total	نسبت وزن خشک برگ به کل Ratio of leaf dry weight to total	وزن خشک کل Total dry weight	وزن خشک غللاف Pod dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight
وزن خشک ساقه Stem dry weight						0.80**	
وزن خشک غلاف Pod dry weight						0.55**	0.53**
وزن خشک کل Total dry weight					0.82**	0.90**	0.88**
نسبت وزن خشک برگ به کل Ratio of leaf dry weight to total				-0.21 ^{ns}	-0.47*	-0.23 ^{ns}	0.26 ^{ns}
نسبت وزن خشک ساقه به کل Ratio of stem dry weight to total				-0.30 ^{ns}	-0.57**	0.13 ^{ns}	-0.31 ^{ns}
نسبت وزن خشک غللاف به کل Ratio of pod dry weight to total				0.40 ^{ns}	0.82**	0.05 ^{ns}	0.08 ^{ns}
عملکرد دانه Seed yield	0.09 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.56**	0.33 ^{ns}	0.56**	0.60**

ns, * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار و وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ns, * and **: no significant and significant difference at the probability level of 5% and 1%, respectively.

احتمال یک درصد) بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول 1). رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب (با میانگین 3025/45 کیلوگرم بر هکتار) بالاترین و ژنوتیپ COS16 در شرایط اعمال تنش خشکی (با میانگین 980/89 کیلوگرم بر هکتار) پایین ترین عملکرد دانه را داشتند (شکل 3). اعمال تنش خشکی در رقم کوشا باعث کاهش 60/40 درصدی و در ژنوتیپ COS16 باعث کاهش 56/88 درصدی در عملکرد دانه شد (شکل 3). کاربرد غلظت های مختلف اپی براسینولید باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد شد و بالاترین عملکرد دانه با کاربرد 2 میکرومولار اپی براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت ها تفاوت معنی داری نداشت و کاربرد این غلظت، عملکرد دانه را به میزان 46/07 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 2).

همچنین، بالا بودن ماده ی خشک تولیدی با کاربرد غلظت های مختلف اپی براسینولید در هر دو مرحله اوج تنش خشکی و یک هفته پس از آبیاری مجدد (جدول 2)، می تواند به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ باشد، که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد برای استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده ی خشک بیشتر شده است. گزارش شده است که کاربرد براسینولید در سویا از طریق افزایش پتانسیل آب برگ، محتوای کلروفیل و فتوسنتز باعث افزایش سطح برگ، اجزای وابسته به عملکرد، ماده ی خشک و در نتیجه افزایش عملکرد زیست توده می گردد (Zhang et al., 2008).

عملکرد دانه

اثر تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ ها (هر دو در سطح احتمال پنج درصد) و ژنوتیپ ها و هورمون پاشی (هر دو در سطح

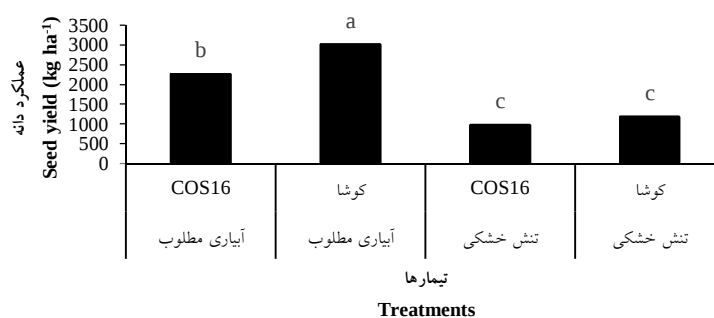
جدول 5- همبستگی صفات مختلف دو ژنوتیپ لوبیا با اعمال چهار غلظت اپی‌براسینولید در شرایط تنش خشکی

Table 5- Correlations for different traits of two common bean genotypes evaluated at four concentrations of EBL and level of drought stress

	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک غلاف Pod dry weight	وزن خشک کل Total dry weight	نسبت وزن خشک برگ به کل Ratio of leaf dry weight to total	نسبت وزن خشک ساقه به کل Ratio of stem dry weight to total	نسبت وزن خشک غلاف به کل Ratio of pod dry weight to total
وزن خشک ساقه Stem dry weight	0.69**						
وزن خشک غلاف Pod dry weight	0.45*	0.39 ^{ns}					
وزن خشک کل Total dry weight	0.86**	0.89**	0.70**				
نسبت وزن خشک برگ به کل Ratio of leaf dry weight to total	0.39 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	-0.33 ^{ns}	-0.11 ^{ns}			
نسبت وزن خشک ساقه به کل Ratio of stem dry weight to total	-0.09 ^{ns}	0.53**	-0.36 ^{ns}	0.12 ^{ns}	-0.45*		
نسبت وزن خشک غلاف به کل Ratio of pod dry weight to total	-0.29 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	0.66**	-0.01 ^{ns}	-0.54**	-0.50*	
عملکرد دانه Seed yield	0.53**	0.60**	0.56**	0.69**	-0.24 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.21 ^{ns}

ns, * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ns, * and **: no significant and significant difference at the probability level of 5% and 1%, respectively.



شکل 3- اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ‌ها بر عملکرد دانه (میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند)

Figure 3- Interaction between irrigation levels and genotypes on the seed yield (Mean values sharing similar letter(s) are not different, significantly at $p \leq 0.05$, according to Duncan's multiple range tests)

دانه در هر دو ژنوتیپ کاهش یافت. همبستگی مثبت عملکرد دانه با وزن خشک برگ (در شرایط آبیاری مطلوب $r=0/60^{**}$ و در شرایط اعمال تنش خشکی $r=0/53^{**}$) نیز تأییدکننده این مسأله است که

کاهش سطح و وزن خشک برگ در اثر تنش خشکی باعث کاهش توان تولید گیاه شد و میزان فتوسنتز جاری گیاه را کاهش داد (Mohammadi *et al.*, 2019) و با کاهش فتوسنتز جاری، عملکرد

موجب افزایش عملکرد دانه ماش (*Vigna radiata*) (Sengupta et al., 2009)، سویا (*Glycine max*) (Zhang et al., 2008)، نخود (*Helianthus*) (Ali et al., 2007)، آفتابگردان (*Cicer arietinum*) (Bera et al., 2014) و ذرت (*Zea mays*) (Anjum et al., 2011) نیز شده است.

نتیجه گیری

کاربرد اپی براسینولید باعث افزایش عملکرد دانه لوبیا شد و استفاده از پایین ترین غلظت اپی براسینولید (2 میکرومولار) باعث بیشترین اثر مثبت در عملکرد دانه گردید. همچنین، کاربرد اپی براسینولید با کاهش در میزان مالون دی آلدئید و افزایش در محتوای نسبی آب برگ و میزان پرولین باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی این گیاه شد. در بین ژنوتیپ های مورد مطالعه، رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب، به دلیل بالا بودن عملکرد دانه، ژنوتیپ برتری بود ولی تنش خشکی در رقم کوشا تأثیر منفی بیش تری گذاشت. به طور کلی، کاربرد اپی براسینولید را به عنوان راهکاری جهت بهبود رشد و عملکرد لوبیا هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی می توان پیشنهاد نمود، ضمن این که دستیابی به اطلاعاتی جامع در زمینه ی تأثیرات مثبت اپی براسینولید نیازمند مطالعه ی این هورمون در شرایط مختلف آب و هوایی نیز می باشد.

عملکرد دانه به فتوسنتز جاری گیاه وابسته است (جداول 4 و 5). نتایج تحقیقات سایر آزمایش ها نیز حاکی از کاهش عملکرد دانه لوبیا بر اثر تنش خشکی است (Ahmed and Suliman, 2010; Bastos et al., 2011). رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب، به دلیل بالا بودن وزن خشک غلاف (شکل 2) و عملکرد دانه (شکل 3)، نسبت به ژنوتیپ COS16، ژنوتیپ برتری بود ولی تنش خشکی در رقم کوشا نسبت به ژنوتیپ COS16 تأثیر منفی بیش تری گذاشت و باعث کاهش بیش تری در وزن خشک غلاف (شکل 2) و عملکرد دانه (شکل 3) این رقم نسبت به ژنوتیپ COS16 شد. ضریب همبستگی عملکرد دانه با وزن خشک کل (در شرایط آبیاری مطلوب $r=0/56^{**}$ و در شرایط اعمال تنش خشکی $r=0/69^{**}$) مثبت و معنی دار بود که نشان می دهد با افزایش زیست توده، عملکرد دانه افزایش داشته است (جداول 4 و 5). با توجه به این که دانه حاصل فعالیت فتوسنتزی اندام هایی نظیر شاخ و برگ است، همبستگی قوی این دو صفت نشان می دهد که برای داشتن عملکرد زیاد به گیاهانی با قدرت رویشی مناسب احتیاج است. بنابراین، بالا بودن عملکرد دانه در رقم کوشا نسبت به ژنوتیپ COS16 را می توان به بالا بودن وزن خشک کل در این رقم نسبت داد. گزارش شده است که افزایش عملکرد دانه با کاربرد اپی براسینولید ممکن است به دلیل راندمان فتوشیمیایی بالاتر از نظر جذب دی اکسید کربن باشد که به افزایش تجمع رنگدانه های فتوسنتزی به ویژه کلروفیل و محتوای بیشتر پروتئین های محلول نسبت داده می شود (Bera et al., 2014). محلول پاشی با براسینولید

References

- Agami, R. A. 2013. Alleviating the adverse effects of NaCl stress in maize seedlings by pretreating seeds with salicylic acid and 24-epibrassinolide. South African Journal of Botany 88: 171-177.
- Ahmed, F., and Suliman, A. 2010. Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water use efficiency of cowpea. Agriculture and Biology Journal of North America 1: 534-540.
- Ali, B., Hayat, S., and Ahmad, A. 2007. 28-Homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Environmental and Experimental Botany 59: 217-223.
- Allahmoradi, P., Mansourifar, C., Saidi, M., and Honarmand, S. J. 2013. Water deficiency and its effects on grain yield and some physiological traits during different growth stages in lentil (*Lens culinaris* L.) cultivars. Annals of Biological Research 4: 139-145.
- Andrade, J., Larque-Saavedra, A., and Trejo, C. 1995. Proline accumulation in leaves of four cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. with different drought resistance. Phytion-Revista Internacional de Botanica Experimental 57: 149-158.
- Anjum, S., Wang, L., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L., and Zou, C. 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 177-185.
- Bajguz, A. 2000. Effect of brassinosteroids on nucleic acids and protein content in cultured cells of *Chlorella vulgaris*. Plant Physiology and Biochemistry 38: 209-215.
- Bajguz, A., and Hayat, S. 2009. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. Plant Physiology and Biochemistry 47: 1-8.
- Bastos, E., Nascimento, S., Silva, E., Freire Filho, F., and Gomide, R. 2011. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. Revista Ciencia Agronomica 42: 100-107.
- Bates, L., Waldren, R., and Teare, I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.
- Bera, A., Pramanik, K., and Mandal, B. 2014. Response of biofertilizers and homobrassinolide on growth, yield

- and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.). African Journal of Agricultural Research 9: 3494-3503.
12. Choe, S. 2006. Brassinosteroid biosynthesis and inactivation. *Physiologia Plantarum* 126 (4): 539-548.
13. Contour-Ansel, D., Torres-Franklin, M., Zuily-Fodil, Y., and De Carvalho, M. 2010. An aspartic acid protease from common bean is expressed 'on call' during water stress and early recovery. *Journal of Plant Physiology* 167: 1606-1612.
14. Eraslan, F., Inal, A., Savasturk, O., and Gunes, A. 2007. Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae* 114: 5-10.
15. Erice, G., Louahlia, S., Irigoyen, J. J., Sanchez-Diaz, M. And Avice, J. C. 2010. Biomass partitioning, morphology and water status of four alfalfa genotypes submitted to progressive drought and subsequent recovery. *Journal of Plant Physiology* 167: 114-120.
16. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
17. Frahm, M. A., Rosas, J. C., Mayek-Pérez, N., López-Salinas, E., Acosta-Gallegos, J. A., and Kelly, J. D. 2004. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica* 136: 223-232.
18. Gorka, E., Louahlia, S., Irigoyen, J. J., Sánchez-Díaz, M., Alami, I. T. and Avice, J. C. 2011. Water use efficiency, transpiration and net CO₂ exchange of four alfalfa genotypes submitted to progressive drought and subsequent recovery. *Environmental and Experimental Botany* 72: 123-130.
19. Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri, E., and Guzelordu, T. 2006. Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post-anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Plant Soil and Environment* 52: 368-376.
20. Hayat, S., Alyemeni, M. N., and Hasan, S. A. 2012. Foliar spray of brassinosteroid enhances yield and quality of *Solanum lycopersicum* under cadmium stress. *Saudi Journal of Biological Sciences* 19: 325-335.
21. Heath, R. L., and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 125: 189-198.
22. Korir, P., Nyabundi, J., and Kimurto, P. 2006. Genotypic response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to moisture stress conditions in Kenya. *Asian Journal of Plant Sciences* 5: 24-32.
23. Li, K., Wang, H., Han, G., Wang, Q., and Fan, J. 2008. Effects of brassinolide on the survival, growth and drought resistance of *Robinia pseudoacacia* seedlings under water-stress. *New Forests* 35: 255-266.
24. Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., and Becker, D. F. 2013. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants and Redox Signaling* 19: 998-1011.
25. Lizana, C., Wentworth, M., Martinez, J. P., Villegas, D., Meneses, R., Murchie, E. H., Pastenes, C., Lercari, B., Vernieri, P., Horton, P., and Pinto, M. 2006. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress: I. Effects of drought on yield and photosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 57: 685-697.
26. Mohammadi, M., Pouryoucef, M., Tavakoli, A. and Mohseni Fard, E. 2019. Improvement in photosynthesis, seed yield and protein content of common bean (*Phaseolus vulgaris*) by foliar application of 24-epibrassinolide under drought stress. *Crop and Pasture Science* 70: 535-545.
27. Munoz-Perea, C., Teran, H., Allen, R., Wright, J., Westermann, D., and Singh, S. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Science* 46: 2111-2120.
28. Najaphy, A., Khamssi, N. N., Mostafaie, A., and Mirzaee, H. 2010. Effect of progressive water deficit stress on proline accumulation and protein profiles of leaves in chickpea. *African Journal of Biotechnology* 9: 7033-7036.
29. Neumann, P. M. 1995. The role of cell wall adjustments in plant resistance to water deficits. *Crop Science* 35 (5): 1258-1266.
30. Niknam, V., Razavi, N., Ebrahimzadeh, H., and Sharifizadeh, B. 2006. Effect of NaCl on biomass, protein and proline contents, and antioxidant enzymes in seedlings and calli of two *Trigonella* species. *Biologia Plantarum* 50: 591-596.
31. Ozdamir, F., Bor, M., Demiral, T., and Turkan, I. 2004. Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, proline content and antioxidative system of rice (*Oriza sativa* L.) under salinity stress. *Plant Growth Regulation*. 42: 203: 211.
32. Pfeiffer, W., and McClafferty, B. 2007. HarvestPlus: breeding crops for better nutrition. *Crop Science* 47: 88-105.
33. Prakash, M., Suganthi, S., Gokulakrishnan, J., and Sabesan, T. 2008. Effect of homobrassinolide on growth, physiology and biochemical aspects of sesame. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 20: 110-112.
34. Rady, M. M. 2011. Effect of 24-epibrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity and cadmium stress. *Scientia Horticulturae* 129: 232-237.
35. Rezaei, Z. and Jabbari, F. 2015. Effect of drought stress on photo assimilate allocation of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science* 46 (2): 217-226. (in Persian).
36. Romdhane, S. B., Trabelsib, M., Elarbi, M., Lajudie, P., and Mhamdia, R. 2009. The diversity of rhizobia nodulating chickpea (*Cicer arietinum*) under water deficiency as a source of more efficient inoculants. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 2568-2572.
37. Salehpour, M., Ebadi, A., Izadi, M., and Jamaati-e-Somarin, S. 2009. Evaluation of water stress and nitrogen

- fertilizer effects on relative water content, membrane stability index, chlorophyll and some other traits of lentils (*Lens culinaris* L.) under hydroponics conditions. Research Journal of Environmental Sciences 3: 103-109.
38. Saxena, C. M., Silim, S. N., and Singh, B. K. 1990. Effect of supplementary irrigation during reproductive growth on winter and spring chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a Mediterranean environment. Journal of Agricultural Science 114: 285-293.
 39. Sengupta, K., Mitra, S., and Ray, M. 2009. Effect of brassinolide on growth and yield of summer greengram crop. Indian Agriculturist 53: 155-157.
 40. Shenkut, A. A., and Brick, M. A. 2003. Traits associated with dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) productivity under diverse soil moisture environments. Euphytica 133 (3): 339-347.
 41. Siddiqui, M. H., Al-Khaishany, M. Y., Al-Qutami, M. A., Al-Wahabi, M. H., Grover, A., Ali, H. M., Al-Wahibi, M. S., and Bukhari, N. A. 2015. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. International Journal of Molecular Sciences 16: 10214-10227.
 42. Singh, K. B., and Saxena, M. C. 2000. Breeding for stress tolerance in cool season food legumes. First Edition (Translation: A.R. Bagheri, A. Nezami, and M. Soltani). Research Organizations, Education and Agricultural Extension. Pp: 445.
 43. Sivaramaiah, N., Malik, D. K., and Sindhu, S. S. 2007. Improvement in symbiotic efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*) by coinoculation of Bacillus strains with Mesorhizobium sp. Cicer. Indian Journal of Microbiology 47: 51-56.
 44. Smart, R. E., and Bingham, G. E. 1974. Rapid estimates of relative water content. Plant Physiology 53: 258-260.
 45. Sundaresan, S., and Sudhakaran, P. 1995. Water stress-induced alterations in the proline metabolism of drought-susceptible and-tolerant cassava (*Manihot esculenta*) cultivars. Physiologia Plantarum 94: 635-642.
 46. Svetleva, D., Krastev, V., Dimova, D., Mitrovska, Z., Miteva, D., Parvanova, P., and Chankova, S. 2012. Drought tolerance of Bulgarian common bean genotypes, characterised by some biochemical markers for oxidative stress. Journal of Central European Agriculture 13: 349-361.
 47. Talaat, N., and Shawky, B. 2013. 24-Epibrassinolide alleviates salt-induced inhibition of productivity by increasing nutrients and compatible solutes accumulation and enhancing antioxidant system in wheat (*Triticum aestivum* L.). Acta Physiologiae Plantarum 35: 729-740.
 48. Talaat, N., and Shawky, B. 2016. Dual application of 24-epibrassinolide and spermine confers drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.) by modulating polyamine and protein metabolism. Journal of Plant Growth Regulation 35: 518-533.
 49. Thussagunpanit, J., Jutamanee, K., Sonjaroon, W., Kaveeta, L., Chai-Arree, W., Pankean, P., and Suksamrarn, A. 2015. Effects of brassinosteroid and brassinosteroid mimic on photosynthetic efficiency and rice yield under heat stress. Photosynthetica 53: 312-320.
 50. Yasar, F., Uzal, O., and Ozpay, T. 2010. Changes of the lipid peroxidation and chlorophyll amount of green bean genotypes under drought stress. African Journal of Agricultural Research 5: 2705-2709.
 51. Zhang, M., Zhai, Z., Tian, X., Duan, L., and Li, Z. 2008. Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). Plant Growth Regulation 56: 257-264.
 52. Zhanli, L., Li, L., Fangfang, Z., Lei, J., and Kaichen, T. 2016. Effect of brassinolide on energy status and proline metabolism in postharvest bamboo shoot during chilling stress. Postharvest Biology and Technology 111: 240-246.



The Effect of Epibrassinolide Application on Photosynthetic Material Allocation, Drought Tolerance, and Seed Yield of two Pinto Bean Genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.)

