نشریه علمی

پژوهشهای زراعی ایران

جلد۱۸ شماره۱

سال ۱۳۹۹

(شماره پیاپی: ۵۷)

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

تحمل به یخزدگی اکوتیپ‌های سیر (*Allium sativum* L.) تحت تاثیر تاریخ کاشت در شرایط کنترل‌شده ۱

صفیه پذیره، احمد نظامی، محمد کافی، مرتضی گلدانی

ارزیابی اثر پرایمینگ و اندازه بذر بر عملکرد زیست‌توده، شاخص کارایی مصرف آب و برخی ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های پیاز خوراکی (*Allium cepa* L.) ۱۵

موسی ایزدخواه شیشوان، مهدی تاج بخش شیشوان

اثر نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد آن‌ها ۳۱

خالد عبدالله‌پور، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، سرور خرم‌دل

بررسی اثر القاکننده‌های تولید گره بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و خصوصیات گره‌زایی یونجه (*Medicago sativa* L.) در شرایط شوری ۴۹

رقیه مردانی، کاظم پوستینی، علیرضا عباسی، احمدعلی پورباباپی

بررسی مصرف فسفر و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد علوفه و بذر در دو اکوتیپ یونجه ۶۱

مسعود ترابی، محسن حیدری سلطان آبادی

تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر حفاظت آب خاک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم ۷۱

محمد بنایان اول، کمال حاج محمدنیا قالی‌باف، فاطمه یعقوبی، زهرا رشیدی، نیوشا ولایی

تأثیر قطع آبیاری و محلول‌پاشی روی و منگنز بر عملکرد و صفات اکوفیزیولوژیک کلزا (*Brassica napus* L.) ۸۵

قربان خدابین، زین‌العابدین طهماسبی سروستانی، امیر حسین شیرانی‌راد، سید علی محمد مدرس ثانوی، اسماعیل بخشنده

تاثیر کاربرد آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد، محتوای کلروفیل، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم دیم ۱۰۱

فرامرز یقینی، رئوف سیدشریفی، حامد نریمانی

اثر کمپوست کود دامی ترکیب شده با زئولیت و تلقیح مایکوریزا بر رشد و عملکرد تریتیکاله (*X Tritico-secale Wittmack*) ۱۱۱

معصومه مکوندی، عبدالمهدی بخشنده، آیدین خدایی جوقان، علی مشتطی، محمدرضا مرادی تلاوت

تأثیر نحوه کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش کم‌آبی بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و اسانس گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) ۱۲۵

حسین آزادواری، معصومه نعیمی، عبداللطیف قلی‌زاده، علی نخزری مقدم

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی - پژوهشی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

با شماره ثبت ۱۲۴/۷۸۵۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و
۸۲/۵/۲۷

درجه علمی- پژوهشی شماره ۳/۱۱/۷۴۵۰۹ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
۸۹/۱۰/۲۱

جلد ۱۸ **شماره ۱** **سال ۱۳۹۹**

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

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

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

اعضای هیئت تحریریه:

یحیی امام	استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)
عبدالرضا باقری	استاد- ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)
محمدعلی بهدانی	استاد- اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)
محمد بنایان اول	استاد- مدل‌سازی سیستم‌های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)
مجید جامی الاحمدی	دانشیار- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)
حمیدرضا خزاعی	استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی(دانشگاه فردوسی مشهد)
حمید رحیمیان مشهدی	استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)
غلامرضا زمانی	دانشیار- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)
احمد زارع فیض آبادی	استاد- اکولوژی گیاهان زراعی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی)
فرج اله شهریاری احمدی	استاد- ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)
محمد کافی	استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی(دانشگاه فردوسی مشهد)
احمد نظامی	استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی(دانشگاه فردوسی مشهد)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: ۲۰ نسخه

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

نمابر: ۳۸۷۸۷۴۳۰

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

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

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

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

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

تحمل به یخ‌زدگی اکوتیپ‌های سیر (*Allium sativum* L.) تحت تاثیر تاریخ کاشت در شرایط کنترل‌شده 1
صفیه پذیره، احمد نظامی، محمد کافی، مرتضی گلدانی

ارزیابی اثر پرایمینگ و اندازه بذر بر عملکرد زیست‌توده، شاخص کارایی مصرف آب و برخی ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های پیاز خوراکی (*Allium cepa* L.) 15
موسی ایزدخواه شیشوان، مهدی تاج بخش شیشوان

اثر نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد آن‌ها 31
خالد عبدالله‌پور، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، سرور خرم‌دل

بررسی اثر القاکننده‌های تولید گره بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و خصوصیات گره‌زایی یونجه (*Medicago sativa* L.) در شرایط شوری 49
رقیه مردانی، کاظم پوستینی، علیرضا عباسی، احمدعلی پورباباپی

بررسی مصرف فسفر و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد علوفه و بذر در دو اکوتیپ یونجه 61
مسعود ترابی، محسن حیدری سلطان آبادی

تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر حفاظت آب خاک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم 71
محمد بنایان اول، کمال حاج محمدنیا قالی‌باف، فاطمه یعقوبی، زهرا رشیدی، نیوشا ولایی

تأثیر قطع آبیاری و محلول‌پاشی روی و منگنز بر عملکرد و صفات اکوفیزیولوژیک کلزا (*Brassica napus* L.) 85
قربان خدابین، زین‌العابدین طهماسبی سروستانی، امیر حسین شیرانی‌راد، سید علی محمد مدرس ثانوی، اسماعیل بخشنده

تاثیر کاربرد آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد، محتوای کلروفیل، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم دیم 101
فرامرز یقینی، رئوف سیدشریفی، حامد نریمانی

اثر کمپوست کود دامی ترکیب شده با زئولیت و تلقیح مایکوریزا بر رشد و عملکرد تریتیکاله (*X Tritico-secale Wittmack*) 111
معصومه مکوندی، عبدالمهدی بخشنده، آیدین خدایی جوقان، علی مشتطی، محمدرضا مرادی تلاوت

تأثیر نحوه کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش کم‌آبی بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و اسانس گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) 125
حسین آزادواری، معصومه نعیمی، عبداللطیف قلی‌زاده، علی نخزری مقدم

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۴-۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 1-14

تحمل به یخزدگی اکوتیپ‌های سیر (*Allium sativum* L.) تحت تاثیر تاریخ کاشت در شرایط کنترل‌شده

صفیه پذیره[۱]، احمد نظامی[۲*]، محمد کافی[۲]، مرتضی گلدانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴

چکیده

سیر گیاهی دارویی و سرمادوست است اما در مورد میزان تحمل به سرمای آن اطلاعات چندانی در دسترس نمی‌باشد. این آزمایش به‌منظور بررسی میزان تحمل اکوتیپ‌های مختلف این گیاه به تنش یخزدگی، در سال ۱۳۹۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار، اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار اکوتیپ سیر (بجنورد، تربت حیدریه، خواف و نیشابور)، هشت دمای یخزدگی (دمای صفر (شاهد)، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲-، ۱۵-، ۱۸- و ۲۱- درجه سانتی‌گراد) و دو تاریخ کاشت (۲۸ شهریور و ۳۰ مهر) بودند. برای این منظور گیاهان کشت شده در گلدان در فضای آزاد جهت خوسرمایی رشد یافته و سپس به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. سه هفته پس از اعمال دماهای یخزدگی درصد بقاء، دمای کشنده ۵۰ درصد گیاهان براساس درصد بقاء (LT_{50su})، ارتفاع، سطح برگ، دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ ($RLAT_{50}$)، وزن خشک و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک ($RDMT_{50}$) تعیین شدند. نتایج نشان داد اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخزدگی بر درصد بقاء، ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک در پایان دوره بازیافت معنی‌دار بود. با وجود این‌که در کاشت اول تنها دو اکوتیپ بجنورد و تربت حیدریه قادر به تحمل دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد بودند اما در کاشت دوم دو اکوتیپ تربت حیدریه و نیشابور در دمای ذکر شده به‌ترتیب متحمل ۴۰ و ۳۳ درصد تلفات گیاهی شدند در حالی‌که اکوتیپ‌های خواف و بجنورد از حداکثر بقاء برخوردار بودند. LT_{50su} در اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه در کاشت اول کمتر از کاشت دوم بود، اما در اکوتیپ‌های نیشابور و خواف، گیاهان کاشت دوم نسبت به کاشت اول LT_{50su} کمتری داشتند. سطح برگ اکوتیپ‌های تربت حیدریه، خواف و نیشابور در کاشت دوم نسبت به کاشت اول افزایش بیشتری داشتند، در حالی‌که اکوتیپ بجنورد در کاشت اول دارای بیشترین سطح برگ بود. در هر دو تاریخ کاشت کمترین $RLAT_{50}$ و $RDMT_{50}$ را اکوتیپ بجنورد به خود اختصاص داد، در صورتی‌که در کاشت اول بیشترین مقدار این دو شاخص در اکوتیپ خواف مشاهده شد. همبستگی بالایی بین $RLAT_{50}$ و $RDMT_{50}$ با LT_{50su} (به‌ترتیب $r=۰/۹۸^{**}$ و $r=۰/۹۰^{**}$) وجود داشت و لذا به نظر می‌رسد که می‌توان از این شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به یخزدگی سیر استفاده کرد. بررسی تحمل به سرمای سیر در شرایط مزرعه، جهت بررسی همبستگی احتمالی بین نتایج آن با شرایط کنترل‌شده سودمند خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، خوسرمایی، درصد بقاء، دمای یخزدگی، سرما

مقدمه

سیر (*Allium sativum* L.) از جمله پرمصرف‌ترین مکمل‌های غذایی است و دارای خواص متعددی از جمله درمان عفونت‌ها و قارچ‌های پوستی، قدرت ضدعفونی‌کنندگی، حشره‌کشی، ضدباکتریایی و کاهش‌دهنده فشارهای جسمی و روحی می‌باشد (Sato and Miyata, 2000; Bayat and Nosrati, 2001). سطح زیر کشت سیر در ایران متغیر بوده و در سال ۱۳۹۱ حدود ۱۰۰۰۰ هکتار با میانگین عملکرد ۹ تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2012). استان خراسان از جمله مناطق مستعد کشت سیر می‌باشد که تاریخ کاشت مرسوم آن از ۱۵ مهر تا ۱۵ آذر است، با وجود این در برخی شرایط در نتیجه کشت آن در بهار عملکرد گیاه کاهش می‌یابد. از سوی دیگر شواهدی در دسترس است که به دلیل کاشت آن در تاریخ کاشت نامناسب در پاییز، گیاهان دچار تنش یخزدگی شده و آسیب دیده‌اند، زیرا با وجود این‌که سیر به سرمای زمستانه تحمل نسبی دارد (Peyvast, 2000)، با این حال سرمای شدید ممکن است سبب بروز صدمات غیر قابل برگشت و حتی مرگ گیاه شود (Mirmohammadi and Tarkesh, 2004).

در تحقیقی که در ساسکاتچوان کانادا انجام شد کشت پاییزه سیر توصیه گردید زیرا کاشت سیر در فصل بهار در مقایسه با کاشت پاییز ۱۶ درصد کاهش عملکرد داشت و عملکرد کل قابل فروش در کشت پاییزه دو برابر کشت بهاره بود (Waterer, 2001). در کاشت پاییزه تجمع ماده خشک گیاهان به دلیل افزایش طول دوره رشد نسبت به

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲ و ۳- به‌ترتیب استاد و دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Nezami@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.60080

کاشت‌های بهاره افزایش می‌یابد (Gusta *et al*., 1982)، به‌علاوه به دلیل استفاده بهتر از نزولات جوی کارایی مصرف آب بهبود می‌یابد (Singh *et al*., 1997). با وجود افزایش عملکرد در کشت پاییزه، در کشت‌های دیر هنگام پاییزه، به دلیل مواجه شدن گیاهچه‌ها با دمای پایین و کاهش سطح برگ در هنگام تشکیل اندام ذخیره‌ای کاهش عملکرد مشاهده می‌شود (Borna *et al*., 2007). کاهش عملکرد سیر با به تعویق افتادن تاریخ کاشت توسط محققان دیگر از جمله Abbasi-Far (2000) و Kilgori *et al*. (2007) نیز گزارش شده است. باید توجه داشت که در کشت پاییزه، گیاهان در معرض انواع تنش‌های زمستانه از جمله تنش سرما قرار می‌گیرند و در همین راستا برخی گزارش‌ها حاکی است که میزان خسارت سرما و یخبندان بر محصولات زراعی کشور بیشتر از خسارت سایر پدیده‌های مخرب جوی و حتی گاهی بیشتر از خسارت آفات و بیماری‌ها می‌باشد (Amir-Ghasemi, 2002). لذا تلاش برای یافتن گیاهانی که مقاومت به تنش یخزدگی داشته باشند، ضروری به نظر می‌رسد (Maleki-Farahani and Chaichi, 2008).

امروزه محققان استفاده از آزمون‌های انجماد کنترل‌شده را به‌عنوان روش مناسبی جهت ارزیابی تحمل به سرمای گیاهان توصیه نموده‌اند (Nezami *et al*., 2007; Ganj-Khanlou *et al*., 2012). هرچند در این آزمایش‌ها به علت وجود برهمکنش‌های فراوان در پاسخ به تنش و سازگاری، شناخت عوامل تحمل امری دشوار است، اما با این حال این‌گونه آزمایش‌ها کمک به‌سزایی به درک راهکارهای تحمل گیاهان به تنش سرما می‌نمایند (Nazari *et al*., 2012). تعیین درصد بقای زمستانه در آزمایش‌های کنترل‌شده به‌عنوان یکی از روش‌های مناسب جهت ارزیابی تحمل به سرما معرفی شده است (Gostin, 2009)، در همین راستا اظهار شده است که LT_{50su}[1]، به‌عنوان معیار مناسبی در آزمون انجماد کنترل شده در هنگام استفاده از طوقه گندم (*Triticum aestivum* L.)، بیشترین همبستگی را با شاخص بقای مزرعه‌ای داشته است (Fowler *et al*., 1981). در بررسی تحمل به یخزدگی مینای چمنی (*Bellis perennis*)، هر چند گیاهان تا دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد را تحمل کردند، اما در دماهای پایین‌تر به کلی از بین رفتند. ضمن این‌که دمای کشنده ۵۰ درصد گیاهان (LT_{50su}) نیز ۱۷- درجه سانتی‌گراد بود (Javad Mousavi *et al*., 2011). خورسندی (Khorsani *et al*., 2015) بر روی تحمل به یخزدگی اکوتیپ‌های سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) مشاهده کرد که تا دمای ۴/۵- درجه سانتی‌گراد درصد بقای گیاهان تقریباً ثابت بود و با کاهش دما در تمام اکوتیپ‌ها روندی کاهشی در درصد بقاء مشاهده شد، ولی این کاهش در اکوتیپ‌های نیشابور، بیرجند و فردوس شدیدتر بود.

توانایی گیاه برای بهبود یافتن پس از مواجهه با دماهای پایین نیز عامل مهمی در ارزیابی‌های تحمل به سرما می‌باشد (Kazemi and Hazbavi, 2009)، که به‌عنوان شاخصی مناسب از تحمل به سرما مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است (Workmaster and Palta, 2006). کیان و همکاران (Qian *et al*., 2001) مشاهده کردند که کاهش دماهای یخزدگی رشد مجدد اندام‌های هوایی در ارقام مختلف بوفالوگراس (*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm) را تحت تأثیر قرار داد و با کاهش دما از ۸- به ۱۲- درجه سانتی‌گراد، بیشترین کاهش رشد مجدد (۶۲ درصد) در رقم UCR-95 مشاهده شد، در حالی‌که رقم 118-91 کاهش کمتری (۶ درصد) نشان داد، به‌طوری‌که این دو رقم با دارا بودن بیشترین و کمترین دمای کاهنده ۵۰ درصد رشد مجدد اندام هوایی (به‌ترتیب ۱۰- و ۲۲- درجه سانتی‌گراد) به‌عنوان حساس‌ترین و مقاوم‌ترین ارقام شناخته شدند.

میزان تحمل گونه‌های گیاهی به تنش سرما در مراحل مختلف رشدی، متفاوت است به‌طوری‌که جلیلیان و همکاران (Jalilian *et al*., 2009) با انجام آزمایشی بر روی ارقام چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در شرایط گلخانه گزارش کردند که چغندرقند در مرحله دو برگی حقیقی نسبت به مرحله کوتیلدونی به دماهای زیر صفر حساس‌تر می‌باشد و درصد خسارت در مرحله کوتیلدونی حدود هفت درصد کمتر از مرحله دو برگی حقیقی بود. محققان همچنین اظهار داشتند که تاریخ کاشت نیز از طریق تأثیر بر مرحله رشدی و اندازه بوته در زمان شروع سرما از جمله عوامل مؤثر در میزان خسارت تنش سرما می‌باشد (Siahmargooei *et al*., 2011).

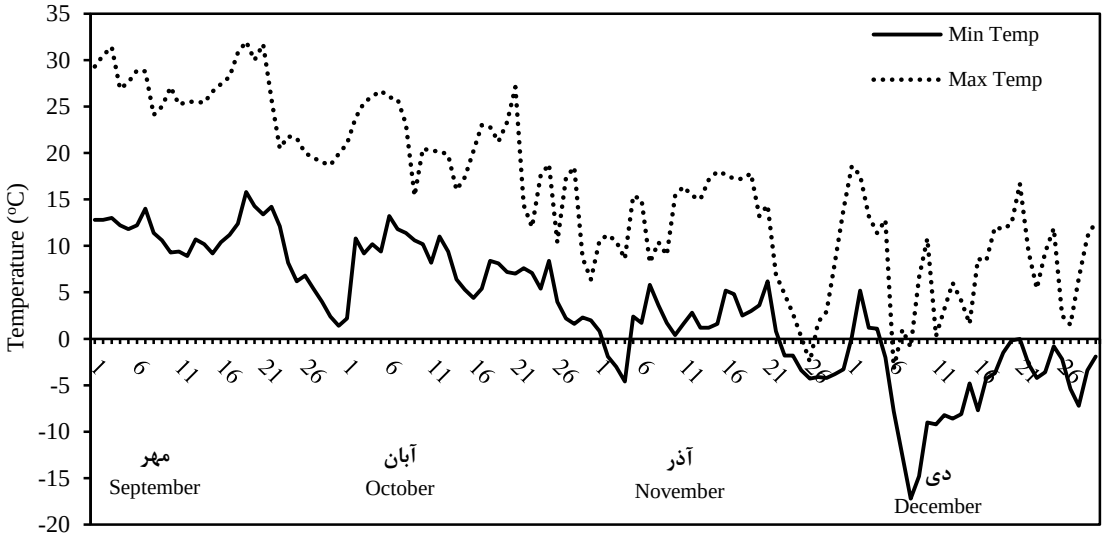
انتظار می‌رود که کشت پاییزه سیر سبب بهبود عملکرد این گیاه شود، لذا با توجه به اطلاعات اندک در ارتباط با تحمل به یخزدگی گیاه سیر، آزمایش حاضر با هدف بررسی تحمل به سرما و شناخت حساس‌ترین مرحله رشدی اکوتیپ‌های سیر به تنش سرما در شرایط کنترل شده اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در پاییز سال ۱۳۹۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. چهار اکوتیپ سیر (بجنورد، تربت حیدریه، خواف و نیشابور) در دو تاریخ ۲۸ شهریور و ۳۰ مهر کشت شده و در معرض هشت تیمار دمایی (صفر (شاهد)، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲-، ۱۵-، ۱۸- و ۲۱- درجه درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. اکوتیپ‌ها در تابستان سال ۱۳۹۱ از چهار منطقه خواف (گرم و خشک)، نیشابور (معتدل)، تربت حیدریه (سرد و نیمه خشک) و بجنورد

1- Lethal Temperature 50 According to the Plant Survival Percentage

(معتدل کوهستانی) جمع‌آوری و تا زمان کاشت در سردخانه با دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در ابتدای آزمایش سیرچه‌ها از پیازهای سالم و مطلوب جدا شده و جهت جلوگیری از پوسیدگی، با قرار دادن در محلول یک در هزار قارچ‌کش کاربندازیم ضدعفونی شدند. سپس پنج سیرچه در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۲ سانتی‌متر در عمق سه سانتی‌متری خاک کشت شدند. خاک گلدان‌ها حاوی نسبت مساوی از شن، خاک برگ و خاک مزرعه بود.



شکل ۱- دماهای حداقل و حداکثر روزانه طی پاییز و زمستان ۱۳۹۱

Figure 1- Daily minimum and maximum temperatures during autumn and winter, 2012

جهت خوسرمایی، گیاهان تا اواخر دی ماه در هوای آزاد و شرایط طبیعی رشد کردند و در این مدت دماهای حداقل و حداکثر روزانه ثبت شدند (شکل ۱). ضمن این‌که در شب‌هایی که دما به کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد می‌رسید گیاهان به شاسی سردی انتقال داده می‌شدند که دمای حداقل آن بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد بود. اول بهمن ماه گیاهان به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. دمای فریزر در شروع آزمایش پنج درجه سانتی‌گراد بود و پس از قرار دادن نمونه‌ها با سرعت دو درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. جهت القاء هستک یخ در گیاهچه‌ها، بر روی گیاهان در دمای ۲- درجه سانتی‌گراد محلول INAB[1] پاشیده شد و پس از آن دما با سرعت دو درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. گیاهان به مدت یک ساعت در تیمارهای دمایی مورد نظر نگه داشته شده و سپس از فریزر خارج شدند. در مرحله بعد و برای کاهش سرعت ذوب یخ در گیاه، نمونه‌ها در طول شب به اتاقک سرد با دمای ۲±۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. سپس نمونه‌های گیاهی به گلخانه منتقل شده و پس از گذشت سه هفته درصد بقاء و بازیافت آن‌ها ارزیابی شد. جهت تعیین درصد بقاء از معادله (۱) استفاده شد (Fowler *et al.*, 1981).

$$SU\% = \frac{A}{B} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن A، B و SU% به‌ترتیب تعداد بوته بعد و قبل از یخزدگی و درصد بقاء می‌باشد. هم‌زمان صفات دیگری نظیر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک آن‌ها پس از ۴۸ ساعت قرار داشتن در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. جهت تعیین درجه حرارت ۵۰ درصد کشندگی براساس درصد بقاء، دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ ($RLAT_{50}$)[2] و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک گیاهان[3] ($RDMT_{50}$) نیز نقطه عطف منحنی تابع لجستیک، به‌عنوان نقطه میانی بین نقاط حداقل و حداکثر مجانب منحنی، در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C1.42 انجام گردید و رسم شکل‌های مربوطه توسط نرم‌افزار EXCEL صورت گرفت. همبستگی داده‌ها نیز به‌وسیله نرم‌افزار MINITAB16 محاسبه شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

با کاهش دما درصد بقاء به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.05$) کاهش یافت، اما این کاهش بسته به اکوتیپ‌ها متفاوت بود. درصد بقای

1- Ice nucleation active bacteria

2- Reduced Leaf Area Temperature 50

3- Reduced Dry Matter Temperature 50

اکوتیپ‌های مورد بررسی تا دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد نسبتاً مشابه با دمای شاهد (صفر درجه سانتی‌گراد) بود، ولی با کاهش بیشتر دما درصد بقای آن‌ها به‌طور متفاوتی کاهش یافت. به‌طوری‌که درصد بقای اکوتیپ بجنورد در دمای ۱۸- سانتی گراد ۴۳/۳ درصد بود، در حالی‌که سایر اکوتیپ‌ها شدیداً خسارت دیده و کاملاً از بین رفتند (جدول ۱).

جدول ۱- اثر متقابل اکوتیپ و دماهای یخزدگی بر درصد بقاء و بازیافت گیاه سیر پس از اعمال تنش یخزدگی در شرایط کنترل شده

Table 1- Interaction of ecotype and freezing temperatures on survival percentage and recovery of garlic plant after freezing in controlled conditions

اکوتیپ Ecotype	تیمار Treatment	درصد بقاء Survival (%)	ارتفاع Height (cm)	سطح برگ Leaf area (cm^2)	وزن خشک Dry weight (mg)
بجنورد Bojnurd	0	96.6	21.8	27.3	164
	-3	96.6	23.4	26.9	149
	-6	93.3	19.9	25.9	134
	-9	86.6	22.2	24.3	128
	-12	93.3	23.7	23.7	126
	-15	77.5	20.1	21.9	124
	-18	43.3	10.8	8.5	58
	-21	00.0	00.0	00.0	0.0
تربت حیدریه Torbat heydariyeh	0	100.0	23.5	31.0	221
	-3	96.6	24.1	31.3	213
	-6	96.6	23.8	29.3	203
	-9	86.6	24.2	27.3	201
	-12	82.2	19.8	24.2	140
	-15	53.8	12.1	16.3	98
	-18	3.33	1.00	0.65	6.0
	-21	0.0	0.0	00.0	0.0
خواف Khaf	0	66.6	21.1	29.2	244
	-3	63.3	18.3	26.2	238
	-6	56.6	15.6	23.8	178
	-9	56.6	14.4	24.8	177
	-12	56.6	16.4	22.5	132
	-15	40.0	8.01	15.7	84
	-18	0.0	0.0	00.0	0.0
	-21	0.0	0.0	0.00	0.0
نیشابور Neyshabur	0	90.0	25.3	30.2	177
	-3	90.0	24.8	32.5	194
	-6	75.0	21.9	23.6	180
	-9	75.0	24.1	21.6	134
	-12	73.3	21.0	17.4	132
	-15	20.0	8.66	7.88	65
	-18	0.0	0.0	0.0	0.0
	-21	0.0	0.0	0.0	0.0
$LSD_{(0.05)}$		9.85	2.38	2.95	22

نتایج مطالعه اثر دماهای یخزدگی بر سه ژنوتیپ نخود (*Cicer aretinum* L.) نیز نشان داد که هر چند با کاهش دما درصد بقای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کاهش یافت ولی این کاهش بسته به ژنوتیپ متفاوت بود، به‌طوری‌که درصد بقای گیاهان تا دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری با دمای شاهد (صفر درجه سانتی‌گراد) نداشت، ولی با کاهش بیشتر دما درصد بقای آن‌ها به شدت کاهش یافت. در دمای ۱۶- درجه بقای ژنوتیپ MCC741 حدود ۳۰ درصد بود در حالی‌که دو ژنوتیپ دیگر تقریباً از بین رفتند (Kykha-Akhar *et al*., 2011).

درصد بقای گیاهان به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.05$) تحت تأثیر اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخزدگی قرار گرفت. در کاشت اول، دو اکوتیپ بجنورد و تربت حیدریه در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای شاهد به‌ترتیب ۲۰ و ۲۶ درصد کاهش بقاء داشتند، در حالی‌که دو اکوتیپ دیگر در این دما نابود شدند. در کاشت دوم، دو اکوتیپ خواف و بجنورد در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد درصد بقای نسبتاً مناسبی داشتند اما در دو اکوتیپ نیشابور و تربت حیدریه به‌ترتیب ۶۰ و ۶۷ درصد گیاهان از بین رفتند (جدول ۲).

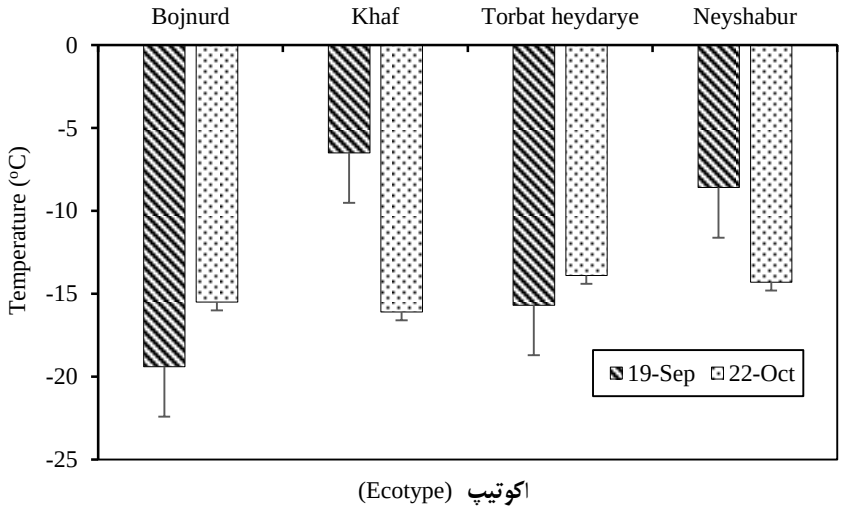
جدول ۲- اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخزدگی بر درصد بقاء و وزن خشک گیاه سیر پس از اعمال تنش یخزدگی تحت شرایط کنترل‌شده

Table 2- Interaction of planting date, ecotype and freezing temperatures on Survival and plant dry weight of garlic plant after freezing in controlled conditions

صفات Parameters	تاریخ کاشت Planting dates	تیمار Treatment	بجنورد Bojnurd	تربت حیدریه Torbat heydariyeh	خواف Khaf	نیشابور Neyshabur
درصد بقاء Survival (%)	۲۸ شهریور 19 September	0	100.0	100.0	33.3	80.0
		-3	100.0	100.0	33.3	80.0
		-6	100.0	100.0	20.0	50.0
		-9	86.6	86.6	13.3	50.0
		-12	93.3	86.6	20.0	46.6
		-15	80.0	74.4	0.0	0.0
		-18	80.0	6.7	0.0	0.0
		-21	0.0	0.0	0.0	0.0
	۳۰ مهر 21 October	0	93.3	100.0	100.0	100.0
		-3	93.3	93.3	93.3	100.0
		-6	86.6	93.3	93.3	100.0
		-9	86.6	86.6	100.0	100.0
		-12	93.3	77.7	93.3	100.0
		-15	75.0	33.3	80.0	40.0
		-18	6.6	0.0	0.0	0.0
		-21	0.0	0.0	0.0	0.0
	$LSD_{(0.05)}$	13.9				
وزن خشک Dry weight (mg)	۲۸ شهریور 19 September	0	154	204	54	124
		-3	118	218	45	123
		-6	121	204	13	134
		-9	118	202	17	88
		-12	118	126	8	6
		-15	115	91	0	0
		-18	104	13	0	0
		-21	0	0	0	0
	۳۰ مهر 21 October	0	174	238	434	229
		-3	179	208	431	265
		-6	147	203	344	227
		-9	138	206	338	180
		-12	135	154	256	169
		-15	133	106	168	130
		-18	11	0	0	0
		-21	0	0	0	0
	$LSD_{(0.05)}$	31.1				

پدیده خوسرمایی به‌عنوان نتیجه تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی باعث افزایش تحمل به یخزدگی می‌شود و ایجاد این مقاومت نیز تابع خوسرمایی کافی می‌باشد که ممکن است در مرحله رشدی خاص توسعه یابد (Xin and Browse, 2000; Smallwood and Bowles, 2002). در زمان اعمال تنش یخزدگی، اغلب گیاهان اکوتیپ‌های خواف و نیشابور در کاشت اول در مرحله چهار برگی و در کاشت دوم در مرحله دو برگی بودند و اکوتیپ بجنورد و تربت حیدریه نیز در هر دو تاریخ کاشت مرحله رشدی پایین‌تری نسبت اکوتیپ‌های به نیشابور و خواف داشتند. لذا به نظر می‌رسد که پدیده خوسرمایی به‌صورت مناسب‌تری در مرحله رشدی پایین در گیاهان ایجاد شده است. در یک بررسی بر روی تحمل به سرمای لاین‌های نخود در ۹ تاریخ کاشت (از ۲۳ اکتبر تا ۶ مارس) در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای مشاهده شد که با تأخیر در تاریخ کاشت از ۲۳ اکتبر به ۵ نوامبر تحمل به سرمای ارقام نخود افزایش یافت (Singh *et al.*, 1989). در بررسی دیگری نیز مشاهده شد که با افزایش سن گیاه در مرحله رشد رویشی حساسیت اکوتیپ‌های نخود سیاه به تنش سرما افزایش می‌یابد به‌طوری‌که تنش در مرحله ۸ برگی (نسبت به ۴ و ۶ برگی) به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش درصد مرگ بوته‌ها شد (Maleki-Farahani and Chaichi, 2008).

اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر LT_{50su} معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود، به‌طوری‌که مقدار آن با تغییر کاشت از شهریور به مهرماه در اکوتیپ‌های خواف و نیشابور به‌ترتیب ۹/۶ و ۶ درجه سانتی‌گراد کاهش و در اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه به‌ترتیب ۳/۹ و ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت (شکل ۲).



شکل ۲- اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر دمای ۵۰ درصد کشندگی براساس درصد بقای گیاهان سیر پس از اعمال یخزدگی در شرایط کنترل شده. خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدد $LSD_{(0.05)}$ می‌باشد.

Figure 2- Interaction of planting date and ecotype on Lethal Temperature 50% according to the survival percentage of garlic after freezing in controlled conditions. Vertical lines on bars represent the amount of $LSD_{(0.05)}$

در یک بررسی بر روی دو رقم زویسیاگراس (*Zoysia* spp.) مشاهده شد که رقم Meyer دمای ۵۰ درصد کشندگی کمتری نسبت به Cavalier داشت. حداکثر تحمل به یخزدگی در Cavalier در نوامبر (۹/۶- درجه سانتی‌گراد) بود در حالی‌که کمترین LT_{50su} در Meyer با (۱۵/۴- درجه سانتی‌گراد) در دسامبر مشاهده شد (Zhang *et al.*, 2009).

در این بررسی بین درصد بقاء و دمای ۵۰ درصد کشندگی بر اساس درصد بقا همبستگی منفی و معنی‌داری ($r=-0/97^{**}$) مشاهده شد (جدول ۳)، که نشان‌دهنده کاهش LT_{50su} با افزایش درصد بقای گیاهان می‌باشد. مطالعه انجام شده بر روی گیاه علف شور (*Salsola kali*) نیز نشان داد که گیاهان با LT_{50su} کمتر دارای درصد بقای بیشتری هستند (Shahab *et al.*, 2003).

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات گیاه سیر تحت تنش یخزدگی در شرایط کنترل‌شده

Table 3- Correlation coefficients among traits of garlic under freezing stress in controlled conditions

	1	2	3	4	5	6	7
۱- درصد بقاء 1- Survival %	**1**						
2- LT_{50su}	-0.97^{**}	1					
۳- ارتفاع 3-Height	0.87^{**}	-0.77^{*}	1				
۴- سطح برگ 4- Leaf area	0.79^{*}	-0.74^{*}	0.87^{**}	1			
5- $RLAT_{50}$	-0.98^{**}	0.98^{**}	-0.83^{**}	-0.77^{*}	1		
۶- وزن خشک 6- Dry weight	0.71^{*}	-0.64^{ns}	0.77^{**}	0.95^{**}	-0.68^{ns}	1	
7- $RDMT_{50}$	-0.93^{**}	0.90^{**}	-0.87^{**}	-0.71^{*}	0.90^{**}	-0.55^{ns}	1

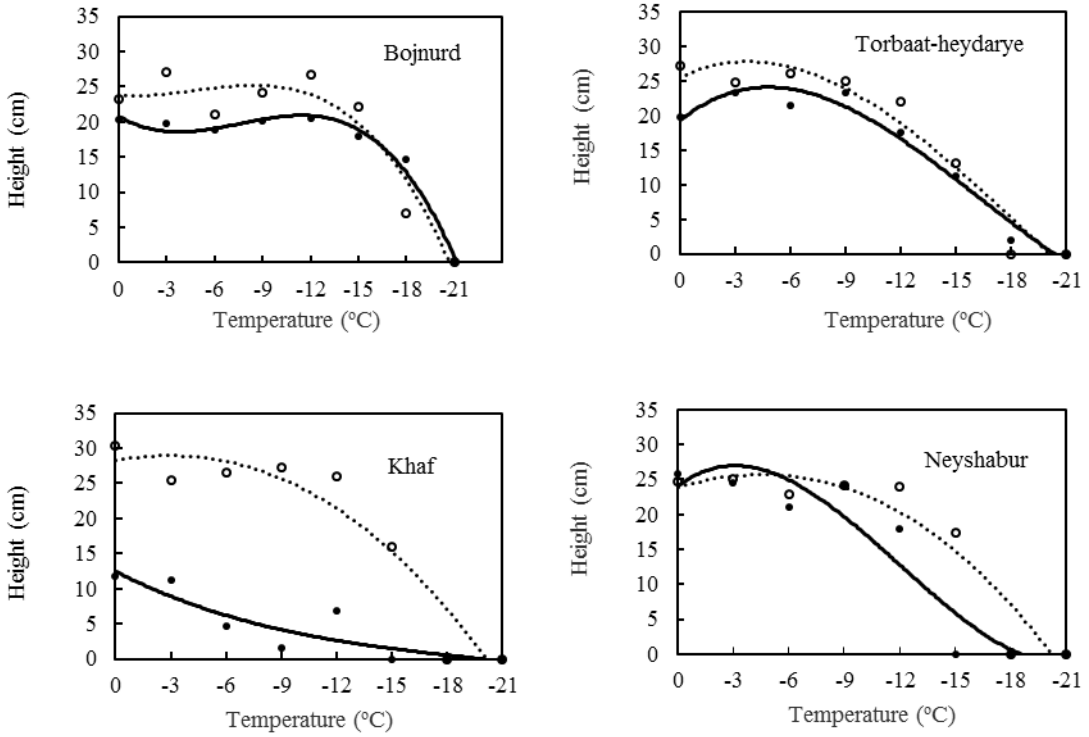
^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد

$^{ns, *}$ and **: Non significant, significant in 5 and 1 % levels, respectively.

ارتفاع اکوتیپ‌های سیر تحت تأثیر دماهای یخزدگی به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.05$) کاهش یافت. هرچند با کاهش دما ارتفاع بوته در هر چهار اکوتیپ کاهش یافت، اما پاسخ آن‌ها نسبت به کاهش دما متفاوت بود، به‌طوری‌که در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای شاهد بیشترین درصد کاهش ارتفاع (به‌ترتیب حدود ۶۶ و ۶۲ درصد) در اکوتیپ‌های نیشابور و خواف مشاهده شد. در حالی‌که در اکوتیپ بجنورد این کاهش در شرایط مشابه حدود ۸ درصد بود (جدول ۱). در بررسی اثر تنش یخزدگی بر گیاه رازیانه

(*Foeniculum vulgare* L.) نیز کاهش دما به ۹- درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش ۵۸ و ۲۵ درصدی ارتفاع گیاه نسبت به شاهد (صفر درجه سانتی‌گراد) به‌ترتیب در اکوتیپ‌های کرمان و گناباد شد (Rashedmohassel *et al*., 2009).

اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخزدگی بر ارتفاع گیاه معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود. در کاشت اول با کاهش دما از صفر به ۱۸- درجه سانتی‌گراد، بیشترین درصد کاهش ارتفاع (۹۰ درصد) در اکوتیپ تربت حیدریه و کمترین آن (۲۸ درصد) در اکوتیپ بجنورد مشاهده شد و اکوتیپ‌های نیشابور و خواف در این دما از بین رفتند، در حالی‌که در گیاهان کاشت دوم با کاهش دما از صفر به دمای مذکور (۱۸- درجه سانتی‌گراد) درصد کاهش در اکوتیپ بجنورد ۷۰ درصد بود، اما در شرایط مشابه سایر اکوتیپ‌ها قادر به تحمل این دما نبودند (شکل ۳). همچنین در تاریخ کاشت دوم در دمای ۱۵- درجه درصد کاهش در اکوتیپ‌های خواف، تربت حیدریه و نیشابور به‌ترتیب ۴۷، ۵۲ و ۳۰ بود اما اکوتیپ بجنورد تنها ۴ درصد کاهش ارتفاع نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد داشت. با توجه به این‌که در هر دو تاریخ کاشت اکوتیپ بجنورد از درصد کاهش کمتری در دماهای پایین‌تر برخوردار بوده است لذا به نظر می‌رسد که این اکوتیپ توانایی بهبود مناسب‌تری را نسبت به سایر اکوتیپ‌ها دارد. این توانایی می‌تواند به زیستگاه رویشی این اکوتیپ نسبت داده شود چرا که بجنورد نسبت به سایر مناطق مورد مطالعه دارای اقلیم سردتری می‌باشد. همچنین از آن‌جایی‌که اکوتیپ بجنورد به دلیل نیاز سرمایی بیشتر، جوانه‌زنی دیرهنگام داشته است این موضوع هم می‌تواند باعث تجمع مواد ذخیره‌ای بیشتری در زمان اعمال تنش و در نتیجه افزایش تحمل گردد.

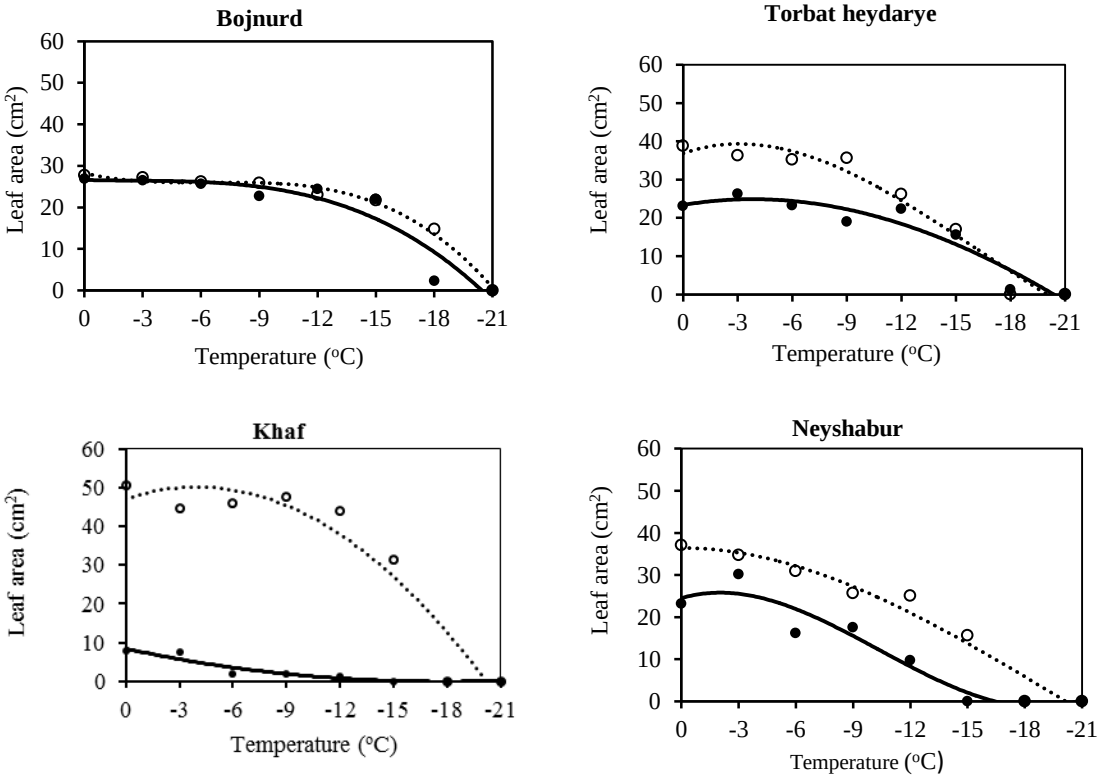


شکل ۳- اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخزدگی بر ارتفاع گیاه سیر سه هفته پس از اعمال تنش یخزدگی در شرایط کنترل‌شده. مقدار حداقل تفاوت معنی‌دار ۳/۳۷ می‌باشد. (● و ○ به‌ترتیب کاشت اول و دوم)

Figure 3- Interaction of planting date, ecotype and freezing temperature on height of garlic three weeks after freezing in controlled conditions. LSD value is 3.37. (●, ○first and second planting date, respectively)

علی‌رغم این‌که با کاهش دماهای یخزدگی سطح برگ هر چهار اکوتیپ سیر کاهش داشت، ولی درصد کاهش آن در هر یک از اکوتیپ‌ها متفاوت بود، به نحوی که اکوتیپ‌های تربت حیدریه، خواف و نیشابور با کاهش دما از صفر به ۱۵- درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب حدود ۴۷، ۴۶ و ۷۴ درصد کاهش سطح برگ داشتند، در حالی‌که این کاهش در اکوتیپ بجنورد حدود ۲۰ درصد بود (جدول ۱). محققان اظهار داشتند که قرار گرفتن گیاه در معرض تنش یخزدگی منجر به کاهش سطح برگ‌ها و حتی ریزش آن‌ها می‌شود که این موضوع احتمالاًبه دلیل توقف شدید متابولیسم برگ و کاهش توانایی آن برای بازیابی مجدد می‌باشد (Dexter, 1993; Amir- Ghasemi, 2002).

اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخزدگی بر سطح برگ معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود، به‌طوری‌که در کاشت اول در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد اکوتیپ‌های تربت حیدریه و بجنورد دارای کمترین کاهش سطح برگ (به‌ترتیب حدود ۳ و ۱۷درصد) نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد بودند، در حالی‌که اکوتیپ‌های خواف و نیشابور بیشترین درصد کاهش (به‌ترتیب ۸۵ و ۵۸ درصد) را داشتند. همچنین در گیاهان کاشت دوم با کاهش دما به ۱۵- درجه سانتی‌گراد، درصد کاهش سطح برگ در اکوتیپ بجنورد نسبت به صفر درجه سانتی‌گراد، ۱۸ درصد بود، اما در شرایط مشابه اکوتیپ‌های تربت حیدریه، خواف و نیشابور به‌ترتیب ۵۶، ۳۸ و ۵۸ درصد کاهش سطح برگ داشتند (شکل ۴).

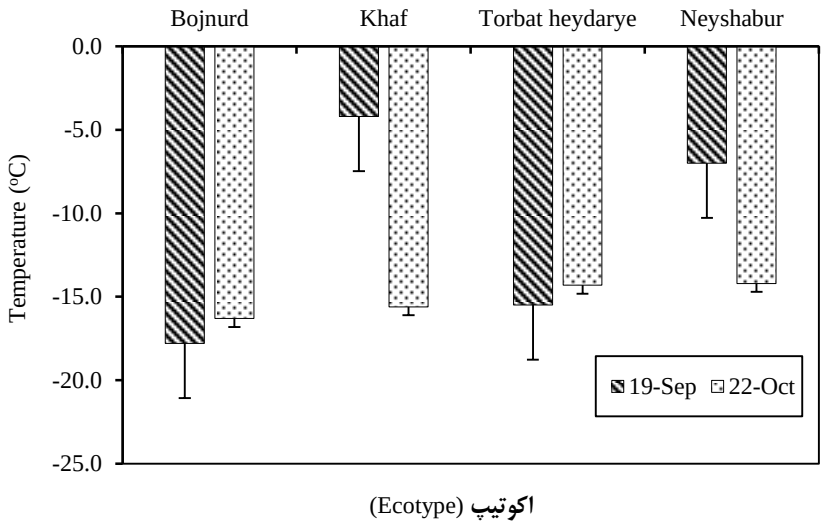


شکل ٤- اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخزدگی بر سطح برگ گیاه سیر سه هفته پس از اعمال تنش یخزدگی در شرایط کنترل‌شده. مقدار حداقل تفاوت معنی‌دار ٤/١٧ می‌باشد (● و ○ به‌ترتیب کاشت اول و دوم)

Figure 4- Interaction of planting date, ecotype and freezing temperature on leaf area from garlic plant after freezing in controlled conditions. LSD value is 4.17. (●, ○first and second planting date, respectively)

در یک مطالعه مشاهده شد که در کاشت اول دو گونه شبدر قرمز (*Trifolium pratense*) و شبدر ایرانی (*T. resupinatum*) در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نسبت به شاهد (صفر درجه سانتی‌گراد) به‌ترتیب ۹۸ و ۴۸ درصد کاهش سطح برگ داشتند، در حالی‌که در کاشت دوم در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد، سطح برگ گونه ایرانی نسبت به دمای شاهد ۱۲ درصد افزایش داشت، اما در گونه‌های قرمز، سفید (*T. repense*) و لاکی (*T. incarnatum*) سطح برگ کاهش داشت (Hazrati, 2014). بررسی‌ها بیانگر آن است که گیاهانی که قبل از وقوع سرما دارای رشد سریع‌تری بودند حساسیت بیشتری به سرما داشته و در نتیجه آسیب بیشتری نیز دیده‌اند (Azizi *et al.*, 2007). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش رشد گیاهان سیر در اکوتیپ‌های خواف و نیشابور و پیشرفت آن‌ها به سمت مراحل رویشی پیشرفته‌تر باعث کاهش تحمل به سرما در گیاهان در کاشت اول شده است (شکل ۴). در بررسی سایر محققان نیز مشاهده شده است که گیاهان در مراحل رشدی پیشرفته نسبت به مراحل اولیه به سرما حساسیت بیشتری داشته‌اند (Anderson and Taliaferro, 1995; Calcagno and Gallo, 1993).

اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت بر دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود، به‌طوری‌که در اکوتیپ‌های خواف و نیشابور با تغییر کاشت از ۲۸ شهریور به۳۰ مهر ماه $RLAT_{50}$ کاهش یافت، اما در اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه با تغییر کاشت اول به دوم $RLAT_{50}$ افزایش داشت (شکل ۵). در این بررسی بین LT_{50su} و سطح برگ همبستگی منفی و معنی‌داری ($r= -۰/۷۴^{*}$) مشاهده شد.



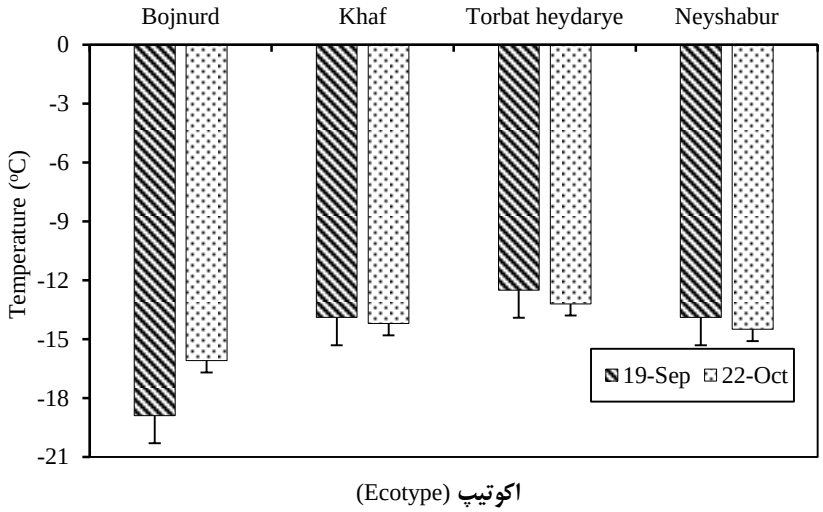
شکل ۵- اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ اکوتیپ‌های سیر تحت دماهای یخزدگی در شرایط کنترل‌شده. خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدد $LSD_{(0.05)}$ می‌باشد.