M. Mohammadi^{1*}, M. Pouryousef², A. Tavakoli³

Received: 11-01-2021

Accepted: 31-05-2021

Introduction

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a food crop with high protein, fiber, and minerals. One of the important issues in the formation of seed yield is how photosynthetic materials are allocated in plants. This may be especially important when the plant is experiencing drought stress. Brassinosteroids are a group of steroid hormones that have been implicated in a wide range of physiological processes. Brassinosteroids increase crop yield by altering plant metabolism and protecting plants from environmental stresses. Considering that one of the major problems of agriculture is water shortage, the present study was assessed aimed to investigate the effect of Epibrassinolide application on the allocation of photosynthetic materials and some traits related to drought resistance in two common bean genotypes under optimal irrigation and drought stress conditions and the possibility of increasing common bean seed yield by using this hormone.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of Epibrassinolide application on photosynthetic material allocation and the possibility of increasing common bean seed yield by application of this hormone, an experiment was conducted in split factorial based on randomized complete block design at the research farm of the University of Zanzibar during 2016-2017. In this experiment, optimal irrigation and drought stress were applied to main plots and common bean genotypes (at two levels of Kusha cultivar and COS16 genotype) and different concentrations of Epibrassinolide (at four levels of no application or control, 2, 4, and 6 μM) were allocated to sub plots as factorial. In the flowering stage, drought stress was applied and simultaneously with drought stress, common bean plants, were sprayed with Epibrassinolide. In this study, relative water content, proline content, and malondialdehyde content were studied at the peak of the drought stress. Also, dry weights of leaf, stem, and pod and the ratio of leaf, stem, and pod dry weights to total plant weight were studied at two times (peak of the drought stress and one week after re-irrigation).

Results and Discussion

The results showed that drought stress decreased dry weights of leaf, stem, pod, and seed yield compared to the optimal irrigation. Common bean plant under drought stress allocated less photosynthetic materials to leaves and stems and more photosynthetic materials to pods. The Kusha cultivar under optimal irrigation had the highest seed yield (with an average of 3025.45 kg ha^{-1}) and the COS16 genotype under drought stress had the lowest one (with an average of 980.89 kg ha^{-1}). The Kusha cultivar in optimal irrigation condition was the superior genotype due to its high seed yield, but drought stress had a more negative effect on the Kusha cultivar. Also, application of different concentrations of Epibrassinolide increased dry weights of leaf, stem, pod, and seed yield compared to the control. The highest seed yield was obtained by application of 2 μM Epibrassinolide (with an average of 2068.2 kg ha^{-1}). So that, application of this concentration increased the seed yield by 46.07% compared to the control. Epibrassinolide application also increased the drought stress tolerance by decreasing the amount of malondialdehyde and increasing the relative leaf water content and proline content.

Conclusions

Therefore, application of Epibrassinolide can be suggested as a solution to increase common bean seed yield

1- PhD in Plant physiology, Faculty of Agriculture, University of Zanzibar

2- Associate Professor, Department of production engineering and plant genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanzibar

3- Associate Professor, Department of production engineering and plant genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanzibar

(*- Corresponding Author Email: mahsa89.mohammadi@gmail.com)

and increase drought tolerance of this plant. In addition, obtaining comprehensive information on the positive effects of Epibrassinolide requires the study of this hormone in different climatic conditions.

Keywords: Drought stress, Malondialdehyde, Proline, Relative water content, Seed yield



مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی سطوح آبیاری و نیتروژن بر عملکرد، کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن

در گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) با استفاده از مدل‌سازی سطح - پاسخ

پرویز رضوانی مقدم^{1*}، سرور خرم‌دل²، هدا لطیفی³، محمودرضا فرزانه بلگردی⁴، سید جلیل داورپناه⁵

تاریخ دریافت: 1399/10/30

تاریخ پذیرش: 1400/02/22

چکیده

بهینه‌سازی یکی از راهکارهای مؤثر مدیریتی برای بهبود کارایی مصرف منابع و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود. مدل سطح - پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری و ریاضی مورد استفاده برای بهینه‌سازی نهاده‌های تولید به شمار می‌آید. در این مطالعه، بهینه‌سازی سطوح نیتروژن و آبیاری کینوا با استفاده از طرح مرکب مرکزی (CCD) انجام شد. این آزمایش با 13 تیمار و دو تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی 1396-97 اجرا شد. تیمارها بر اساس سطح پایین و بالای آبیاری (به ترتیب با 2500 و 7500 مترمکعب در هکتار) و نیتروژن (به ترتیب با صفر و 200 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) تعیین شدند. عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص‌های کارایی نیتروژن و کارایی مصرف آب به‌عنوان متغیر وابسته مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند و تغییرات این متغیرها با استفاده از مدل رگرسیونی ارزیابی شد. به منظور ارزیابی کیفیت مدل پیش‌بینی شده از آزمون عدم برازش استفاده شد. مقادیر بهینه کاربرد نیتروژن و آب برای مقادیر مطلوب متغیرهای وابسته شامل عملکرد دانه، بازیافت نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی مصرف آب در سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی - زیست‌محیطی بررسی شد. نتایج نشان داد که اثر جزء خطی و درجه دو بر تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. اثر متقابل دو عامل نیتروژن و آبیاری تنها بر کارایی مصرف نیتروژن و کارایی مصرف آب معنی‌دار بود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دو کامل بود. بیشترین عملکرد دانه با 3835/4 کیلوگرم در هکتار برای مصرف 200 کیلوگرم نیتروژن و 7500 مترمکعب در هکتار آبیاری به‌دست آمد. در سناریوی اقتصادی - زیست‌محیطی کاربرد 90 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و 6000 مترمکعب در هکتار آبیاری موجب حصول کارایی مصرف نیتروژن با 15/93 کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک، بازیافت نیتروژن 50 درصد، کارایی مصرف آب 0/5 کیلوگرم در مترمکعب و 3121 کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه شد. به‌طور کلی، به نظر می‌رسد میزان مصرف منابع به‌ویژه آب و نیتروژن بر اساس سناریوی اقتصادی - زیست‌محیطی می‌تواند به‌عنوان راهکاری مطلوب در توسعه سطح زیر کشت و تولید پایدار کینوا به‌عنوان گیاهی جدید مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آزمون عدم برازش، سناریوی اقتصادی - زیست‌محیطی، طرح مرکب مرکزی، کارایی مصرف منابع، گیاه جدید

مقدمه

کینوا⁶ (*Chenopodium quinoa* Willd.) یکی از گیاهان جدید

است که از سوی سازمان خواروبار جهانی⁷ به‌عنوان گیاهی استراتژیک برای امنیت غذایی دنیا معرفی شده است. کینوا گیاهی دوفله با حدود 95 درصد خود گشتی از کوه‌های آند کرانه غربی آمریکای جنوبی منشأ گرفته است (Jacobsen, 1998). این گیاه یکساله با ارتفاع یک تا دو متر است که علاوه بر دانه‌ها از برگ‌های جوان آن نیز به‌عنوان سبزی تازه یا به‌صورت پخته استفاده می‌شود. گیاه کینوا تحمل مناسبی در برابر دامنه گسترده‌ای از تنش‌های غیرزنده مانند سرما، شوری و خشکی دارد که به دلیل کیفیت بالای دانه و تحمل زیاد به شرایط سخت محیطی در مناطق زیادی از جهان کشت می‌شود (Sepahvand et al., 2010). دانه آن 12 تا 22 درصد پروتئین دارد و سرشار از اسیدهای آمینه ضروری مانند لایسین، متیونین و سیستئین است که در بیشتر غلات به میزان خیلی کم وجود دارد.

- 1- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 2- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 3- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 4- کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، معاونت خدمات بیمه‌ای بانک کشاورزی استان خراسان رضوی
 - 5- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
- (*) - نویسنده مسئول:
(Email: rezvani@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jcesc.2021.68436.1013
6- Quinoa

رشد رویشی + گلدهی حاصل شد.

مصرف متعادل نیتروژن برای کشاورزی پایدار و حفظ محیط زیست ضروری است (Khajavi-Shojaei et al., 2019). کینوا به محتوی نیتروژن خاک بسیار حساس بوده و کود نیتروژن برای رشد این محصول در طول دوره رشد رویشی مهم است (Erley et al., 2005). بسرا و همکاران (Basra et al., 2014) مصرف 75 کیلوگرم نیتروژن در هکتار بهترین مقدار کود نیتروژن برای رشد و نمو به کینوا و دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی در شرایط زیست محیطی پاکستان را گزارش نمودند. همچنین ارلی و همکاران (Erley et al., 2005) گزارش دادند که کینوا به شدت به کود نیتروژن پاسخ نشان می دهد و کاربرد 120 کیلوگرم نیتروژن بر هکتار در خاک لومی عملکرد بیشتر از 350 کیلوگرم در هکتار را نشان داده و عملکرد دانه نسبت به شاهد 94 درصد افزایش داشته است، همچنین با افزایش کاربرد سطح کود نیتروژن از 80 به 120 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به طور متوسط به 12 درصد افزایش در عملکرد کینوا دست یافته اند.

بهبود کارایی سامانه ها و افزایش کارایی فرایندها بدون افزایش هزینه دارای اهمیت بسیاری می باشد. روش مورد استفاده بدین منظور، بهینه سازی¹ نامیده می شود. روش سطح - پاسخ (RSM)² که برای نخستین بار توسط باکس و ویلسون (Box and Wilson, 1951) معرفی شد، مجموعه ای از روش های آماری و ریاضی است که در مورد فرایندهایی کاربرد دارد که چندمتغیره هستند و یا میان متغیرها برهمکنش وجود داشته و پاسخ غیرخطی است (Dean and Montgomery, 2002; Voss, 2002). به منظور دستیابی به عملکرد قابل قبول و کاهش هم زمان آلودگی های زیست محیطی، نهاده های مورد استفاده در مزرعه باید با توجه به عملکرد مورد انتظار به صورت بهینه مصرف شوند. یکی از روش های آماری برای حصول مقادیر بهینه نهاده ها، استفاده از روش سطح - پاسخ می باشد (Aslan, 2007; Kwak, 2005).

روش سطح - پاسخ به منظور تعیین ترکیبی از تیمارها، یک مدل آماری با بهترین برازش بر اساس داده های مشاهده شده از نتایج طرح آزمایشی را ایجاد و مقادیر بهینه متغیرهای مستقل برای حصول مقدار مورد انتظار برای متغیر وابسته را تعیین می کند (Montgomery et al., 2009; Kalavathy et al., 2001). از جمله مزایای دیگر استفاده از روش سطح - پاسخ می توان به بررسی اثرات متقابل مؤثر بر متغیر وابسته و همچنین ترکیب تیمارهای مختلف به صورت هم زمان با تعداد آزمایش های محدود اشاره کرد (Kalavathy et al., 2009).

(Matiasевич et al., 2006). علاوه بر ارزش پروتئینی دانه های این گیاه در مقایسه با سایر غلات عدم وجود گلوتن در دانه باعث شده که از دانه کینوا جهت تولید فرآورده های بدون گلوتن برای افرادی که به این ماده حساسیت دارند استفاده شود و این دانه به عنوان یک شبه غله شناخته شده است (Arbab Soleimani and Ezzati, 2015). ارزش غذای بسیار بالای دانه این گیاه موجب مقایسه آن توسط سازمان خواروبار جهانی با شیر خشک شد؛ به طوری که محصول اصلی این گیاه دانه آن و دارای ارزش غذایی بالایی است. محصول کینوا تحت عناوین خاویار گیاهی یا برنج اینکا نیز نام گذاری شده است. کینوا بسیار خوش هضم بوده و منبع غنی آهن، پروتئین، منیزیم، فیبر، فسفر و ویتامین ب 2 و سرشار از ویتامین E و روغن امگا 6 می باشد (Lilian, 2009).

خشکی یک چالش جهانی و از جمله مهم ترین تنش های محیطی است که تولید گیاهان زراعی را در دنیا تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش عملکرد محصولات زراعی می شود (Manivannan et al., 2006; Shao et al., 2007). با در نظر گرفتن نقش فعالیت های کشاورزی در دشت های کم آب کشور و تأثیری که کمبود آب بر آن ها دارد می توان دریافت که بهترین و پایدارترین راهکار برای تداوم و پایداری فعالیت های کشاورزی در آینده استفاده علمی از آب و به کارگیری راهکارهایی برای بهینه سازی مصرف این نهاده است (Hosseinzad et al., 2012). تنش خشکی موجب تحت تأثیر قرار گرفتن خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان می شود (Heidari et al., 2014). نتایج تحقیقی درخصوص اثر کم آبیاری بر روی گیاه کینوا در کشور برزیل نشان داد که کم آبیاری به میزان 50 درصد منجر به کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، برگ، سنبله و وزن هزار دانه شد (Jayme-Oliveira et al., 2017). جمالی (Jamali, 2016) در تحقیقی بر روی گیاه کینوا رقم تی تی کا نشان داد که کم آبیاری منجر به کاهش وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، وزن خشک اندام های هوایی، ریشه و عملکرد دانه در بوته شد. همچنین با توجه به شرایط محدودیت آب در منطقه و با توجه به عدم وجود تفاوت معنی دار بین تیمارهای 100 درصد و 75 درصد نیاز آبی گیاه در صفت عملکرد دانه، نتیجه گرفته شد که این گیاه را با این میزان آب در منطقه گرگان تولید نمود. نتایج مطالعات رزاقی و همکاران (Razzaghi et al., 2020) بر روی گیاه کینوا در ایران نشان داد که تأثیر کم آبیاری بر صفاتی همچون عملکرد دانه، بهره وری آب به میزان آب آبیاری و مرحله رشدی که کم آبیاری در آن اعمال می شود بستگی دارد. یکی از حساس ترین مراحل رشدی به کم آبی، گلدهی است که در صورت تنش آبی در این مرحله، عملکرد دانه کاهش یافته که این کاهش با انجام آبیاری در مرحله پر شدن دانه نیز جبران نمی گردد. این محققان اعلام نمودند که کمترین میزان عملکرد دانه در تیمارهای کم آبیاری در کلیه مراحل رشد و مراحل

1- Optimization

2- Response-Surface Methodology

نیتروژن، آبیاری بهینه کینوا و اثر متقابل این عوامل جهت حصول بالاترین میزان عملکرد دانه و بهبود شاخص‌های کارایی نیتروژن و آب با استفاده از طرح مرکب مرکزی در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی 97-1396 در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در 10 کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی 59 درجه و 28 دقیقه و عرض جغرافیایی 36 درجه و 15 دقیقه و ارتفاع 985 متری از سطح دریا اجرا شد. تعداد تیمارهای طراحی شده در طرح مرکب مرکزی با استفاده از رابطه (1) محاسبه شد.

$$t = 2^k + 2k + r \quad (1)$$

در این فرمول، k: نشان‌دهنده تعداد فاکتور و r: تعداد تکرار تیمار در سطح میانگین می‌باشد (Box and Hunter, 1957; Aslan, 2007). بر این اساس، ترکیب تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پایین آب (2500 و 7500 متر مکعب) و سطوح بالا و پایین نیتروژن (0 و 200 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) برای کینوا توسط نرم‌افزار Minitab ver.17 تعیین شد. بر این اساس، 13 ترکیب تیماری (جدول 1) با دو تکرار برای این آزمایش در نظر گرفته شد.

در مرحله آماده‌سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه‌ای مرکب از عمق 0-30 سانتی‌متری خاک به صورت تصادفی تهیه و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد. نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول 2 ارائه شده است.

بذر مورد استفاده (بذر تی‌تی‌کا) جهت کاشت قبل از شروع آزمایش از شرکت کشت و صنعت انابد واقع در شهرستان بردسکن تهیه شد. پس از آماده‌سازی زمین، عملیات کاشت دستی در اول مرداد ماه 1397 در عمق 2-3 سانتی‌متری انجام شد. کود نیتروژن مصرفی (به‌صورت کود اوره با 46 درصد نیتروژن) برای هر کرت و بر اساس جدول 1 به سه قسمت مساوی تقسیم شد که یک سوم آن در زمان کاشت اعمال شد. بخش دوم کود نیتروژن یک ماه پس از کاشت (در مرحله استقرار) و بخش سوم، دو ماه پس از کاشت (در مرحله گلدهی) توزیع شد.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی تا پایان رشد محصول، به شیوه نشتی و با استفاده از سیفون بر اساس تیمار مربوطه انجام شد. به‌منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارهای کودی، انتهای کرت‌ها مسدود و به‌منظور اعمال تیمارهای آبیاری، میزان آبیاری موردنیاز در هر دور آبیاری محاسبه شد و جهت آبیاری یکنواخت در هر گروه از تیمارها از پمپ و کنتور آب استفاده شد. وجین علف‌های هرز از هفته سوم و به‌صورت مستمر و تا بسته شدن کانوپی گیاهان، به‌صورت دستی انجام شد. پس از حذف حاشیه‌های

مرکب مرکزی (CCD)¹ یکی از انواع طرح‌های آماری برای مدل‌سازی سطح - پاسخ می‌باشد که این طرح به‌عنوان جایگزینی مناسب برای آزمایش‌های فاکتوریل محسوب می‌شود و امکان تعیین ترکیب‌های مختلف متغیرهای مستقل را در آزمایش فراهم می‌آورد (Aslan, 2007; Obeng et al., 2005). این روش توسط باکس و ویلسون (Box and Wilson, 1951) مطرح و توسط باکس و هانتز (Box and Hunter, 1957) تکمیل شد. طرح مرکب مرکزی به‌عنوان طرحی به‌منظور تعیین مقادیر متغیرهای مستقل برای توصیف تغییرات متغیر وابسته تعریف می‌شود. در این طرح میانگین سطوح فاکتورها به‌عنوان نقطه مرکزی در نظر گرفته می‌شود (Clarke and Kempson, 1997; Kalavathy et al., 2009).

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) طی آزمایشی در قالب طرح مرکب مرکزی به منظور تعیین بهینه میزان مصرف آب (1500 و 4000 مترمکعب)، کود نیتروژن (صفر و 400 کیلوگرم کود اوره در هکتار) و تراکم (50 و 150 بوته در متر مربع) در کشت کلزا² گزارش نمودند که افزایش سطوح آبیاری و کود باعث افزایش عملکرد دانه و تشدید تلفات نیتروژن شد، در صورتی‌که افزایش تراکم باعث افزایش عملکرد شد و به دلیل افزایش جذب نیتروژن کاهش تلفات عملکرد را به دنبال داشت. به‌طور کلی، این محققان اظهار داشتند که مصرف منابع بر اساس سناریوی اقتصادی - زیست‌محیطی به دلیل توجه توأم به مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نسبت به دو سناریوی دیگر ارجحیت دارد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2019) طی مطالعه‌ای دیگر با برآورد مقادیر بهینه کود نیتروژن (صفر و 400 کیلوگرم کود اوره در هکتار) و آبیاری (2500 و 5000 مترمکعب) در زراعت گندم³ در قالب طرح مرکب مرکزی اظهار داشتند که افزایش مصرف کود نیتروژن و آبیاری اثر مثبتی بر افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب داشت؛ لکن افزایش آبیاری منجر به کاهش کارایی مصرف نیتروژن و افزایش تلفات نیتروژن شد. لطیفی و همکاران (Latifi et al., 2018) طی آزمایشی در قالب طرح مرکب مرکزی به منظور تعیین بهینه کود نیتروژن (صفر و 100 کیلوگرم کود اوره در هکتار) و تراکم (10 و 40 بوته در متر مربع) در کشت کنبج⁴ گزارش نمودند که افزایش کوددهی باعث افزایش عملکرد دانه و کاهش کارایی جذب و کارایی مصرف نیتروژن شد همچنین اظهار نمودند که کاهش مصرف کود نیتروژن بعلت کاهش تلفات نیتروژن از آلودگی‌های زیست‌محیطی خواهد کاست. با توجه به آنچه گفته شد، هدف از اجرای این تحقیق تعیین میزان بهینه کود

1- Central Composite Design

2- Brassica napus

3- Triticum aestivum

4- Sesamum indicum

دانه‌های برداشت شده از هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه با ترازوی دقیق توزین و به این ترتیب، عملکرد دانه و بیولوژیک بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. میزان نیتروژن خاک در انتهای فصل رشد از عمق 0-30 سانتی‌متری خاک هر کرت اندازه‌گیری شد.

نیم‌متری کرت‌ها، به‌عنوان اثر حاشیه برداشت از یک متر مربع هر کرت در اوایل آبان‌ماه انجام شد. در هنگام برداشت، در سطح مذکور کلیه بوته‌ها از محل طوقه توسط داس جدا شد. پس از خشک شدن بوته‌ها دانه با استفاده از الک از کاه و کلش، کاملاً جدا و تمیز شد.

جدول 1- ضرایب و مقادیر تیمارها بر اساس طرح مرکب مرکزی

Table 1- Amounts and coefficients for treatments based on central composite design

مقادیر تیمارها Treatments		ضرایب Coefficients		Runs
نیتروژن Nitrogen rate (kg.ha ⁻¹)	آب Water rate (m ³ .ha ⁻¹)	X ₂	X ₁	
0	2500	-1	-1	1
200	2500	+1	-1	2
0	7500	-1	+1	3
200	7500	+1	+1	4
0	5000	-1	0	5
200	5000	+1	0	6
100	2500	0	-1	7
100	7500	0	+1	8
100	5000	0	0	9
100	5000	0	0	10
100	5000	0	0	11
100	5000	0	0	12
100	5000	0	0	13

X₁ و X₂: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل سطوح نیتروژن و آب هستند.

X₁ and X₂: indicate independent variables of nitrogen and water levels, respectively.

جدول 2- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2- Physical and chemical properties of soil

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)
لوم سیلتی Silty loam	7.92	0.58	0.62	0.058	29.2	186

جهت محاسبه کارایی مصرف نیتروژن (NUE)² از رابطه (3) استفاده شد (Hatermink et al., 2000).

$$NUE = \frac{Y_s}{N_{fertilizer} + N_{initial}} \quad (3)$$

که در این معادله، Y_s: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، N_{fertilizer}+N_{initial}: نیتروژن موجود در خاک در ابتدای فصل رشد (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) + نیتروژن مصرفی از طریق کود اوره (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) می‌باشد.

جهت محاسبه کارایی مصرف آب (WUE)³ از رابطه (4) استفاده شد (Rodrigues and Pereira, 2009).

$$WUE = \frac{Y_s}{Irrigation} \quad (4)$$

درصد بازیافت نیتروژن (NUpE)¹ بر اساس نسبت بین عملکرد نیتروژن در گیاه (کیلوگرم نیتروژن جذب شده در هکتار) بر کل مقدار نیتروژن در خاک (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد (رابطه 2) (Hatermink et al., 2000).

$$NUpE = \frac{Plant\ N\ content}{N_{fertilizer} + N_{initial}} \quad (2)$$

که در این معادله، plant N content: نیتروژن اندام‌های هوایی (کیلوگرم نیتروژن جذب شده در هکتار)، N_{fertilizer}+N_{initial}: نیتروژن موجود در خاک در ابتدای فصل رشد (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) + نیتروژن مصرفی از طریق کود اوره (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) می‌باشد.

2- Nitrogen use efficiency

3- Water use efficiency

1- Nitrogen recovery

نتایج نشان داد که اثر جزء خطی بر تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار ($p \leq 0/01$) بود. اثر جزء درجه دو کامل تمام صفات را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p \leq 0/01$). اثر متقابل دو عامل نیتروژن و آب تنها بر کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن معنی‌دار ($p \leq 0/01$) بود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دو کامل می‌باشد. مقدار پایین RMSE نشان‌دهنده برازش عالی مدل در تمام صفات به‌جز کارایی مصرف نیتروژن می‌باشد و بر اساس مقدار RMSE، برازش مدل برای این صفت، متوسط است (جدول 3).

ضرایب رگرسیون برای مدل‌های برازش شده در مورد هر یک از صفات مورد مطالعه آزمایش در جدول 4 ذکر شده‌است.

ضرایب تبیین (R^2) نشان‌دهنده درصد تغییرات هر کدام از متغیرهای وابسته به‌وسیله متغیر مستقل بوده و ضرایب تبیین بالا در این معادلات نشان‌دهنده برازش خوب مدل محاسباتی است (جدول 4). بر این اساس مدل درجه دو کامل 55/19-83/4 درصد از تغییرات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و 94/5-85/29 درصد از تغییرات شاخص‌های بازیافت نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی مصرف آب را نشان می‌دهد (جدول 4).

مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کارایی بازیافت نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی مصرف آب کینوا در جدول 5 نشان داده شده‌است.

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک: نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مشاهده شده و پیش‌بینی شده به‌ترتیب با 3835/4 و 3860/6 کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب برای مصرف 200 کیلوگرم نیتروژن در هکتار + 7500 مترمکعب آبیاری و 200 کیلوگرم نیتروژن در هکتار + 5000 مترمکعب آبیاری به‌دست آمد و کمترین عملکرد دانه مشاهده شده و پیش‌بینی شده به‌ترتیب با 2009/5 و 2051/75 کیلوگرم در هکتار برای عدم مصرف نیتروژن + 2500 مترمکعب آبیاری به‌دست آمد. همچنین بیشترین عملکرد بیولوژیک مشاهده شده و پیش‌بینی شده به‌ترتیب با 9425 و 9013 کیلوگرم در هکتار برای کاربرد 200 کیلوگرم نیتروژن + 5000 مترمکعب در هکتار آبیاری به‌دست آمد (جدول 5).

نتایج سطح - پاسخ اثر سطوح آبیاری و نیتروژن بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن و آبیاری، شاخص‌های عملکرد کینوا افزایش یافت که البته در خصوص استفاده از نیتروژن، با افزایش میزان نیتروژن بیش از 100 کیلوگرم در هکتار عملکرد با شیب بیشتری افزایش یافت (شکل 1).

در این معادله، Irrigation: میزان آب مورد نیاز برای گیاه در طول دوره رشد است.

به‌منظور انتخاب مدل مناسب، مدل درجه دو کامل¹ با اثرات متقابل بین فاکتورها برازش داده شد (رابطه 5). سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (مقادیر F ، P و R^2) و آزمون عدم برازش² بهترین مدل انتخاب و از این مدل برای بهینه‌سازی استفاده شد (Koocheki et al., 2019; Koocheki et al., 2013).

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1^2 + a_4X_2^2 + a_5X_1X_2 \quad (5)$$

در این معادله، Y : متغیر وابسته (که پاسخ به عملکرد دانه، بیولوژیک و سایر صفات تحت بررسی بودند)، X_1 : متغیر مستقل کود نیتروژن، X_2 : متغیر مستقل آبیاری و a_1 تا a_5 : ضرایب معادله می‌باشند. در نهایت، نتایج پیش‌بینی با داده‌های مشاهده شده مورد مقایسه قرار گرفتند و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از جذر میانگین مربعات خطا³ انجام شد (رابطه 6).

$$RMSE (\%) = \frac{100}{\bar{O}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (6)$$

که در این معادله، $\bar{O}$: میانگین مشاهدات، P_i : مقادیر پیش‌بینی شده و O_i : مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

RMSE به‌صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود و بر اساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی که RMSE کمتر از 10 درصد باشد، عالی، بین 10 تا 20 درصد، خوب، بین 20 تا 30 درصد، متوسط و بالاتر از 30 درصد، ضعیف برآورد می‌شود (Koocheki et al., 2019).

مقدار بهینه آبیاری و کود نیتروژن بر اساس سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی - زیست‌محیطی محاسبه شد. بدین‌منظور، در سناریوی اقتصادی، عملکرد دانه، در سناریوی زیست‌محیطی، کارایی مصرف نیتروژن و آب و در سناریوی اقتصادی - زیست‌محیطی عملکرد دانه، کارایی مصرف نیتروژن و آب به‌عنوان عوامل اصلی تعیین‌کننده مقدار بهینه آبیاری و کود نیتروژن مورد استفاده قرار گرفتند.

جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزار Minitab ver.17 و MS Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل برای هر کدام از متغیرهای وابسته شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کارایی بازیافت نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی مصرف آب تحت تأثیر میزان آبیاری و نیتروژن در جدول 3 ارائه شده‌است.

- 1- Full quadratic regression
- 2- Lack of-fit
- 3- RMSE: Root mean square error

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل رگرسیونی درجه دو کامل
Table 3- Variance analysis (mean of squares) of the full quadratic regression model

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کارایی مصرف آب Water use efficiency	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	کارایی بازیافت نیتروژن Nitrogen uptake efficiency
مدل: Model:	6	1055000**	5829235**	0.188852**	102.664**	1349.15**
تکرار Replication	1	158559 ^{ns}	4 ^{ns}	0.009438 ^{ns}	1.541 ^{ns}	0 ^{ns}
خطی Linear	2	2386323**	11690521**	0.502912**	246.816**	3060.57**
آب Water	1	2384852**	13020833**	0.852750**	72.237**	535.13**
نیتروژن Nitrogen	1	2387795**	10360208**	0.153074**	421.395**	5586.00**
درجه 2 Square	2	699396**	5341558**	0.038657**	55.638**	882.07**
آب × آب Water × Water	1	1017817**	5897545**	0.001085 ^{ns}	34.815**	395.99**
نیتروژن × نیتروژن Nitrogen × Nitrogen	1	1217266**	8689384**	0.058917**	106.763**	1745.59**
اثر متقابل Interaction	1	0 ^{ns}	911250 ^{ns}	0.040538**	9.533**	209.63 ^{ns}
آب × نیتروژن Water × Nitrogen	1	0 ^{ns}	911250 ^{ns}	0.040538**	9.533**	209.63 ^{ns}
خطا Error	19	48098	950801	0.002602	1.567	53.63
عدم برازش Lack of-fit	11	60084 ^{ns}	1183777 ^{ns}	0.003574 ^{ns}	2.192 ^{ns}	24.48 ^{ns}
خطای خالص Pure error	8	31616	630460	0.001265	0.708	74.83
RMSE (%)	—	1.15	1.95	5.51	24.01	6.88
کل Total	25	—	—	—	—	—

^{ns} و ***: به ترتیب عدم معنی داری و معنی دار در سطوح احتمال 5 و 1 درصد
ns, * and **: represent non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول 4- ضرایب رگرسیون و تبیین برای مدل درجه دو کامل: $Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$
Table 4- Regression coefficients and R² for full quadratic model: $Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$

	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	R ² (%)
عملکرد دانه Seed yield	198	2.47	0.929	0.03464	-0.000075	0.000001	83.4
عملکرد بیولوژیک Biological yield	326	-9.5	2.187	0.1260	-0.000164	-0.00130	55.19
بازیافت نیتروژن Nitrogen uptake efficiency	27.7	-0.4689	0.01827	0.001778	-0.000001	-0.000020	85.29
کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	7.78	-0.1254	0.005435	0.000440	-0.000000	0.000004	93.93
کارایی مصرف آب Water use efficiency	1.0409	0.000488	-0.000101	0.000010	0.000000	-0.000000	94.5

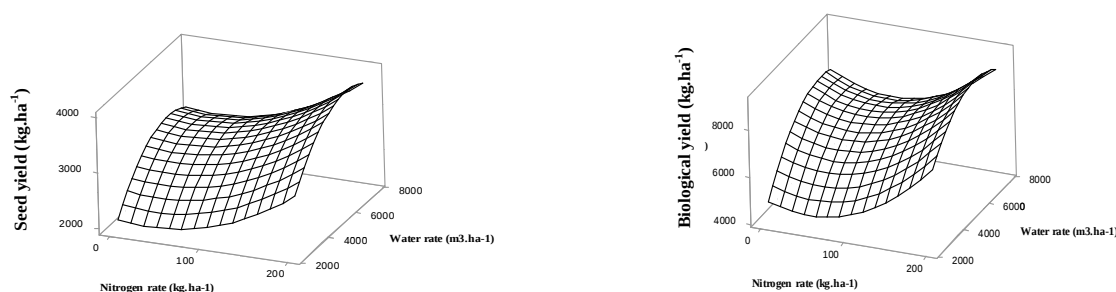
X₁ و X₂: به ترتیب نشان دهنده متغیرهای مستقل سطوح نیتروژن و آب هستند.
X₁ and X₂: indicate independent variables such as nitrogen and water levels, respectively.

جدول ۵- مقادیر مشاهده شده و برازش شده برای عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن و کارایی مصرف آب کینوا تحت تأثیر سطوح نیتروژن و آب
Table 5- Observed and predicted values for yield and nitrogen efficiency indices and water use efficiency of quinoa affected as nitrogen and water levels

میزان نیتروژن Nitrogen rate (kg.ha ⁻¹)	میزان آب Water rate (m ³ .ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)		عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)		بازيافت نیتروژن Nitrogen uptake efficiency (percent)		کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (kg N seed/kg N soil)		کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg seed.m ⁻³ water)	
		مشاهده شده Observed	پیش‌بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش‌بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش‌بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش‌بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش‌بینی شده Predicted
0	2500	2009.50	2051.75	4500.00	4728.25	60.90	67.13	18.05	21.37	0.80	0.79
200	2500	3077.55	2943.85	7050.00	7269.25	32.29	34.47	9.88	11.89	1.23	1.29
0	7500	2766.80	2946.75	7250.00	7503.25	85.98	108.48	24.85	48.54	0.37	0.28
200	7500	3835.40	3839.85	8450.00	8694.25	36.90	55.82	12.32	35.06	0.51	0.78
0	5000	3187.50	2968.00	7600.00	7147.00	91.71	94.05	26.84	34.96	0.64	0.54
200	5000	3727.30	3860.60	9425.00	9013.00	39.95	51.39	11.97	23.48	0.75	1.03
100	2500	2061.70	2151.40	5175.00	4744.75	34.40	33.02	9.75	12.23	0.82	0.94
100	7500	3221.35	3046.90	7275.00	6844.75	44.78	64.37	15.24	37.40	0.38	0.43
100	5000	3214.85	3067.90	7325.00	6826.00	50.77	54.94	15.21	24.82	0.64	0.68
100	5000	3021.75	3067.90	5650.00	6826.00	39.14	54.94	14.30	24.82	0.60	0.68
100	5000	3012.60	3067.90	6900.00	6826.00	45.43	54.94	14.25	24.82	0.60	0.68
100	5000	2930.45	3067.90	6205.00	6826.00	42.47	54.94	13.86	24.82	0.59	0.68
100	5000	3068.75	3067.90	7100.00	6826.00	46.83	54.94	14.52	24.82	0.61	0.68

X₁ و X₂: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل سطوح نیتروژن و آب هستند.

X₁ and X₂: indicate independent variables such as nitrogen and water levels, respectively



شکل 1- مدل سطح - پاسخ عملکرد دانه (الف) و عملکرد بیولوژیک (ب) کینوا تحت تأثیر سطوح نیتروژن و آبیاری
Figure 1- Response surface model for seed (A) and biological yield (B) of quinoa affected of nitrogen and water levels

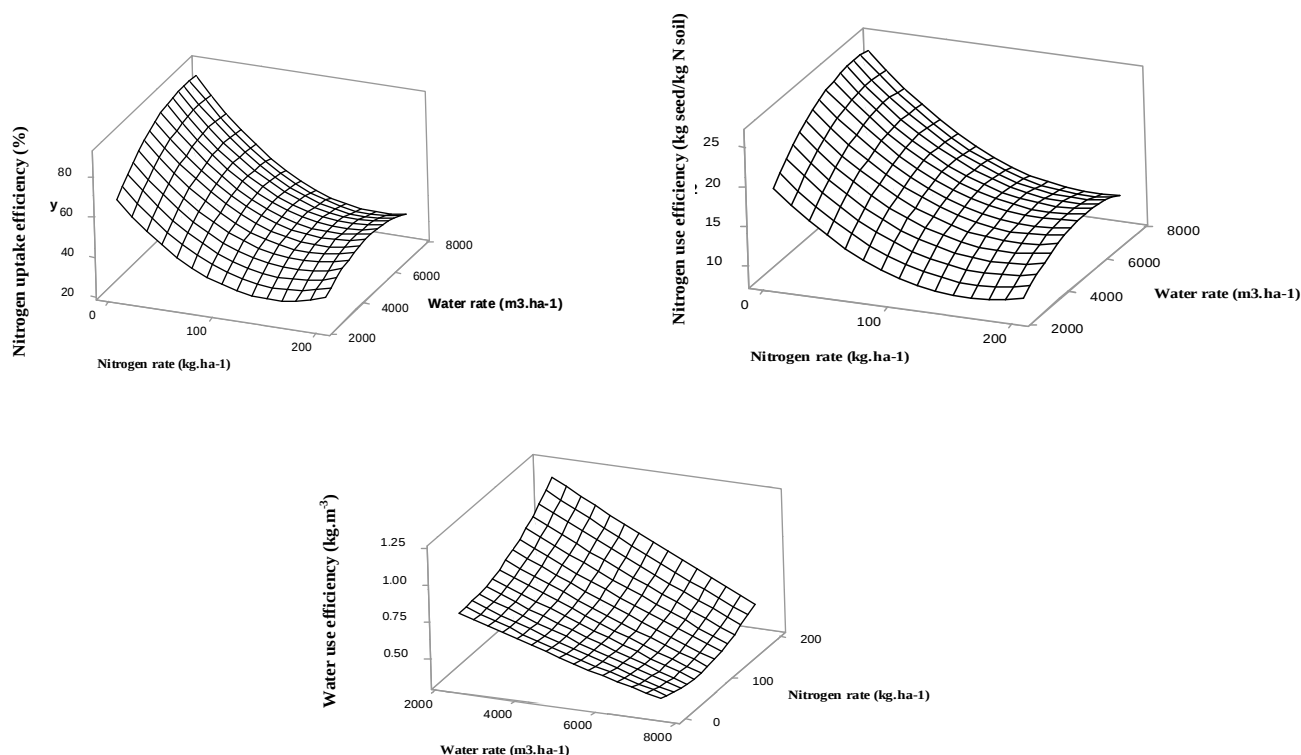
خشکی به میزان 50 و آبیاری کامل) بر رشد و عملکرد کینوا نشان داد که اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد (شامل ارتفاع، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن هزار دانه) معنی دار شد. بیشترین میزان عملکرد دانه (4/334 تن در هکتار) مربوط به رقم تی تی کا با آبیاری کامل و کمترین میزان عملکرد (760 کیلوگرم در هکتار) مربوط به رقم گیزوان تحت تنش 50 درصد نیاز آبی مشاهده شد که علت این امر مربوط به آن است که گیاه در زمان پر شدن دانه وقتی با تنش خشکی روبه‌رو می‌شود، از طریق افت فتوسنتز، باعث کاهش عملکرد دانه در واحد سطح می‌شود. حال اگر خشکی در مرحله پر شدن دانه مخصوصاً اگر تحت شرایط افزایش دما همراه باشد، موجب تسریع در پیری برگ‌ها، کاهش طول دوره پر شدن دانه، کاهش میانگین وزن دانه‌ها و در نتیجه افت عملکرد می‌شود که این موارد به دلیل برگ‌ریزی شدید ناشی از تنش خشکی می‌باشد (Kazemi *et al.*, 2019).

بازیافت نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن: نتایج نشان داد بیشترین کارایی بازیافت نیتروژن پیش‌بینی شده و مشاهده شده به‌ترتیب با 108/48 و 91/71 درصد تحت تأثیر مصرف 7500 مترمکعب آب+ عدم مصرف نیتروژن به‌دست آمد و کمترین کارایی بازیافت نیتروژن پیش‌بینی شده و مشاهده شده به‌ترتیب با 33/02 و 32/29 درصد برای مصرف 2500 مترمکعب آب+ 100 کیلوگرم در هکتار و 2500 مترمکعب آب+ 200 کیلوگرم در هکتار حاصل شد. همچنین بیشترین کارایی مصرف نیتروژن پیش‌بینی شده و مشاهده شده به‌ترتیب با 48/54 و 26/84 کیلوگرم نیتروژن دانه به کیلوگرم نیتروژن خاک برای مصرف 7500 مترمکعب آب+ عدم مصرف نیتروژن و 5000 مترمکعب آب+ عدم مصرف نیتروژن به‌دست آمد و کمترین کارایی مصرف نیتروژن پیش‌بینی شده و مشاهده شده به‌ترتیب با 11/98 و 9/75 کیلوگرم نیتروژن دانه به کیلوگرم نیتروژن خاک برای مصرف

همچنین نتایج نشان داد که میزان نیتروژن و آب، عملکرد دانه و بیولوژیک را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول 3). همانطوری که انتظار می‌رود با افزایش سطوح تیمارها (نیتروژن و آب) عملکرد به‌واسطه تحریک رشد رویشی افزایش یافت. در همین راستا ارلی و همکاران (Erley *et al.*, 2005) گزارش دادند که کینوا به شدت نسبت به مصرف کود نیتروژن واکنش نشان می‌دهد. برتی و همکاران (Berti *et al.*, 2000) گزارش دادند که بیشترین عملکرد دانه کینوا گیاهی است که برای بالاترین میزان مصرف نیتروژن (225 کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. گوما (Goma, 2013) گزارش کرد که کود نیتروژن باعث افزایش رشد رویشی و روند سوخت و ساز در کینوا و همچنین افزایش تجمع ماده خشک گیاه می‌شود. نتایج آزمایش در دانشگاه ازمیر ترکیه در خصوص اثر سطوح کود نیتروژن (صفر، 50، 75، 100، 125، 150، 175 و 200 کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد دانه کینوا در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای نشان داد که بهترین میزان نیتروژن برای تولید بیشترین عملکرد دانه (2/95 تن در هکتار) در شرایط استفاده از 150 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (Geren, 2015). نتایج آزمایشی در پاکستان بر روی دو رقم کینوا نشان داد که بیشترین عملکرد تحت تأثیر مصرف 75 و 100 کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (Basra *et al.*, 2014). شمس (Shams, 2012) طی بررسی روی واکنش کینوا به سطوح مختلف کود نیتروژن (0، 90، 180، 270 و 360 کیلوگرم در هکتار) دریافت که با افزایش سطوح نیتروژن تا بالاترین سطح، عملکرد بیولوژیکی افزایش یافت و افزایش مقادیر نیتروژن نه تنها منجر به افزایش رشد محصول و تولید زیست‌توده کل شد، بلکه کیفیت دانه را نیز تحت تأثیر قرار داد. نتایج آزمایشی در مصر روی بررسی واکنش کینوا به سطوح مختلف آبیاری (60، 100، 30 درصد ظرفیت زراعی) نشان داد که تنش آبی (30 درصد ظرفیت زراعی)، 74 درصد عملکرد دانه را نسبت به تیمار آبیاری کامل کاهش می‌دهد (Telahigue *et al.*, 2017)، همچنین نتایج آزمایشی شامل اثر تیمارهای آبیاری (تنش

افزایش مصرف نیتروژن، شاخص‌های بازیافت نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن کاهش و با افزایش آبیاری مقادیر این صفات افزایش یافت (شکل 1).