Figure 5- Interaction of planting date and ecotype on $RLAT_{50}$ of garlic ecotypes after three weeks freezing in controlled conditions. Vertical lines on bars represent the amount of $LSD_{(0.05)}$

نتایج حاصل از اثرات متقابل اکوتیپ و دماهای یخزدگی نشان داد که هر چند با کاهش دما، وزن خشک بوته در پایان دوره بازیافت در هر چهار اکوتیپ سیر کاهش یافت، ولی واکنش اکوتیپ‌ها متفاوت بود، به‌طوری‌که با کاهش دما از صفر به ۱۵- درجه سانتی‌گراد، درصد کاهش وزن خشک در هر یک از اکوتیپ‌های بجنورد، تربت حیدریه، نیشابور و خواف به‌ترتیب حدود ۲۴، ۵۶، ۶۴ و۶۶ درصد بود. همچنین با کاهش دما از صفر به ۱۸- درجه سانتی‌گراد، اکوتیپ‌های تربت حیدریه و بجنورد به‌ترتیب حدود ۹۷ و ۶۵ درصد کاهش وزن خشک داشتند، ولی اکوتیپ‌های نیشابور و خواف در دمای مذکور کاملاً از بین رفتند (جدول ۱). در مطالعه‌ای بر روی نخود مشاهده شد که در ژنوتیپ حساس با کاهش دما از صفر به ۹- درجه سانتی‌گراد وزن خشک گیاه، وزن خشک ساقه و وزن خشک شاخه‌ها به‌ترتیب ۴۱، ۵۵ و ۴۰ درصد کاهش یافت (Moshtaghi *et al*., 2009). در بررسی دیگری نیز مشاهده شد که واکنش ارقام گندم به یخزدگی متفاوت بود و بین ارقام مورد بررسی، رقم بزوستایا رشد مجدد بهتری نسبت به سایر ارقام داشت. برخی محققین، کاهش وزن خشک در دوره بازیافت را ناشی از اثر خسارت یخزدگی بر گیاه و کاهش توانایی رشد مجدد آن دانستند (Azizi *et al*., 2009).

اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخزدگی بر وزن خشک بوته در پایان دوره بازیافت معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود، به‌طوری‌که در گیاهان کاشت اول، با کاهش دما از صفر به ۱۲- درجه سانتی‌گراد وزن خشک بوته در اکوتیپ‌های بجنورد، تربت حیدریه، نیشابور و خواف به‌ترتیب حدود ۲۴، ۳۸، ۲۳ و ۸۵ درصد کاهش داشت. همچنین با کاهش دما از صفر به ۱۵- درجه سانتی‌گراد وزن خشک بوته در اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه به‌ترتیب حدود ۲۶ و ۵۶ درصد کاهش داشت، در حالی‌که اکوتیپ‌های نیشابور و خواف دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد را تحمل نکرده و از بین رفتند. در گیاهان کاشت دوم وزن خشک بوته در دمای ۱۲- درجه در اکوتیپ‌های بجنورد، تربت حیدریه، نیشابور و خواف به‌ترتیب حدود ۲۲، ۳۵، ۲۶ و ۴۱ درصد نسبت به دمای صفر کاهش داشتند (جدول ۲). به نظر می‌رسد چون گیاهان در کاشت دوم دارای برگ‌های جوان‌تری بودند روند تحمل به سرمای بهتری را نشان داده‌اند. همان‌گونه که وانر و جونتیکا (Waner and Junttila, 1999) نیز اظهار داشتند که برگ‌های جوان و مناطق مریستمی برگ‌های جوان نسبت به برگ‌های مسن‌تر در مقابل دماهای پایین متحمل‌تر بودند. بنابراین به نظر می‌رسد جوان‌تر بودن اکوتیپ‌ها در کاشت دوم منجر به رشد مجدد بهتر و افزایش وزن خشک آن‌ها در دوران بازیافت شده است.

اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر $RDMT_50$ نیز معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود و با تأخیر در کاشت، میزان $RDMT_{50}$ در اکوتیپ‌های خواف، نیشابور و تربت حیدریه کاهش یافت، اما در اکوتیپ بجنورد با تغییر کاشت اول به دوم $RDMT_{50}$ افزایش یافت (شکل ۶). همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۹۰^{**}$) بین LT_{50su} و $RDMT_{50}$ مشاهده شد (جدول ۳).



شکل ٦- اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک اکوتیپ‌های سیر تحت تاثیر دماهای یخزدگی در شرایط کنترل‌شده. خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدد $LSD_{(0.05)}$ می‌باشد.

Figure 6- Interaction of planting date and ecotype on Reduced Dry Matter temperature 50 from garlic ecotypes under freezing temperatures in controlled conditions. Vertical lines on bars represent the amount of $LSD_{(0.05)}$

نتیجه‌گیری

تنش یخزدگی سبب کاهش درصد بقاء و بازیافت اکوتیپ‌های سیر شد. با وجود این بسته به تاریخ کاشت و اکوتیپ و شدت تنش یخزدگی صفات مورد مطالعه به‌طور متفاوتی تحت تأثیر قرار گرفت. در کاشت اول اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه درصد بقای بهتری داشتند و اکوتیپ‌های خواف و نیشابور از درصد بقای پایین‌تری برخوردار بودند، در حالی‌که دو اکوتیپ مذکور در کاشت دوم درصد بقای بیشتری نسبت به اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه داشتند. نتایج حاصل از LT_{50su} بیانگر آن بود که اکوتیپ بجنورد در کاشت اول و اکوتیپ خواف در کاشت دوم از تحمل به یخزدگی بیشتری برخوردار بودند. ممکن است عکس‌العمل متفاوت اکوتیپ‌های سیر در مراحل مختلف تنش ناشی از خصوصیات ژنتیکی و منشأ جغرافیایی آن‌ها باشد. از نظر بازیافت (ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک) نیز گیاهان تاریخ کاشت دوم دارای ارتفاع و ماده خشک بیشتری بودند. اکوتیپ بجنورد در کاشت دوم سطح برگ کمتری نسبت به کاشت اول داشت در حالی‌که بقیه اکوتیپ‌ها سطح برگ بیشتری در کاشت دوم داشتند. هرچند که با تغییر تاریخ کاشت، وزن خشک گیاهان کاشت دوم در تمام اکوتیپ‌ها افزایش یافت ولی درصد افزایش وزن خشک در اکوتیپ خواف بیشتر بود. همچنین بر اساس شاخص‌های $RDMT_{50}$ و $RLAT_{50}$ اکوتیپ بجنورد در هر دو تاریخ کاشت متحمل‌ترین اکوتیپ مورد مطالعه و اکوتیپ خواف در کاشت اول حساس‌ترین اکوتیپ تشخیص داده شد.

References

1. Abbasifar, A. 2000. Evaluation of the adaptability and suitable planting date of selected garlic varites in Markazi province. Proceeding of the 2nd Iranian Horticultural Sciences Congress. Karaj, Iran. Pp. 161. (in Persian).
2. Amir-Ghasemi, T. 2002. Freezing in Plants (frost, prediction and protection). Nashre Ayandegan Publications. 123p. (in Persian).
3. Anderson, J. A., and Taliaferro, C. M. 1995. Laboratory freeze tolerance of field grown forage bermudagrass cultivars. Agronomy Journal 87: 1017-1020.
4. Azizi, H., Nezami, A., Nassiri, M., and Khazaie, H. R. 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 5: 109-121. (in Persian with English abstract).
5. Azizi, H., Nezami, A., Nassiri, M., and Khazaie, H. R. 2008. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under field conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 6 (2): 343-352. (in Persian with English abstract).
6. Bayat, F., and Nosrati, A. E. 2001.The effect of harvesting time and drying in natural and artificial conditions on the storability of white garlic population of Hamadan. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 25 (1): 49-63. (in Persian).
7. Borna, F., Omid Beygi, R., and Sefid Kon, F. 2007. Effects of different sowing dates on growth, yield of growth body and essence of medicine plant (*Dracocephalum moldavica* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 23 (3): 307-314. (in Persian).

8. Calcagno, F., and Gallo, G. 1993. Physiological and morphological basis of abiotic stress resistance in chickpea. In breeding for stress Tolerance in Cool- season food legumes (ed. K. B. Singh, R. S. Malhotra, and M.C. Saxena), pp. 293-309. John Wiley and Sons. West Sussex, UK.
9. Dexter, S. T. 1993. Effects of several environmental factors on hardening of plants. Plant Physiology 8:123-139.
10. FAO STAT. 2012. http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx.
11. Fowler, D. B., Gusta, L. V., and Tyler, N. J. 1981. Selection for winter hardiness in wheat. III. Screening methods. Crop Science 21: 896-901.
12. Ganj-Khanlou, E., Moghaddam, M., mohammadi, A., Shakiba, M. R., Gasemi, K., and Uosefi, A. 2012. Assessment of barley genotypes for crown freezing tolerance and some physiological characters. Journal of Seed and Plant Breeding 28-1 (1): 85-100. (in Persian).
13. Gostin, J. N. 2009. Structural modification induce air pollution in *Plantago lancoelata* leaves. Tom. XVI/1. 1:61-65.
14. Gusta, L.V., Fowler, D. B., and Tyler, N. J. 1982. Factors influencing hardening and survival in winter wheat. Li, P.H. and Sakai, A. (Ed.) In: Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. Mechanisms and Crop Implications. Academic Press, London.
15. Hazrati, E. 2014. Evaluation of growth and physiological traits of clover (*Trifolium* spp L.) species affected by freezing stress under controlled conditions. MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
16. Jalilian, A., Mzaheri, D., Tavakkol Afshari, R., Abdollahian-Noghabi, M., Rahimian, H., and Ahmadi, A. 2009. Effect of freezing damage at seedling stage in different sugar beet cultivars. Iranian Journal of Crop Science 10 (4): 400-415. (in Persian with English abstract).
17. Javad Mousavi, M., Nezami, S., Izadi, E., Nezami, A., Yousef Sani, M., and Keykha-Akhar, F. 2011. Evaluation of freezing tolerance of English daisy (*Bellis perennis*) under controlled conditions. Journal of Water and Soil 25 (2): 380-388. (in Persian with English abstract).
18. Kazemi, Sh., and Hazbavi, A. 2009. Cold stress in plants. Mandegar Publication. (in Persian).
19. Keykha-Akhar, F., Bagheri, A., Moshtaghi, N., and Nezami, A. 2011. The effect of gamma radiation on freezing tolerance of chickpea (*Cicer aretinum* L.) at in vitro culture. Journal of Biological Environmental Sciences 5 (14): 63-70.
20. Kilgori, M. J., Magaji, M. D., and Yakubu, A. I. 2007. Effect of plant spacing and date of planting on yield of two garlic (*Allium sativum* L.) cultivars in Sokoto, Nigeria. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science 2 (2): 153-174.
21. Khorsandi, T., Nezami, A., Kafi, M., and Goldani, M. 2015. Effect of late spring cold on Black cumin (*Nigella sativa* L.) plant under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (4): 665-676. (in Persian).
22. Maleki-Farahani, S., and Chaichi, M. R. 2008. Evaluation of freezing stress effect on Black Chiclpea (*Cicer arietinum* L.) ecotypes (Desi type) in greenhouse conditions. Journal of Agronomy Sciences 1 (2): 27- 34. (in Persian with English abstract).
23. Mirmohamadi Meibodi, A., and Tarkeshe Esfahani, C. 2004. Aspects of Physiology and breeding for Cold and Freezing in Crops. Golbon Publication, Isfahan, Iran. 223 pp. (in Persian).
24. Moshtaghi, N., Bagheri, A. R., Nezami, A., and Moshtaghi, S. 2009. Investigation of betaine spray on freezing tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 7: 647-656. (in Persian with English abstract).
25. Nazari, M., Maali Amiri, R., Mehraban, F. H., and Khaneghah, H. Z. 2012. Change in antioxidant responses against oxidative damage in black chickpea following cold acclimation. Russian Journal of Plant Physiology 59 (2): 209-215.
26. Nezami, A., Bagheri, A., Rahimian, H., Kafi, M., and Nasiri Mahallati, M. 2007. Evaluation of freezing tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under controlled conditions. Journal of Agricultural and Natural Research 10 (4) 257-269. (in Persian with English abstract).
27. Nezami, A., Borzooei, A., Jahani, M., Azizi, M., and JavadMosavi, M. 2009. Evaluation of freezing tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars acclimated under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 711-722. (in Persian with English abstract).
28. Peyvast, Gh. 2000. Special Olericulture. First Edition, Agriculture Sciences of press. 384 pp. (in Persian).
29. Qian, Y. L., Ball, S., Tan, Z., Koski, A. J., and Wilhelm, S. J. 2001. Freezing tolerance of six cultivars of Buffalograss. Crop Science 41: 1174-1178.
30. Rashedmohassel, M., Nezami, A., Bagheri, A., Hajmohammadnia, K., and Bannayan, M. 2009. Evaluation of freezing tolerance of two fennel (*Foeniculum vulgar*) ecotypes under controlled conditions. Journal of Herbs Spices and Medicinal Plants 15: 131-140.
31. Sato, T., and Miyata, G. 2000. The nutraceutical benefit, part iv: garlic. Nutrition 16: 787-780.
32. Shahab, M. A., Qian, Y. L., Hughes, H. G., and Koski, A. J. 2003. Cold hardiness of salt grass accessions. Crop Science 43: 2142-2147.

33. Siahmargooei, A., Azizi, G., Nezami, A., and Jahani-Kondori, M. 2011. Evaluation of freezing tolerance of growthed fennel ecotypes in field under controlled conditions. Journal of Horticulture Sciences 25 (1): 64-72. (in Persian).
34. Singh, K. B., Malhotra, R. S., and Saxena, M. C. 1989. Chickpea evaluation for cold tolerance under field conditions. Crop Science 29: 282-285.
35. Singh, K. B., Malhotra, R. S., Saxena, M. C., and Bejia, G. 1997. Superiority of winter sowing over traditional spring sowing of chickpea in the Mediterranean region. Agronomy Journal 89: 112-118.
36. Smallwood, M., and Bowles, D. 2002. Plants in a cold climate. Philos. Philosophical Transactions of Royal Society of London Series B. 367: 831-847.
37. Waner, L. A., and Junttila, O. 1999. Cold-induced freezing tolerance in Arabidopsis. Plant Physiology 120: 391-399.
38. Waterer, D. D. R. 2001.Garlic production on prairies. University of Saskatchewan. HortScience 32: 1102-1104.
39. Workmaster, B. A., and Palta, J. P. 2006. Shifts in bud and leaf hardiness during spring growth and development of the cranberry upright: regrowth potential as an indicator of hardiness. Journal of the American Society for Horticultural Science 131 (3): 327-337.
40. Xin, Z., and Browse, J. 2000. Cold comfort farm: The acclimation of plants to freezing temperature. Plant Cell Environmental 23: 893-902.
41. Zhang, Q., Fry, J., Rajashekar, C., Bremer, D., and Engelke, M. 2009. Membrane Polar Lipid Changes in Zoysiagrass Rhizomes and Their Potential Role in Freezing Tolerance. Journal of American Society for Horticulture Science 134 (3): 322-328.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 1-14

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۴ -۱

Freezing Tolerance of Garlic Ecotypes (*Allium sativum* L.) under Controlled Conditions

S. Pazireh[1], A. Nezami[2*], M. Kafi[2], M. Goldani[3]

Received: 03-11-2016
Accepted: 13-02-2018

Introduction

Garlic is a medicinal and cool season plant, but there is not much information on its level of cold tolerance. Khorasan province is one of the suitable areas for growing garlic. The conventional planting date of garlic in this region takes place between 6 October and 5 December. Available evidences shows that garlic plants have been affected by cold stress due to inappropriate planting date. Some researchers have recommended the use of controlled freezing tests as a suitable approach to assess cold tolerance of plants. In this regard, it is stated that LT_{50su} in wheat had the highest correlation with field survival index when the crown was exposed to cold stress. The present experiment was conducted to study cold tolerance and understanding the most critical growth stages of garlic ecotypes to cold stress under controlled conditions.

Materials and Methods

This experiment was conducted as a factorial based on completely randomized design with four replications in Agricultural Faculty of Ferdowsi University of Mashhad during 2012. The experimental factors included two levels of planting date (18 September and 21 October), garlic ecotype in four levels (Bojnurd, *Torbat-e Heydarieh*, Neyshabur and Khaf) and eight levels of freezing temperature (0, -3, -6, -9, -12, -15, -18 and -21°C). Plants that grown in outside conditions and acclimated to cold temperatures were transferred to the thermogradient freezer to apply cold stress. Survival percentage, Lethal Temperature 50% mortality according to the survival percentage (LT_{50su}), plant height, leaf area, reduced leaf area temperature 50 ($RLAT_{50}$), dry weight and reduced dry matter temperature 50 ($RDMT_{50}$) were determined at three weeks after applying the stress.

Results and Discussion

In the first planting date, the survival of Bojnurd and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes decreased 20% and 26% at -15 °C compared with zero temperature, respectively, while two other ecotypes disappeared at this temperature. In the second planting date, Khaf and Bojnurd ecotypes had a good survival at -15 °C while Neyshabur and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes disappeared 60 and 67% at this temperature, respectively. Since the growth stage has an effect on cold acclimation and stress tolerance, this response can be due to difference in the growth stage of plants. However, this reaction was different depending on the ecotypes. With changing planting date from September to October, LT_{50su} decreased 9.6 and 6 °C in Khaf and Neysabur ecotypes, and increased 3.9 and 2 °C in Bojnurd and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes, respectively. In the first planting date with decreasing temperature from zero to -18 °C, the maximum and minimum decrease in height (90 and 27%) were observed in *Torbat-e Heydarieh* and Bojnurd ecotypes, and Neyshabur and Khaf ecotypes disappeared at this temperature. Also, in the second planting date with decreasing temperature from zero to -15 °C, plant height decreased 47, 52 and 30% in Khaf, *Torbat-e Heydarieh* and Neyshabur ecotypes, respectively. However, plants height of Bojnurd ecotype decreased only 4% under similar conditions. In the first planting date Bojnurd and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes had the lowest decrease in leaf area (about 3 and 17%, respectively) at 12 °C compared with zero temperature, while Khaf and Neyshabur ecotypes assigned to themselves the highest decrease in leaf area (about 85 and 58%, respectively). Also, in the second planting date leaf area of Bojnurd ecotype decreased 18% at -15 °C compared with zero temperature, while in similar conditions *Torbat-e Heydarieh*, Khaf and Neyshabur ecotypes had 56, 38 and 58% decrease in leaf area, respectively. The lowest decrease in dry matter percentage was observed in Neyshabur (23%) and Bojnurd (22%) ecotypes in the first and second planting date, respectively, following decreasing temperature to -12 °C. Studies have shown that plants with faster growth before the frost were more sensitive to cold temperatures and as a result, damaged more. So, it seems that increasing growth of Khaf and Neyshabur ecotypes and their progress towards more advanced growth stages reduced cold tolerance of these plants in the first planting date.

1- MSc student of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2 and 3- Professor and Associate Professor, respectively, Faculty Member of Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Nezami@um.ac.ir)

Conclusions

Freezing stress decreased survival percentage and recovery of garlic ecotypes. In the first planting date Bojnurd and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes had a better survival percentage and Khaf and Neyshabur ecotypes had lower survival percentage while in the second planting date Khaf and Neyshabur ecotypes had higher survival percentage than Bojnurd and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes. Also, results of LT_{50su} indicated that Bojnurd and Khaf ecotypes had higher freezing tolerance in the first and second planting date, respectively. Different reactions of garlic ecotypes at various stages of stress may be due to their genetic characteristics and geographic origin. In terms of recovery (height, leaf area and dry weight), the plants of the second planting date had more height and dry matter, as well. Based on the $RDMT_{50}$ and $RLAT_{50}$, moreover, Bojnurd ecotype in both planting date and Khaf ecotype in the first planting date were recognized as most tolerant and sensitive ecotypes, respectively.

Keywords: Cold stress, Dry weight, Planting date, Recovery, Survival percentage

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۲۹-۱۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 15-29

ارزیابی اثر پرایمینگ و اندازه بذر بر عملکرد زیست‌توده، شاخص کارایی مصرف آب و برخی ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های پیاز خوراکی (*Allium cepa* L.)

موسی ایزدخواه شیشوان[1*]، مهدی تاج بخش شیشوان[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ و اندازه بذر بر عملکرد زیست‌توده،کارایی مصرف آب و برخی ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های پیاز خوراکی، این پژوهش در دو سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل پرایمینگ در چهار سطح (هیدروپرایمینگ با آب مقطر، اسموپرایمینگ با نیترات پتاسیم، پرایمینگ با استفاده از محلول فولامین۲ درصد و شاهد (پرایمینگ نشده)، اندازه بذر در سه سطح (ریز، متوسط و درشت) و اکوتیپ در دو سطح قرمز آذرشهر و زرقان بود. ویژگی‌های عملکرد زیست‌توده، کارایی مصرف آب سوخ و زیست‌توده، محتوای نسبی آب برگ، میزان آب مصرفی، شاخص برداشت، هدایت روزنه‌ای در مرحله سوخ‌دهی و پر شدن سوخ، میزان رشد، درجه باردهی، انرژی دریافتی و مقدار انرژی تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. اثر پرایمینگ و اندازه بذر از نظر تمام ویژگی مورد بررسی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار نشان داد. نتایج نشان داد که پرایمینگ بذر موجب بهبود عملکرد زیست‌توده و ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک گیاه گردید، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده (۱۰۵/۹۸ تن در هکتار)، کارایی مصرف آب سوخ (۴/۹۸ کیلوگرم در متر مکعب)، کارایی مصرف آب زیست‌توده (۱۳/۳۰ کیلوگرم در متر مکعب)، شاخص برداشت (۸۲ درصد) و محتوای نسبی آب برگ (۸۶ درصد) به پرایمینگ با ماده فولامین تعلق داشت و کمترین آن‌ها از تیمار شاهد به‌دست آمد. بیشترین عملکرد زیست‌توده (۱۰۰/۳۳ تن در هکتار)، کارایی مصرف آب سوخ (۴/۸۸ کیلوگرم در متر مکعب)، کارایی مصرف آب زیست‌توده (۱۳/۳۰ کیلوگرم در متر مکعب)، شاخص برداشت (۸۰ درصد) و محتوای نسبی آب برگ (۸۵ درصد) از بذور درشت و کمترین آن‌ها از بذر ریز به‌دست آمد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد پیش‌تیمار بذر با استفاده از ماده فولامین و بذور درشت در مقایسه با سایر روش‌های پیش‌تیمار و اندازه بذر، باعث بهبود ویژگی‌های پیاز خوراکی گردید، لذا استفاده از پیش‌تیمار با ماده فولامین و اندازه درشت بذر جهت کاشت پیاز در شرایط مشابه این آزمایش قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: اسموپرایمینگ، درجه باردهی، فولامین، میزان رشد

مقدمه

پیاز خوراکی (*Allium cepa* L.)، به‌دلیل دارا بودن کربوهیدرات، پروتئین، کلسیم، فسفر، آهن، روی و ویتامین‌های گوناگون اهمیت به‌سزایی در تغذیه انسان دارد، علاوه بر ارزش غذایی، مطالعات علمی فراوان اثر دارویی قابل ملاحظه این گیاه را اثبات نموده‌اند. در درمان بیماری‌های عروق کرونری قلب نیز مؤثر می‌باشد (Martinz *et al.*, 2007). پیاز در دنیا به سه روش: کشت نشاء، کشت پیازچه‌های کوچک و کشت مستقیم بذر در مزرعه، کاشته می‌شود (Izadkhah *et al.*, 2010a). ارزان‌ترین روش استفاده از کشت مستقیم بذر می‌باشد که در بیشتر مناطق دنیا و در مناطقی که طول فصل رشد به اندازه کافی طولانی است و یا محصول زود رس مورد نیاز نمی‌باشد از آن استفاده می‌شود (Izadkhah *et al.*, 2010b). در کشت مستقیم بذر به‌دلیل ریز بودن بذر پیاز، مشکلاتی در جوانه‌زنی و استقرار مناسب گیاهچه در مزرعه به‌دلیل ریز بودن بذر پیاز به‌وجود می‌آید. از طرفی با توجه به این‌که جوانه‌زنی اولین مرحله نمو در گیاه می‌باشد و یکی از مراحل مهم و حساس در چرخه زندگی گیاهان و یک فرآیند کلیدی در سبز شدن گیاهچه می‌باشد (De Villiers *et al.*, 1994). بنابراین استقرار زودتر گیاهچه‌ها به‌دنبال سبز شدن سریع بذور از عوامل موثر برای عملکرد موفق می‌باشد (Peltonen-Sainio *et al.*, 2006). در بوم‌نظام‌های طبیعی جوانه‌زنی نامتقارن یک توده بذری که غالباً در بانک بذری خاک قرار دارد یک مزیت اکولوژیک در راستای حفظ بقاء گیاه تولیدکننده بذر تلقی می‌شود. اما در بوم‌نظام‌های زراعی بر خلاف بوم‌نظام‌های طبیعی جوانه‌زنی یکنواخت، سریع هدف اصلی کشاورز محسوب می‌شود. بنابراین ایجاد سبز یکنواخت و تراکم مورد نظر که در پی جوانه‌زنی مطلوب به‌دست می‌آیند از پیش‌شرط‌های اصلی حصول عملکرد کمی و کیفی بهینه می‌باشند (Tajbakhsh and Ghiyas, 2008).

۱- دانش‌آموخته دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: ms.izadkhah@gmail.com)
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.63311

طی دو دهه گذشته مطالعات قابل‌توجهی بر روی تأثیر تیمارهای پیش از کاشت مختلف بر روی بذرهای مختلف محصولات زراعی، سبزی‌ها و گیاهان دارویی صورت گرفته است و نتایج حاصل از این تحقیقات ارائه راهکارهای مناسب برای بهبود و ارتقای جوانه‌زنی و بنیه بذر و استقرار اولیه گیاهچه در مزرعه در اکثر گیاهان مورد مطالعه بوده است. از جمله این فن‌ها، استفاده از پیش‌تیمار بذر می‌باشد که پیش‌تیمار بذور سبب تسریع فرآیندهای جوانه‌زنی می‌شود. در پرایمینگ بذر مراحل اولیه جوانه‌زنی که سبب تحریک فعالیت جنینی می شود را طی می‌کند (Corbineau and Come, 2006)، ولی به‌دلیل پایین بودن میزان آب جذب شده خروج ریشه‌چه صورت نمی‌گیرد (Kaydan and Yagmur, 2008). در نهایت قبل از ظهور ریشه‌چه بذرها دوباره خشک شده و به رطوبت اولیه برگردانده می‌شوند (Corbineau and Come, 2006).

گیاهان حاصل از پیش‌تیمار در مقایسه با گیاهان شاهد در طی زمان کوتاه‌تری سیستم ریشه‌ای خود را گسترش می‌دهند و با جذب مطلوب‌تر آب و مواد غذایی و تولید بخش‌های سبز فتوسنتزکننده به مرحله اتوتروفی می‌رسند. تحقق چنین شرایطی به لحاظ زیستی و اکولوژیکی موقعیت ویژه‌ای به گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده می‌دهد (Wang *et al*., 2003). به‌طوری که این وضعیت امکان بهره‌برداری مناسب‌تر از نهاده‌های محیطی مثل آب، نور و غیره را به گیاه می‌دهد. همین‌طور در اثر این شرایط ممکن است توانایی ذاتی گیاه جهت برتری در رقابت با سایر گیاهان به لحاظ ویژگی‌های اکولوژیکی حاکم بر این روابط ارتقا یابد (Weaich *et al*., 1992). بگومیلا و همکاران (Boqumila *et al*., 2005) نشان دادند که پیش‌تیمار بذر با استفاده از آب اثر معنی‌داری بر جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) داشت. نتایج تحقیقات سیلوارانی و یومارانی (Selvarani and Umarani, 2011) نیز نشان داد، پرایمنگ بذر پیاز با استفاده از مواد اسموتیک باعث بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی، افزایش درصد گیاهچه‌های طبیعی، کاهش درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی، کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی، بهبود سرعت جوانه‌زنی و افزایش ظرفیت جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد (بذور پرایم نشده) گردید.

یکی دیگر از فاکتورهای موثر بر جوانه‌زنی، اندازه بذر می‌باشد. اندازه بذر از خصوصیات کیفی بذر است که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، محیطی، موقعیت گیاهان مادر در مزرعه، موقعیت بذرها روی گیاه مادر یا روی محور گل آذین و تغذیه گیاه مادر قرار می‌گیرد (Tajbakhsh and Ghiyas, 2008). تاثیر اندازه بذر بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نتایج متفاوتی را نشان داده است. بین اندازه بذر و رشد اولیه گیاهچه‌ها ارتباط مثبتی وجود دارد (Haromoto and Gallandt, 2005). بذور کوچک‌تر نسبت به بذور بزرگ تر نه تنها سریع تریع‌تر جوانه می‌زنند بلکه گیاهچه‌های آن‌ها نیز سریع‌تر سبز می‌شوند (Mut *et al*., 2010). نتایج تحقیقات کایدان و یانگمور (Kaydan and Yagmur, 2008) نشان داد بذرهای درشت‌تر از نظر درصد جوانه‌زنی، رشد گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه نسبت به بذور متوسط و ریز برتری داشت. اگر چه افزایش اندازه بذر باعث به‌وجود آمدن برخی اثرات منفی (مانند کاهش فاصله پراکنش طبیعی و افزایش رجحان غذایی بذر خواران بزرگ) می‌شود، اما اثرات مثبت آن در بحرانی‌ترین مرحله حیات گیاه بسیار قابل توجه است و می‌تواند موفقیت نسبی گیاه در مراحل بعدی چرخه حیات تاثیر به‌سزایی داشته باشد (Arunachalam *et al*., 2003). نتایج مطالعات مازور و فرانس (Mazur and Ferance, 1994) نشان داد گیاهی که از بذر بزرگ‌تر به‌وجود می‌آید سریع‌تر رشد کرده، تجمع ماده خشک قسمت‌های هوایی بیشتر بوده و عملکرد بیشتری در مقایسه با بذرهای کوچک تولید می‌کنند. در پیاز خوراکی بین اندازه بذر، درصد جوانه‌زنی، شاخص ظهور گیاهچه در مزرعه، استقرار اولیه گیاهچه و همچنین عملکردهای کل و اقتصادی همبستگی مثبت وجود دارد (Gamiel *et al*., 1990). هدف از این تحقیق، ارزیابی اثر پرایمینگ بذر پیاز با آب، محلول اسمزی، فولامین و اندازه بذر بر روند رشد و عملکرد تر و خشک سوخ، ژنوتیپ پیاز در شرایط مزرعه و انتخاب پیش‌تیمار و اندازه بذر مناسب بذر بود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه سه روش پرایمینگ (هیدروپرایمینگ با آب مقطر، پرایمنگ با نیترات پتاسیم ۲ درصد، پرایمینگ با اسید آمینه فولامین ۲ درصد و شاهد) و سه اندازه بذر (ریز با قطر ۲/۶، متوسط با قطر ۲/۸ و درشت با قطر ۳ میلی‌متر) و پیاز رقم قرمزآذرشهر و اکوتیپ زرقان در یک آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی (۱۳۹۲-۱۳۹۱) در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی با طول جغرافیایی۴۶ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی مورد بررسی قرار گرفتند. محل آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک (براساس روش آمبرژه)، ارتفاع از سطح دریا ۱۳۴۹/۳ متر، حداکثر دما ۳۹ درجه سانتی‌گراد، حداقل دما ۲۲/۵- درجه سانتی‌گراد و دارای اقلیم با متوسط حدود ۳۲۱/۵ میلی‌متر نزولات آسمانی بود. طبق آزمایش‌های انجام شده توسط بخش تحقیقات خاک و آب مرکز، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح در عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متر، به شرح جدول ۱ گزارش شده است.

بذرهای مورد نیاز از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر کرج تهیه گردید. بذرهای مورد بررسی از طبقه گواهی شده و تولید سال ۱۳۹۰ بودند. برای جداسازی بذرها از الک‌های استاندارد آزمایشگاهی مستطیلی شکل، سوراخ بیضی با نمره ۲/۲ میلی‌متر برای

بذرها ریز، با نمره ۲/۶ میلی‌متر برای بذور متوسط و با نمره سه میلی‌متر برای بذرها درشت استفاده شد و بذرها به سه سطح ریز، متوسط و درشت تفکیک شدند و دامنه تغییرات اندازه بذر تعیین گردید. در مرحله اول، بذرها هر یک از اکوتیپ‌ها به مدت هشت ساعت در دمای اتاق تحت تیمارهای پرایمینگ با محلول‌های نیترات پتاسیم (۲ درصد)، اسید آمینه فولامین (۲درصد) قرار گرفتند (Izadkhah Shishvan, *et al.* 2017) و برای انجام پیش‌تیمار هیدروپرایمینگ بذور به مدت ۴ ساعت در آب مقطر خیسانده و بعد ۳ روز در دسیکاتور با رطوبت نسبی۱۰۰ درصد (رطوبت نسبی آن توسط اسید سولفوریک تنظیم می‌شد)، در دمای اتاق ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند، سپس بذرها بعد از طی این مدت‌ها، ۲۴ ساعت در جریان هوای آزاد قرار داده شدند تا رطوبت سطحی آن‌ها خشک گردد (Izadkhah Shishvan *et al.*, 2017). در ادامه بذرها پرایم شده به همراه تیمار بدون پرایمینگ (شاهد) در تاریخ ۵ فروردین سال‌های ۹۱ و ۹۲ در کرت‌های آزمایش کشت شدند. هر کرت آزمایشی۶ متر مربع (۳×۲ متر) و دارای ۱۰ ردیف کشت بود، در هر کرت تراکم کشت پیازها ۵۰ بوته در مترمربع، فاصله پیازها بر روی ردیف ۱۰سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌های کشت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و عمق کاشت بذرها حدود ۱/۵ سانتی‌متر بود.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک محل آزمایش

Table 1- Some characteristics of soil site experiment

pH	EC ($dS.m^{-1}$)	پتاس قابل جذب K (ava.) p.p.m	فسفر قابل جذب P (ava.) p.p.m	نیتروژن کل Total N %	کربن آلی O.C %	شن Sand %	سیلت Silt %	رسی Clay %	بافت Texture
7.9	1.54	240	10.2	0.5	0.42	21	37	42	Sandy loam

برای اندازه‌گیری حجم آب ورودی به کرت‌ها در هر مرحلهٔ آبیاری از کنتور آب استفاده گردید. بدین صورت که کنتور آب به لوله‌های پلاستیکی متصل و در داخل کرت مورد نظر قرار گرفت و آب ورودی به داخل هر کرت کنترل شد. مقدار آب لازم برای هر کرت در هر بار آبیاری بر حسب حجمی از معادله (۱) محاسبه شد (Khjawinagad, 2004):

$$Vw=[(Fc-Sm)(Bd\times D\times A)] \quad (۱)$$

که در این رابطه، Fc: درصد رطوبت وزنی خاک در ظرفیت زراعی، Sm: درصد وزنی رطوبت خاک هنگام نمونه‌برداری، Bd: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم برسانتی‌متر مکعب)، D: عمق توسعه ریشه (سانتی‌متر)، A: مساحت هر کرت. برداشت سوخ در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، که در حدود ۸۰-۷۰ درصد بوته‌ها از ناحیه گردن (ساقه دروغی) نرم و پلاسیده شده و در نتیجه پهنک‌ها افتاده و ریزش و مرگ آن‌ها آغاز شد، انجام گرفت. حدود ۲۰ روز قبل از برداشت جهت متوقف شدن رشد، کاهش رطوبت پیازها و سهولت در امر برداشت، آبیاری قطع شد. پیازها به مدت ۷ الی ۱۰ روز در مقابل آفتاب نگهداری شد تا خشک شوند.

در طی دورهٔ رشد کارایی مصرف آب سوخ، کارایی مصرف آب زیست‌توده، مقدار آب مصرفی، هدایت روزنه‌ای، میزان انرژی دریافتی، میزان انرژی تولیدی، میزان رشد و محتوای رطوبت نسبی برگ پیاز اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ، در اوایل صبح و اواسط دوره پر شدن سوخ، تعداد ۵ برگ به‌صورت تصادفی انتخاب و قطع شد و بلافاصله در درون کیسه‌های نایلونی قرار داده شد و به سرعت به آزمایشگاه منتقل گردید. ابتدا وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد و سپس به‌منظور تعیین وزن در حالت اشباع، به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق در داخل آب مقطر قرار داده شدند. در پایان به منظور تعیین وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. محتوای آب برگ‌ها با استفاده از معادله (۲) به‌دست آمد (Izadkhah *et al.*, 2010_a).

$$RWC=fW-dW/tW-dW\times 100 \quad (۲)$$

fW: وزن ترگیاه، dW: وزن خشک گیاه وtW: وزن گیاه در حالت اشباع (آماس)

کارایی مصرف آب سوخ، از طریق نسبت عملکرد کل (کیلوگرم) بر مقدار آب مصرفی (متر مکعب) و مقدار کارایی مصرف آب برای زیست‌توده کل، از نسبت زیست‌توده کل تولید شده (کیلوگرم) بر مقدار آب مصرفی (متر مکعب) تعیین شد (Abdzad Gohari *et al.* 2011). هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر[1] (DELTA-T DEVICEC LTD, ENGLAND) در مرحله سوخ‌دهی و همچنین در مرحله بزرگ شدن سوخ در حالت اتصال به گیاه (برگ گیاه بین گیره دستگاه قرار گرفته بود) در یک روز صاف، ساعت ۱۱ اندازه‌گیری شد و پس از ۳۰ ثانیه میزان هدایت روزنه‌ای قرائت شد (Bastam *et al.* 2013). برای اندازه‌گیری میزان انرژی دریافتی توسط گیاه از طول ساعات آفتابی استفاده گردید به‌این‌منظور مجموع ساعات آفتابی روز از زمان شروع تشکیل سوخ تا زمان رسیدگی فیزیولوژیکی یادداشت و به‌عنوان میزان انرژی دریافتی توسط گیاه در نظر گرفته

1- Prometer-AP4

شد (Maskooki *et al.*, 1995). برای اندازه‌گیری میزان انرژی تولیدی سوخ از معادله (۳) استفاده شد (Bhattacharjee *et al.*, 2013):

(۳) (۹×چربی)+ (۴×کربوهیدرات کل)+(۴×پروتئین خام)= اندازه‌گیری میزان انرژی تولیدی سوخ

برای تعیین پروتئین خام از روش کجلدال، چربی سوخ با روش سوکسله استفاده شد (Kebede and Muniye, 2017) و میزان هیدرات‌کربن از اختلاف بین ماده خشک، میزان خاکستر، پروتئین و چربی سوخ بر حسب درصد محاسبه شد (Asaduzzaman, *et al.* 2012).

جهت تعیین عملکرد زیست‌توده در هر کرت پس از حذف دو ردیف کشت از طرفین، پنج گیاه به‌طور تصادفی انتخاب گردید. سپس غلاف، برگ‌ها و سوخ‌ها در داخل آون و در دمای ۷۵ درجهٔ سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت گذاشته شد. بعد از خشک شدن، نمونه‌ها به‌وسیله ترازوی دقیق یک‌صدم توزین گردید. از مجموع وزن غلاف خشک، وزن برگ خشک و وزن سوخ خشک عملکرد زیست‌توده برحسب گرم به‌دست آمد و در نهایت بنا بر تراکم موجود به واحد کیلوگرم در هکتار تعمیم داده شد. شاخص برداشت از تقسیم وزن سوخ بر وزن کل بیوماس محاسبه شد (Kanton *et al.*, 2002). درجه باردهی از مجموع عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت به‌دست آمد (Koocheki and Khalghni, 1996). برای محاسبه میزان رشد پیاز از معادله (۴) استفاده شد (Sarmadnia and Koocheki, 1995).

(۴) تعداد روز از کاست تا برداشت/۱۰۰= میزان رشد

به‌منظور تجزیه مرکب داده‌ها ابتدا آزمون بارتلت جهت اطمینان از متجانس بودن خطای آزمایشات انجام شد. محاسبات F و مقایسات میانگین با فرض تصادفی بودن سال و ثابت بودن تیمارها انجام شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS، رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel و مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس آزمون بارتلت، چون مقدار آماره χ^2 محاسبه شده از χ^2 جدول کمتر بود در نتیجه فرض صفر رد نشد و نشان داد که اختلاف بین واریانس‌ها معنی‌دار نیست و واریانس‌ها یکنواخت هستند. با توجه به این‌که دمای هوا در سال زراعی ۱۳۹۱ در ماه‌های فروردین و اردیبهشت که زمان استقرار گیاهچه‌های پیاز در زمین اصلی بود بسیار نامناسب‌تر از سال زراعی ۱۳۹۲ بود (جدول ۱). مجموع شرایط محیطی (دما، بارندگی و مجموع ساعات آفتابی) در سال دوم آزمایش (۱۳۹۲) نسبت به سال اول (۱۳۹۱) که برای رشد گیاه پیاز در شرایط این آزمایش، مناسب‌تر بود و گیاهچه‌های پیاز رویش مناسبی قبل از سوخ‌دهی داشتند در نتیجه اثر سال در همه صفات مورد بررسی در این آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). برای جلوگیری از تکرار، این موضوع در ارائه نتایج مربوط به صفات مورد بررسی قید نخواهد شد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در طول دورهٔ رشد پیاز خوراکی (سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲)

Table 1- Meteorological information at expremental site in two growing season 2012- 2013

Month	ماه	حداقل دما Temperature Min. (°C)		حداکثر دما Temperature Max. (°C)		میزان بارندگی Total precipitation (mm)		حداقل رطوبت نسبی هوا RH Min. (%)		حداکثر رطوبت نسبی هوا RH Max. (%)		مجموع ساعات آفتابی Total sunny hour	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Mar.	فروردین	4.1	9	16.5	18.5	35.1	38.1	25	31	71	81	205.9	252.9
Apr.	اردیبهشت	6.1	11	19.9	23.6	10.1	34.9	24	30	73	74	251.9	265.3
May.	خرداد	15.6	14.7	28.7	28.3	14.7	23.9	20	21	59	67	319.1	327.7
Jun.	تیر	19	19.3	31.7	32.7	14.3	4.7	22	18	63	54	332.1	379.7
Agu.	مرداد	22.5	19.1	32.7	35.3	5.6	0	15	20	44	56	328.7	356.5
Sep.	شهریور	16	17.2	30.7	31.4	2.1	0	21	15	61	58	332.5	340.2
Oct.	مهر	8.8	11.8	22.7	25.7	5.2	5.7	22	21	59	59	276.5	279.7
Nov.	آبان	4.5	6.5	14.8	16.8	15.3	33.6	43	42	79	80	174.6	182.5
Mean	میانگین	12.07	13.58	24.71	26.64	-	-	25	24	65	68	277.66	2980.6
Total	مجموع	-	-	-	-	92.8	155	-		-	-	2221.3	2384.5

عملکرد زیست‌توده

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله آزمایش نشان داد فاکتورهای سال، پرایمینگ، اندازه بذر و ارقام در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌دار بر زیست‌توده کل گیاه داشتند با این حال هیچ‌کدام از اثرات متقابل (برهم‌کنش) در رابطه با این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین نتایج دو ساله تیمارها نشان داد بیش‌ترین زیست‌توده کل گیاه از بذر درشت و کم‌ترین آن از بذر ریز به‌دست آمد (جدول ۳). این یافته با یافته‌های تیوبایسر (Tuba

Bicer, 2009) برای گیاهان نخود (*Cicer arietinum*) و عدس (*Lens esculinaris*) مطابقت دارد. بر اساس نتایج این محقق زیست‌توده حاصل از بذرهای درشت شش درصد بیشتر از بذرهای ریز بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها نشان داد بیش‌ترین زیست‌توده گیاه از تیمار پرایمینگ با ماده فولامین و کم‌ترین آن از تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۳). این نتیجه با نتایج آزمایش‌های سایر محققان که افزایش عملکرد بیولوژیک گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده نخود با آب و مانیتول ۴ درصد را گزارش کردند، مطابقت دارد (Kaur *et al*., 2005)، پژوهشگران، نشان دادند هیدروپرایمینگ موجب افزایش عملکرد بیولوژیک بذرهای نخود می‌گردد (Foti *et al*., 2002)، اسموپرایمینگ نیز موجب افزایش عملکرد بیولوژیک بذرهای کانولا (*Brassica napus*) گردید (Basra *et al*., 2003). پرایمینگ منجر به افزایش مدت فتوسنتز و میزان سطح فتوسنتزکننده، میزان تثبیت دی‌اکسید کربن و آسمیلات و نهایتاً افزایش بیوماس تولیدی خواهد شد (Chivasa *et al*., 2000). همچنین نتایج مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها نشان داد بیشترین زیست‌توده از رقم قرمزآذرشهر و کمترین آن از اکوتیپ زرقان حاصل شد (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ حاکی از متفاوت بودن توان ژنتیکی ژنوتیپ‌ها در بروز عملکرد زیست‌توده می‌باشد (Moosavezadh, 2006).

میزان آب مصرفی

نتایج حاصل از تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد که فاکتورهای سال، اندازه بذر، پرایمینگ و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد تاثیری معنی‌دار بر میزان آب مصرفی پیاز داشتند و همچنین اثرات متقابل اندازه بذر × پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه بذر × پرایمینگ نشان داد روش‌های مختلف پرایمینگ در هر سه اندازه بذر در مقایسه با تیمار شاهد تأثیری معنی‌دار بر میزان آب مصرفی پیاز داشتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان آب مصرفی به گیاهان حاصل آن از بذور ریز و تیمار شاهد و کم‌ترین آن به گیاهان حاصل از بذور درشت و تیمار پرایمینگ با ماده فولامین تعلق داشت (جدول ۴). به‌طور میانگین حجم آب مصرفی در پرایمینگ با ماده فولامین حدود ۱۱/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد و در بذور درشت حدود ۱۲/۴ درصد نسبت به بذور ریز کاهش یافته است. نتایج تحقیق دوگان و همکاران (Dogan *et al*., 2011) نشان داد که میزان آب مصرفی تاثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب دارد به‌طوری با افزایش حجم آبیاری از کارایی مصرف آب کاسته شد و بالاترین کارایی مصرف آب در پایین‌ترین سطح آبیاری به‌دست آمد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

کارایی مصرف آب سوخ و بیوماس

تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد که تاثیر فاکتورهای سال، اندازه بذر و پیش تیمار در سطح احتمال یک درصد و ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد بر صفات کارایی مصرف آب سوخ و بیوماس معنی‌دار است و همچنین اثرات متقابل اندازه بذر × پرایمینگ × ژنوتیپ در سطح احتمالی یک درصد بر این صفات معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه اثر متقابل اندازه بذر× پرایمینگ × ژنوتیپ نشان داد روش‌های مختلف پرایمینگ در هر سه اندازه بذر ژنوتیپ مورد مطالعه در مقایسه با تیمار شاهد تأثیری معنی‌دار در بهبود کارایی مصرف آب سوخ و بیوماس داشتند به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف آب سوخ و بیوماس در بذور درشت و پرایم با ماده فولامین در ژنوتیپ قرمز آذرشهر و کم‌ترین آن‌ها از بذور ریز و تیمار شاهد از ژنوتیپ زرقان به‌دست آمد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد افزایش کارایی مصرف آب در گیاهان حاصل از بذور پرایمینگ شده نسبت به شاهد ناشی از افزایش هدایت روزنه‌ای و باز و بسته شدن روزنه‌ها، افزایش رشد ریشه‌ها باشد که جذب آب و مواد غذایی را افزایش داده که منجر به افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه می‌شود. نتایج تحقیقات نشان داد که پیش‌تیمار بذر ارقام گندم با کینتین علاوه بر بهبود رشد و عملکرد، ظرفیت فتوسنتزی و کارایی مصرف آب را افزایش داد (Iqbal and Ashraf, 2005). اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر کارآیی مصرف آب به توانایی آن‌ها از نظر جذب رطوبت خاک و گسترش سیستم ریشه و توانایی آن‌ها در اختصاص بیشتر ماده خشک به عملکرد اقتصادی مربوط می‌شود (Angus and Van Herwarden, 2001). گزارش‌های متعددی تنوع ژنتیکی را در بین ارقام گندم (*Triticum*) از نظر کارایی مصرف آب مورد تأکید قرار داده است (Kringwi *et al*., 2004; Iqbal and Ashraf, 2005). این گزارش‌ها در موافقت با نتایج حاصل از این بررسی است.