100 کیلوگرم نیتروژن + 2500 مترمکعب در هکتار آب و 200 کیلوگرم نیتروژن در هکتار + 2500 مترمکعب در هکتار آب حاصل شد (جدول 5). نتایج سطح - پاسخ اثر آبیاری و نیتروژن بر شاخص‌های مقادیر بازیافت نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن نشان داد که با



شکل 2- مدل سطح - پاسخ بازیافت نیتروژن (الف)، کارایی مصرف نیتروژن (ب) و کارایی مصرف آب (ج) کینوا تحت تأثیر سطوح نیتروژن و آبیاری
Figure 2- Response- surface model for nitrogen uptake efficiency (A) , nitrogen use efficiency (B) and water use efficiency (C) of quinoa affected of nitrogen and water levels

اساسی در افزایش کارایی مصرف نیتروژن شامل جذب نیتروژن از خاک تا قبل از گلدهی گیاه و همچنین جذب این عنصر متحرک در طی مراحل انتهایی رشد می‌باشند. همچنین ممکن است با افزایش مصرف کود، گیاه نتواند متناسب با این افزایش، از رشد زایشی مطلوبی برخوردار باشد. در خصوص افزایش شاخص‌های کارایی نیتروژن با افزایش آبیاری به نظر می‌رسد، میزان حلالیت نیتروژن تحت تأثیر آبشویی در نتیجه افزایش آبیاری افزایش یافته که بر روی جذب و مصرف آن تأثیر مثبتی دارد. نتایج آزمایشی در اهواز در خصوص اثر سطوح کود نیتروژن (صفر، 80، 160، 240، 320 کیلوگرم در هکتار) بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در کینوا نشان داد که با مصرف نیتروژن، میزان این شاخص‌ها کاهش یافت،

کاهش شاخص‌های بازیافت نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن با افزایش مصرف نیتروژن دور از انتظار نیست؛ همین‌طور که در سایر مطالعات نیز اشاره شده و نتایج مشابه این مطالعه روی کاهش شاخص‌های کارایی مصرف منابع تحت تأثیر افزایش آن حاصل و تایید شده است. در همین راستا، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2018) گزارش کردند که در گیاه ذرت¹ با افزایش مصرف نیتروژن، شاخص بازیافت آن کاهش یافت و دلیل این امر به افزایش فراهمی نیتروژن نسبت داده شد. همچنین آبشویی، باعث افزایش تلفات و کاهش کارایی جذب و مصرف نیتروژن می‌گردد. به عقیده مونتیمورو و همکاران (Montemuro et al., 2006) دو عامل

1- Zea mays

به‌طوری‌که بیشترین کارایی زراعی نیتروژن و کارایی فیزیولوژیک نیتروژن به‌ترتیب با $38/71$ و $113/4$ کیلوگرم بر کیلوگرم برای مصرف 80 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. سایر بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد مقدار بیشتر کود نیتروژن از طریق کاهش شاخص بازیافت نیتروژن به‌دلیل افزایش تلفات نیتروژن از طریق دنیتریفیکاسیون، تبخیر آمونیومی، رواناب و آبشویی موجب کاهش کارایی مصرف این عنصر گردد (Eickhout et al., 2006).

کارایی مصرف آب: نتایج نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب پیش‌بینی شده و مشاهده شده کینوا به‌ترتیب با $1/29$ و $1/23$ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب برای مصرف 200 کیلوگرم نیتروژن + 2500 مترمکعب بر هکتار آب به‌دست آمد و کمترین کارایی مصرف آب پیش‌بینی شده و مشاهده شده به‌ترتیب با $0/28$ و $0/37$ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب برای مصرف 7500 مترمکعب آبیاری + عدم مصرف نیتروژن حاصل شد (جدول 5). نتایج سطح- پاسخ اثر آبیاری و نیتروژن بر کارایی مصرف آب نشان داد که با افزایش آبیاری، کارایی مصرف آب کاهش و با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن این صفت افزایش یافت (شکل 2). گیاه کینوا جهت مقابله با خشکی و افزایش راندمان مصرف آب روزنه‌های برگ را بسته که خود موجب حفظ پتانسیل آب برگ و سرعت فتوسنتز در طول خشک شدن خاک می‌گردد، از طرفی در طول خشک شدن خاک، ریشه‌های گیاه آبسزیک اسید تولید کرده که باعث تنظیم فعالیت روزنه‌ها از طریق کاهش آماس سلول‌های نگهبان روزنه و هدایت روزنه‌ای می‌شود (Jacobsen et al., 2009). نتایج مطالعه استیکچ و همکاران (Stikic et al., 2015) روی بررسی اثر خشکی بر رژیم‌های آبی و رشد گیاه کینوا نشان داد واکنش این گیاه به خشکی به‌صورت مکانیسم اجتناب از خشکی، براساس کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش سطح برگ، کاهش تعرق و افزایش جذب آب است. بنابراین این محققان گیاه کینوا را به‌عنوان یک محصول جدید مقاوم در برابر خشکسالی معرفی نمودند که توسعه کشت و کار آن به‌ویژه در مناطق خشک و کم‌آب می‌تواند ثبات تولید را در مناطق مختلف آب و هوایی دنیا به‌ویژه این مناطق تضمین نماید. بهره‌وری آب کشاورزی در کشور حدود $0/88$ کیلوگرم به ازای مصرف یک مترمکعب مصرف آب گزارش شده است که برای گندم، شلتوک، پنبه، ذرت، چغندرقد و نیشکر به‌ترتیب برابر $0/77$ ، $0/36$ ، $0/51$ ، $0/34$ و $0/31$ کیلوگرم به ازای مترمکعب آب محاسبه شده است (Keshavarz and Dehghani, 2012). در پژوهشی گلخانه‌ای روی بررسی اثر تنش آبی بر عملکرد کینوا گزارش شد که بیشترین بهره‌وری مصرف آب ($2/14$ کیلوگرم در مترمکعب) در تیمار تنش در کل دوره رشد مشاهده شد (Jamali et al., 2019). یانگ و همکاران (Yang et al., 2016) در پژوهشی روی مطالعه تحمل

گیاه کینوا نسبت به افزایش خشکی و درجه حرارت تحت سه تیمار آبیاری (آبیاری کامل، کمبود آبیاری و خشکی متناوب در منطقه ریشه) و دو رژیم حرارت ($18/8$ و $25/20$ درجه سانتی‌گراد) نشان دادند که ارتفاع بوته و وزن خشک ساقه تحت تاثیر تیمار خشکی متناوب در منطقه ریشه و کمبود آبیاری به‌طور قابل‌توجهی در مقایسه با تیمار آبیاری کامل کاهش یافت. همچنین گیاهان در تیمار خشکی متناوب در منطقه ریشه، ارتفاع بوته بلندتر و وزن خشک بالاتری در مقایسه با کمبود آبیاری به‌خصوص در درجه حرارت بالاتر داشتند. رشد گیاه در تیمار خشکی متناوب در منطقه ریشه با افزایش بهره‌وری آب، همراه بود. براین اساس، این محققان این گیاه را به دلیل نیاز آبی پایین، مقاومت به درجه حرارت‌های بالا و کارایی مصرف آب بالاتر بدلیل تحمل شرایط خشکی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک معرفی نمودند.

بهینه‌سازی: مقادیر بهینه کاربرد نیتروژن و آب در زراعت کینوا برای حصول پاسخ عملکرد دانه، بازیافت نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن و کارایی مصرف آب تحت تاثیر سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی- زیست‌محیطی در جدول 6 ارائه شده است.

مقدار شاخص مطلوبیت¹ بهینه‌سازی ($0 < DI \leq 1$) برای سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی- زیست‌محیطی به‌ترتیب برابر $0/82$ ، $0/74$ و $0/93$ به‌دست آمد که نشان‌دهنده نتایج قابل‌قبولی برای سطوح پاسخ تحت تاثیر متغیرهای مستقل در هر سه سناریو می‌باشد. لازم به ذکر است هرچه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی مقدار متغیرهای وابسته تحت تاثیر متغیرهای مستقل می‌باشد (Kalavathy et al., 2009). در سناریوی اقتصادی عملکرد دانه به‌عنوان فاکتور اصلی تعیین‌کننده مقادیر بهینه منابع در نظر گرفته شد. بدین ترتیب نتایج نشان داد که با کاربرد حدود 170 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و مقدار 7500 مترمکعب آبیاری در طول فصل رشد می‌توان به عملکرد دانه بالغ بر 3530 کیلوگرم در هکتار و کارایی مصرف نیتروژن $11/78$ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک، بازیافت نیتروژن 34 درصد و کارایی مصرف آب $0/43$ مترمکعب در هکتار دست پیدا کرد (جدول 6). در سناریوی زیست‌محیطی کارایی مصرف نیتروژن، بازیافت نیتروژن و کارایی مصرف آب به‌عنوان فاکتورهای بهینه‌سازی مد نظر قرار گرفتند. در این سناریو کاهش هدر رفت آب، استفاده کمتر از کودهای شیمیایی که منجر به بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردد، مد نظر بوده و توجه کمتری به عملکرد اقتصادی شده است و در نهایت، در سناریوی اقتصادی- زیست‌محیطی به تمام عوامل توجه شده است که نتایج

1- Desirability index

آب 0/5 کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب محاسبه شد که با کاربرد حدود 6000 متر مکعب در هکتار آبیاری و 90 کیلوگرم نیتروژن در هکتار میسر خواهد بود (جدول 6).

نشان می‌دهد که این سناریو بر سایر سناریوها ارجحیت دارد و هم‌زمان جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مورد توجه قرار گرفته است؛ به‌طوری‌که کارایی مصرف نیتروژن با 15/93 کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک، بازیافت نیتروژن 50 درصد و کارایی مصرف

جدول 6- مقدار بهینه میزان نیتروژن و آب کینوا برای متغیرهای وابسته در سناریوهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی - زیست‌محیطی
Table 6- Optimizing of nitrogen and water levels of quinoa for dependent variables in economic, environmental and Economic-environmental scenarios

Economic environmental scenarios				
متغیر Variable		سناریوها Scenarios		
		اقتصادی Economic	زیست محیطی Environmental	اقتصادی - زیست محیطی Economic-environmental
وابسته Dependent	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	3522.84	2460.41	3120.76
	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg seed/ m ³ water)	0.43	0.72	0.5
	بازیافت نیتروژن Nitrogen recovery (percent)	34	65.03	50.04
	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (kg N seed/kg N soil)	11.78	19.24	15.93
مستقل Independent	میزان آب Water rate (m ³ .ha ⁻¹)	7500	3409.09	5909.48
	میزان نیتروژن Nitrogen rate (kg.ha ⁻¹)	169.7	18.18	88.57
	شاخص مطلوبیت Desirability index	0.82	0.74	0.93

پیش‌بینی شده به‌ترتیب با 3835/4 و 3860/6 کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب برای مصرف 200 کیلوگرم نیتروژن در هکتار + 7500 مترمکعب آبیاری و 200 کیلوگرم نیتروژن در هکتار + 5000 مترمکعب آبیاری به‌دست آمد. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن و بازیافت نیتروژن در شرایط عدم مصرف نیتروژن به‌دست آمد و این شاخص‌ها با افزایش میزان نیتروژن، کاهش یافتند که این امر یکی از دلایل مربوط به افزایش فراهمی نیتروژن تحت تاثیر تلفات نیتروژن از طریق آبشویی بوده و در نهایت، کاهش کارایی جذب و مصرف نیتروژن و تشدید بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی را موجب می‌گردد. بیشترین کارایی مصرف آب پیش‌بینی شده و مشاهده شده کینوا به‌ترتیب با 1/29 و 1/23 کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب برای مصرف 200 کیلوگرم نیتروژن + 2500 مترمکعب بر هکتار آب به‌دست آمد، توجه به اصول اولیه بهبود کارایی مصرف منابع و جلوگیری از هدر رفت نهاده‌های کشاورزی در راستای حفظ سطح مطلوب تولید، دستیابی به تولید پایدار محصولات زراعی است. در این مطالعه، سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی - زیست‌محیطی بررسی شد که در مقایسه هر سه سناریوی ذکر شده، سناریوی اقتصادی -

در این سناریو علاوه بر این که عملکرد اقتصادی تفاوت زیادی با سناریوی اقتصادی ندارد (عملکرد دانه در سناریوی اقتصادی 12 درصد بیشتر از عملکرد سناریوی زیست‌محیطی - اقتصادی محاسبه شده است) آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌واسطه استفاده کم‌تر از نهاده‌ها کاهش قابل‌توجهی داشته است. بر این اساس، با توجه به کمبود منابع آبی در راستای نیاز به افزایش تولید غذا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بخش نسبتاً زیادی از مساحت کره زمین را به خود اختصاص داده است، توصیه می‌شود کاشت گیاهان جدید مقاوم به کم‌آبی همچون کینوا بر اساس سناریوهای اقتصادی - زیست‌محیطی که توجه هم‌زمانی نسبت به مصرف منابع محیطی به‌ویژه آب و نیتروژن در راستای تولید عملکرد قابل قبول دارد، مدنظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد دانه کینوا با افزایش میزان نیتروژن و آبیاری، افزایش می‌یابد و این گیاه به کودپذیری واکنش مثبت نشان می‌دهد، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه مشاهده شده و

بودجه این پژوهش از محل اعتبار طرح پژوهش شماره 47607 مورخ 1397/07/04 توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

زیست‌محیطی به‌علت توجه هم‌زمان به جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ارجحیت دارد و با کاربرد کمتر میزان نیتروژن و آب، عملکرد دانه قابل قبولی در گیاه تولید شد و آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد.

سپاسگزاری

References

1. Arbab Soleimani, A., and Ezzati, A. 2015. Nutritional value and functional properties of quinoa. Third National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources. Tehran. (in Persian).
2. Aslan, N. 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a Multi-ravity Separator for coal cleaning. *Fuel* 86: 769-776.
3. Basra, S. M. A., Iqbal, S., and Afzal, I. 2014. Evaluating the response of nitrogen application on growth, development, and yield of quinoa genotypes. *International Journal of Agriculture and Biology* 16 (5): 886-892.
4. Berti, M., Wilckens, R., Hevia, F., Serri, H., Vidal, I., and Mendes, C. 2000. Fertilization nitrogen ada en quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Ciencia Investigsction Agraria* 27: 81-90. (in Spanish with English abstract).
5. Box, G. E. P., and Hunter, J. S. 1957. Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. *The Institute of Mathematical Statistics*. p. 195-241.
6. Box, G. E. P., and Wilson, K. B. 1951. On the experiment attainment of optimum conditions. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 13: 1-45.
7. Clarke, G. M., and Kempson, R. E. 1997. *Introduction to the Design and Analysis of Experiments*. Arnold, London. 334 p.
8. Dean, A., and Voss, D. 2002. *Design and Analysis of Experiments*. Springer Texts in Statistics. New York.
9. Eickhout, B., Bouwman, A. F., and van Zeijts, H. 2006. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116: 4-14.
10. Erley, G. S. A., Kaul, H., Kruse, M., and Aufhammer, W. 2005. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy* 22 (1): 95-100.
11. Geren, H. 2015. Effects of different nitrogen level on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions. *Turkish Journal of Field Crops* 20: 59-64.
12. Goma, E. F. 2013. Effect of nitrogen, phosphorus, and biofertilizers on quinoa plant. *Journal of Applied Sciences Research* 9 (8): 5210-5222.
13. Hatermink, A. E., Johnston, M. O., Sullivan, J. N., and Poloma, S. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79: 271-280.
14. Heidari, N., Pouryousef, M., and Tavakoli, A. 2014. Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 27 (5): 829-839. (in Persian with English abstract).
15. Hosseinzad, J., Kazemieh, F., Javadi, A., and Ghafouri, H. 2013. Agricultural water management basis and mechanisms in Tabriz plain. *Water and Soil Science* 23 (2): 85-98. (in Persian with English abstract).
16. Jacobsen S. E., Liu, F., and Jensen, C. R. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulture* 122 (2): 281-287.
17. Jacobsen, S. E. 1998. Developmental stability of quinoa under European conditions. *Industrial crops and products* 7: 169-174.
18. Jamali, S. 2016. Investigation the effect of different salinity and deficit-irrigation levels on yield and yield components of quinoa. M.Sc. Thesis, College of agriculture, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. Gorgan. Iran. (in Persian with English abstract).
19. Jamali, S., Goldani, M., and Zeynodin, S. M. 2019. Evaluation the effects of periodic water stress on yield, yield components and water productivity on quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 6 (13): 1687-1697. (in Persian with English abstract).
20. Jayme-Oliveira A., Ribeiro Júnior, W. Q., Ramos, M. L. G., Ziviani, A. C., and Jakelaitis, A. 2017. Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 52 (8): 561-571.
21. Kalavathy, H. M., Regupathib, I., Pillai, M. G., and Miranda, L. R. 2009. Modelling, analysis and optimization of adsorption parameters for H₃PO₄ activated rubber wood sawdust using response surface methodology (RSM). *Colloids and Surfaces B: Bionterfaces* 70: 35-45.
22. Kazemi, M., Alizadeh, A., and Sharifan, H. 2019. Assessing different irrigation levels on Yield and Yield

- components of quinoa genotypes. Fourth National Research Conference on Development and Extension in Agriculture, Natural Resources, and Environment. Jiroft, Iran. (in Persian).
23. Keshavarz, A., and Dehghani Sanij, H. 2012. Water Productivity Index and Solutions for Future Agricultural Activities in Iran. *Economic Strategy* 1: 199-233. (in Persian with English abstract).
24. Khajavi-Shojaei, S., Moezzi, A., Norouzi Masir, M., and Taghavi Zahedkolaei, M. 2019. Study of kinetic and Isotherm for ammonium and nitrate adsorption by common reed (*Phragmites australis*) biochar from aqueous solution, *Iranian Journal of Soil and Water Research* 50 (8): 2009-2021. (in Persian with English abstract).
25. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M. B., and Fallah Poor, F. 2019. Optimization of nitrogen fertilizer and irrigation in wheat cultivation by central composite design. *Journal of Agroecology* 11 (2): 515-530. (in Persian with English abstract).
26. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorramdel, S., and Morid Ahmadi, S. 2018 Optimization of plant density and nitrogen use in corn (*Zea mays* L.) by Central Composite Design. *Iranian Journal of Field Crops Research* 15 (4): 798-810. (in Persian with English abstract).
27. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Mansouri, H. 2013. Optimization of water, nitrogen, and density in canola cultivation by central composite design. *Journal of Agroecology* 3 (1): 1-16. (in Persian with English abstract).
28. Kwak, J. S. 2005. Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 45: 327-341.
29. Latifi, H., Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., and Farzaneh Belgerdi, M. R. 2018. Effects of nitrogen fertilizer and plant density on yield and nitrogen efficiency indices of sesame using a central composite design. *Journal of Plant Production Research* 25 (3): 125-140. (in Persian).
30. Lilian, E. A. J. 2009. Chapter 1: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. *Advances in Food and Nutrition Research* 58: 1-3.
31. Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. M. A., and Panneerselvam, R. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in (*Helianthus annuus* L.) as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces* 59: 141-149.
32. Matiasovich, S. B., Castellion, M. L., Maldonado, S. B., and Buera, M. P. 2006. Water-dependent thermal transition in quinoa embryos. *Thermochimica Acta* 448: 117-122.
33. Montemuro, F., Maiorana, M., Ferri, D., and Convertini, G. 2006. Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and source of N fertilization. *Field Crop Research* 99: 114-421.
34. Montgomery, D. C. 2001. *Design and Analysis of Experiments*. Fifth ed., John Wiley and Sons, New York.
35. Myers, R. H., and Montgomery, D. C. 2002. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. 2nd Edition Wiley, New York.
36. Obeng, D. P., Morrell, S., and Napier, T. J. N. 2005. Application of central composite rotatable design to modeling the effect of some operating variables on the performance of the three-product cyclone. *International Journal of Mineral Processing* 76: 181-192.
37. Razzaghi, F., Bahadori-Ghasroldashti, M. R., Henriksen, S., Sepaskhah, A. R., and Jacobsen, S. E. 2020. Physiological characteristics and irrigation water productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to deficit irrigation imposed at different growing stages-A field study from Southern Iran. *Journal of Agronomy and Crop Science* 206 (3): 390-404.
38. Rodrigues, G. C., and Pereira, L. S. 2009. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. *Biosystems Engineering* 103: 536-551.
39. Sepahvand, N. A., Tavazoa, M., and Kohbazi, M. 2010. Quinoa valuable plant for alimentary security and adaptation agricultural in Iran. 11th National Iranian Congress on Crop Science. 24-26 Jul. Tehran. (in Persian with English abstract).
40. Shams, A. S. 2012. Response of quinoa to nitrogen fertilizer rates under sandy soil conditions. In *Proc. 13th International Conf. Agron., Fac. of Agric., Benha Univ., Egypt* (pp. 9-10).
41. Shao, H. C., Yan, C. Y., Ning, Z., Gang, W., Yong-Bing, Y., Chang-Xing, Z., and Zan-Min, H. 2006. Investigation on the relationship of proline with wheat (*Triticum* spp.) anti-drought under soil water deficits. *Colloids and Surfaces* 53: 113-119.
42. Stikic, R., Jovanovic, Z., Majanovic, M., and Dordevic, S. 2015. The effect of drought on water regime and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ratar. Povrt.* 52 (2): 80-84.
43. Telahigue, D., Ben Yahia, L., Aljane, F., Belhouchett, K., and Toumi, L. 2017. Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture* 1: 222-232.
44. Yang, A., Akhtar, S. S., Amjad, M., Iqbal, S., and Jacobsen, S. E. 2016. Growth and physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 202 (6): 445-453.