محتوای نسبی آب برگ

تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد که تاثیر فاکتورهای سال، پیش‌تیمار، اندازه بذر و ژنوتیپ بر محتوای رطوبت نسبی برگ پیاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و همچنین اثرات متقابل اندازه بذر× پرایمینگ در سطح احتمالی یک درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه اثر متقابل اندازه بذر × پرایمینگ نشان داد روش‌های مختلف پرایمینگ در هر سه اندازه بذر در مقایسه با تیمار شاهد تأثیری معنی‌دار بر محتوای رطوبت نسبی برگ داشتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوای رطوبت نسبی برگ در بذور درشت و تیمار پرایمینگ با اسید آمینه فولامین به مقدار ۹۸ درصد و کم‌ترین آن از بذور ریز و تیمار شاهد به مقدار ۶۴ درصد به‌دست آمد (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات گیاهی مورد مطالعه در تیمارهای آزمایش

Table 2- Combined analysis of variance plant characteristics in experiment treatments

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد زیست‌توده Biomass yield	کارایی مصرف آب سوخ Bulb water use efficiency	کارایی مصرف آب زیست‌توده Biomass water use efficiency	آب مصرفی Water consumption	محتوای نسبی آب Relative water content	شاخص برداشت Harvest index	هدایت روزنه‌ای در مرحله سوخ‌دهی Stomatal conductance in bulbing stage	هدایت روزنه‌ای در مرحله پرشدن سوخ Stomatal conductance bulbication stage	میزان رشد Growth ratio	درجه باردهی Productivity score	انرژی دریافتی Received energy	انرژی تولیدی Production energy
سال Year (Y)	1	272.501**	8.6540**	110.232**	372.501**	9.6540**	210.232**	60.955**	252.501**	275.175**	474.767**	89.737**	2212.736**
تکرار (سال) R/Year	4	3.1010	1.08644	5.2880	5.1050	3.08644	6.2880	7.502	3.1010	82.385	148.002	193.828	417.747
اندازه بذر Seed size (SS)	2	99.825**	8.1825*	65.6159**	69.825**	9.1825*	55.6159**	63.595**	89.325**	3.994**	877.277**	524.656**	4665.433**
سال× اندازه بذر Y×SS	2	4.345ns	5.0186ns	1.15995ns	6.345ns	6.0186ns	3.15995ns	28.492 ns	4.045ns	3.994ns	34.398ns	24.357ns	1.73883ns
پرایمینگ Priming (P)	3	88.6816**	7.1570**	93.0927**	98.686**	9.1570**	83.0927**	56.944**	88.6516**	136.967**	398.798**	901.013**	2989.298**
سال×پرایمینگ Y×P	3	4.162ns	1.1895ns	1.1599ns	6.162ns	3.1895ns	4.1599ns	3.754ns	3.662ns	37.300ns	36.351ns	24.3483ns	62.2447ns
اکوتیپ Ecotype (E)	1	88.4863**	9.0828*	9.08128*	98.4863**	8.0828*	11.08128*	4.315*	44.4863**	49.690ns	406.348**	20.0432ns	1004.419**
سال× اکوتیپ E×Y	1	1.0603ns	2.0803ns	1.08025ns	3.0603ns	3.0803ns	5.08025ns	0.806ns	1.0603ns	19.932ns	19.809ns	1910.322ns	27.982ns
اندازه بذر× پرایمینگ P ×S	6	5.0664ns	3.0748ns	5.78164ns	66.066**	15.0748**	56.7816**	0.0227ns	1.0664ns	39.883ns	48.775ns	24.187ns	169.861*
اندازه بذر×اکوتیپ E × SS	2	1.14387ns	4.1562ns	1.21717ns	3.14387ns	6.1562ns	3.21717ns	1.027ns	4.14377ns	52.541ns	32.937ns	22.8074ns	40.1304ns
پرایمینگ × اکوتیپ E × P	3	1.75730ns	2.196ns	1.4306ns	3.75730ns	4.196ns	4.4306ns	2.119ns	3.7583ns	43.460ns	18.990ns	26.661ns	10.3418ns
اندازه بذر× پرایمینگ× اکوتیپ E ×P × SS	6	3.18218ns	8.1298ns	9.80065**	3.18218ns	6.1298ns	3.80065ns	1.81ns	0.18218ns	88.362*	100.717*	22.934ns	179.585*
اندازه بذر×پرایمینگ× اکوتیپ× سال Y × E ×P × SS	6	2.3118ns	1.3803ns	1.60307ns	2.3118ns	4.3803ns	4.60307ns	1.4922ns	1.31187ns	67.1954ns	47.0406ns	24.4842ns	54.334ns
خطای آزمایشی Error	92	7.5796	4.0569	5.9317	6.5096	8.0569	5.9317	70.7942	6.5769	68.300	41.1915	25.3747	64.9871
CV (%)	–	13.7	9. 6	169	11.7	7.6	12.9	17.4	13.7	16.9	11.6	12.2	9.82

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

ns غیر معنی‌دار ، * و **: معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات گیاهی مورد مطالعه در اندازه بذر، پیش‌تیمار و رقم در دو سال زراعی ۹۱ و ۹۲

Table 3- Mean comparison of different plant characteristics of seed size, pre- treatment and cultivar in 2012 and 2013 cropping seasons

تیمار Treatment	عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($ton.ha^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای در مرحله سوخ‌دهی Stomatal conductance in bulbing stage ($mol.m^{-2}.sec^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای در مرحله پر شدن سوخ Stomatal conductance in bulbication stage ($mol.m^{-2}.sec^{-1}$)	درجه باردهی Productivity score	آب مصرفی Water consumption ($m^3.ha^{-1}$)	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	شاخص برداشت Harvest index (%)	میزان رشد Growth ratio
فصل زراعی Cropping season								
2011-2012	77.57b	0.231b	0.206b	253.9b	17354.4a	74b	73	0.553a
2012-2013	86.13a	0.263a	0.237a	294.1a	17158.6b	89a	76	0.542b
اندازه بذر Seed size								
ریز Small	55.09c	0.204c	0.187c	204.1c	19722.45a	75b	72	0.489c
متوسط Medium	90.3b	0.243b	0.217b	210.1b	17969.40b	76b	76	0.532b
درشت Large	100.33a	0.284a	0.256a	407.48a	15903.20c	85a	80	0.589a
پرایمینگ Priming								
شاهد Control	54.75c	0.204d	0.178d	205.12d	19545.20a	74	75	0.491c
هیدروپرایمینگ Hydropriming	88.8bc	0.247c	0.196c	225.15c	17713.8b	73c	77	0.534b
نیترات پتاسیم KNO3	97.84b	0.268b	0.227b	255.25b	17575.3c	79b	79	0.550b
فولامین Folammin	105.98a	0.329a	0.289a	409.56a	15891.9d	86a	82	0.596a
اکوتیپ Ecotype								
قرمز آذرشهر Red Azarshahr	100.40a	0.337a	0.296a	311.5a	18545.7a	91a	81	0.534b
زرقان Zarghan	85.59b	0.289b	0.254b	236.5b	16945.6b	71b	74	0.591a

میانگین‌های، هر ستون و تیمار دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت آماری معنی‌داری نمی‌باشد.

Mean in each column and treatment with the same letter are not Significantly different at 5% of probability level-using Duncan´s Multiple Range Test

جدول ٤- مقایسه میانگین مرکب اثر متقابل اندازه بذر و پرایمینگ بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک پیاز خوراکی در تیمارهای آزمایشی

Table 4- Mean comparison interaction effect of seed size × priming on some physiologycal characteristics of onion in experiment treatments

Seed size	Priming	آب مصرفی Water consumption ($m^3.ha^{-1}$)	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	شاخص برداشت Harvest index (%)	میزان رشد Growth ratio
ریز Small	شاهد Control	18619.43a	64d	69i	0.540f
	هیدروپرایمینگ Hydropriming	18535.52bc	74cd	72gh	0.543cdef
	نیترات پتاسیم KNO_3	18046.88ab	77bcd	76cdef	0.544cdef
	فولامین Folammin	17036.25abc	78bcd	79bc	0.545cde
متوسط Medium	شاهد Control	18480ab	68d	71.02efg	0.542def
	هیدروپرایمینگ Hydropriming	17902.5ab	72cd	74cdef	0.535ef
	نیترات پتاسیم KNO3	17613.75abc	76bcd	78cd	0.550cde
	فولامین Folammin	16891.88abc	80bc	79.8bc	0.566a
درشت Large	شاهد Control	18335.63ab	73cd	72fgh	0.558abc
	هیدروپرایمینگ Hydropriming	17613.75abc	81bc	76c	0.561def
	نیترات پتاسیم KNO_3	17180.63bcd	90bcd	80b	0.556abcd
	فولامین Folammin	15747.5ef	98a	89a	0.598a

میانگین‌های، هر ستون و تیمار دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت آماری معنی‌داری نمی‌باشد.

Mean in each column and treatment with the same letter are not significantly different at 5% of probability level-using Duncan´s Multiple Range Test

در بذور ریز تیمارهای پرایمینگ تاثیری بر محتوی نسبی آب برگ نداشتند و همه تیمارها در یک گروه قرار گرفته‌اند. در بذور درشت و متوسط تیمار فولامین نسبت به بقیه تیمارهای پرایم برتر بوده است. به همین دلیل اثر متقابل معنی‌دار شده است. بر اساس نتایج این پژوهش پرایمینگ بذر با محلول‌های شیمیایی موجب بهبود محتوای رطوبت نسبی برگ در مقایسه با شاهد گردید و همچنین افزایش اندازه بذر باعث افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ گردید که نشانگر نگهداری بیشتر آب در برگ گیاهان حاصل از بذور درشت و پرایمینگ با ماده فولامین می‌باشد. سینگ و اوشا (Singh and Usha, 2003) بیان کردندکه در گندم، گیاهان حاصل از بذور پرایمینگ شده محتوای رطوبتی بالاتری را در مقایسه با بذور تیمار نشده در شرایط نرمال و تنش نشان دادند که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. محتوای نسبی آب برگ معرف بسیار خوبی از وضعیت آبی گیاه است. با اعمال روش‌های پرایمینگ بذر با تیمارهای مختلف سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به بذرهای بدون پرایم گردید. پرایمینگ بذور درشت با ماده فولامین بیشترین محتوای نسبی آب برگ را به خود اختصاص دادند و تیمار بدون پرایم کمترین مقدار محتوی نسبی آب برگ را داشت. محتوی نسبی آب برگ بذور ریز تحت تاثیر تیمارهای پرایمینگ قرار نگرفت. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات بخرد و همکاران (Bekhrad *et al.*, 2016) در گیاه کنجد (*Sesamum indicum*) مطابقت دارد و گزارش نمودند محتوی نسبی آب برگ گیاهان حاصل از بذور پرایم شده بیشتر از بذور بودن پرایم (شاهد) بود. به نظر می‌رسد تیمارهای پرایمینگ بذر با افزایش محتوی نسبی آب برگ سبب حفظ و بهبود رشد گیاه می‌گردند. اختلاف در میزان محتوی نسبی آب گیاه ممکن است نشان‌دهنده تاثیر متفاوت تیمارها برای جذب آب از خاک و یا توانایی کنترل هدرروی آب از طریق روزنه‌ها و یا اختلاف در توانایی گیاه برای تجمع و تنظیم اسمزی برای حفظ تورژنانس بافت و افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی باشد (Singh and Usha, 2003). بین اکوتیپ‌های پیاز از نظر محتوای نسبی آب برگ، اختلاف معنی‌داری

وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین محتوای نسبی آب برگ از اکوتیپ قرمزآذرشهر و کمترین آن از اکوتیپ زرقان به‌دست آمد که کاهشی معادل ۱۰/۳۰ درصد را نشان داد (جدول ۳).

نتایج تحقیق حاضر با نتایج آزمایشات دیگری مبنی بر تفاوت معنی‌دار بین ارقام گندم در میزان محتوی نسبی آب گیاه، در شرایط تنش و غیر تنش (شاهد) مشابهت دارد (Siosemardehi *et al*., 2004). بنابراین محتوای نسبی آب برگ صفتی است که علاوه بر عوامل محیطی، تحت تاثیر ژنوتیپ هم قرار می‌گیرد. به‌نظر می‌رسدکه اکوتیپ قرمز آذرشهر نسبت به اکوتیپ رزقان توانایی بالاتری در حفظ پتانسیل آبی سلول‌ها و محتوای نسبی آب برگ داشته باشد.

شاخص برداشت

نتایج داده‌های حاصل از تجزیه مرکب دو سال آزمایش نشان داد فاکتورهای سال، پرایمینگ و اندازه بذر در سطح یک درصد و ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشتند و همچنین تأثیر متقابل اندازه بذر× پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود. سایر اثرات متقابل موجود در منابع تغییر این پژوهش تأثیر معنی‌داری بر روی شاخص برداشت نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه بذر × پرایمینگ نشان داد روش‌های مختلف پرایمینگ در هر سه اندازه بذر در مقایسه با تیمار شاهد تأثیری معنی‌دار بر شاخص برداشت داشتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین شاخص برداشت به گیاهان حاصل آن از بذور درشت و تیمار پرایمینگ با ماده فولامین و کم‌ترین آن به گیاهان حاصل از بذور ریز و تیمار شاهد تعلق داشت (جدول ۴). در آزمایشات فاروق و همکاران (Farooq *et al*., 2006)، پرایمینگ، شاخص برداشت را افزایش داد. سلیمی و همکاران (Salimi *et al*., 2010) نیز تأثیر مثبت هیدروپرایم بذرهای نخود را بر شاخص برداشت تأییدکرده‌اند. از آنجا که پرایمینگ بذور موجب تسریع مراحل فنولوژی گیاه می‌شود، ممکن است انتظار رود که سوخ مدت زمان بیشتری برای ذخیره مواد پرورده در اختیار داشته باشد و چون وزن هر سوخ در درجه به‌وسیله طول دوره پر شدن سوخ تعیین می‌شود در نتیجه پیش‌تیمار بذور موجب افزایش شاخص برداشت می‌شود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها ازنظر شاخص برداشت اختلاف معنی‌دار وجود دارد به‌طوری‌که بیشترین آن از ژنوتیپ قرمز آذرشهر و کمترین آن از ژنوتیپ زرقان به‌دست آمد که معادل ۸/۹ درصد کاهش داشت. نتایج تحقیقات ایزدخواه و همکاران (Izadkhah *et al*., 2010a) نشان داد در گیاه پیاز بین ارقام پیاز تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص برداشت وجود دارد به‌طوری‌که بیشترین شاخص برداشت برابر ۷۰ درصد از رقم قرمز آذرشهر و کمترین آن برابر ۶۰ درصد از رقم قولی قصه زنجان به‌دست آمد که این با این نتایج این تحقیق مطابقت دارد و همچنین واعظ و همکاران (Vaez *et al*., 2016) گزارش نمودند در گیاه گندم اختلاف معنی‌دار بین ارقام گندم از نظر شاخص برداشت وجود دارد به‌طوری‌که بیشترین شاخص برداشت برابر ۳۸/۸ درصد از رقم دنا وکمترین آن برابر۳۵/۶ درصد از رقم پارسی به‌دست آمد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. شاخص برداشت بیان‌کننده نسبت مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک است. این شاخص یکی از معیارهای مورد استفاده در برآورد کارایی توزیع یا انتقال مواد ساخته شده به محصول اقتصادی در گیاه می‌باشد، این‌گونه می‌توان تفسیر کرد که ظرفیت بیشتر مقصد فیزیولوژیک[1] در ارقام پر محصول می‌تواند باعث تحریک سرعت فتوسنتز بالاتر برگ گردد (Rahmati, 2005). علاوه بر عوامل ژنتیکی، محیطی نظیر آب، کود، تاریخ کاشت، تراکم و غیره می‌توانند شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار دهند (Bahari *et al*., 2005).

هدایت روزنه‌ای

نتایج داده‌های حاصل از تجزیه مرکب دو سال آزمایش نشان داد فاکتورهای سال، اندازه بذر، پیش‌تیمار و اکوتیپ در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر صفات هدایت روزنه‌ای در مرحله سوخ‌دهی و پر شدن سوخ داشتند. همچنین هیچ‌کدام از اثرات متقابل تأثیر معنی‌داری بر این صفات نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین نتایج دو ساله تیمارها نشان داد بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای در مرحله سوخ‌دهی و پر شدن سوخ از بذر درشت و کم‌ترین آن‌ها از بذر ریز به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها نشان داد بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای در مرحله سوخ‌دهی و پر شدن سوخ از تیمار پرایمینگ با ماده فولامین و کم‌ترین آنها از تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج تحقیقات شکاری و همکاران (Shekari *et al*., 2010) نشان داد اختلاف معنی‌دار از نظر هدایت روزنه‌ای بین بذور پرایم شده گیاه لوبیا (*phaseolus vulgaris*) و تیمار شاهد وجود دارد به نحوی که، در بین تیمارها، بیشترین هدایت روزنه‌ای مربوط به گیاهان حاصل از بذور پرایم شده وکمترین هدایت روزنه‌ای هم مربوط به تیمار شاهد بود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. همچنین نتایج مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها نشان داد بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای در مرحله سوخ‌دهی و پر شدن از اکوتیپ قرمزآذرشهر و کمترین آن‌ها از رقم اکوتیپ حاصل شد (جدول ۳). نتایج تحقیق حاضر با نتایج آزمایشات دیگری مبنی بر تفاوت معنی‌دار بین ارقام گندم در هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش و غیر تنش (شاهد) مشابهت دارد (Siosemardehi *et al*., 2004). نتایج این پژوهش نشان داد در تیمارهای آزمایش میزان هدایت روزنه‌ای در مرحله سوخ‌دهی نسبت به مرحله پر شدن سوخ بیشتر بود، این امر احتمالاً به‌دلیل گرم شدن هوا در مرحله پر شدن سوخ و افزایش تقاضای تبخیری اتمسفر و در

1- Sink

نتیجه سازگاری گیاه برای کاهش اندازه دهانه روزنه و به دنبال آن کاهش هدایت رونه‌ای می‌باشد دیگر پژوهشگران نظیر باکون (Bacon, 2004) نیز چنین استدلال‌هایی به‌کار گرفته‌اند. کاهش هدایت روزنه‌ای میزان دسترسی سلول‌های فتوسنتزکننده را به دی‌اکسید کربن به‌عنوان فاکتور اصلی اجزای فتوسنتز کاهش می‌دهد که برآیند آن عدم تأمین متابولیت‌های مورد نیاز برای رشد و نمو سلول‌های گیاهی است (Saremi *et al*., 2014).

میزان رشد گیاه

نتایج داده‌های حاصل از تجزیه مرکب دو سال آزمایش نشان داد فاکتورهای سال، پرایمینگ و اندازه بذر در سطح یک درصد و ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر میزان رشد گیاه داشتند و همچنین تأثیر متقابل اندازه بذر× پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود. سایر اثرات متقابل موجود در منابع تغییر این پژوهش تأثیر معنی‌داری بر روی میزان رشد گیاه نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل اندازه بذر × پرایمینگ نشان داد روش‌های مختلف پرایمینگ در هر سه اندازه بذر در مقایسه با تیمار شاهد تأثیری معنی‌دار بر میزان رشد گیاه داشتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان رشد گیاه به گیاهان حاصل آن از بذور درشت و تیمار پرایمینگ با ماده فولامین به مقدار ۰/۵۹۸ و کم‌ترین آن برابر ۰/۵۰۴ به گیاهان حاصل از بذور ریز و تیمار شاهد تعلق داشت (جدول ۴). نتایج تحقیقات اقبال و اشرف (Iqbal and Ashraf, 2005) نشان داد که پیش‌تیمار بذر گندم با کینتین موجب بهبود میزان رشد گیاه گردید که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. همچنین نتایج مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها نشان داد بیشترین میزان رشد گیاه برابر ۰/۵۸۴ از رقم قرمزآذرشهر و کمترین آن برابر ۰/۵۳۰ از رقم زرقان حاصل شد (جدول ۳). طبق نتایج تحقیقات متعدد، بذرهایی پرایمینگ شده در مقایسه با بذرهای شاهد با سرعت بیش‌تری جوانه می‌زنند، جوانه‌زنی سریع و سبز شدن یکنواخت در مزرعه برای استقرار موفقیت‌آمیز گیاه زراعی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش ضروری است، اما جوانه‌زنی کند و غیریکنواخت به تولید گیاهانی کمتر و کوچک‌تر منجر می‌شود که در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده، آسیب‌پذیری بیشتری دارند؛ همچنین با افزایش طول دوره سبز شدن و طول دوره رشد، موجب استقرار پوشش گیاهی ضعیف در مزرعه و کاهش میزان رشد می‌گردد (Abdolrahmani *et al*., 2007a; Ashraf and Foolad, 2005). مطابق نظر هاولین و همکاران (Havlin *et al*., 1997) تحریک رشد اولیه گیاهچه به کمک روش‌های پرایمینگ بذر به همراه تأمین عناصر غذایی ضروری مورد نیاز برای رشد در اوایل فصل رشد، می‌تواند موجب سبز شدن سریع گیاهچه‌ها و ورود زودتر آن‌ها به مرحله اتوتروف و در نهایت دستیابی سریع‌تر به سطح سبز مطلوب و میزان رشد مناسب گردد.

درجه باردهی

نتایج داده‌های حاصل از تجزیه مرکب دو سال آزمایش نشان داد فاکتورهای سال، اندازه بذر، پیش‌تیمار و ژنوتیپ در سطح احتمالی یک درصد تأثیر معنی‌داری بر درجه باردهی داشتند با این حال هیچ‌کدام از اثرات متقابل تأثیر معنی‌داری بر روی این صفت نداشتند (جدول ۲). بررسی اثر ساده تجزیه دو ساله آزمایش نشان داد که بیش‌ترین درجه باردهی متعلق به بذور درشت است. بذر متوسط و ریز از نظر این صفت اختلافی با هم نداشته و از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۳). همچنین بیش‌ترین مقدار درجه باردهی از تیمار پرایمینگ با ماده فولامین و کم‌ترین آن از تیمار شاهد به‌دست آمد و تیمارهای هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با نیترات پتاسیم از نظر این صفت اختلافی با هم نداشته و از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها نشان داد بیشرین درجه باردهی از ژنوتیپ قرمز آذرشهر حاصل شد (جدول ۳). بر اساس درجه باردهی ژنوتیپ قرمز آذرشهر برتر از زرقان بود. درجه باردهی به‌عنوان کلیدی جهت درک بهتر تولید محصولات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده از آن برای ارزیابی مجموعه پیچیده ای از داده‌ها برای اکثر محصولات زراعی فراهم می‌نماید و اهمیت آن این است که تفسیر واکنش‌های پیچیده گیاه را به‌راحتی امکان‌پذیر می‌سازد (Koocheki and Khalghni, 1996). نتایج تحقیقات عبدالرحمنی (Abdolrahmane, 2014b) نشان داد که تاثیر پرایمینگ بر درجه باردهی گیاه جو (*Hordeum vulgare*) معنی‌دار بود به‌طوری‌که بیشترین میزان درجه باردهی در گیاهان حاصل از بذور پرایم شده وکمترین آن از تیمار شاهد به‌دست آمد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

میزان انرژی دریافتی گیاه

نتایج حاصل از تجزیه مرکب داده‌های مربوط به میزان انرژی دریافتی توسط پیاز نشان از تأثیر معنی‌دار فاکتورهای سال، پرایمینگ، اندازه و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر این صفت داشت. همچنین اثرات متقابل اندازه بذر × پرایمینگ و اندازه بذر × پرایمینگ × ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه اثر متقابل اندازه بذر × پرایمینگ × ژنوتیپ نشان داد روش‌های مختلف پرایمینگ در هر سه اندازه بذر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در مقایسه با تیمار شاهد تأثیری معنی‌دار بر میزان انرژی دریافتی توسط پیاز داشتند به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان انرژی دریافتی در گیاهان حاصل از بذور ریز و تیمار شاهد برابر ۷۲۸/۷۰ ساعت از ژنوتیپ قرمز آذرشهر و کم‌ترین آن برابر ۵۹۸/۰۷ ساعت از گیاهان حاصل از بذور درشت و تیمار پرایمینگ با ماده فولامین در ژنوتیپ زرقان به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین مرکب اثر متقابل اندازه بذر، پرایمینگ و اکوتیپ بر صفات پیاز خوراکی

Table 5- Mean comparison interaction effect of seed size× Priming× cultivar on plant characteristics of onion

اندازه بذر Seed size	پرایمینگ Priming	اکوتیپ Ecotype	کارایی مصرف آب سوخ Bulb water use efficiency ($kg.m^{-3}$)	کارایی مصرف آب زیست‌توده Biomass water use efficiency ($kg.m^{-3}$)	انرژی دریافتی پیاز Plant received energy (h)	انرژی تولیدی سوخ Bulb production energy (kcal/100g)
ریز Small	شاهد Control	آذرشهر Azarshahr	2.28 abc	4.99i	728.70a	42.28 abc
		زرقان Zarghan	1.99def	4.09hi	679.04abcde	41.03hi
	هیدروپرایمینگ Hydro priming	آذرشهر Azarshahr	2.99a	4.54hi	697.71abcd	42.49 abc
		زرقان Zarghan	3.1abc	4.84cdefg	680.66abcde	42.69abc
	نیترات پتاسیم KNO_3	آذرشهر Azarshr	3. 6cdef	4.97ghi	620.67bcde	40.36cdef
		زرقان Zarghan	3.76ab	5.20defgh	694.16abcd	41.16ab
	فولامین Folammin	آذرشهر Azarshahr	3.84abc	6.97cdefg	703.70abc	42.44abc
		زرقان Zarghan	3.94ab	6.77bcdef	644.52abcde	41.54ab
متوسط Medium	شاهد Cont	آذرشهر Azarshahr	2.40cdef	6.74fghi	643.10abcde	43.40cdef
		زرقان Zarghan	2.5def	6.54efgh	709.49ab	43.5def
	هیدروپرایمینگ Hydro priming	آذرشهر Azarshahr	3.04ef	6.89efgh	684.85abcde	43.54ef
		زرقان Zarghan	3.13cdef	6.69cdefg	667.09abcde	43.13cdef
	نیترات پتاسیم KNO_3	آذرشهر Azarshahr	3.71bcdef	6.62bcde	658.33abcde	44.11bcdef
		زرقان Zarghan	3.94abc	6.72bc	609.71de	49.21abc
	فولامین Folammin	آذرشهر Azarshahr	3.99abc	6.99 b	607.82de	50.49abc
		زرقان Zarghan	3.89bcdef	6.82b	724.78a	51.59bcdef
درشت Large	شاهد Cont	آذرشهر Azarshahr	4.03f	7.19efgh	617.05cde	51.83f
		زرقان Zarghan	4.23cdef	7.39bc	624.02bcde	51.93cdef
	هیدروپرایمینگ Hydro priming	آذرشهر Azarshahr	4.47cdef	7.44bc	655.11abcde	51.47cdef
		زرقان Zarghan	4.57abc	7.94bcdef	695.17abcd	52.57abc
	نیترات پتاسیم KNO_3	آذرشهر Azarshahr	4.94bcdef	7.97bcd	643.17accde	52.54bcdef
		زرقان Zargan	4.64bcde	8.07bcde	705.09abc	53.64bcde
	فولامین Folammin	آذرشهر Azarshahr	4.92a	13.07a	661.75abcde	67.92a
		زرقان Zarghan	4.72 bcd	11.97bcd	598.07e	53.82 bcd

میانگین‌های، هر ستون و تیمار دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت آماری معنی‌داری نمی‌باشد.

Mean in each column and treatment with the same letter are not Significantly different at 5% of probability level-using Duncan´s Multiple Range Test.

نتایج این بررسی نشان داد میزان انرژی دریافتی گیاهان حاصل از بذور درشت و پرایمینگ شده با استفاده از ماده فولامین و اکوتیپ زرقان کمتر از میزان انرژی دریافتی گیاهان حاصل از بذور ریز و تیمار شاهد و اکوتیپ قرمز آذرشهر بود به‌عبارت دیگر گیاهان حاصل از بذور درشت و پرایمینگ شده با استفاده از ماده فولامین و اکوتیپ زرقان زودتر از گیاهان حاصل از بذور ریز و تیمار شاهد و اکوتیپ قرمزآذرشهر برداشت شدند. استفاده از میزان انرژی دریافتی برای تعیین زمان برداشت نیز توسط سایر محققین پیشنهاد شده است (Rahemi, 1994).

میزان انرژی تولیدی سوخ

نتایج داده‌های حاصل از تجزیه مرکب دو سال آزمایش نشان داد فاکتورهای سال، اندازه بذر، پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد و ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر میزان انرژی تولیدی توسط سوخ داشتند و همچنین اثرات متقابل اندازه بذر × پرایمینگ و اندازه بذر × پرایمینگ × ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه اثر متقابل اندازه بذر × پرایمینگ × ژنوتیپ نشان داد روش‌های مختلف پرایمینگ در هر سه اندازه بذر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در مقایسه با تیمار شاهد تأثیری معنی‌دار بر میزان انرژی دریافتی داشتند به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان انرژی تولیدی سوخ در گیاهان حاصل از بذور درشت و پرایم با اسید آمینه فولامین برابر ۶۷/۹۲ کیلوکالری در صد گرم سوخ، اکوتیپ قرمز آذرشهر وکم‌ترین آن برابر ۴۱/۰۳ کیلوکالری در صد گرم از گیاهان حاصل از بذور ریز و تیمارشاهد در اکوتیپ زرقان به‌دست آمد (جدول ۵). نتایج تحقیق حاضر با نتایج آزمایشات دیگری مبنی بر تفاوت معنی‌دار بین ارقام پیاز در میزان انرژی تولیدی سوخ مشابهت دارد (Bhattacharjee *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی نشان داد تاثیر روش‌های مختلف پرایمینگ بر عملکرد بیوماس، کارایی مصرف آب و خواص اکوفیزیولوژیک معنی‌دار بود به‌طوری‌که بیشترین مقدار عملکرد بیوماس، کارایی مصرف آب سوخ و بیوماس از پرایمینگ با ماده فولامین و کمترین آن‌ها از تیمار شاهد به‌دست آمد.

در مورد تاثیر اندازه‌های مختلف بذر بر عملکرد بیوماس، کارایی مصرف آب و خواص اکوفیزیولوژیک، ملاحظه شد که با افزایش اندازه بذر عملکرد بیوماس، کارایی مصرف آب سوخ و بیوماس افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین آن‌ها از بذور درشت و کمترین آن‌ها از بذور ریز به‌دست آمد.

نتایج این بررسی نشان داد در بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه اکوتیپ قرمزآذرشهر به دلیل داشتن عملکرد بیوماس، کارایی مصرف آب، شاخص برداشت، محتوای رطوبت نسبی برگ و درجه باردهی بیشتر نسبت با اکوتیپ زرقان برتر بود که این ارجحیت بخشی به‌دلیل پتانسیل ژنتیکی این اکوتیپ و بخش دیگر در اثر پرایمینگ با اسید آمینه فولامین ۲ درصد می‌باشد. در مجموع از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که پرایمینگ بذرهای درشت با استفاده از اسید آمینه فولامین ۲٪ نسبت به سایر روش‌های پرایمینگ و نسبت به سایر اندازه‌های بذر باعث بهبود عملکرد بیوماس، کارایی مصرف آب و خواص اکوفیزیولوژیکی پیاز می‌گردد.

References

1. Abdulrahmani B., Ghassemi, K., Ghassemi-Golezani K., Valizadeh M., and Asl, V. 2007_a. Seed priming and seedling establishment of barley (*Hordium voulgare* L.). Journal of Food, Agriculture and Environment 5: 179-184.
2. Abdulrahmane, B. 2014_b. Evaluation of hydropriming effects on the growth characteristics and yield of different wheat genotypes and variety under dryland condition. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology 1 (4): 91-104. (in Persian with English abstract).
3. Abdzad Gohari1, A., Amiri, E., and Majd Salimi, K. 2011.Yield evaluation and water use efficiency in peanut (*Arachis hypogaea* L.) under different levels of irrigation and nitrogen fertilizer. Journal of Water and Soil 25 (5): 994-1004. (in Persian with English abstract).
4. Angus, J. F., and Van Herwarden, A. F. 2001. Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. Agronomy Journal 93: 290-298.
5. Arunachalam, A., Khan, M. L., and Singh, N. D. 2003. Germination, growth and biomass accumulation as influenced by seed size in *Mesua ferrea* L. Turkish Journal of Botany 27: 343-348.
6. Asaduzzaman, M., Hasan, M. M., and Moniruzzaman, M. 2012. Quality seed production of onion (*Allium cepa* L.): an integrated approach of bulb size and plant spacing. Journal of Agricultural Research 50 (1): 119-128.
7. Ashraf, M., and Foolad, M. R. 2005. Pre-sowing seed treatment-A shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in Agronomy 88: 223 -271.
8. Bacon, M. A. 2004. Water use efficiency in plant biology. Blackwell Science. P. 246.
9. Bahari, M. R., Pahlavani, N., Akbari, P., and Ehsanzadeh, A. 2005. Effects of low iron and copper fertilizer on growth and yield of chickpea under rainfed conditions Aligudarz-AZNA area. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 12: 190-200. (in Persian with English abstract).

10. Basra, M. A. S., Ehsanullah, E. A., Warraich, M. A., and Afzal, I. 2003. Effect of storage on growth and yield of primed canola Brassica napus seeds. International Journal Agriculture and Biology 5: 117-120.
11. Bastam, N., Baninasab, B., and Ghobadi, C. 2013. Improving salt tolerance by exogenous application of salicylic acid in seedlings of pistachio. Plant Growth Regulation 69: 275-284.
12. Bekhrad, H., Mahdavi, B., and Rahimi, A. 2016. Effect of seed priming on growth and some physiological characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) under salinity stress condition caused by alkali salts. Iranian Journal of Field Crops Research 13 (4): 810-822.
13. Bhattacharjee, S., Sultana, A., Sazzad, M. H., Islam, M. A., Ahtashom, M., and Asaduzzaman, M. 2013. Analysis of the proximate composition and energy values of two varieties of onion (*Allium cepa* L.) bulbs of different origin: A comparative study. International Journal of Nutrition and Food Sciences 2 (5): 246-253.
14. Bogumila, B., Bert van, D., and Mieczyslaw, G. 2006. Effect of water supply methods and seed moisture content on germination of China aster (*Callistephus chinensis*) and tomato (*Lycopersicon esculentun* Mill) seed. European Journal of Agronomy 24: 45-51.
15. Chivasa, W., Harris, D., Chiduz, C., Mashingaidze, A. B., and Nymundeza, P. 2000. Determination of optimum On-farm seed priming time for mize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) for use to improve stand establishment in semi arid agriculture. Tanzanian Journal of Agriculture Sciences 3 (2): 103-112.
16. Corbineau, F., and Come, D., 2006. Priming: a technique for improving seed quality. Seed Testing International 132: 38-40.
17. De Villiers, A. J., Van Rooyrn, M. W., Theron, G. K., and Van Deventer, H. A. 1994. Germination of three namaqualand pioneer species, as influenced by salinity, temperature and light. Seed Sciences Technology 22: 427-433.
18. Dogan, E., Copur, O., Kahramanb, A., Kirnak, H., and Guldur, M. E. 2011. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. Agricultural Water Management 98: 1403-1408.
19. Farooq, M. S., Basra, M. A., Tabassum, R., and Afzal, I. 2006. Enhancing the performance of direct seeded fine rice by seed priming. Plant Production Science 4: 446-456.
20. Foti, S., Cosentino, S. L., Patane, C., and Dagosta, G. M. 2002. Effect of osmoconditioning upon seed germination sorghum (*Sorghom bicolor* L.) Moench under low temperatures. Seed Science and Technology 30: 521-533.
21. Gamiel, S., Smittle, D. A., and Mills, H. A. 1990. Onion seed size, weight, and elemental content affect germination and bulb yield. Horticultural Science 25 (5): 522-523.
22. Haromoto, E. R., and Gallandt, E. R. 2005. Brassica cover cropping: II. Effects on growth and interfrence of green bean (*Phaseolus vulgaris*) and red root pigweed (*Amaranthus retroflexus*). Weed Science 53 (5):702-708.
23. Havlin, J. L., Lamond, R. E., and Whitney, D. A. 1997. Improving wheat and grain sorghum profits with starter phosphorus. Better Crops Plant Food 71: 17-19.
24. Iqbal, M., and Ashraf, M. 2005. Presowing seed treatment with cytokinins and its effect on growth, photosynthetic rate, ionic levels and yield of two wheat cultivars differing in salt tolerance. Journal of Integrative Plant Biology 47: 1315-1325.
25. Izadkhah, M., Tajbakhsh, M., Zardoshty, M. R., and Hasanzadeh Goratteph, A. 2010_a. Evaluation effects of different planting systems on water use efficiency, relative water content and some plant growth parameters in onion (*Allium cepa* L.). Notulae Scientia Biologicae 2 (1): 88-93.
26. Izadkhah, M., Tajbakhsh, M., and Amernia. R. 2010_b. Effects of different size and age of transplanting of seedling on marketable and biological yield, harvest index and some qualitative characters of long-day and intermediate-day Onion (*Allium cepa* L.) cultivars. Journal of Horticulturae Science 24 (2): 203-215. (in Persian with English abstract).
27. Izadkhah Shishvan, M., Tajbakhsh Shishvan, M., Pasbaneslam, B., and Jalilian, J. 2017. Response of bulb yield per plant, chlorophyll content and photosynthetic pigments concentration of onion (*Allium cepa* L.) genotypes to priming and seed size. Iranian Journal of Field Crop Science 4 (47): 633-644.
28. Kanton, R. A. L., Abbey, L., Hilla, R. G., Tabil, M. A., and Jan, N. D. 2002. Influence of trasplanting age on yield and yield components of onion (*Allium cepa* L.). Haworth press, page: 27-37.
29. Kaur, S., Gupta, A. K., and Kaur, N. 2005. Seed priming increases crop yield possibly by modulating Enzymes of sucrose metabolism in chickpea Journal of Agronomy and Crop Science 191: 81-87.
30. Kaydan, D., and Yagmur, M. 2008. Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. Journal of Biotechnology 7: 2862-2868.
31. Kebede, D. Muniye, M. 2017. Proximate composition and physicochemical properties of different released and improved onion (*Allium cepa* L.) bulbs varieties. Food Science and Quality Management 67: 1-7.
32. Khjawinagad, G. 2004. Response of three group maturity of soybean (*Glycine max* L.) to different irrigation and plant population densities in second cropping. Ph.D. Thesis. University of Tabriz, Iran. (in Persian with English abstract).
33. Koocheki, A., and Khalghni, J. 1996. Underdtanding crop production. Ferdowsi university press.p 536. (in Persian).

34. Kringwi, F. M., Van Ginkel, M., Terthowan, R., Sears, R. G., Rajaram, S., and Paulsen, G. M. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. Euphytica 135: 361-371.
35. Kumar, A., and Singh, D. P. 1998. Use of physiological indices as screening technique for drought tolerance in oil seed Brassica species. Annals of Botany 81: 413-420.
36. Martinz, M. C., Corzo, N., and Villiamiel, M. 2007. Biological properties of onion and garlic. Trends in Food Science Technology 18 (12): 609-625.
37. Maskooki, A. M., Malekzadegan, F. Zamani, H., and Safa, M. Determination of physicochemical characteristics and best harvesting time of fruits to meet processing purposes. Journal of Food Science Technology 6 (1): 33-43.
38. Mazur, M., and Ferance, P. 1994. The effect of size and shape of seeds on stand emergence in maize. Trnava Slovakia 40: 179-187.
39. Moosavezadh, S. A. 2006. Study genetic diversity Iranian onion landraces using morphological and molecular, ph.D. Thesis. University of Tabriz, Iran. (in Persian with English abstract).
40. Mut, Z., Akay, H., and Nevzat, A. 2010. Effects of seed size and drought stress on germination and seedling growth of some oat genotypes (*Avena sativa* L.) African Journal of Agricultural Research 5 (10): 1101-1107.
41. Peltonen-Sainio, P., Kontturi, M., and Peltonen, J. 2006. Phosphorus seed coating enhancement on erly growth and yield components in oat. Agronomy Journal 98: 206-211.
42. Rahemi, M. 1994. Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables, Book, 260pp. pub. Shiraz University.
43. Rahmati, E. 2005. The effect of the change in density on yield and yield components of hybrid sunflo tank, a Master's thesis of Agriculture, Islamic Azad University of Karaj. (in Persian with English abstract).
44. Salimi, H., Abbasdokht, H., Asghari, H. R., Gholami, A., and Rezvani Moghadam, P. 2010. The effect of priming, Rhizobium and manure fertilizer on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Testis of Master of Science. Sanati Shahrod University. P: 120.
45. Saremi Rad, B., Esfandiari, E. A., Shokrpour, M., Sofalian, O., Avanes, A., and Mousavi S. B. 2014 Cadmium effects on some morphological and physiological parameters in wheat at seedling stage. Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology) 27 (1): 1-11.
46. Sarmadnia, G., and Koocheki, A. 1995. Physiological aspects of dry land farming. Mashad Jahad university publication, pp.424. (in Persian).
47. Selvarani, K., and Umarani, R. 2011. Evaluation of seed priming methods to improve seed vigour of onion (*Allium cepa* L.) cv. aggregatum and carrot (*Daucus carota*). Journal of Agricultural Technology 7 (3): 857-867.
48. Shekari, F., Pakmehr, A., Rastgoo, M., Vazayefi, M., and Goreishi Nasab, M. J. 2010. Effect of salicylic acid seed priming on some physiological traits of cow pea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit at podding stage. Journal of Crop Ecophysiology 4 (13): 13-29.
49. Singh, B., and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation 39: 137-141.
50. Siosemardehi, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Ebrahimzadeh, H. 2004. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. Iranian Journal of Agricultural Sciences 34 (4): 93-106. (in Persian with English Abstract).
51. Tajbakhsh, M., and Ghiyas, M. 2008. Seed ecology. Urmia Jahad university publication. pp.389. (in Persian).
52. Tuba Bicer, B. 2009. The effect of seed size on yield and yield components of chickpea and lentil. African Journal Biotechnology 8 (8): 1482-1487.
53. Vaez, A., Khorgamy, A., and Sayyahfar, M. 2016. The effect of nitroxin biofertilizer and foliar applicatin of micronutrients time consumption on yield and yield components of new wheat cultivars under khorramabad climatic conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 13 (4): 797-809.
54. Wang, H. Y., Chen, C. L., and Sung, J. M. 2003. Both warm water soaking and soild priming treatments enhance anti - oxidation of bitter gourd seeds germinated at sub optimal temperature. Seed Science Technology 31: 47-56.
55. Weaich, K., Bristow, K. L., and Cass, A. 1992. Preemergent shoot growth of maize under different drying conditions. Soil Science Society of America Journal 56: 1272-1278.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 15-29

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۲۹-۱۵

Evaluation the Effects of Priming and Seed size on Biomass yield, Water Use Efficiency and some Ecophysiological Characteristics of Onion (*Allium cepa* L.)

M. Izadkhah shishvan[1*], M. Tajbakhsh shishvan[2]

Received: 15-03-2017
Accepted: 20-05-2019

Introduction

Seed priming is widely used for enhancing seedling performance by improving the rate and uniformity of germination and decreasing seed sensitivity to external factors. Several types of seed priming are commonly used: Hydro-priming, halo-priming, osmo-priming, thermo-priming, solid matrix-priming and bio-priming. Seed size is another factor that can affect seed germination and seedling establishment. Seed size is an important physical indicator of seed quality that affects vegetative growth and is frequently related to yield, market grade factors and harvest efficiency. The effect of seed size on germination and following seedling emergence has been investigated by many researchers in various crop species/ cultivar. In the present study, impacts of different pre-sowing treatments and seed size on biomass yield, water use efficiency and some ecophysiological characteristics of onion ecotypes in an ecological agroecosystem were investigated.

Materials and Methods

In order to investigate the effects of different pre-sowing treatments and seed size on biomass yield, water use efficiency and some ecophysiological characteristics of onion ecotypes, a field experiment was conducted in 2012-2013 cropping season at Agricultural and Natural Resources Research Center of East Azarbayjan, Iran. This experiment was a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications. Experiment treatments included priming at four levels: hydropriming, osmopriming (in %2 KNO_3), priming with flamin amino acid (in 2%) and control (without priming). Seed samples of the two cultivars were sieved by slotted screens and placed into three groups of seed diameter size, including small, medium, and large and ecotype at two levels, including Red Azarshahr and Zarghan. Following characteristics such as biomass yield, bulb water use efficiency**,** biomass water use efficiency, water consumption, relative water content, stomatal conductance in bulbing and bulb filling stage**,** productivity score, harvest index**,** growth ratio**,** bulb production energy value, plant received energy value, bulb production energy value were measured.

Results and Discussion

Results of field experiment showed that seed priming improved the biomass yield and ecophysiological characteristics of onion of both ecotypes. The highest biomass yield (105.98 $ton.ha^{-1}$), bulb water use efficiency (4.98 $kg.m^3$), biomass water use efficiency (13.30 $kg.m^3$), harvest index (%82) and relative water content (%86) belonged to priming with flamin amino acid, respectively and the lowest were achieved from control plants. Mean comparison indicated that the higher values of biomass yield, bulb water use efficiency, biomass water use efficiency, harvest index and relative water content were obtained from large seed size 100.33 ($ton.ha^{-1}$), 4.88 and 13.30 $kg.m^3$, 80 and 85 percent, respectively and the lower level were found for small seed size. Based on the results there were significant differences between ecotypes in all studied traits. Moreover, mean comparison showed that the highest amount of biomass yield, bulb water use efficiency, biomass water use efficiency, harvest index and relative water content were obtained from Red Azarshahr ecotype 100.40 ($ton.ha^{-1}$), 4.80 and 13.15 $kg.m^3$, 81 and 91 percent, respectively and the lowest of it were found to Zarghan.

Conclusions

According to the results mentioned above, seed priming treatments improved biomass yield and ecophysiological characteristics as compared to the unprimed. Among different treatments, seed priming with folammin amino acid 2% was more effective than the potassium nitrite 2% and hydropriming. Large seed size significantly increased the biological yield and ecophysiological characteristics. Accordingly, the importance of seed priming and seed grading were obvious in this study, so seed priming with flamin amino acid 2% and large seed size should be used for onion planting in order to ensure high biomass yield, and to improve ecophysiological characteristics of onion. Therefore, priming with flamin amino acid 2% and large seed are recommended for onion cultivation under the same environmental conditions with the experiment.

Keywords: Folammin, Growth ratio, Osmopriming, Productivity score

1- Former Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University
2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University
(*- Corresponding Author Email: ms.izadkhah@gmail.com)

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۴۷-۳۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 31-47

اثر نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد آن‌ها

خالد عبدالله‌پور[۱]، علیرضا کوچکی[۲*]، مهدی نصیری محلاتی[۲]، سرور خرم‌دل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر نسبت‌های مختلف کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) در سری‌های افزایشی، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارها شامل کشت مخلوط افزایشی ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله، ۵۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله، ۷۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله، ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله و کشت خالص هر دو گونه بودند. نتایج نشان داد که تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد کپسول/غلاف در بوته، تعداد دانه در کپسول/غلاف، عملکرد تک بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی برای هر دو گونه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط قرار گرفت. با افزایش نسبت سیاه‌دانه در کشت مخلوط، عملکرد دانه و بیولوژیکی آن افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین (۲۹۱ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه از کشت خالص و کمترین (۱۰۷ کیلوگرم در هکتار) میزان آن در تیمار ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله حاصل شد. همچنین تیمار کشت خالص شنبلیله دارای بالاترین (۶۵۵ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه بود. در کلیه نسبت‌های مخلوط LER بالاتر از یک بود و تیمار ۷۵٪ سیاه‌دانه + ۱۰۰٪ شنبلیله با LER=۱/۲۴ در بالاترین سطح قرار گرفت که این امر نشان‌دهنده افزایش کارایی و سودمندی زراعی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط دو گیاه شنبلیله و سیاه‌دانه نسبت به کشت خالص آن‌ها است.

واژه‌های کلیدی: سری‌های افزایشی، گیاه دارویی، نسبت برابری زمین

مقدمه

بوم‌نظام‌های‌کشاورزی، نظام‌های مدیریت شده‌ای هستند که در آن‌ها فرآیندهای زیستی کنترل‌شده و تحت تاثیر شرایط اقتصادی و اجتماعی دست‌کاری می‌شوند (Vafabakhsh *et al*., 2007). این امر سبب شده تا نظام‌های کشاورزی رایج به گونه‌ای طراحی شوند که تنوع گیاهی موجود را به حداقل ممکن کاهش داده و باعث بی‌ثباتی عملکرد اقتصادی، افزایش خسارت آفات و بیماری‌ها و کاهش کیفیت محصولات زراعی به‌ویژه گیاهان دارویی شوند (Geno and Geno, 2001). راهبردهایی که هدف آن‌ها مقابله با این مشکلات فزاینده می‌باشند به‌عنوان «کشاورزی پایدار» شناخته می‌شود (Ghorbani *et al*., 2010) که یکی از رهیافت‌های رسیدن به آن، افزایش تنوع در بوم‌نظام‌های کشاورزی با به‌کارگیری مخلـوطی از گیاهان، از گونه‌ها و ارقام مختلف می‌باشد (Tsubo *et al*., 2001).

نظام‌های مخلوط از طریق افـزایش تنوع و پیچیدگی منجر به افزایش پایداری و ثبات در نظام‌های زراعی می‌شوند (Zhang and Li, 2003). از جمله مزایای این سیستم کشت می‌توان به افزایش عملکرد در واحد سطح (Boyie jalloh, 2009) افزایش بهره‌وری منابع (Singh and Manna, 2001; Banik *et al*., 2006) ثبات عملکرد در شرایط نامطلوب (Aggarwal *et al*., 1992) افزایش کمیت و کیفیت محصول (Putnam and Allen, 1992) افزایش کارایی مصرف آب (Mazaheri, 1993; Morris *et al*., 1990) و کاهش مصرف سموم و آفت‌کش‌ها و جلوگیری از فرسایش خاک (Jahan, 2004; Koocheki *et al*., 1995) اشاره کرد. در این بین کشت مخلوط بقولات با غیربقولات یکی از روش‌های بالقوه کاهش مصرف نهاده‌ها و به‌ویژه کود نیتروژنه است (Fujita *et al*., 1992).

شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) گیاهی دارویی از تیره لگومینوز، که قادر به تثبیت زیستی نیتروژن می‌باشد. این گیاه در درمان بیماری‌هایی مانند دیابت، یبوست، سوءهاضمه و کاهش کلسترول خون کاربرد دارد (Yadav *et al*., 2004).

سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) نیز گیاهی دارویی از تیره آلاله می‌باشد و دانه‌های این گیاه ۳۰ تا۴۰ درصد روغن، ۲۰ درصد پروتئین و ۰/۵ تا ۱/۵ درصد اسانس دارد (D'Antuono *et al*., 2002). از خواص دارویی آن می‌توان به خاصیت ضد سرطانی، ضد حساسیت، ضد دیابت، ضد فشار خون، بیماری‌های قلبی عروقی، خاصیت ضد

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک، گروه اگروتکنولـوژی، دانشـکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.71335

فسادپذیری، ضد باکتریایی و خاصیت افزایش ایمنی بدن در برابر بیماری‌ها اشاره نمود (Ghosheh *et al*., 1999; Zargari, 1997).

تحقیقات زیادی بر روی گیاه دارویی سیاه‌دانه در شرایط کشت مخلوط با گیاهان مختلف انجام شده است. نتایج این تحقیقات نشان داده است که کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد در واحد سطح (Rostaei *et al*., 2014; Naghipoor Dehkordi *et al*., 2015). بهره‌مندی از نیتروژن تثبیت‌شده توسط گیاهان لگومینوز و کنترل علف‌هرز (Rezvani Moghaddam *et al*., 2009; Koocheki *et al*., 2014). افزایش اسانس (Gholinezhad and Rezaei- Chiyaneh, 2014; Rezaei-Chiyaneh and Gholinezhad, 2015). علاوه بر این موارد، نسبت برابری زمین در تمام آزمایش‌های انجام شده بالاتر از یک گزارش شده که این امر نشان از سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌باشد. محققان زیادی با به‌کارگیری گیاهان تیره لگومینوز در کشت مخلوط به تاثیر مثبت آن بر عملکرد کمی و کیفی گونه‌های همراه اذعان نموده‌اند (Rezvani Moghaddam *et al*., 2009; Koocheki *et al*., 2014).

در کشت مخلوط شنبلیله با باقلا (*Vicia faba* L.) و عدس (*Lens culinaris* L.) مشاهده شد که تراکم گل جالیز (*Orobanche ramose* L.) به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. محققان دلیل این امر را به ترشح مواد آللوپاتیک از ریشه گیاه شنبلیله و تأثیر آن بر گل جالیز ذکر کردند (Fernandez-Aparicio *et al*., 2008). در بررسی کشت مخلوط رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) و شنبلیله، کشت مخلوط این دو گیاه موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه‌ی رازیانه در مقایسه با تک‌کشتی شد (Kumar *et al*., 2006).