Optimization of Irrigation and Nitrogen Levels on Yield, Water Use Efficiency, and Nitrogen Use Efficiency of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by Using the Surface-Response Methodology

P. Rezvani Moghaddam^{1*}, S. Khorramdel², H. Latifi³, M. R. Farzaneh Belgerdi⁴, S. J. Davarpanah⁵

Received: 19-01-2021

Accepted: 12-05-2021

Introduction

The optimum resource level in agro-ecosystems should be determined to decrease production costs, conserve resources, and mitigate environmental pollutions. Optimization is an effective and sustainable management approach to conserve resources and decline environmental pollutions. Response surface methodology (RSM) is defined as a collection of mathematical and statistical techniques used to develop, improve, or optimize a product. RSM is a statistical technique for optimization of multiple factors that determine optimum rates by combining experimental designs. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a pseudocereal, seed-producing annual crop, and a staple food in South America in ancient times, indigenous to the Andean region of South America, particularly Bolivia, Peru, Ecuador, and parts of Chile, which has the potential to grow with low inputs, mostly water and tolerate a variety of biotic and abiotic stresses. Quinoa seed is gluten-free foods, good sources of carbohydrates, good-quality proteins, lipids, vitamins, minerals, and bioactive compounds, with all the essentials, trace elements, and many vitamins. In this work, optimization of nitrogen and water rates on quinoa was done.

Materials and Methods

An experiment was conducted using *Central Composite Design* (CCD) with 13 treatments and two replications at the Research Field of the Ferdowsi University of Mashhad during the growing season of 2017-2018. The treatments were allocated based on low and high water (2500 and 7500 m³ ha⁻¹, respectively) and nitrogen (0 and 200 kg ha⁻¹, respectively) levels. Seed yield, biological yield, N recovery, N use efficiency (NUE), and water use efficiency (WUE) were calculated as dependent variables, and changes of these variables were evaluated by a regression model. A lack-of-fit test was used to evaluate the quality of the fitted model. The adequacy of the model was tested by analysis of variance. The quality of the fitted models was judged using the determination coefficient (R²). Finally, the optimum nitrogen and water rates were computed based on economic, environmental, and economic-environmental scenarios.

Results and Discussion

The results showed that the effect of linear and square components was significant on all studied characteristics. The interaction effect of full quadratic was significant on NUE and WUE. Lack of fit test had no significant effect on the studied traits. The full square model for the response variables gave insignificant lack-of-fit, indicating that the data were satisfactorily explained. Surface-response results of the effect of irrigation and nitrogen levels on grain yield and biological yield showed that with increasing nitrogen consumption and irrigation, quinoa yield indices increased, but in terms of nitrogen use, with increasing nitrogen consumption more than 100 kg ha⁻¹, the grain yield increased with more slope. The highest value of seed yield was observed for 7500 m³ ha⁻¹ irrigation and 200 kg nitrogen ha⁻¹ with 3835.4 kg ha⁻¹. Optimum nitrogen and water rates were suggested to determine the target range of dependent variables based on three scenarios: economic, environmental, and eco-environmental. It is necessary to use 169.7 kg nitrogen ha⁻¹ and 7500 m³ ha⁻¹ irrigation to obtain optimum conditions under the economic scenario. The optimum nitrogen and irrigation rates based on environmental scenarios were computed from 18.18 kg nitrogen ha⁻¹ and 3409 m³ ha⁻¹ irrigation water. Application of 88.57 kg nitrogen ha⁻¹ and 5909 m³ ha⁻¹ irrigation water was found to be the optimum conditions for the eco-environmental scenario (NUE, N recovery, seed yield, and WUE were calculated with 15.93 kg seed kg⁻¹ N, 50.04%, 3120.76 kg ha⁻¹, and 0.5 kg seed m⁻³ water, respectively).

1- Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- PhD Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

4- MSc in Agrometeorology, Deputy of Insurance Services, Bank Keshavarzi, Khorasan Razavi Province

5- PhD Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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

Conclusions

Increasing nitrogen led to increased seed yield and decreased nitrogen use efficiency, whereas increasing irrigation caused an increase in seed yield and nitrogen use efficiency. In general, it seems that resource use based on the eco-environmental scenario may be a suitable cropping approach for the sustainable production of quinoa as a new crop.

Keywords: *Central Composite Design, Economic- environmental scenario, Lack of fit, New crop, Sustainable production*



مقاله پژوهشی

بررسی اعتبار و امکان استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA برای مطالعات اقلیمی - کشاورزی در استان خراسان شمالی

معصومه فرهادی¹، محسن جهان^{2*}، محمد بنایان اول³

تاریخ دریافت: 1400/01/28

تاریخ پذیرش: 1400/02/29

چکیده

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی در بعد زمانی- مکانی، مطالعات هواشناسی کشاورزی، شبیه‌سازی عملکرد گیاهان زراعی و تولید سناریوهای اقلیمی، نیازمند مجموعه داده‌های هواشناسی دقیق و استاندارد است. این در حالی است که داده‌های مشاهداتی تاریخی در بسیاری از مناطق در دسترس نبوده و یا ناقص است؛ بنابراین، داده‌های شبکه‌بندی شده یا داده‌های آب و هوایی تولید شده به‌عنوان جایگزینی در این مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر، امکان استفاده از مجموعه داده‌های AgMERRA برای پر کردن خلاء داده‌های تاریخی ناقص و گمشده در هفت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در استان خراسان شمالی در بازه زمانی 1980-2010 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج واسنجی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل نظیر ضریب تبیین (R^2)، شاخص توافق (d)، جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده ($NRMSE$)، میانگین خطای اریبی (MBE) نشان داد که در تمامی مناطق مورد مطالعه، داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA برای تشعشع خورشیدی، دمای حداقل، دمای حداکثر، به استثنای بارندگی روزانه و رطوبت نسبی در دمای حداکثر، تطابق ($d > 0.92$ و $NRMSE < 30\%$) و همبستگی خوبی ($0.81 \leq r \leq 0.96$) با داده‌های ایستگاهی در مناطق خشک، نیمه‌خشک، معتدل و سرد و کوهستانی استان خراسان شمالی دارد. اگرچه زمانی که داده‌های روزانه بارندگی به‌صورت داده‌های ماهانه تجمیع شدند، همبستگی بهتری حاصل شد. به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که می‌توان از سری داده‌های AgMERRA برای مطالعات اقلیمی، تجزیه و تحلیل، برنامه‌ریزی و مدیریت بخش کشاورزی در حوزه استان خراسان شمالی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، تغییرات زمانی- مکانی، داده‌های ایستگاهی، هواشناسی کشاورزی

مقدمه

تأثیر قرار خواهند داد (Koocheki et al., 2016). پیش‌بینی می‌شود تغییرات اقلیمی آینده از طریق تغییر در میانگین دما و بارش بر و تولید محصولات زراعی تأثیرگذار باشد؛ لذا شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر تغییر اقلیم و روش‌های مناسب سازگاری با این تغییرات به‌منظور دستیابی به تولید پایدار بسیار مهم است (Bannayan et al., 2010). بر اساس استاندارد سازمان هواشناسی جهانی، حداقل سی سال داده‌های هواشناسی برای مطالعات اقلیمی لازم است (Burroughs, 2003). با این حال، مشکل عمده در مورد داده‌های آب و هوای تاریخی، از یک سو، محدود بودن ایستگاه‌های هواشناسی و از سوی دیگر، تعداد اندک متغیرهای اندازه‌گیری شده و داده‌های از دست رفته بسیار است. به‌دلیل فقدان یا عدم دسترسی به داده‌های آب و هوایی اندازه‌گیری شده⁴ (MWD) یا مشاهداتی⁵ (OWD) با دقت و کیفیت مناسب در بسیاری از مناطق کشاورزی در سراسر جهان، داده‌های آب و هوایی شبکه‌بندی شده یا

تخمین عملکرد و اجزای عملکرد به‌منظور تجزیه و تحلیل امنیت غذایی، ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی، توسعه و کاربرد ابزارهای حمایت از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی با هدف پشتیبانی از سیاست‌گذاری‌ها و تحقیقات زراعی مطالعاتی ضروری هستند. از سویی دیگر، مدل‌های شبیه‌سازی عملکرد، نیازمند داده‌های با کیفیت روزانه هواشناسی در بازه زمانی درازمدت و تاریخی می‌باشند (van Wart et al., 2013). تقریباً تمامی شاخص‌های اقلیمی کشاورزی بر اساس دو پارامتر دما و بارش محاسبه می‌شوند و تغییرات اقلیمی آینده با تأثیر بر این شاخص‌ها شرایط رشد و نمو گیاهان زراعی را تحت

1- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

2- استاد، گروه اکروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

3- استاد، گروه اکروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

DOI: 10.22067/jcsc.2021.69532.1044

4- Measured Weather Data

5- Observed Weather Data

و حداکثر و 100×100 کیلومتر برای تشعشع خورشیدی) را برای سال‌های 1980 تا 2010 در بر دارد و به‌عنوان بخشی از پروژه AgMIP⁷ برای بررسی تأثیر تغییرات و نوسانات اقلیمی بر بخش کشاورزی ایجاد شده است. بازه زمانی 1980 تا 2010 اهمیت خاصی برای مدل‌های کشاورزی دارد. از این دوره برای واسنجی مدل‌های زراعی و اقلیمی و همچنین به‌عنوان دوره پایه برای تولید آب و هوایی سایر مدل‌های هیدرولوژیکی است، با این تفاوت که در آن توجه ویژه‌ای به مناطق کشاورزی و متغیرهای اقلیمی مورد نیاز در مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی شده است (Ruane *et al.*, 2015). انواع داده‌های شبکه‌بندی‌شده در مدل‌ها و پروژه‌های مربوط به تغییر اقلیم مورد مقایسه قرار گرفته‌اند و با توجه به منابع خطای موجود در تولید این داده‌ها در سطح جهانی، باید پیش از استفاده منطقه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرند (Bender and Sentelhas, 2018). در مطالعه رضوی و همکاران (Razavi *et al.*, 2018)، پایگاه داده AgMERRA از نظر آماری، نتایج قابل قبولی را در مقایسه با مقادیر مشاهده شده ایستگاه‌های سینوپتیک افغانستان به‌دست آورد که حاکی از توانایی بالای آن در برآورد متغیرهای هواشناسی است. نتایج پژوهش یعقوبی و همکاران (Yaghoobi *et al.*, 2018) نیز، که داده‌های AgMERRA را به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد و نیاز آبی گندم دیم در خراسان رضوی مورد ارزیابی قرار دادند، نشان داد که تشعشع خورشیدی، دمای حداقل و حداکثر در تمامی مناطق مورد مطالعه، همبستگی و توافق خوبی با داده‌های مشاهداتی داشتند. در استان خراسان شمالی داده‌های تاریخی هواشناسی در دسترس نبوده و یا دارای مقادیر گم‌شده می‌باشند. از طرفی با فرض تکمیل و در دسترس بودن داده‌های هواشناسی درازمدت، داده‌های این تعداد ایستگاه مشاهداتی برای انجام مطالعات اقلیمی و اجرای مدل‌های شبیه‌سازی عملکرد گیاهان زراعی در مساحت یاد شده کافی نبوده و لذا از دقت لازم برخوردار نیست. در پژوهش حاضر، امکان استفاده از مجموعه داده‌های اقلیمی AgMERRA با فرض مناسب بودن آن برای پر کردن خلاء ناشی از کمبود یا فقدان داده‌های تاریخی ایستگاهی در استان خراسان شمالی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی تأثیر عوامل اقلیمی بر روند عملکرد تاریخی محصولات مهم و استراتژیک مانند گندم در مناطق آبی و دیم، محاسبه شاخص خشکی، محاسبه تبخیر و تعرق به‌عنوان ورودی مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد و برآورد نیاز آبی محصولات، به‌ویژه در مناطق دیم از جمله کاربردهای نتایج پژوهش حاضر است.

تولید شده¹ (GWD) به‌عنوان جایگزین در این مناطق استفاده شده است (Van Wart *et al.*, 2015). مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که می‌توان از داده‌های شبکه‌بندی شده برای پر کردن شکاف داده‌های آب و هوایی استفاده کرد (Battisti *et al.*, 2019; Bender and Sentelhas, 2018; Júnior *et al.*, 2019; Xavier *et al.*, 2015). در این بین، میزان توافق داده‌های شبکه‌بندی شده با داده‌های مشاهداتی در کاربرد آن برای تحقیقات کشاورزی دارای اهمیت است (Mourtzinis *et al.*, 2016). اطلاعات ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی، پایه و اساس بسیاری از داده‌های تولیدی شبکه‌بندی شده می‌باشند و به‌طور گسترده برای توصیف شرایط اقلیمی منطقه، روند تغییر اقلیم و بررسی تأثیر آب و هوا بر اکوسیستم‌های طبیعی و مدیریت شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. از اصلی‌ترین روش‌ها در میان رهیافت‌های متعدد برای پر کردن خلاء داده‌های هواشناسی، می‌توان روش تولید توالی‌های تصادفی داده‌های روزانه توسط مولدهای اقلیمی WGEN (Richardson and Wright, 1984) و SIMMETEO (Geng *et al.*, 1986)؛ روش همبستگی‌های تجربی در متغیرهای هواشناسی داده‌های مشاهداتی (Angstrom, 1924; Bristow and Campbell, 1984) و استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده بر پایه اطلاعات ماهواره‌ای و یا زمینی (Ruane *et al.*, 2015; van Wart *et al.*, 2013; Xavier *et al.*, 2015) نام برد. بر همین اساس در سال 2014، مجموعه داده‌هایی با هدف ایجاد شبکه‌ای جهانی و همگون برای استفاده در پژوهش‌های کشاورزی، امنیت غذایی و مدل‌های رشد گیاهی، توسط سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده آمریکا² (NASA) و دانشگاه کلمبیا توسعه داده شد (Rienecker *et al.*, 2011). این پایگاه داده که AgMERRA³ نامیده شده است، حاصل تجزیه و تحلیل مجدد داده‌های ماهواره‌های PERSIANN⁵، MERRA⁴ و CMORPH⁶ (Joyce *et al.*, 2004) و داده‌های مشاهده شده از 2324 ایستگاه‌های سینوپتیک در مناطق مهم کشاورزی جهان است که متغیرهای اقلیمی مورد نیاز در مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی در مقیاس زمانی روزانه با قدرت تفکیک بالا 25×25 کیلومتر برای بارندگی، سرعت باد و رطوبت نسبی در دمای ماکزیمم، 50×50 کیلومتر برای دمای حداقل

7- The Agricultural Model Inter-comparision and Improvement Project

1- Gridded Weather Data or Generated Weather Data
2- National Aeronautics and Space Administration
3- Agricultural Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications
4- The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications
5- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks
6- Climate Prediction Center (CPC) morphing method

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، استان خراسان شمالی با مساحتی حدود 28179 کیلومتر مربع است که در مختصات جغرافیایی 36 درجه و 27 دقیقه تا 38 درجه و 17 دقیقه عرض شمالی و 55 درجه و 54 دقیقه تا 58 درجه و 25 دقیقه طول شرقی واقع شده است. در این پژوهش از داده‌های مشاهداتی روزانه هفت ایستگاه سینوپتیک واقع در شهرستان‌های اسفراین، بجنورد، شیروان، فاروج، مانه سملقان، راز-جرگلان و جاجرم شامل درجه حرارت حداقل و حداکثر، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و بارش در بازه زمانی سال‌های 1980 تا 2010 استفاده شد. موقعیت جغرافیایی و برخی پارامترهای آب و هوایی هر کدام از ایستگاه‌ها در شکل 1 و جدول 1 آورده شده است. مجموعه داده‌های AgMERRA در بازه زمانی 1980 تا 2010 با فرمت NetCDF از آدرس الکترونیکی پایگاه اطلاعاتی¹ NASA بارگیری و پس از تعیین موقعیت هر ایستگاه در گرید، داده‌های آن گرید با استفاده از بسته ncdf4 نرم‌افزار R، استخراج گردید (Bosilovich et al., 2015).

از آنجا که تابش خورشیدی به‌صورت متداول توسط ایستگاه‌ها ثبت نشده است، لذا این متغیر با استفاده از ساعات آفتابی و معادله Angstrom-Prescott بدین شرح محاسبه گردید: (Angstrom, 1924; Prescott, 1940)

$$R_s = (a + (b(n/N)) R_a \quad (1)$$

در این معادله، R_s کل تشعشع رسیده به سطح زمین (مگاژول بر مترمربع در روز)، R_a تشعشع رسیده به بالای جو (مگاژول بر مترمربع در روز)، n طول متوسط تابش حقیقی آفتاب (ساعات آفتابی)، N طول روز حقیقی (ساعت)، a و b ضرایب Angstrom-Prescott می‌باشند. کارایی مجموعه داده‌های AgMERRA با استفاده از شاخص‌های برازش از جمله جذر میانگین مربعات خطا² ($RMSE$) (معادله 2)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده³ ($NRMSE$) (معادله 3)، مربع ضریب همبستگی پیرسون یا ضریب تبیین⁴ (R^2)، شاخص توافق⁵ (d) (معادله 4)، میانگین خطای اریبی⁶ (MBE) (معادله 5) مورد بررسی قرار گرفت (Willmott et al., 1985).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$NRMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}_i} \quad (3)$$

$$d = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)^2} \right) \quad (4)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (5)$$

در این معادلات، n تعداد روز مشاهداتی، O_i مقدار متغیر مشاهده شده برای روز i ام و P_i مقدار متغیر شبیه‌سازی شده (AgMERRA) برای روز i ام، O_{max} حداکثر و O_{min} حداقل مقدار متغیر مشاهده شده می‌باشد. نیز نشان‌دهنده‌ی میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد (Justin Van Wart et al., 2015). برای هر متغیر آب و هوایی، شاخص برازش بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط AgMERRA برای گریدی که ایستگاه هواشناسی در آن واقع شده است، محاسبه گردید. ضریب تبیین بیانگر دقت و شاخص توافق نشان‌دهنده‌ی صحت محاسبات می‌باشند. مقادیر مثبت میانگین خطای اریبی نشان‌دهنده‌ی آن است که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل بیشتر از مقادیر واقعی و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده‌ی آن است که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل کمتر از مقادیر واقعی می‌باشند. چنانچه مقدار $NRMSE$ کمتر از 10 باشد شبیه‌سازی عالی، بین 10 تا 20 خوب، بین 20 تا 30 متوسط و بیشتر از 30 ضعیف خواهد بود (Wallach and Makowski, 2006).

نتایج و بحث

درجه حرارت حداکثر

مقادیر شبیه‌سازی شده درجه حرارت ماکزیمم در تمامی ایستگاه‌ها با مقادیر مشاهداتی همبستگی مثبت داشتند (شکل 2). بیشترین همبستگی در ایستگاه اسفراین با $r=0/96$ و کمترین ضریب همبستگی به میزان $r=0/87$ در ایستگاه بجنورد مشاهده شد (جدول 2). مقدار $NRMSE$ درجه حرارت ماکزیمم در همه ایستگاه‌ها در رده عالی و در ایستگاه بجنورد در رده خوب قرار گرفت. شاخص توافق داده‌های شبیه‌سازی شده AgMERRA با داده‌های مشاهداتی درجه حرارت ماکزیمم، در ایستگاه بجنورد $0/96$ و در بقیه ایستگاه‌ها $0/99$ به‌دست آمد. بیشترین مقدار میانگین خطای اریبی مربوط به ایستگاه بجنورد ($4/03$) و کمترین آن متعلق به ایستگاه فاروج (0) بود.

1- <http://data.giss.nasa.gov/impacts/agmipcf/agmerra>

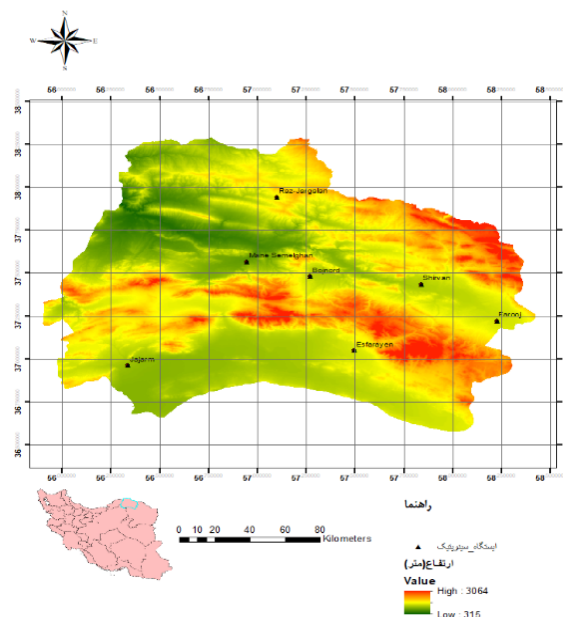
2- Root Mean Square Error

3- Normalized Root Mean Square Error

4- Coefficient of Determination

5- Index of Agreement

6- Mean Bias Error



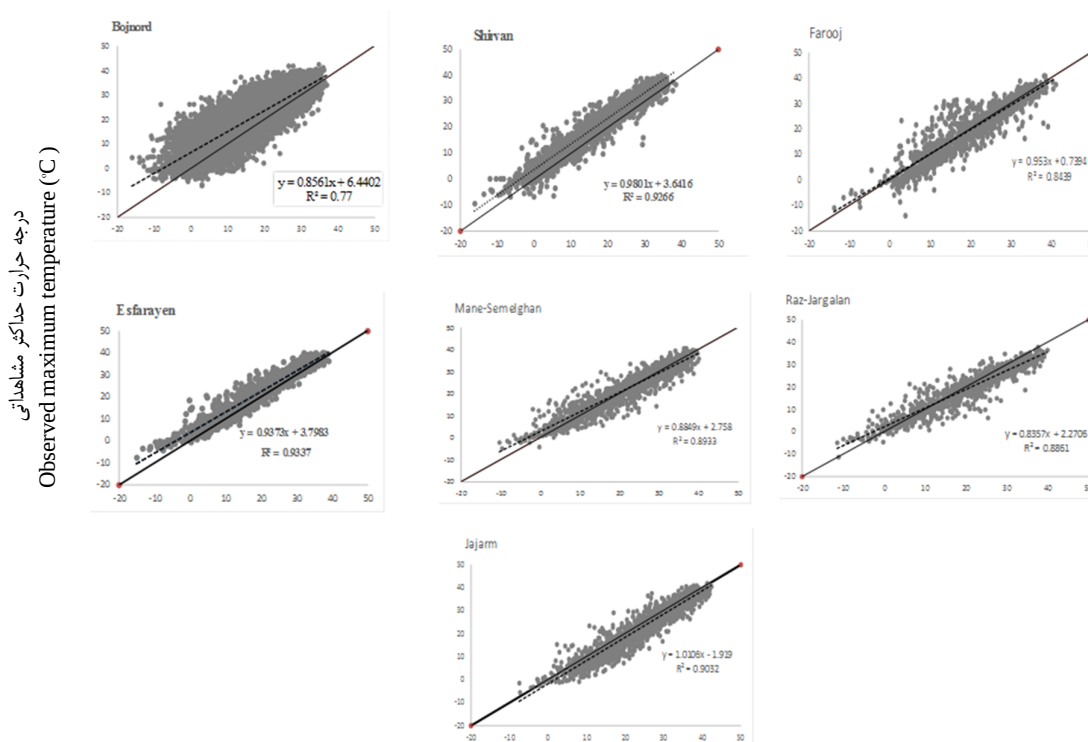
شکل 1- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی در گریدهای $0/25 \times 0/25$ درجه، داده‌های AgMERRA
Figure 1- Location of North Khorasan synoptic stations in 0.25×0.25 grids of AgMERRA data

جدول 1- مختصات جغرافیایی و برخی پارامترهای آب و هوایی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان شمالی

Table 1- Coordinates and some weather parameters of synoptic stations in Northern Khorasan province

ایستگاه سینوپتیک	دوره آماری	متغیرهای آب و هوایی در دسترس	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (درجه اعشار)	طول جغرافیایی (درجه اعشار)
Synoptic Station	Weather data period	Available weather parameter	Elevation from sea level (m)	Latitude (decimal degree)	Longitude (decimal degree)
اسفراین					
Esfarayen	2007-2010	T_{max} , T_{min} , $Srad$, Rhs_{tmax} , $prat$	1203	37.05	57.49
مانه سملقان					
Mane Semelghan	2007-2010	T_{max} , T_{min} , $Srad$, Rhs_{tmax} , $prat$	762	37.57	56.95
بجنورد					
Bojnord	1980-2010	T_{max} , T_{min} , $Srad$, Rhs_{tmax} , $prat$	1100	37.48	57.27
جاجرم					
Jajarm	2007-2010	T_{max} , T_{min} , $Srad$, Rhs_{tmax} , $prat$	969	36.96	56.34
راز جرگلان					
Raz Jargalan	2007-2010	T_{max} , T_{min} , Rhs_{tmax} , $prat$	1278	37.94	57.10
شیروان					
Shirvan	2005-2010	T_{max} , T_{min} , Rhs_{tmax} , $prat$	1051	37.43	57.84
فاروج					
Farooj	2007-2010	T_{max} , T_{min} , Rhs_{tmax} , $prat$	1196	37.22	58.23

T_{max} , T_{min} , $Srad$, Rhs_{tmax} , $prat$ به ترتیب بیانگر دمای حداکثر، دمای حداقل، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی در دمای ماکزیمم و بارندگی می‌باشند
 T_{max} , T_{min} , $Srad$, Rhs_{tmax} , $prat$ represent maximum temperature, minimum temperature, solar radiation, relative humidity in maximum temperature and precipitation, respectively



درجه حرارت حداکثر AgMERRA
AgMERRA maximum temperature ($^{\circ}\text{C}$)

شکل 2- مقایسه مقادیر روزانه مشاهداتی درجه حرارت حداکثر ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با داده‌های AgMERRA؛ خط سیاه: خط یک به یک؛ خط نقطه‌چین: خط رگرسیون؛ R^2 : ضریب تبیین

Figure 2- Validation of daily maximum temperature ($T_{\max}$) observed values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA data. Solid line: 1:1 line; dotted line: regression line; R^2 , coefficient of determination

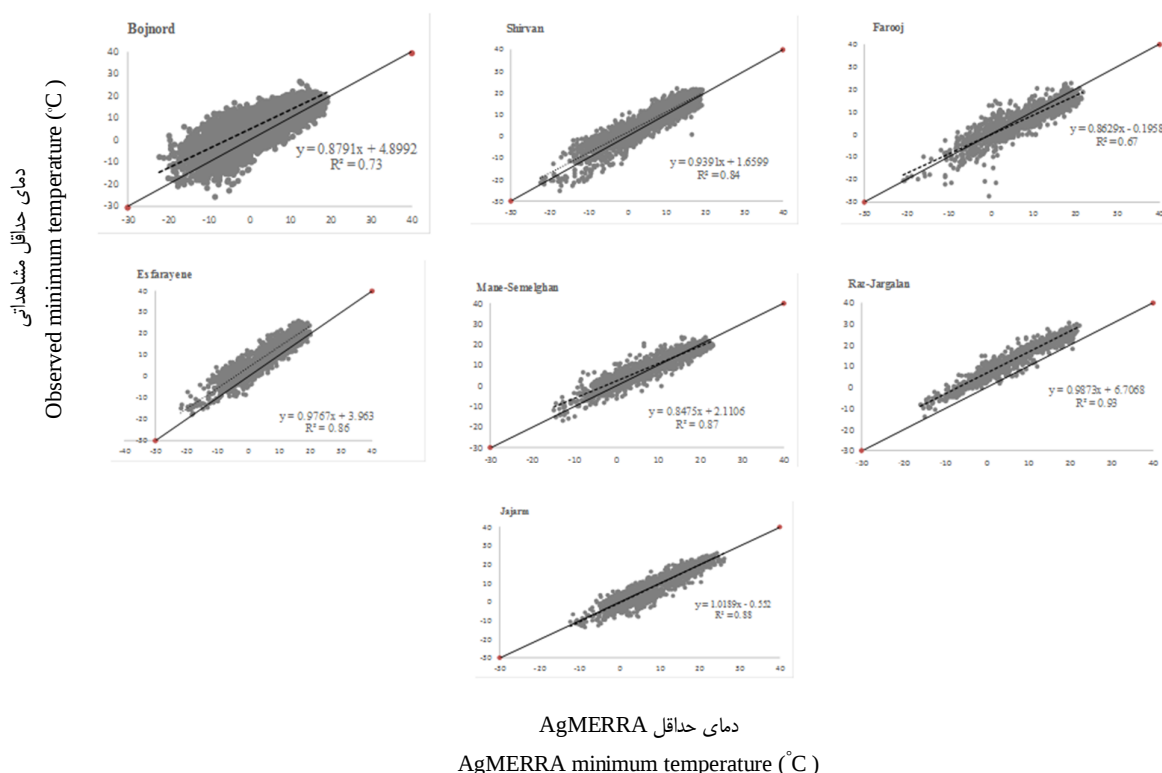
داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای متغیر درجه حرارت حداکثر می‌باشد.

تشعشع خورشیدی

مقادیر شبیه‌سازی شده تشعشع خورشیدی همبستگی و تطابق خوبی با مقادیر دیده‌بانی شده داشت (شکل 4). مقدار ضریب تبیین برای ایستگاه بجنورد 0/88، اسفراین و جاجرم 0/87 و برای ایستگاه مانه سملقان 0/75 به‌دست آمد (جدول 4). شاخص توافق نیز در چهار ایستگاه دارای مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بین 0/96 تا 0/98 به‌دست آمد. جذر میانگین خطای نرمال شده در ایستگاه‌های بجنورد، اسفراین و جاجرم در حد متوسط ($20 < NRSME < 30$) و در ایستگاه مانه سملقان ضعیف بود ($NRSME = 32/31$). سایر ایستگاه‌ها (شیروان، فاروج، راز جرجان فاقد مقادیر مشاهداتی ایستگاهی برای متغیر تشعشع بودند).

درجه حرارت حداقل

مقادیر اندازه‌گیری شده درجه حرارت حداقل در تمامی ایستگاه‌ها با مقادیر شبیه‌سازی‌شده AgMERRA همبستگی مثبت داشت (شکل 3). بیشترین ضریب تبیین مربوط به ایستگاه راز و جرجان با مقدار 0/93 بود که نشان‌دهنده تطابق بالای مقدار شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی می‌باشد (جدول 3). ضریب تبیین در ایستگاه‌های جاجرم، مانه سملقان، اسفراین، شیروان، بجنورد و فاروج به‌ترتیب 0/88، 0/87، 0/86، 0/84 و 0/73 و 0/67 بود. $NRMSE$ برای ایستگاه‌های جاجرم، مانه سملقان و فاروج (7/98، 7/93، 8/08) در رده عالی و برای ایستگاه‌های شیروان، اسفراین، بجنورد و راز جرجان (7/98، 11/23، 12/23 و 15/81) در رده خوب قرار گرفت. در مجموع بررسی مقادیر ضریب تبیین و $NRMSE$ شاخص توافق و همچنین خطای میانگین اریبی، نشان‌دهنده همبستگی قوی و تطابق



شکل 3- اعتبارسنجی مقادیر روزانه مشاهداتی درجه حرارت حداقل ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با داده‌های AgMERRA؛ خط سیاه: خط یک به یک؛ خط نقطه چین: خط رگرسیون؛ R^2 : ضریب تبیین

Figure 3- Validation of daily minimum temperature (T_{min}) observed values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA data. Solid line: 1:1 line; dotted line: regression line; R^2 : coefficient of determination

ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصله، همبستگی و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده بهتری را نسبت به بارندگی روزانه نشان داد (شکل 7). در نظر گرفتن مقیاس زمانی ماهانه نسبت به روزانه، اگرچه رده $NRMSE$ را از عالی به خوب تقلیل داد، با این حال مقادیر ضریب تبیین بالایی به خصوص در ایستگاه‌های راز و جرگلان (0/88)، اسفراین (0/84) و مانه سملقان (0/80) به دست آمد.

نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های مورد مطالعه، بیانگر اعتبار و قابلیت بالای AgMERRA در شبیه‌سازی متغیرهای درجه حرارت حداکثر، درجه حرارت حداقل، تشعشع خورشیدی روزانه و بارندگی به‌ویژه در مقیاس زمانی ماهانه است. در زمینه اعتبارسنجی مقادیر پیش‌بینی شده AgMERRA مطالعات دیگری نیز در نقاط مختلف جهان انجام شده که همگی قدرت و توانایی این مدل را در پیش‌بینی داده‌های تاریخی هواشناسی تأیید نمودند. مطالعاتی در برزیل نشان داد که متغیرهای پیش‌بینی شده درجه حرارت حداقل و حداکثر، همبستگی زیاد ($r \geq 0/94$) و متغیر تشعشع خورشیدی، همبستگی

رطوبت نسبی در درجه حرارت حداکثر (Rhs_{tmax})

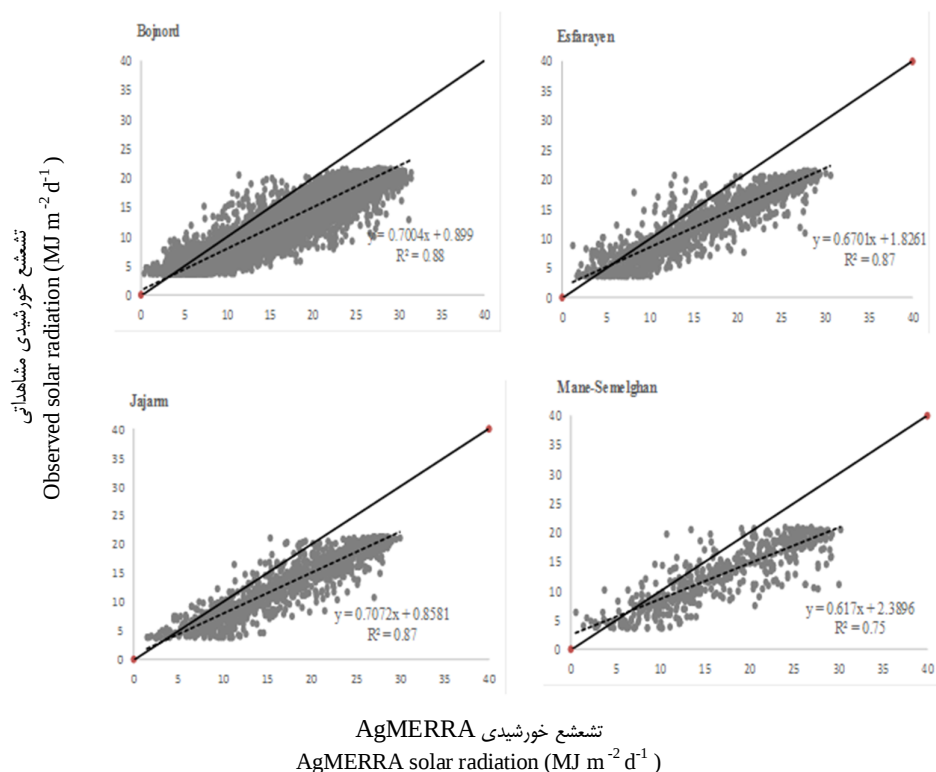
AgMERRA قابلیت نسبتاً خوبی در شبیه‌سازی متغیر رطوبت نسبی در درجه حرارت حداکثر برای ایستگاه‌های شیروان، فاروج، اسفراین و جاجرم داشت. شاخص توافق برای این ایستگاه‌ها بین 0/92 تا 0/94 و جذر میانگین مربع خطای نرمال شده در رده خوب قرار گرفت. ضریب تبیین بین مقادیر پیش‌بینی شده با داده‌های مشاهداتی پارامتر (Rhs_{tmax}) از 0/16 برای ایستگاه بجنورد تا 0/50 برای ایستگاه شیروان متغیر بود (جدول 5 و شکل 5). ضریب تبیین پایین برای ایستگاه بجنورد را می‌توان به شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی حداقل مرتبط دانست.

بارندگی

جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده برای داده‌های بارندگی روزانه AgMERRA در رده‌های عالی و خوب قرار گرفتند (جدول 6). با توجه به همبستگی ضعیف بین داده‌های بارندگی روزانه پیش‌بینی شده با داده‌های مشاهداتی (شکل 6)، مجموع بارندگی ماهیانه هر

رضوی و خراسان رضوی)، همبستگی قوی و تطابق خوبی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی برای متغیرهای درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداکثر، تشعشع روزانه، بارندگی در بازه زمانی ماهانه و 15 روزه نشان داد (Yaghoobi et al., 2018).