قلی‌نژاد و رضایی چیانه (Gholinezhad and Rezaei-Chiyaneh, 2014) در کشت مخلوط شنبلیله و شوید (*Anethum graveolens* L.) گزارش کردند که بیشترین درصد اسانس (۳/۱ درصد) از کشت مخلوط نواری دو ردیف شوید + دو ردیف شنبلیله و کمترین مقدار آن (۲ درصد) از کشت خالص حاصل شد. رضازاده و همکاران (Rezazadeh *et al*., 2015) بیان کردند که افزایش تراکم در گیاه شنبلیله در مخلوط با گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) باعث دفع هرچه بهتر آفات و در نتیجه کاهش وزن میوه آفت‌زده گردید، در حالی‌که نسبت‌های پایین کشت مخلوط با شنبلیله باعث کاهش وزن میوه بیمار شد. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel *et al*., 2016) در کشت مخلوط زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) با لوبیا عنوان کردند که در نسبت‌های مخلوط تراکم و وزن خشک علف هرز نسبت به کشت خالص هرکدام از گونه‌ها کاهش معنی‌داری را نشان داد. در بررسی دیگری روی کشت مخلوط زنیان و شنبلیله گزارش شد اگرچه نسبت برابری زمین بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، با این‌وجود تمام نسبت‌های کشت مخلوط زنیان و شنبلیله نسبت برابری زمین بزرگ‌تر از یک داشتند که نشان‌دهنده‌ی برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی است (Mirhashemi *et al*., 2009).

امروزه مشخص شده مقدار عملکرد سیستم کشت مخلوط می‌تواند بیش از تک‌کشتی باشد، ولی این بدان معنا نیست که کاشت هر نوع گیاهانی به‌صورت مخلوط الزاماً باعث اضافه محصول می‌شود، بلکه می‌بایست با انتخاب نوع گیاهان در ترکیب جدید مخلوط میزان رقابت آن‌ها را کاهش داده و در نتیجه امکان استفاده بهتر از از عوامل محیطی رشد را فراهم نمود (Mazaheri, 1987). به‌طور کلی، بررسی عملکرد در سیستم‌های کشت مخلوط در گرو انتخاب گیاهان سازگار و واجد صفات مناسب برای ایجاد حداقل رقابت و حداکثر همیاری و به‌کارگیری عملیات زراعی مناسب (از جمله تراکم کاشت و نسبت اختلاط) می‌باشد (Nachigera *et al*., 2008).

با توجه به این‌که تولید گیاهان دارویی ارگانیک که عاری از هرگونه مواد شیمیایی باشد تضمین‌کننده سلامت و ایمنی محصولات و داروهای تولید شده از آن‌ها می‌باشد، کشت مخلوط گیاهان دارویی با سایر گیاهان می‌تواند از طریق کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در این راستا مؤثر باشد (Koocheki *et al*., 2014). همچنین از آن‌جایی‌که تراکم در واحد سطح از جمله عواملی است که توان رقابتی گیاهان در کشت مخلوط را در جذب نور، آب و مواد غذایی تحت تأثیر قرار می‌دهد و موجب افزایش سودمندی کشت مخلوط می‌گردد (Bigonah *et al*., 2014)، این آزمایش نیز با هدف تعیین بهترین نسبت کشت مخلوط افزایشی شنبلیله و سیاه‌دانه در مقایسه با کشت خالص، در شرایط آب و هوایی مشهد طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا، ۹۸۵ متر) اجرا شد. خصوصیات فیزیکی و شمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و شش تیمار در زمینی به ابعاد ۱۴×۲۱ متر انجام شد. تیمارها شامل ۱۰۰٪ شنبلیله + ۲۵٪ سیاه‌دانه، ۱۰۰٪ شنبلیله + ۵۰٪ سیاه‌دانه، ۱۰۰٪ شنبلیله + ۷۵٪ سیاه‌دانه و ۱۰۰٪ شنبلیله + ۱۰۰٪ سیاه‌دانه بر اساس سری‌های افزایشی و کشت خالص هر دو گیاه بود.

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

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	فسفر قابل دسترس Available P (ppm)	پتاسیم قابل دسترس Available K (ppm)
لوم سیلتی	7.7	1.71	0.068	0.68	47.3	355

عملیات آماده‌سازی زمین به‌منظور خرد کردن کلوخه‌ها، خرد کردن گیاهان موجود و مخلوط کردن آن‌ها با خاک، اصلاح بستر بذر و از بین بردن علف‌های هرز شامل دیسک، لولر و فاروئر در اوایل اردیبهشت ماه انجام شد. سپس کرت‌هایی به طول ۴ متر و عرض ۳ متر ایجاد شد که هرکرت شامل ۶ ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. فاصله بین کرت‌ها یک پشته نکاشت و فاصله بین بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. بذر مورد استفاده از باغ اکولوژیک گیاهان دارویی و معطر مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی تهیه شد.

عملیات کاشت هر دو گونه هم‌زمان در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ماه و به روش خشکه‌کاری با ایجاد شیارهایی در طرفین پشته انجام شد. تراکم مورد نظر برای سیاه‌دانه ۲۰۰ بوته در متر مربع (Rezvani Moghaddam and Ahmadzadeh Motlagh, 2007) و برای شنبلیله ۴۰ بوته در متر مربع (Seghat Aleslami and Amadi Bonakdar, 2010)در نظر گرفته شد. به‌منظور تسهیل در سبز شدن بلافاصله پس از کاشت اولین آبیاری و در دو هفته اول با فاصله پنج روز و سپس تا پایان فصل رشد به فاصله هر هفت روز یک‌بار انجام شد. شنبلیله و سیاه‌دانه به‌ترتیب در تاریخ ۵ و ۱۰ خرداد ماه در مرحله ۶-۴ برگی برای رسیدن به تراکم مطلوب و با توجه به تیمارهای اعمال شده به صورت دستی تنک شد.

در طول فصل رشد از هیچ نوع کود و سموم شیمیایی استفاده نشد. کنترل علف‌های هرز پس از اولین آبیاری به‌صورت دستی انجام گرفت و با توجه به این‌که سیاه‌دانه از رقابت ضعیفی با علف‌های هرز برخوردار است این امر تا پایان فصل رشد بر حسب ضرورت انجام شد. در پایان فصل رشد، قبل از برداشت نهایی برای سیاه‌دانه در تاریخ ۲۵ مرداد و شنبلیله نیز در تاریخ ۱۰ شهریور ماه از هر واحد آزمایشی تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی برای تعیین اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد کپسول/غلاف پر در بوته، تعداد دانه در کپسول/غلاف، وزن هزار دانه و شاخص برداشت، برداشت شد.

عملیات برداشت نهایی برای محاسبه عملکرد دانه و بیولوژیکی (بر حسب گرم بر متر مربع)، از نیمه دیگر کرت پس از حذف دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی‌متر از انتهای هر ردیف به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، برای سیاه‌دانه و شنبلیله به‌ترتیب در تاریخ ۲۵ مرداد ماه و ۱۰ شهریور ماه از سطحی معادل ۳ متر مربع انجام گرفت.

برای تجزیه و تحلیل کارایی سیستم مخلوط از نسبت برابری زمین که بیانگر میزان زمین لازم برای تک‌کشتی دو گونه را در مقایسه با کشت مخلوط آن‌ها می‌باشد از معادله (۱) استفاده گردید (Mazaheri, 1993):

$$LER= RY_1+RY_2 \quad (۱)$$

که در این معادله، RY: عملکرد نسبی (عملکرد گونه‌های اول و دوم در مخلوط نسبت به تک‌کشتی) می‌باشد.

تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای Minitab 17 و Excel صورت گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

صفات مربوط به سیاه‌دانه

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین، اجزای عملکرد، عملکرد و شاخص برداشت سیاه‌دانه تحت تأثیر کشت مخلوط ردیفی با شنبلیله به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نسبت‌های مختلف کاشت با شنبلیله بر کلیه صفات مورد بررسی سیاه‌دانه به‌جز وزن هزار دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد شاخه جانبی در هر بوته (۵/۳۳ شاخه در بوته) و کمترین (۳/۳۳ شاخه در بوته) سیاه‌دانه به‌ترتیب از کشت خالص سیاه‌دانه و تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ سیاه‌دانه + ۱۰۰٪ به‌دست آمد (جدول ۳). بین کشت خالص و تیمارهای کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری از نظر آماری ملاحظه شد و همچنین بین نسبت‌های کشت مخلوط فقط تیمارهای ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله و ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۳). به نظر می‌رسد علت کاهش تعداد شاخه جانبی سیاه‌دانه در نسبت‌های کشت مخلوط، احتمالاً به دلیل بیشتر بودن ارتفاع گیاه شنبلیله و افزایش تعداد شاخه جانبی آن می‌باشد که باعث شده این گیاه در رقابت بین گونه‌ای، به‌جای تعداد شاخه جانبی بیشتر، بر ارتفاع خود بیفزاید تا از توان رقابتی بهتری برای رشد بهره ببرد. این نتایج با مطالعات سایر محققان نیز مطابقت دارد (Alizadeh *et al*., 2010; Mosapour *et al*., 2015).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات کمی سیاه‌دانه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با شنبلیله

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) on quantitative traits of black cumin in different intercropping ratios with fenugreek

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد شاخه جانبی Number of Branches per plant	تعداد کپسول در بوته Number of Follicle per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seed follicle	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد تک بوته Seed yield per plant	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	0.392	0.322ns	4.13ns	0.015 ns	0.0001ns	153.1 ns	9477ns	6.15ns
نسبت کشت مخلوط Intercropping ratio	4	1.75*	24.51**	327.6**	0.005ns	0.0015**	19871.4**	178781**	7.30 ns
خطا Error	8	0.010	0.278	24.73	0.008	0.0001	144.0	4448	6.48 ns
ضریب تغییرات CV (%)	-	12.7	11.9	12.1	4.6	7.8	7. 5	12.2	8.2

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

ns and **: Non significant and significant at p≤0.05, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با شنبلیله بر صفات کمی گیاه سیاه‌دانه

Table 3- Means comparisons for the effect of different intercropping ratios with fenugreek on quantitative traits of black cumin

نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	تعداد شاخه جانبی Number of Branches per plant	تعداد کپسول در بوته Number of follicle per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seed per follicle	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد تک بوته Seed yield (g.plant^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (kg.ha^{-1})
کشت خالص Monoculture	5.33 a*	13.8 a	30.87c	2.07	0.146 a	291 a	888 a
100% F + B %25	4.33 b	10.87b	56.93 a	2.06	0.148 a	73 d	241 d
100% F + B %50	4.13 bc	9.47c	44.87 b	2.04	0.123 b	122 c	401 c
100% F + B %75	3.67 bc	8.07d	38.87 bc	2.03	0.119 b	178 b	554 b
100% F + B %100	3.33 c	6.27e	33.20 c	1.96	0.092 c	184 b	634 b

F و B: به‌ترتیب نشان‌دهنده شنبلیله و سیاه‌دانه می‌باشند.

F and B: are fenugreek black cumin, respectively.

* میانگین‌های بدون حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد هستند.

* Means without different letters in each column are significantly different based on LSD at 5% probability level.

بیشترین تعداد کپسول در بوته (۱۳/۸ عدد) و کمترین آن (۶/۲۷ عدد) به‌ترتیب از نسبت‌های کشت خالص و تیمار ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله حاصل شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد دلیل بالاتر بودن تعداد کپسول در بوته برای کشت خالص، عدم رقابت بین گونه‌ای باشد که با تولید شاخه جانبی بیشتر، تعداد کپسول در بوته نیز به دنبال آن افزایش پیدا کرد. نتیجه این آزمایش با نتایج قلی‌نژاد و رضایی چیانه (Gholinezhad and Rezaei- Chiyaneh, 2014) در بررسی کشت مخلوط نخود و سیاه‌دانه همسو است. در نسبت‌های افزایشی کشت مخلوط نیز با افزایش درصد حضور سیاه‌دانه از ۲۵٪ به ۱۰۰٪ بررسی کشت مخلوط افزایشی زعفران و نخود نشان داد که دلیل کاهش تعداد شاخه‌های جانبی در نسبت‌های بالاتر نخود احتمالاً افزایش رقابت درون‌گونه‌ای باشد که از طریق تراکم بالای شاخ و برگ گیاه، سایه‌اندازی کاهش اجزای عملکرد را موجب شده است (Asadi *et al*., 2016). در مطالعه‌ای روی کشت مخلوط ماش (*Vigna radiate* L. Wilczek) و سیاه‌دانه، تعداد شاخه جانبی گیاه سیاه‌دانه نسبت به کشت خالص کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین تعداد شاخه جانبی در کشت خالص به‌دست آمد (Rezvani Moghaddam *et al*., 2009).

بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از نظر وزن هزار دانه برای گیاه سیاه‌دانه اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری وجود نداشت (جدول ۲). از طرفی مقایسه وزن هزار دانه در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نشان داد که بیشترین مقدار این صفت به تیمار کشت خالص (۲/۰۷ گرم) اختصاص داشت و با اضافه شدن این گیاه با نسبت‌های مختلف به گیاه شنبلیله، به دلیل افزایش رقابت وزن هزار دانه آن کاهش یافت؛ به‌طوری‌که کمترین میزان در تیمار کشت ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله (۱/۹۶ گرم) مشاهده شد (جدول ۳). کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2016) با بررسی کشت مخلوط کنجد و ماش سبز اعلام کردند که وزن هزار دانه تحت تأثیر کشت مخلوط قرار نگرفت. در تناسب با نتایج این مطالعه در راستای عدم معنی‌داری وزن هزار دانه از نسبت‌های کشت مخلوط، به‌نظر می‌رسد وزن هزار دانه به‌عنوان یکی از اجزایی است که بیشتر تحت تأثیر فاکتورهای ژنتیکی است تا فاکتورهای محیطی. بنابراین، اعمال مدیریت زراعی و عوامل محیطی تأثیر زیادی روی این صفت ندارد (Sadeghi *et al.*, 2005).

اثر نسبت کاشت بر عملکرد تک بوته سیاه‌دانه نیز بسیار معنی‌دار شد (جدول ۲) و با افزایش نسبت کاشت سیاه‌دانه از عملکرد تک بوته کاسته شد به‌طوری‌که بالاترین (۰/۱۴۸ گرم) عملکرد تک بوته متعلق به تیمار ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله بود که از لحاظ آماری با کشت خالص سیاه‌دانه اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین پایین‌ترین (۰/۰۹۲ گرم) عملکرد تک بوته نیز به تیمار ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله اختصاص یافت که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (جدول ۳). احتمالاً با افزایش نسبت کاشت سیاه‌دانه، رقابت بین بوته‌ها افزایش یافت و از طریق کاهش اجزای مؤثر بر عملکرد دانه تک بوته از جمله تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول، عملکرد تک بوته نیز کاهش یافت (جدول ۳).

بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی به‌ترتیب به میزان ۲۹۱ و ۸۸۸ کیلوگرم در هکتار از کشت خالص و کمترین مقادیر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی از تیمار ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله به‌ترتیب برابر با ۷۳ و ۲۴۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۳). صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2005) گزارش نمودند که تعداد گیاه در واحد سطح مهم‌ترین جزء عملکرد می‌باشد. از آن‌جایی‌که تراکم هریک از گیاهان در کشت خالص نسبت به مخلوط بیشتر است، لذا در کشت‌های مخلوط کمتر بودن تراکم هر گونه نسبت به کشت خالص خود دلیل اصلی پایین‌تر بودن عملکرد می‌باشد (Ghosh, 2004). از این‌رو، در آزمایش حاضر نیز با افزوده شدن بر تراکم سیاه‌دانه از ۲۵٪ به ۱۰۰٪ بر عملکرد دانه و بیولوژیکی افزوده شد، به‌طوری‌که از لحاظ آماری بین تیمارها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، اما تیمارهای ۷۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله و ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند تعداد کپسول پر در بوته این گیاه کاسته شد و احتمالاً علت این کاهش، مربوط به افزایش رقابت درون گونه‌ای برای بوته‌های سیاه‌دانه می‌باشد، به‌طوری‌که بالا بودن تراکم شاخ و برگ گیاهان نیز در کاهش این صفت برای سیاه‌دانه در تیمارهای مخلوط احتمالاً مؤثر بوده است.

تیمار ۲۵٪ سیاه‌دانه + ۱۰۰٪ شنبلیله بیشترین تعداد دانه در کپسول (۵۶/۹۳ عدد) را به خود اختصاص داد که با سایر تیمارها از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۳). همچنین کشت خالص کمترین (۳۰/۸۷ عدد) این صفت را دارا بود که در مقایسه با تیمار ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج این آزمایش با یافته‌های تحقیق اسدی و همکاران (Asadi *et al.*, 2016) نیز مطابقت دارد. با توجه به این‌که تعداد کپسول در بوته برای تیمارهای کشت مخلوط احتمالاً به دلیل رقابت بین گونه‌ای کاهش یافته‌است، بنابراین مواد فتوسنتزی گیاه بین تعداد کپسول‌های کمتری توزیع شده‌است که این امر منجر به افزایش تعداد دانه در کپسول در تیمارهای کشت مخلوط شد. اما با افزایش حضور سیاه‌دانه در کشت مخلوط تعداد دانه در کپسول کاهش یافت، به نظر می‌رسد علت این امر افزایش رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های سیاه‌دانه باشد.

در مطالعه‌ای بر روی کشت مخلوط سیاه‌دانه و نخود مشخص شد که سیاه‌دانه در کشت مخلوط با نخود نسبت به کشت خالص از تعداد دانه در کپسول کمتری برخوردار بود. آن‌ها علت این کاهش تعداد دانه در کپسول و همچنین کاهش تعداد کپسول در بوته را هم‌زمانی بیشتر دوره رشدی سیاه‌دانه با نخود نسبت دادند که سبب رقابت بین گونه‌ای بیشتر بین این تیمارها منجر شد (Gholinezhad and Rezaei-Chiyaneh, 2014).

نقی‌پور دهکردی (Naghipoor Dehkordi, 2015) با مطالعه کشت مخلوط سه گیاه دارویی سیاه‌دانه، گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) گزارش داد که کشت مخلوط سه‌گانه با ۵۶ دانه در کپسول بیشترین مقدار این صفت را دارا بود و از طرفی تیمار کشت خالص سیاه‌دانه کمترین دانه در کپسول (۴۰/۳) را به خود اختصاص داد. وی بیان داشت که رشد رویشی زیاد سیاه‌دانه در ابتدای فصل رشد ناشی از فضای زیاد بوده و به دنبال آن تعداد شاخه جانبی و کپسول‌های زیادی تولید کرده که بعداً در موقع تولید دانه‌ها یا پر شدن آن‌ها به دلیلی همچون محدودیت منبع قادر به تولید دانه زیاد و حتی پر کردن کپسول‌های خود نیست. همچنین به‌نظر می‌رسد تعدادی از کپسول‌ها به دلیل کمبود مواد فتوسنتزی پوک بودند. به این ترتیب، می‌توان افزایش تعداد دانه در کپسول در کشت مخلوط را نسبت به کشت خالص توجیه کرد.

(2014. نشان داده است که شاخص برداشت سیاه‌دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کشت مخلوط با گیاهان مختلف قرار نگرفت که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد مدیریت زراعی در بهبود شاخص برداشت گیاهان اصلاح‌شده همانند گندم و ذرت که به حد پتانسیل تولید خود نزدیک شده‌اند تأثیر چندانی ندارد، اما از طرفی افزایش شاخص برداشت در گیاهان دارویی همچون سیاه‌دانه که امکان بهبود تخصیص مواد فتوسنتزی به مخازن زایشی را دارند تحت تأثیر تیمارهای مدیریتی قرار می‌گیرند (Khorramdel *et al*., 2008). محققان در کشت مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و نخود اظهار داشتند که شاخص برداشت هر دو گونه در تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص بیشتر بود و علت این امر را بالاتر بودن اجزای عملکرد و تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه نسبت دادند. همچنین تداوم بیشتر انتقال مواد به سمت دانه نتیجه بهبود شرایط محیطی در کشت مخلوط اعم مناسب مخلوط از نظر جذب نور، رطوبت و نیز دما می‌باشد (Zarifpour *et al*., 2015).

صفات مربوط به شنبلیله

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر نسبت‌های کشت مخلوط با سیاه‌دانه بر کلیه صفات مورد بررسی (تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک) شنبلیله به‌جز وزن هزار دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۴).

مقایسه میانگین تعداد شاخه جانبی شنبلیله در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با سیاه‌دانه نشان داد که بیشترین تعداد شاخه جانبی (۳/۸ شاخه در بوته) از کشت خالص و کمترین آن (۲/۸۷ شاخه در بوته) از تیمار ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله حاصل شد (جدول ۵). به‌طوری‌که بین تیمار کشت خالص با نسبت‌های مخلوط تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری ملاحظه شد، اما تیمارهای کشت مخلوط با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. نتایج مطالعه علی‌زاده و همکاران (Alizadeh *et al*., 2010) مؤید کاهش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی در بوته در سری‌های افزایشی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌باشد. این محققان دلیل این کاهش را تشدید رقابت بین گونه‌ای ناشی از حضور سایر گونه‌ها در نسبت‌های کشت مخلوط و همچنین علف‌های هرز و به‌تبع آن کاهش منابع محیطی در دسترس گیاه زراعی، بیان نمودند. به نظر می‌رسد که در نسبت‌های پایین کشت مخلوط با سیاه‌دانه که در آن‌ها گیاه از فضای بیشتری برای رشد برخوردار بوده است، با دریافت نور بیشتر جهت افزایش تعداد شاخه‌های جانبی بیشتر تحریک شده و در نسبت‌های کاشت فشرده‌تر به دلیل سایه‌اندازی و کاهش نور، تحریک لازم جهت (جدول ۳) که علت این امر احتمالاً به دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای بوته‌های سیاه‌دانه بر سر جذب منابع محیطی بوده که کاهش اجزای عملکرد از جمله تعداد کپسول در بوته را به همراه داشت. از این‌رو، نتایج مطالعات بسیاری حاکی از کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بوده که از جمله آن‌ها می‌توان به بررسی کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود (Banik *et al*., 2006)، مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و عدس توسط رضایی چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2014) اشاره نمود.

اسدی و همکاران (Asadi *et al*., 2016) اظهار داشتند که بیشترین عملکرد بیولوژیکی و دانه نخود برای کشت خالص و کمترین مقادیر نیز برای تیمار ۱۰۰٪ زعفران + ۱۰۰٪ نخود مشاهده گردید به‌طوری‌که افزایش درصد حضور نخود تا ۸۰٪ درصد باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی و دانه شده است و افزایش بیش از این میزان، به دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای بوته‌های نخود بر سر جذب منابع محیطی کاهش این صفات را موجب شده است. مقایسه ترکیب‌های کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی ماریتیغال و رازیانه نشان دادند که کشت خالص رازیانه دارای بیشترین عملکرد دانه (۷۱۹/۱۰ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیکی (۲۱۵۷ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با سایر تیمارها بود که علت این امر را بیشتر بودن تعداد بوته در کشت خالص نسبت به سایر نسبت‌های کشت عنوان کردند (Solouki *et al*., 2015). عملکرد لوبیا از یک طرف، با افزایش تراکم لوبیا افزایش و از طرف دیگر با افزایش تراکم ذرت کاهش یافته که احتمالاً به دلیل سایه‌اندازی ذرت بوده است، زیرا گونه بلندتر در کشت مخلوط بـر روی گونه کوتاه‌تر سایه‌اندازی نموده و لذا عملکرد در جزء کوتاه‌تر کاهش می‌یابد (Koocheki *et al*., 2010).

رضائی‌چیانه و قلی نژاد (Rezaei-Chiyaneh and Gholinezhad, 2105) در کشت مخلوط افزایشی سیاه‌دانه و نخود (*Cicer arietinum* L.) دریافتند که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نخود از کشت خالص و کمترین آن از نسبت کاشت ۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ سیاه‌دانه به‌دست آمد. آن‌ها بیان کردند که به موازات افزایش سهم نخود در کشت مخلوط، رقابت بین‌گونه‌ای در مقایسه با رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های دوگونه تشدید شده که نهایتاً سبب کاهش عملکرد نهایی نخود گردید.

شاخص برداشت سیاه‌دانه در هیچ‌یک از نسبت‌های کشت مخلوط با شنبلیله از لحاظ آماری معنی‌دار نشد (جدول ۲). با مقایسه میانگین تیمارهای مختلف مشخص شد بالاترین (۳۳ درصد) و پایین‌ترین (۲۹/۳۰ درصد) شاخص برداشت به‌ترتیب به کشت خالص و تیمار ۱۰۰٪ سیاه‌دانه + ۱۰۰٪ شنبلیله اختصاص داشت (جدول ۳).

نتایج برخی آزمایش‌ها (Rezvani Moghada *et al*., 2009; Naghipoor Dehkordi *et al*., 2015; Koocheki *et al*.,

غلاف در بوته برای شنبلیله نسبت به کشت خالص این گیاه، افزایش یافت و علت آن را کاهش رقابت درون‌گونه‌ای عنوان کردند.

مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف نشان داد که بیشترین (۱۳/۳۳ تعداد دانه) و کمترین (۹/۴۰ تعداد دانه) تعداد دانه در غلاف شنبلیله به‌ترتیب به تیمارهای ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله و ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله تعلق داشت (جدول ۵). از لحاظ آماری در بین نسبت‌های کشت مخلوط فقط تیمار ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله با کشت خالص اختلاف معنی‌داری داشت. گزارش‌های زیادی حاکی از آن است که تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر سیستم‌های کشت مخلوط قرار نگرفت (Mirhashemi *et al.*, 2009; Dua *et al.*, 2005). بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته لوبیا قرمز مربوط به کشت خالص و کم‌ترین آن‌ها برای ترکیب ردیفی بود. مقایسه تأثیر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط بر اجزای عملکرد لوبیا به‌عنوان گیاهی رونده که در زیر کانوپی گیاه غالب آفتابگردان رشد می‌کند، نشان داد که خصوصیات رشدی لوبیا نیز همانند کنجد با افزایش ردیف در کشت مخلوط از ترکیب ردیفی به نواری و سپس کشت خالص، افزایش یافت که این امر در نتیجه منجر به بهبود اجزای عملکرد آن شد (Koocheki *et al.*, 2016).