کمی ($r \leq 0/54$) با مقادیر مشاهداتی داشتند (Bender and Sentelhas, 2018). نتیجه مشابهی توسط (Battisti et al., 2019) و (Amatya et al., 2018) گزارش شده است. مطالعه مقادیر پیش‌بینی شده AgMERRA برای یازده ایستگاه هواشناسی واقع در شمال شرقی ایران (استان‌های خراسان شمالی، خراسان



شکل 4- مقایسه مقادیر روزانه مشاهداتی تشعشع خورشیدی ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با داده‌های AgMERRA؛ خط سیاه: خط یک به یک؛ خط نقطه‌چین: خط رگرسیون؛ R^2 : ضریب تبیین

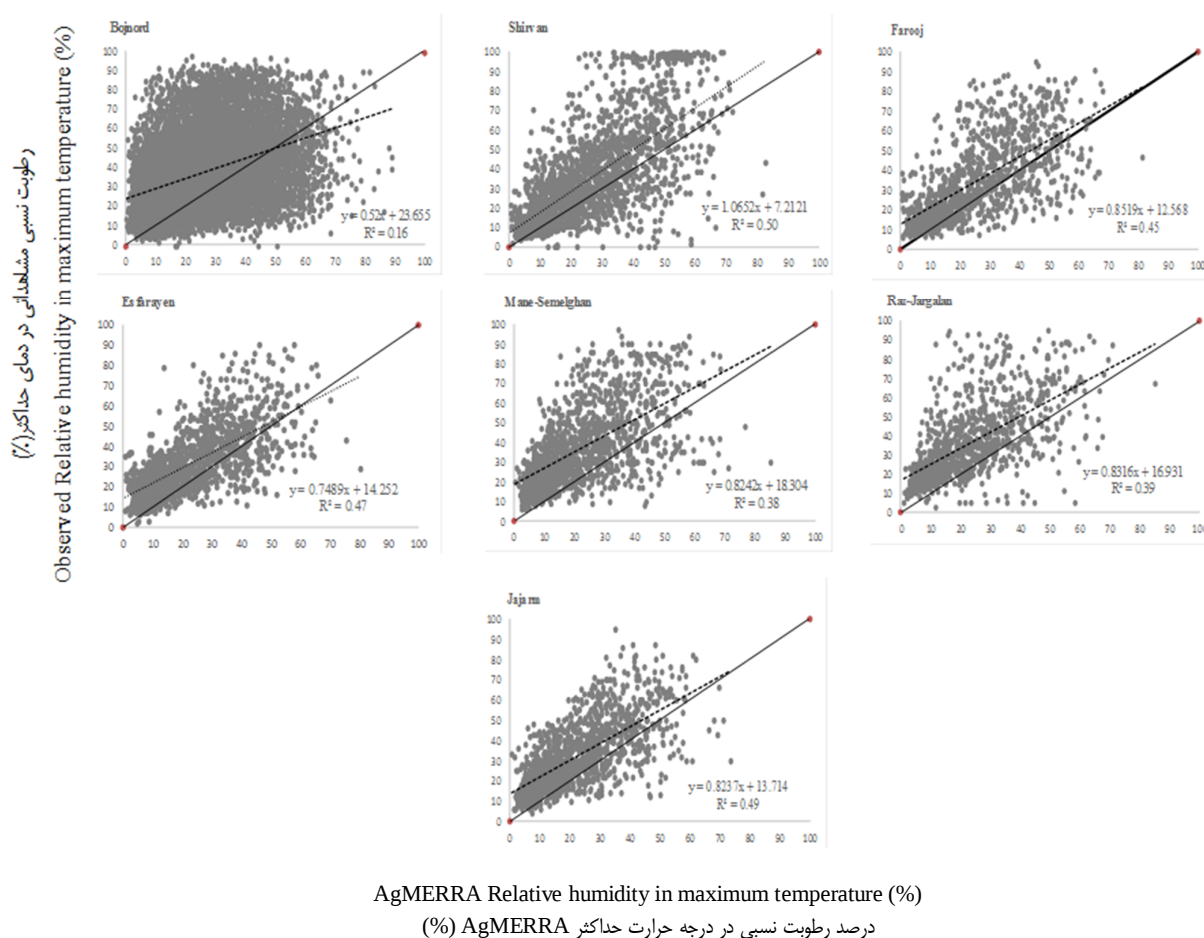
Figure 4- Validation of daily solar radiation (srad) observational values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA data. Solid line: 1:1 line; dotted line: regression line; R^2 : coefficient of determination

(2018). در پژوهش حاضر، اعتبارسنجی شاخص‌های آب و هوایی نشان داد که مقادیر پیش‌بینی شده توسط AgMERRA، همبستگی و توافق بسیار خوبی با مقادیر مشاهداتی متغیرهای درجه حرارت حداقل و حداکثر دارد. کمترین توافق و همبستگی برای این دو متغیر در ایستگاه‌های بجنورد و فاروج (با توپوگرافی ناهمگن) مشاهده گردید. ارتفاع گزارش شده برای هر گرید در داده‌های ناسا، نماینده میانگین هر گرید است (White et al., 2008). در نواحی با توپوگرافی ناهمگن همانند ایستگاه‌های بجنورد و فاروج، میانگین ارتفاع گرید ممکن است با ارتفاع ایستگاه تفاوت معنی‌دار داشته باشد. میانگین خطای اریبی درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر در ایستگاه

انجام پژوهش دیگری در افغانستان، حاکی از نتایج رضایت‌بخش اعتبارسنجی AgMERRA در مقابل داده‌های چهار ایستگاه سینوپتیک بود (Razavi et al., 2018). نتیجه مطالعاتی که در برزیل صورت گرفت نیز حاکی از اعتبار بالای داده‌های تاریخی پیش‌بینی شده توسط AgMERRA است. این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی مدل‌های AgMERRA، AgCFSR، NASA/POWER و XAVIER برای کامل کردن سری داده‌های تاریخی (1980 تا 2009) بر پایه مقادیر اندازه‌گیری شده و داده‌های هوایی شبکه‌بندی شده برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم انجام گرفت که نتایج رضایت‌بخش در بر داشت (Bender and Sentelhas,

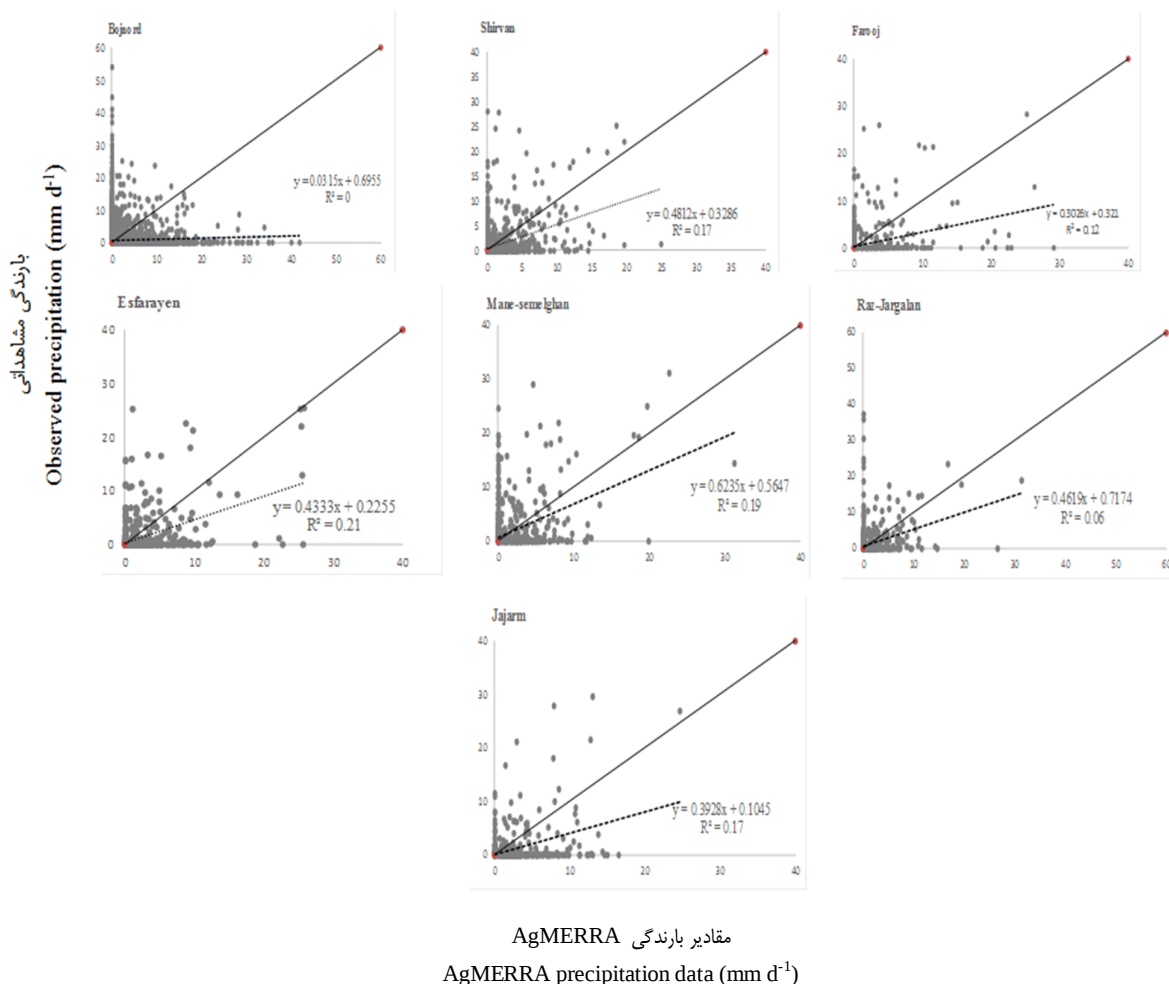
متر مربع در روز). چنین نتیجه‌ای در پژوهش Sentelhas و Bender نیز مشاهده شد و میانگین خطای اریبی تشعشع برای سری داده‌های گریدبندی شده AgCFSR, AgMERRA, NASA/POWER, XAVIER منفی به دست آمد (Bender and Sentelhas, 2018). همه ایستگاه‌های مورد مطالعه در نواحی خشک و نیمه‌خشک و دور از پوشش گیاهی واقع شده‌اند، لذا تشعشع خورشیدی مشاهده شده در ایستگاه به دلیل ضریب انعکاس نور بیشتر، مقادیر بالاتری را نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده AgMERRA نشان دادند (شکل 4).

بجور قابل توجه بود. نتیجه به دست آمده را می‌توان با موقعیت قرار گرفتن این ایستگاه‌ها مرتبط دانست. محمود و همکاران (2006) متذکر شدند در صورتی که ایستگاه‌ها در نزدیکی ساختمان‌ها و جاده‌های آسفالت قرار گرفته باشند، داده‌های ایستگاهی دارای اریبی خواهند بود (Mahmood et al., 2006). داده‌های مربوط به تشعشع برآورده شده توسط AgMERRA ضریب همبستگی و توافق بالایی با داده‌های مشاهداتی تشعشع در تمامی ایستگاه‌ها داشت. مقادیر تشعشع AgMERRA برای همه ایستگاه‌ها کمتر از مقادیر تشعشع مشاهداتی بود (میانگین خطای اریبی بین $-0/2$ تا $-3/8$ مگا ژول بر



شکل 5- مقایسه مقادیر روزانه مشاهداتی رطوبت نسبی در درجه حرارت حداکثر ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با داده‌های AgMERRA؛ خط سیاه: خط یک به یک؛ خط نقطه‌چین: خط رگرسیون؛ R^2 : ضریب تبیین

Figure 5- Validation of daily Relative humidity in maximum temperature (Rhs_{max}) observational values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA data. Solid line: 1:1 line; dotted line: regression line; R^2 : coefficient of determination



شکل 6- مقایسه مقادیر روزانه مشاهداتی بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با AgMERRA؛

خط سیاه: خط یک به یک؛ خط نقطه‌چین: خط رگرسیون؛ R^2 : ضریب تبیین

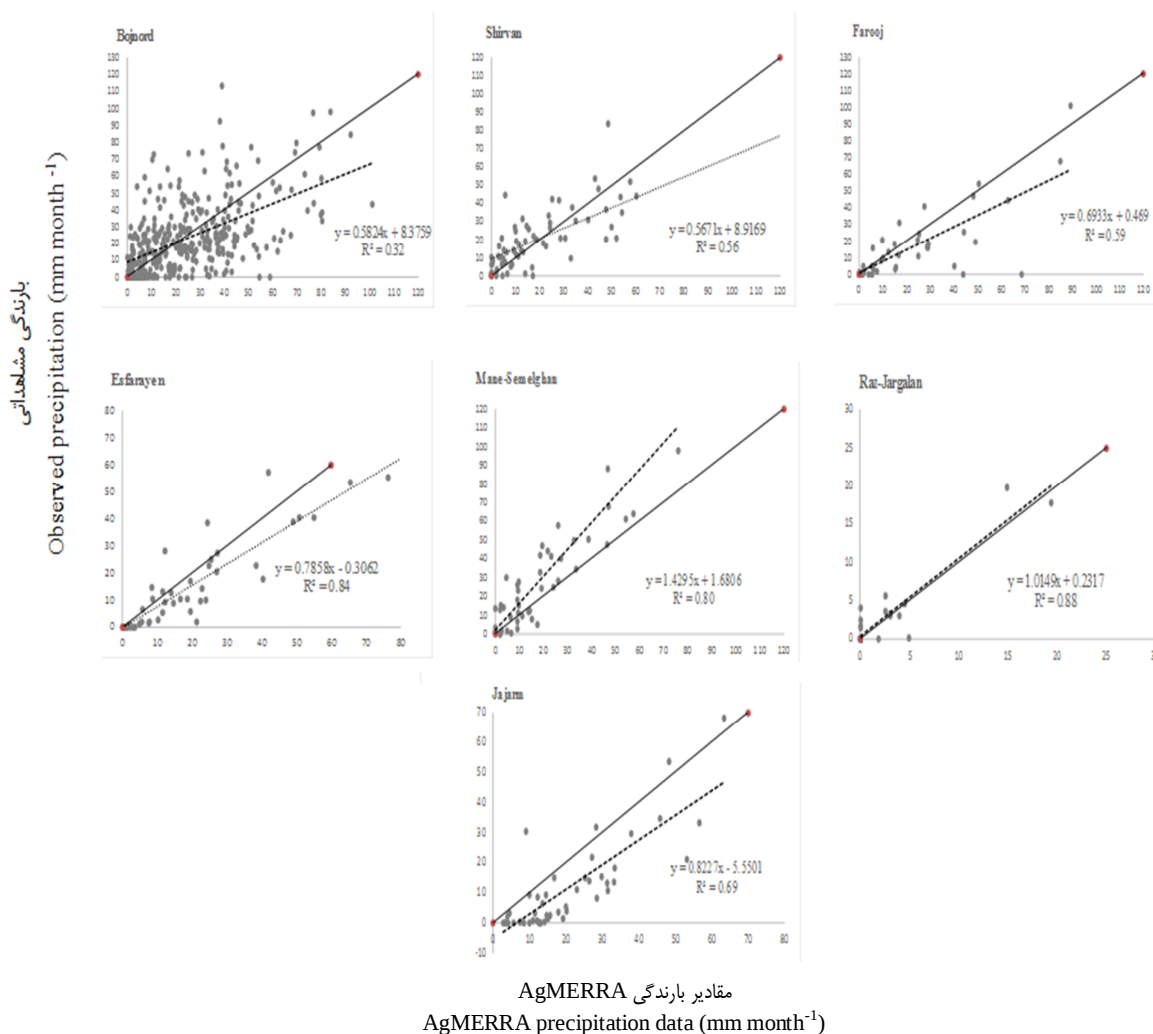
Figure 6- Validation of daily precipitation (prate) observational values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA data. Solid line: 1:1 line; dotted line: regression line. R^2 : coefficient of determination

متوسط قرار گرفت. ضریب تبیین رطوبت نسبی در درجه حرارت حداکثر برای ایستگاه‌های مانه سملقان، راز جرگلان، فاروج، اسفراین، جاجرم و شیروان بین 0/38 تا 0/50 تعیین شد و در ایستگاه بجنورد همبستگی ضعیفی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی حاصل شد ($r=0/40$). شبیه‌سازی بارش توسط AgMERRA در مقیاس ماهانه نتایج بهتری نسبت به بارندگی روزانه نشان داد. بررسی اعتبارسنجی بارش در مطالعات دیگر نیز بیانگر کارایی قابل قبول AgMERRA در برآورد داده‌های بارندگی ماهانه و مجموع بارندگی 15 روزه نسبت به بارندگی روزانه می‌باشد (Razavi et al., 2018; Yaghoobi et al., 2018). اگرچه شاخص‌های ارزیابی مقادیر قابل قبولی را برای

مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی همبستگی نسبتاً ضعیفی برای رطوبت نسبی در درجه حرارت حداکثر داشتند. کارایی نسبتاً ضعیف AgMERRA در تخمین رطوبت نسبی در درجه حرارت حداکثر در مطالعه دیگری نیز نشان داده شد (Bender and Sentelhas, 2018). پژوهش انجام شده برای مقایسه داده‌های مشاهداتی و گریدبندی شده در منطقه کمر بند ذرت در آمریکا، دقت اندک ماهواره‌های Daymet و PRISM را در تخمین رطوبت نسبی نشان داد و ضرایب تبیین به ترتیب 0/48 و 0/67 به دست آمد (Mourtzinis et al., 2016). جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده برای متغیر رطوبت نسبی در درجه حرارت حداکثر (Rhs_{tmax}) در رده خوب و

بدین معناست که ممکن است بارندگی در یک منطقه بدون بارندگی در مناطق مجاور اتفاق بیفتد که در نتیجه روش‌های درون‌یابی نمی‌توانند این پدیده را به‌طور دقیق نشان دهند. بنابراین، به‌کارگیری مدل‌هایی که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای عمل می‌کنند می‌تواند در پیش‌بینی و برآورد بارش راهگشا باشند.

بارندگی روزانه و ماهانه نشان می‌دهند، اما ضریب همبستگی بالایی بین مقادیر پیش‌بینی شده بارندگی روزانه و ماهانه و مقادیر مشاهداتی وجود ندارد که این واقعیت به وضوح در شکل‌های 6 و 7 مشخص شده است و دلیل آن را می‌توان به تغییرات زیاد شدت و مدت بارش به‌خصوص در حوزه‌های کوچک نسبت داد (Lopes, 1996). این



شکل 7- مقایسه مقادیر ماهانه مشاهداتی بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با داده‌های AgMERRA؛

خط سیاه: خط یک به یک؛ خط نقطه‌چین: خط رگرسیون، R^2 : ضریب تبیین

Figure 7- Validation of monthly precipitation (*prate*) observational values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA data. Solid line: 1:1 line; dotted line: regression line. R^2 : coefficient of determination

تخمین دقیق توزیع بارندگی هنوز به قوت خود باقی است (Lashkari *et al.*, 2016). در پژوهشی دیگر، داده‌های تخمینی بارندگی برای ایستگاه بجنورد واقع در خراسان شمالی مورد بررسی قرار گرفت. در

اگرچه داده‌های AgMERRA تلفیقی از داده‌های ماهواره‌ای MERRA، PERSIAN و CMORPH و داده‌های جمع‌آوری شده از سطح ایستگاه‌های زمین مرجع می‌باشد، با وجود این، مسأله عدم

($NRMSE$) و همبستگی خوبی ($0/81 \leq r \leq 0/96$) با داده‌های ایستگاهی در مناطق خشک، نیمه‌خشک معتدل و سرد و کوهستانی استان خراسان شمالی دارد. تجمیع داده‌های روزانه بارندگی به‌صورت داده‌های ماهانه، منجر به بهبود ضریب همبستگی شد. نتیجه مشابهی در پژوهش دیگری که در استان خراسان رضوی و قسمتی از خراسان شمالی انجام شد به‌دست آمد (Yaghoubi *et al.*, 2020).

این بررسی، مدل PERSIAN نسبت به روش‌های IDW و کریجینگ ضریب همبستگی بالاتری را با داده‌های ایستگاهی نشان داد (Ghazanfari Moghadam *et al.*, 2011). بررسی شاخص‌های مختلف ارزیابی در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA برای تشعشع خورشیدی، درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداکثر (به استثنای بارندگی روزانه و رطوبت نسبی در درجه حرارت حداکثر) تطابق ($d > 0/92$ و $30\% <$

جدول 2- اعتبارسنجی مقادیر روزانه مشاهداتی دمای حداکثر ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با داده‌های AgMERRA
Table 2- Validation of daily maximum temperature (T_{max}) observational values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA

ایستگاه سینوپتیک Synoptic station	بازه زمانی مورد مطالعه Studied time period	تعداد داده‌ها Number of data(N)	R^2	d	RMSE	NRMSE	MBE	رده‌بندی Classification
بجنورد Bojnord	1980-2010	10950	0.77	0.96	6.71	13.5	4.03	Good
شیروان Shirvan	2005-2010	2071	0.92	0.99	4.47	9.01	0.6	Great
فاروج Farooj	2007-2010	1142	0.84	0.99	4.31	7.83	0	Great
اسفراین Esfarayen	2007-2010	1430	0.93	0.99	3.85	8.05	0.33	Great
مانه سملقان Mane Semelghan	2007-2010	1460	0.89	0.99	3.54	7.76	0.04	Great
راز جرجلان Raz -Jargalan	2007-2010	1050	0.89	0.99	3.9	7.91	-0.1	Great
جاجرم Jajarm	2007-2010	1460	0.9	0.99	3.81	7.99	-0.2	Great

جدول 3- اعتبارسنجی مقادیر روزانه مشاهداتی درجه حرارت حداقل ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با AgMERRA
Table 3- Validation of daily minimum temperature (T_{min}) observational values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA data

ایستگاه سینوپتیک Synoptic station	بازه زمانی مورد مطالعه Studied time period	تعداد داده‌ها Number of data (N)	R^2	d	RMSE	NRMSE	MBE	رده‌بندی Classification
بجنورد Bojnord	1980-2010	11315	0.73	0.93	6.41	12.23	4.62	Good
شیروان Shirvan	2005-2010	2071	0.84	0.96	3.77	7.98	0.26	Great
فاروج Farooj	2007-2010	1142	0.67	0.92	5.12	8.08	-0.1	Great
اسفراین Esfarayen	2007-2010	1430	0.86	0.94	5.13	11.23	0.49	Good
مانه سملقان Mane Semelghan	2007-2010	1460	0.87	0.98	3.2	7.93	0.11	Great
راز جرجلان Raz -Jargalan	2007-2010	1049	0.93	0.93	7.03	15.81	0.61	Good
جاجرم Jajarm	2007-2010	1460	0.88	0.99	3.18	7.98	0	Great

کارایی رضایت‌بخش مجموع داده‌های AgMERRA برای پر کردن خلاء داده‌های تاریخی هستند. به‌طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که می‌توان از سری داده‌های AgMERRA برای مطالعات اقلیمی، تجزیه تحلیل، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های کشاورزی در حوزه استان خراسان شمالی استفاده نمود.

نتایج اعتبارسنجی مقادیر شبیه‌سازی شده AgMERRA با داده‌های مشاهداتی 7 ایستگاه مورد مطالعه بیانگر کارایی و قابلیت بالای آن برای پر کردن خلاءها و تولید سری داده‌های هواشناسی می‌باشد. مطالعات دیگری نیز در ایران (Lashkari et al., 2016)، افغانستان (Yaghoubi et al., 2020)، و برزیل (Battisti et al., 2019) انجام گرفته که همگی حاکی از

جدول 4- مقایسه مقادیر روزانه مشاهداتی تشعشع خورشیدی ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با داده‌های AgMERRA
Table 4-Validation of daily solar radiation (*Srad*) observational values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA data

ایستگاه سینوپتیک Synoptic station	بازه زمانی مورد مطالعه studied time period	تعداد داده‌ها Number of data (N)	R^2	d	RMSE	NRMSE	MBE	رده‌بندی Classification
بجنورد Bojnord	1980-2010	10368	0.88	0.96	4.94	27.4	-3.8	متوسط Medium
اسفراین Esfarayen	2007-2010	1460	0.87	0.98	4.75	26.6	-0.5	متوسط Medium
مانه سملقان Mane Semelghan	2007-2010	563	0.75	0.97	5.57	32.31	-0.2	ضعیف Poor
جاجرم Jajarm	2007-2010	1460	0.87	0.98	5.06	28.85	-0.6	متوسط Medium

جدول 5- اعتبارسنجی مقادیر روزانه مشاهداتی رطوبت نسبی در درجه حرارت حداکثر ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با داده‌های AgMERRA

Table 5- Validation of daily relative humidity in maximum temperature (Rhs_{max}) observational values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA data

ایستگاه سینوپتیک Synoptic station	بازه زمانی مورد مطالعه studied time period	تعداد داده‌ها Number of data (N)	R^2	d	RMSE	NRMSE	MBE	رده‌بندی Classification
بجنورد Bojnord	1980-2010	11315	0.16	-0.16	22.69	23.15	11.8	متوسط medium
شیروان Shirvan	2005-2010	2071	0.5	0.92	19.15	19.17	1.62	خوب Good
فاروج Farooj	2007-2010	1156	0.45	0.93	17.45	19.55	0.9	خوب Good
اسفراین Esfarayen	2007-2010	1430	0.47	0.94	14.81	16.83	1.09	خوب Good
مانه سملقان Mane Semelghan	2007-2010	1460	0.38	0.9	21.22	23.32	1.86	متوسط Medium
راز جرگلان Raz -Jargalan	2007-2010	1043	0.39	0.91	20.33	22.01	1.21	متوسط Medium
جاجرم Jajarm	2007-2010	1460	0.49	0.93	15.4	16.92	1.29	خوب Good

جدول 6- اعتبارسنجی مقادیر روزانه و ماهانه مشاهداتی بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی با داده‌های AgMERRA
Table 6- Validation of daily and monthly precipitation (*prate*) observational values of North Khorasan synoptic stations with AgMERRA data

ایستگاه سینوپتیک Synoptic station	مقیاس زمانی Temporal scale	بازه زمانی مورد مطالعه Studied time period	تعداد داده‌ها Number of data (N)	R^2	d	$RMSE$	$NRMSE$	MBE	رده‌بندی Classification
بجنورد Bojnord	روزانه Daily	1980-2010	11222	0	0.18	3.68	6.78	0	عالی Great
بجنورد Bojnord	ماهانه Monthly	1980-2010	372	0.32	0.88	19.02	16.78	0	خوب Good
شیروان Shirvan	روزانه Daily	2005-2010	2190	0.17	0.63	2.48	8.84	0	عالی Great
شیروان Shirvan	ماهانه Monthly	2005-2010	71	0.56	0.82	21.24	14.83	-0.02	خوب Good
فاروج Farooj	روزانه Daily	2007-2010	1235	0.12	0.55	2.96	10.46	0	خوب Good
فاروج Farooj	ماهانه Monthly	2007-2010	43	0.59	0.91	16.49	16.26	0	خوب Good
اسفراین Esfarayen	روزانه Daily	2007-2010	1430	0.21	0.66	2.5	9.83	-0.02	عالی Great
اسفراین Esfarayen	ماهانه Monthly	2007-2010	48	0.84	0.97	9.46	13.68	-0.02	خوب Good
مانه سملقان Mane Semelghan	روزانه Daily	2007-2010	1446	0.19	0.62	2.97	9.5245	0.04	عالی Great
مانه سملقان Mane Semelghan	ماهانه Monthly	2007-2010	48	0.80	0.92	18.51	11.86	0.04	خوب Good
راز جرگلان Raz-Jargalan	روزانه Daily	2007-2010	1025	0.06	0.4	4.43	4.74	0.03	عالی Great
راز جرگلان Raz-Jargalan	ماهانه Monthly	2007-2010	41	0.88	0.96	1.49	7.53	0	عالی Great
جاجرم Jajarm	روزانه Daily	2007-2010	1428	0.17	0.62	2.26	7.64	0	عالی Great
جاجرم Jajarm	ماهانه Monthly	2007-2010	48	0.69	0.91	12.51	18.262	0	خوب Good

R^2 (ضریب تبیین)، d (شاخص توافق)، $RMSE$ (جذر میانگین مربعات خطا)، $NRMSE$ (جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده) و MBE (میانگین خطای اریبی)
 R^2 (coefficient of determination); d (Index of Agreement); $RMSE$ (Root Mean Square Error); $NRMSE$ (Normalized Root Mean Square Error); MBE (Mean Bias Error)

1397/7/4) از محل اعتبار پژوهش معاونت محترم پژوهشی دانشگاه

فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های انجام این تحقیق (کد 3/47582 مصوب

References

1. Amatya, D. M., Muwamba, A., Panda, S., Callahan, T., Harder, S., and Pellett, C. A. 2018. Assessment of Spatial and Temporal Variation of Potential Evapotranspiration Estimated by Four Methods for South Carolina. The Journal of South Carolina Water Resources 5 (5): 3-24. Available from <https://doi.org/10.34068/jscwr.05.01>
2. Angstrom, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 50 (210): 121-126. Available from <https://doi.org/10.1002/qj.49705021008>
3. Bannayan, M., Sanjani, S., and Alizadeh, A. 2010. Association between climate indices , aridity index , and rainfed crop yield in northeast of Iran. 118: 105-114. Available from <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.04.011>

4. Battisti, R., Bender, F. D., and Sentelhas, P. C. 2019. Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil. January. Available from <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2383-y>
5. Bender, F. D., and Sentelhas, P. C. 2018. Solar Radiation Models and Gridded Databases to Fill Gaps in Weather Series and to Project Climate Change in Brazil. Solar Radiation Models and Gridded Databases to Fill Gaps in Weather Series and to Project Climate Change in Brazil. *Advances in Meteorology*, July, 15. Available from <https://doi.org/10.1155/2018/6204382>
6. Bosilovich, M. G., Akella, S., Coy, L., Cullather, R., Draper, C., Gelaro, R., Kovach, R., Liu, Q., Molod, A., Norris, P., Wargan, K., Chao, W., Reichle, R., Takacs, L., Vikhliakov, Y., Bloom, S., Collow, A., Firth, S., Labow, G., ...and Koster, R. D. 2015. Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, Volume 43 MERRA-2: Initial Evaluation of the Climate. Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, 43 (November).
7. Bristow, K. L., and Campbell, G. S. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 31 (2): 159-166.
8. Burroughs, W. 2003. *Climate into the 21st Century*. Cambridge University Press.
9. Castellanos-acuna, D., and Hamann, A. 2020. A cross-checked global monthly weather station database for precipitation covering the period 1901-2010. March 2019, 1-11. Available from <https://doi.org/10.1002/gdj3.88>
10. Geng, S., Vries, F. W. T. P. de, and Supit, I. 1986. "A simple method for generating daily rainfall data." *Agricultural and Forest Meteorology* 36 (4): 363-376.
11. Ghazanfari Moghadam, M. S., Alizadeh, M., Mousavi, M., Farid Hoseini, A., and Bannayan, M. 2011. Comparison the PERSIANN Model with the Interpolation Method to Estimate Daily Precipitation. *Journal of Water and Soil* 25 (1): 207-215. Available from <https://doi.org/10.22067/ijstrj.v1395i0.51210>
12. Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A., and Xie, P. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology* 5 (3): 487-503. Available from [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2)
13. Júnior, R. S. N., Fraisse, C., Cerbaro, V. A., Karrei, M. A. Z., and Guindin-garcia, N. 2019. Evaluation of the Hargreaves-Samani Method for Estimating Reference Evapotranspiration with Ground and Gridded Weather Data Sources. *Applied Engineering in Agriculture*, 35 (5): 823-835. Available from <https://doi.org/10.13031/aea.13363>
14. Koocheki, A., Nassiri-mahallati, M., and Jafari, L. 2016. Evaluation of Climate Change Effect on Agricultural Production of Iran I. Predicting the Future Agroclimatic Conditions. May 2020.
15. Lashkari, A., Bannayan, M., and Koochaki, A. and et al. 2016. Applicability of AgMERRA forcing dataset for gap-filling of in-situ meteorological observation, Case Study: Mashhad Plain. *Journal of Water and Soil* 29 (6): 1749-1758.
16. Lopes, V. L. 1996. On the effect of uncertainty in spatial distribution of rainfall on catchment modelling. *Catena*, 28 (1-2): 107-119. Available from [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(96\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(96)00030-6)
17. Mahmood, R., Foster, S. A., and Logan, D. 2006. The GeoProfile metadata, exposure of instruments, and measurement bias in climatic record revisited. *International Journal of Climatology* 26 (8): 1091-1124. Available from <https://doi.org/10.1002/joc.1298>
18. Mourtzinis, S., Edreira, J. I. R., Conley, S. P., and Grassini, P. 2016. From grid to field: Assessing quality of gridded weather data for agricultural applications. *European Journal of Agronomy*. Available from <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.013>
19. Prescott, J. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans and Proc Roy Soc South Australia*, 64 (1): 114-118.
20. Razavi, A. R., Nasiri Mahallati, M., Koochaki, A., and Beheshti, A. 2018. Applicability of AgMERRA for Gap-Filling of Afghanistan in-situ Temperature and Precipitation Data A. *Journal of Water and Soil* 32 (3): 601-616. Available from <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i3.68501>
21. Richardson, C. W., and Wright, D. A. 1984. WGEN: A Model for- Generating Daily Weather Variables. , Vol. ARS-8, U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC, USA.
22. Rienecker, M. M., Suarez, M. J., and Gelaro, R. 2011. MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *Journal of Climate* 24 (14): 3624-3648.
23. Ruane, A. C., Goldberg, R., and Chrysanthacopoulos, J. 2015. Climate forcing datasets for agricultural modeling: merged products for gap-filling and historical climate series estimation. *Agricultural and Forest Meteorology* 200: 233-248.
24. van Wart, J., Grassini, P., and Cassman, K. G. 2013. Impact of derived global weather data on simulated crop yields. *Global Change Biology* 19 (12): 3822-3834.
25. Van Wart, J., Grassini, P., Yang, H., Claessens, L., Jarvis, A., and Cassman, K. G. 2015. Creating long-term weather data from thin air for crop simulation modeling. *Agricultural and Forest Meteorology* 209-210, 49-58. Available from <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.020>
26. Wallach D., Makowski D., and J. J. W. 2006. *Working with dynamic crop models*. 1st Edition (D. W. D. M. J.

- Jones (ed.)).
27. White, J. W., Hoogenboom, G., Stackhouse, P. W., and Hoell, J. M. 2008. Evaluation of NASA satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. 148: 1574-1584. Available from <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.05.017>
28. Willmott, C. J., Ackleson, S. G., Davis, R. E., Feddema, J. J., Klink, K. M., Legates, D. R., O'Donnell, J., and Rowe, C. M. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research* 90 (C5): 8995. Available from <https://doi.org/10.1029/jc090ic05p08995>
29. Xavier, A. C., King, C. W., and Scanlon, B. R. 2015. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). *International Journal of Climatology* 36 (6): 2644-2659.
30. Yaghoobi, F., Bannayan, M., and Asadi, G. 2018. Evaluation of Gridded AgMERRA Weather Data for Simulation of Water Requirement and Yield of Rainfed Wheat in Khorasan Razavi Province F. 32 (2): 415-431. Available from <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i2.68948>
31. Yaghoobi, F., Bannayan, M., and Asadi, G. A. 2020. Performance of predicted evapotranspiration and yield of rainfed wheat in the northeast Iran using gridded AgMERRA weather data. *International Journal of Biometeorology*. Available from <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01931-y>



Investigation of Validity and Possibility of using AgMERRA Networked Dataset in North Khorasan Province

M. Farhadi¹, M. Jahan^{2*}, M. Bannayan Aval³

Received: 17-04-2021

Accepted: 19-05-2021

Introduction

Investigating the effect of climate change on agricultural production in spatio-temporal dimension, development and use of crop management decision-support tools, supporting and target agronomic research and policy require a series of accurate and standard meteorological data. The weather station databases are often regional in coverage, and it can have extensive gaps in station coverage over time. It may also contain errors in climate records, station coordinates or elevation. While historical observational data are incomplete or not available in many areas; therefore, gridded weather data are used as an alternative in these areas. An issue is the agreement of gridded with measured weather data and the degree to which this agreement may influence the utility of gridded for agricultural research. In this study, the possibility of using AgMERRA data series to fill the gap of incomplete and missing historical data in seven synoptic meteorological stations in North Khorasan province in the period (1980-2010) was investigated.

Materials and Methods

Historical daily measured weather data (maximum and minimum air temperature, sunshine hours, relative humidity, and precipitation) for the 1980 to 2010 period, were obtained from the 7 synoptic weather stations (Bojnord, Shirvan, Farooj, Esfarayen, Mane-Semelghan, Raz-Jargalan, Jajarm) across Northern Khorasan. The robustness of AgMERRA dataset was investigated through statistical validation indices including *RMSE* (Root Mean Square Error), R^2 (Coefficient of Determination), *d* (d Index of Agreement), *NRMSE* (Normalized Root Mean Square Error) and *MBE* (Mean Bias Error).

Result and Discussion

Strong positive correlations were observed between simulated values of maximum and minimum temperature with observational values ($0.81 \leq r \leq 0.96$). The *NRMSE* was excellent and good for all stations ($7.76 \leq NRMSE \leq 15.81$). Overall, the high agreement index ($d \geq 0.92$), as well as the small values of the *MBE*, indicated good agreement between the observed and predicted data for the maximum and minimum temperature variable. The solar radiation simulations correlated well with the observed values ($0.86 \leq r \leq 0.93$). The high values for agreement index were obtained in four stations ($0.96 \leq d \leq 0.98$). But the *NRMSE* for Bojnourd, Esfarayen, and Jajarm stations was ranked in moderate class ($20 < NRMSE < 30$), and weak class for Mane Semelghan station ($NRMSE = 32.31$). Other stations (Shirvan, Farooj, and Raz-Jargalan) did not have station observation values for the radiation variable. AgMERRA had a relatively high ability to simulate the relative humidity variable at maximum temperature for Shirvan, Farooj, Esfarayen, and Jajarm stations. The agreement index for these stations was between 0.92 and 0.94, also those *NRMSE* was ranked in the good class. The coefficient of correlation (*r*) between the predicted values with the observational data of the relative humidity at maximum temperature (Rhs_{max}) ranged from 0.40 to 0.70. The low *r* value can be related to the topographic conditions and low vegetation of these areas. AgMERRA daily precipitation data had excellent *NRMSE*. Due to the weak correlation between the predicted daily precipitation data and the observational data, the total monthly precipitation of each station was examined, which showed better correlation and *NRMSE* than of the daily precipitation. Considering the monthly time scale compared to the daily, *NRMSE* reduced from a high class to a good class, also a strong correlation was obtained especially for Raz- Jarglan (0.88), Esfarayen (0.84), and Mane Semolghan (0.80) stations.

Conclusions

AgMERRA gridded dataset for maximum and minimum temperature, solar radiation excluding daily precipitation and relative humidity at maximum temperature showed high accordance ($d > 0.92$ and *NRMSE* < 30%) and strong correlation ($0.81 \leq r \leq 0.96$) with station data in arid, semiarid, temperate, cold and mountainous areas of North Khorasan province. However, a more strong correlation was obtained when daily

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

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

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

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

precipitation data were aggregated into monthly data. In general, the validation results of the AgMERRA simulated values with 7 synoptic stations indicated its robustness and power to produce meteorological data series. So AgMERRA data series can be used for climate studies, analysis, planning and decision making in agriculture section in North Khorasan province.

Keywords: Agricultural meteorology, Spatio-temporal changes, Stations data, Validation

Contents

Research Articles

- Effects of Silicon Application at Nano and Micro Scales on the Growth and Production of Potato Minitubers (*Solanum tuberosum* Var. Agria) under Three Soil Texture** 120
M. Soltani, M. Kafi, A. Nezami, H. R. Taghiyari
- Effect of Application of Different Fertilizer Sources on Physiological and Biochemical Traits of new Cultivars of Barley under Dryland Conditions** 139
R. Naseri, A. Mirzeai, A. Abbasi
- Effect of Leaf Removal on Quantitative and Qualitative Characteristics of Autumn Sugar Beet Cultivars in Golestan Province** 150
N. Tazikheh, A. Biyabani, A. Saberi, Ali. Rahemi Karizaki, M. Naimi
- Effects of Holding Irrigation at Reproductive Stages and Putrescine and Bio Fertilizers Application on Grain Filling Period, Chlorophyll Content and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.)** 166
A. Mohseni Mohammadjanlou, R. Seyed Sharifi, S. Khomari
- The Effect of Epibrassinolide Application on Photosynthetic Material Allocation, Drought Tolerance, and Seed Yield of two Pinto Bean Genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.)** 183
M. Mohammadi, M. Pouryousef, A. Tavakoli
- Optimization of Irrigation and Nitrogen Levels on Yield, Water Use Efficiency, and Nitrogen Use Efficiency of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by Using the Surface-Response Methodology** 198
P. Rezvani Moghaddam, S. Khorramdel, H. Latifi, M. R. Farzaneh Belgerdi, S. J. Davarpanah
- Investigation of Validity and Possibility of using AgMERRA Networked Dataset in North Khorasan Province** 216
M. Farhadi, M. Jahan, M. Bannayan Aval

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 19

No. 2

2021

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
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@um.ac.ir

Web Site: <https://jcesc.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol.19 No.2

2021

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Full Research Papers

Effects of Silicon Application at Nano and Micro Scales on the Growth and Production of Potato Minutubers (*Solanum tuberosum* Var. Agria) under Three Soil Texture 120

M. Soltani, M. Kafi, A. Nezami, H. R. Taghiyari

Effect of Application of Different Fertilizer Sources on Physiological and Biochemical Traits of new Cultivars of Barley under Dryland Conditions..... 139

R. Naseri, A. Mirzeai, A. Abbasi

Effect of Leaf Removal on Quantitative and Qualitative Characteristics of Autumn Sugar Beet Cultivars in Golestan Province..... 150

N. Tazikeh, A. Biyabani, A. Saberi, Ali. Rahemi Karizaki, M. Naimi

Effects of Holding Irrigation at Reproductive Stages and Putrescine and Bio Fertilizers Application on Grain Filling Period, Chlorophyll Content and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.)..... 166

A. Mohseni Mohammadjanlou, R. Seyed Sharifi, S. Khomari

The Effect of Epibrassinolide Application on Photosynthetic Material Allocation, Drought Tolerance, and Seed Yield of two Pinto Bean Genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.)..... 183

M. Mohammadi, M. Pouryousef, A. Tavakoli

Optimization of Irrigation and Nitrogen Levels on Yield, Water Use Efficiency, and Nitrogen Use Efficiency of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by Using the Surface-Response Methodology 198

P. Rezvani Moghaddam, S. Khorramdel, H. Latifi, M. R. Farzaneh Belgerdi, S. J. Davarpanah

Investigation of Validity and Possibility of using AgMERRA Networked Dataset in North Khorasan Province..... 216

M. Farhadi, M. Jahan, M. Bannayan Aval