محققان با بررسی کشت مخلوط زیره سبز و شنبلیله اظهار داشتند که تعداد دانه در غلاف در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش پیدا کرد و دلیل این امر را تعداد کمتر غلاف در بوته برای کشت مخلوط عنوان کردند که باعث تولید غلاف‌های بزرگ‌تر و در نتیجه افزایش تعداد دانه در غلاف نسب به کشت مخلوط گردیده است (Rezvani Moghada *et al.*, 2009).

کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2016) با مطالعه کشت مخلوط کنجد و ماش سبز گزارش کردند که در سال اول کشت تیمار کشت خالص ماش بیشترین تعداد دانه در هر غلاف را در مقایسه با سایر تیمارها دارا بود و در سال دوم تفاوت معنی‌داری ازنظر تعداد دانه در غلاف وجود نداشت.

وزن هزاردانه یکی از مؤلفه‌های تعیین‌کننده‌ی عملکرد نهایی محسوب می‌شود و اندازه‌ی دانه در واقع قابلیت ذخیره‌سازی دانه را مشخص می‌کند (Sadri Sakineh *et al.*, 2016). نتایج نشان دادند که بیشترین (۱۵/۵۵ گرم) و کمترین (۱۳/۴۶ گرم) وزن هزار دانه به‌ترتیب به تیمارهای ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله و ۷۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله اختصاص یافت (جدول ۵). از آن‌جایی‌که معمولاً اجزای عملکرد برای متعادل کردن تولید با یکدیگر در تعادل می‌باشند (Pouramir, 2009). در این آزمایش، همچنان که بر درصد حضور سیاه‌دانه در کشت مخلوط افزوده شد از میانگین تعداد شاخه جانبی و تعداد غلاف در بوته کاسته شد، ولی بر میانگین تعداد دانه در غلاف شنبلیله افزوده شد.

شاخه‌دهی صورت نگرفته که در نتیجه ارتفاع گیاه افزایش و تعداد شاخه‌های جانبی کاهش پیدا کرده است (Zargari, 1997).

میرهاشمی و همکاران (Mirhashemi *et al.*, 2009) گزارش کردند که کشت خالص شنبلیله بالاترین تعداد شاخه جانبی را دارا بود و علت کاهش تعداد شاخه جانبی در کشت مخلوط با زنیان را اثر رقابت بین گونه‌ای گیاه زنیان به‌عنوان گیاه غالب کردند. بیگناه و همکاران (Bigonah *et al.*, 2014) با مطالعه بر روی کشت مخلوط گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) و شنبلیله گزارش کردند که بیشترین تعداد شاخه جانبی هر دو گیاه به‌ترتیب در تیمارهای ۲۵٪ تراکم مطلوب گشنیز+ ۱۷۵٪ تراکم مطلوب شنبلیله و ۱۷۵٪ تراکم مطلوب گشنیز+ ۲۵٪ تراکم مطلوب شنبلیله و کمترین آن به‌ترتیب ۱۵۰٪ تراکم مطلوب گشنیز+ ۵۰٪ تراکم مطلوب شنبلیله و کشت خالص شنبلیله مشاهده شد.

مقایسه میانگین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط (جدول ۵) بر تعداد غلاف در بوته شنبلیله نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته با ۴۷/۸ غلاف به کشت خالص تعلق داشت که از لحاظ آماری با تیمارهای ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله و ۵۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله تفاوت معنی‌داری نداشت. علاوه بر آن، بین تیمارهای کشت مخلوط نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین میانگین این صفت نیز به تیمار ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله اختصاص داشت. به نظر می‌رسد در کشت مخلوط با شنبلیله، با اضافه شدن بر نسبت درصد حضور سیاه‌دانه از ۲۵٪ به ۱۰۰٪ بر رقابت بین گونه‌ای افزوده شده و در نتیجه از اجزای عملکرد شنبلیله از جمله تعداد غلاف در بوته کاسته شده اما این کاهش به‌دلیل غالب بودن شنبلیله بر سیاه‌دانه، فقط باعث ایجاد تفاوت معنی‌داری بین تیمار کشت خالص با کشت مخلوط گردیده اما بین نسبت‌های کشت مخلوط از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری ملاحظه نشد.

رضائی چیانه (Rezaei- Chiyaneh *et al.*, 2014) در بررسی کشت مخلوط زنیان و شنبلیله بیان داشتند که بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته به‌ترتیب در کشت خالص و کشت مخلوط نواری با نسبت ۱۲ ردیف زنیان و ۶ ردیف شنبلیله به‌دست آمد. همچنین این محققان اظهار داشتند که تعداد غلاف در گیاه یکی از اجزای مهم عملکرد می‌باشد که از یک طرف دربرگیرنده تعداد دانه بوده و از طرف دیگر تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای دانه‌ها می‌باشد. تعداد غلاف بیشتر در کشت خالص و به‌تبع آن افزایش تعداد دانه در بوته شنبلیله می‌تواند منجر به افزایش عملکرد این گیاه نسبت به سایر نسبت‌های کشت مخلوط شود. در کشت مخلوط دو گیاه زیره سبز و شنبلیله تعداد غلاف در بوته شنبلیله در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش یافت (Rezvani Moghaddam and Moradi, 2012). رضازاده و همکاران (Rezazeh *et al.*, 2016) با بررسی کشت مخلوط افزایشی شنبلیله و گوجه‌فرنگی بیان کرد که تعداد

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با سیاه‌دانه بر صفات کمی شنبلیله

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of different intercropping ratios with black seed on quantitative traits of fenugreek

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد شاخه جانبی Number of branches per plant	تعداد غلاف در بوته No. of pod per plant	تعداد دانه در غلاف No. of seeds per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد تک بوته Seed yield ($g.plant^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	0.034ns	17.23 ns	0.354 ns	0.189 ns	0.006 ns	5365 ns	10939 ns	26.39ns
تیمار Treatment	4	0.369**	93.79 *	6.277*	0.822 ns	0.266**	42558 **	477215**	3.08 ns
خطا Error	8	0.051	16.67	1.451	0.558	0.0007	3897	21085	19.15
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.05	10.13	10.92	6.75	7.34	12.37	7.85	16.05

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

ns and **: Non significant and significant at $p \leq 0.05$, respectively.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با سیاه‌دانه بر صفات کمی گیاه شنبلیله

Table 5- Means comparisons for the of effect of different intercropping ratios with black seed on quantitative traits of fenugreek

نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	تعداد شاخه جانبی Number of branches per plant	تعداد غلاف در بوته No. of pods Per plant	تعداد دانه در غلاف No. of seeds per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد تک بوته Seed yield ($g.plant^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	نسبت برابری زمین جزئی Partical land equivalent ratio
کشت خالص Monoculture	3.8 a*	47.8 a	10.40 b	14.55	1.64 a	655 a	2309 a	28.42	1
100% F+ %25B	3.2 b	44 ab	9.40 b	15.15	1.42 b	569 ab	2165 ab	26.29	0.87 a
100% F+ %50B	3.13 b	39.33 ab	10.93 b	14.45	1.31 b	525 b	1869 b	28.26	0.80 ab
100% F+ %75B	3.07 b	35.87 b	11.07 ab	13.46	1.02 c	407 c	1537 c	27.03	0.62 bc
100% F+ %100B	2.87 b	34.47 b	13.33 a	13.67	0.91 c	363 c	1372 c	26.39	0.56 c

F و B: به‌ترتیب نشان‌دهنده شنبلیله و سیاه‌دانه می‌باشند

F and B: are fenugreek black cumin, respectively.

* میانگین‌های فاقد حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد هستند.

* Means with different letters in each column are significantly different based on LSD at 5% probability level.

صدری و همکاران (Sadri *et al.*, 2015) با بررسی مخلوط شنبلیله و رازیانه بیان نمودند که تأثیر نسبت‌های کاشت بر وزن هزار دانه رازیانه معنی‌دار نبود. بیشترین وزن هزاردانه‌ی شنبلیله از سری جایگزینی ۵۰ درصد رازیانه+ ۵۰ درصد شنبلیله (۱:۱) و کمترین آن از سری افزایشی ۱۰۰ درصد رازیانه + ۱۰۰ درصد شنبلیله حاصل شد. در واقع نتایج تأثیر مثبت کشت مخلوط جایگزینی را نسبت به کشت مخلوط افزایشی بر وزن هزاردانهٔ شنبلیله نشان داد.

اثر نسبت کاشت بر عملکرد تک بوته شنبلیله نیز بسیار معنی‌دار شد (جدول ۴). بالاترین (۱/۶۴ گرم) عملکرد تک بوته شنبلیله از تیمار کشت خالص حاصل شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد با افزایش نسبت کاشت سیاه‌دانه به دلیل افزایش رقابت بین گونه‌ای، اجزای موثر بر عملکرد دانه همچون تعداد غلاف در بوته را کاهش داده که خود این امر منجر به کاهش عملکرد تک بوته شنبلیله شده است به‌طوری‌که پایین‌ترین (۰/۹۱ گرم) عملکرد تک بوته به تیمار ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله اختصاص یافت (جدول ۵).

تأثیر نسبت کاشت بر عملکرد دانه و بیولوژیکی شنبلیله نیز بسیار معنی‌دار شد (جدول ۵). بین نسبت‌های مختلف کاشت بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیکی از کشت خالص به‌دست آمد که با تیمار ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله تفاوت معنی‌داری نداشت. به نظر می‌رسد که دلیل کاهش عملکرد در تیمارهای افزایشی، وجود رقابت بین دو گونه باشد که با افزوده شدن بر نسبت سیاه‌دانه به‌عنوان گیاه فرعی این کاهش شدیدتر نیز شده است که با نتایج آزمایش سلوکی و همکاران (Solooki *et al.*, 2015) مطابقت دارد. در این آزمایش نیز درکشت خالص علاوه بر عدم رقابت برون گونه‌ای، احتمالاً نسبت‌های مخلوط در کاهش میزان عملکرد دانه شنبلیله موثر بوده است زیرا که بوته‌های شنبلیله در تیمار کشت خالص با تراکم مطلوب ۱۰۰٪ در طرفین پشته بر روی ۱۲ ردیف در هر کرت قرار گرفت و این در حالی است که در کشت مخلوط با همان تراکم بر روی ۶ ردیف در هر کرت قرار گرفت. احتمالاً این امر باعث شد تا تک بوته‌های شنبلیله با در اختیار داشتن فضا و شرایط مطلوب محیطی در کشت خالص عملکرد بالاتری نسبت به کشت مخلوط داشته باشد. از طرفی نتایج این تحقیق نشان داد که با افزوده شدن نسبت حضور گیاه سیاه‌دانه به‌عنوان گیاه همراه در کشت مخلوط با شنبلیله، اجزای عملکرد این گیاه همچون تعداد شاخه جانبی و تعداد غلاف در بوته (جدول ۵)، کاهش معنی‌داری نسبت به کشت خالص داشت. علاوه بر آن، از میانگین آن‌ها در نسبت‌های بالاتر سیاه‌دانه نیز کاسته شد. همچنین طبیعی است که عملکرد دانه نیز به پیروی از آن‌ها کاهش یافته است. نتایج مطالعات زیادی حاکی از آن است که عملکرد دانه شنبلیله درکشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود (Mirhashemi *et al.*, 2009; Rezvani Moghaddam *et al.*, 2009; Awasthi *et al.*, 2011).

صدری و همکاران (Sadri *et al.*, 2015) با بررسی کشت مخلوط شنبلیله با رازیانه به‌صورت جایگزینی و افزایشی اظهار داشتند که نسبت‌های کاشت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد شنبلیله داشت؛ به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانهٔ شنبلیله از کشت خالص به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سری جایگزینی ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد شنبلیله (۱:۳) نداشت. کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به سری جایگزینی ۷۵ درصد رازیانه + ۲۵ درصد شنبلیله (۳:۱) بود که در مقایسه با کشت خالص حدود ۶۷ درصد کاهش داشت. در سری‌های افزایشی نیز شنبلیله به‌عنوان گیاه فرعی با توجه به کاهش تعداد ساقه‌های فرعی، شاخص سطح برگ و اکثر اجزای عملکرد شنبلیله در سری‌های افزایشی کشت مخلوط، با افت عملکرد مواجه شد. رضائی‌چیانه و همکاران (Rezaei Chiyaneh *et al.*, 2014) در آزمایش کشت مخلوط شنبلیله و شوید گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه از کشت خالص وکمترین عملکرد دانه از کشت مخلوط نواری سه ردیف شوید و یک ردیف شنبلیله حاصل شد. این محققان علت بالاتر بودن عملکرد دانه در کشت خالص را این‌گونه عنوان کردند که عدم وجود رقابت بین گونه‌ای باعث شد که هر بوته شنبلیله برای آشیان‌های اکولوژیکی یکسان رقابت نکرده و تمامی منابع موجود در اختیار شنبلیله قرار بگیرد. همچنین دلیل پایین بودن عملکرد دانه در کشت مخلوط به افزایش رقابت بین گونه‌ای شوید با شنبلیله و کاهش فضای زیستی نسبت داده شد که به‌دلیل کاهش جذب نور و کاهش رشد و فتوسنتز در نهایت، عملکرد را کاهش داده است. در کشت مخلوط گواوا (*Psidium guajava* L.) با گیاهان پوششی (یونجه، شنبلیله و لوبیای علوفه‌ای) بیشترین وزن تر گواوا از کشت مخلوط این گیاه با شنبلیله به‌دست آمد (Al-qurashi *et al.*, 2005).

رضازاده و همکاران (Rezazadeh *et al.*, 2006) در مطالعه کشت مخلوط گوجه‌فرنگی با شنبلیله بیان کردند که بیشترین عملکرد دانه مربوط به نسبت ۱۰۰٪ شنبلیله با رقم کارون فلات بود که در مقایسه با سایر نسبت‌ها افزایش چشمگیری داشته است. همچنین کمترین عملکرد نیز به نسبت ۵۰٪ شنبلیله با رقم کارون فلات اختصاص یافت. به‌نظر می‌رسد که ارتباط مستقیمی بین تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه در این نسبت از کشت مخلوط وجود دارد در حالی‌که در سایر نسبت‌های کشت عملکرد دانه در مقایسه با کشت خالص آن کاهش یافت. دلیل این موضوع احتمالاً مربوط به افزایش فشار رقابتی درون‌گونه‌ای تحت تأثیر افزایش‌تراکم شنبلیله درکشت مخلوط می‌باشد.

شاخص برداشت دلالت بر میزان زیست‌توده گیاهی تخصص‌یافته به دانه دارد، بنابراین معیار مناسبی برای میزان تقسیم

ذخایر بین ساختار رویشی و زایشی است. همچنین افزایش تخصیص مواد به اندام اقتصادی، عامل افزایش شاخص برداشت معرفی شده است (Willey, 1990). شاخص برداشت نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیکی است که در این آزمایش، شاخص برداشت شنبلیله در مخلوط با نسبت‌های مختلف سیاه‌دانه معنی‌دار نشد (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کشت خالص با ۲۸/۴۲ درصد و تیمار ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله با میانگین ۲۶/۲۹ درصد به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین این شاخص را به خود اختصاص داد (جدول ۴).

بررسی‌های کشت مخلوط شنبلیله به‌ترتیب با آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) و زیره سبز، عدم معنی‌داری شاخص برداشت شنبلیله را گزارش نمودند (Mardani and Balouch, 2015; Rezvani Moghaddam and Moradi, 2011) که با نتایج آزمایش حاضر همسو می‌باشد. صدری و همکاران (Sadri *et al*., 2015) اظهار داشتند که شاخص برداشت شنبلیله به‌طور بسیار معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط با رازیانه قرار گرفت. به‌طوری‌که بیشترین شاخص برداشت شنبلیله از کشت خالص حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی نداشت. همچنین عنوان کردند که در شرایط رقابت شدید با رازیانه در کشت مخلوط افزایشی، شاخص برداشت شنبلیله کاهش نشان داد. آنها اظهار داشتند که کاهش تراکم زیاد رازیانه در کشت مخلوط افزایشی به‌دلیل سایه‌اندازی و افزایش ارتفاع بوتهٔ ناشی از رقابت و به‌تبع آن رشد رویشی بیشتر، موجب افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های رویشی و کاهش سهم اندام‌های زایشی شد که درنتیجه افزایش رشد رویشی با افزایش عملکرد بیولوژیکی در مقایسه با عملکرد اقتصادی، درنهایت کاهش شاخص برداشت را به دنبال داشت. اما در این آزمایش به‌نظر می‌رسد از آن‌جا که شنبلیله با ارتفاع بیشتر گیاه غالب در کشت مخلوط بود و گرچه رقابت با سیاه‌دانه تأثیر معنی‌داری بر روی عملکرد دانه و بیولوژیکی این گیاه داشته است، اما بر نسبت بین این دو (شاخص برداشت) تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

نتایج پژوهش میرهاشمی و همکاران (Mirhashemi *et al*., 2009) نشان داد که در کشت مخلوط شنبلیله و زنیان، بالاترین شاخص برداشت زنیان مربوط به کشت مخلوط سه ردیفی بود و کشت خالص کمترین شاخص برداشت را داشت.

نسبت برابری زمین

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که نسبت‌های مختلف دو گیاه شنبلیله و سیاه‌دانه کشت تاثیر معنی‌داری بر نسبت برابری زمین کل نداشت. همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود مقدار LER در تمام نسبت‌های کشت مخلوط بیشتر از یک شد که نشان از برتری کشت مخلوط این دو گونه با یکدیگر نسبت به کشت خالص هرکدام از گونه‌ها می‌باشد (جدول ۶).

نسبت جزئی برابری زمین در سیاه‌دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط قرار گرفت ($P\leq0.01$). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد به‌جز تیمار ۷۵٪ و ۱۰۰٪ درصد سیاه‌دانه سایر تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۷) به‌طوری‌که بیشترین (۰/۶۳) و کمترین (۰/۲۵) میانگین نسبت جزئی برابری زمین سیاه‌دانه به‌ترتیب به تیمارهای ۱۰۰٪ سیاه‌دانه + ۱۰۰٪ شنبلیله و تیمار ۲۵٪ سیاه‌دانه + ۱۰۰٪ شنبلیله اختصاص داشتند. افزایش درصد حضور سیاه‌دانه در کشت مخلوط افزایش نسبت جزئی برابری زمین را موجب شد.

نسبت برابری جزئی زمین شنبلیله تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با گیاه سیاه‌دانه قرار گرفت ($P\leq0.05$). با مقایسه میانگین داده‌ها مشخص شد بالاترین (۰/۸۷) این مقدار به تیمار ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله و پایین‌ترین (۰/۵۶) آن نیز به تیمار ۱۰۰٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله اختصاص یافت (جدول ۷) که به‌طورکلی، در کشت مخلوط افزایشی حاضر که شنبلیله به‌عنوان گیاه اصلی بود و بر درصد سیاه‌دانه ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد افزوده شد با افزایش سهم حضور سیاه‌دانه، از نسبت جزئی برابری زمین شنبلیله کاسته شد.

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نسبت برابری زمین (LER) جزئی و کل در نسبت‌های کشت مخلوط شنبلیله و سیاه‌دانه

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) for partial and total land equivalent ratio (LER) in different intercropping ratios of fenugreek with black seed

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	نسبت برابری زمین جزئی سیاه‌دانه Partical $LER_{black\ seed}$	نسبت برابری زمین جزئی شنبلیله Partical $LER_{fenugreek}$	نسبت برابری زمین کل Total LER
تکرار Replication	2	0.003130 ns	0.026267 ns	0.044280 ns
تیمار Treatment	3	0.232863**	0.064546*	0.007663 ns
خطا Error	6	0.000920	0.009075	0.010041
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.3	13.3	8.4

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

ns and **: Non significant and significant at $p\leq0.05$, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر نسبت‌های کشت مخلوط شنبلیله با سیاه‌دانه بر نسبت برابری زمین جزئی و کل بر اساس عملکرد دانه

Table 7- Mean comparisons for the effect of intercropping ratios of fenugreek with black seed on partial and total land equivalent ratio based on seed yield

نسبت کشت مخلوط Intercropping ratio	نسبت برابری زمین جزئی سیاه‌دانه Partial LER of black cumin	نسبت برابری زمین جزئی شنبلیله Partial LER of fenugreek	نسبت برابری زمین کل Total LER
100% F + B %25	0.25 c*	0.87 a	1.12 a
100% F+ B %50	0.42 b	0.80 ab	1.23 a
100% F + B %75	0.61 a	0.62 bc	1.24 a
100% F + B %100	0.63 a	0.56 c	1.19 a

F و B: به‌ترتیب نشان‌دهنده شنبلیله و سیاه‌دانه می‌باشند.

F and B: are fenugreek black cumin, respectively.

میانگین‌های فاقد حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد هستند.

* Means with different letters in each column are significantly different based on LSD at 5% probability level.

بین نسبت‌های کشت مخلوط بیشترین (۱/۲۴) میزان LER کل در تیمار ۷۵٪ سیاه‌دانه + ۱۰۰٪ شنبلیله و کمترین (۱/۱۲) آن نیز به تیمار ۲۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله مشاهده شد (جدول ۷). به نظر می‌رسد علت این امر با توجه به ثابت بودن تراکم شنبلیله به‌عنوان گیاه اصلی، تراکم بالاتر سیاه‌دانه (سهم بالاتر سیاه‌دانه در مخلوط) در این تیمار نسبت به سایر تیمارها باشد که باعث شده تا این گیاهان با کارایی بیشتری از منابع محیطی استفاده نمایند، البته در تیمار ۱۰۰٪ سیاه‌دانه + ۱۰۰٪ شنبلیله هرچند تراکم سیاه‌دانه بالاتر از نسبت ۷۵٪ سیاه‌دانه + ۱۰۰٪ شنبلیله بود اما احتمالاً به دلیل افزایش رقابت بین گونه‌ای گیاهان باشد که منجر به کاهش نسبت برابری زمین شده است.

با توجه به مقایسه LER جزئی هر تیمار سیاه‌دانه با نسبت درصد حضور سیاه‌دانه در آن تیمار می‌توان گفت که گیاه سیاه‌دانه از نظر عملکرد تاثیر مثبتی از شنبلیله نپذیرفته است. به عبارت دیگر اگر در تیمار ۷۵٪ سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله، ۷۵ درصد سیاه‌دانه در سیستم مخلوط حضور داشته اما عملکرد آن ۰/۶۱ ام کشت خالص بوده است و از مقدار نسبت درصد آن کمتر بوده است و این کاهش به معنای وجود رقابت بین گونه‌ای و اثر منفی آن بر عملکرد سیاه‌دانه بوده است. اما اثر مثبت کشت مخلوط با شنبلیله بر کنترل بهتر علف‌هرز و تاثیر آن بر بهبود ویژگی‌های خاک را نباید نادیده گرفت.

آزمایش‌های بسیار زیادی بر روی کشت مخلوط، بالاتر بودن LER در کشت مخلوط را گزارش کرده‌اند (Banik *et al*., 2006; Rezvani Moghaddam *et al*., 2008; Ahmad *et al*., 2013) که با نتایج یافته‌های آزمایش حاضر نیز مطابقت دارد.

بالا بودن نسبت برابری زمین از یک را در کشت مخلوط می‌توان به استفاده کارآمد از منابع محیطی، تبادل مواد غذایی، افزایش توانایی رقابتی در کنترل علف‌های هرز، تثبیت نیتروژن حاصل از جزء بقولات و همچنین، وجود اختلاف در سیستم ریشه‌ای و نیازهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک اجزای مخلوط و جذب بیشتر تشعشع در تیمارهای مخلوط نسبت داد (Willey, 1990).

رضائی‌چیانه و همکاران (Rezaei- chiyaneh *et al*., 2015) در کشت مخلوط شنبلیله با شوید گزارش کردند که در تمامی تیمارهای مخلوط نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود به‌طوری‌که بالاترین LER از نسبت‌های کشت دو ردیف شنبلیله و دو ردیف شوید و کمترین مقدار آن از کشت مخلوط یک ردیف شوید و یک ردیف شنبلیله حاصل شد و این موضوع نشان می‌دهد که تسهیل بین گونه‌ای بیش از رقابت بین گونه‌ای بوده است.

بیگناه و همکاران (Bigonah *et al*., 2014) در مطالعه خود بر روی کشت مخلوط گشنیز و شنبلیله اظهار داشتند که بیشترین مقدار LER به تیمار ۲۵٪ تراکم مطلوب گشنیز + ۱۷۵٪ تراکم مطلوب شنبلیله و کمترین آن به تیمار ۱۰۰٪ تراکم مطلوب گشنیز + ۱۰۰٪ تراکم مطلوب شنبلیله اختصاص داشت. میرهاشمی و همکاران (Mirhashemi *et al*., 2009) در کشت مخلوط زنیان و شنبلیله دریافتند LER در تمامی تیمارهای کشت مخلوط بالاتر از یک بود و همچنین LER جزئی زنیان در تمامی تیمارها نسبت به شنبلیله بالاتر بود که نشان‌دهنده غالبیت زنیان بود.

در کشت مخلوط لوبیا و ذرت گزارش شده است که بیشترین نسبت برابری کل زمین در نسبت‌های کشت ۱۰۰:۵۰، ۱۵۰:۱۰۰، ۱۵۰:۱۵۰، ۱۰۰:۱۵۰، ۱۰۰:۱۰۰ (لوبیا: ذرت) ثبت شد. هر چهار نسبت فوق جزء تیمارهای افزایشی در کشت مخلوط هستند. در تیمار جانشینی (۵۰:۵۰) نسبت برابری زمین کمتر از یک است. از این رو به نظر می‌رسد که جهت رسیدن بـه حداکثر کارایی و عملکرد در سیستم‌هـای مخلوط ذرت- لوبیا، تیمارهای افزایشی در مقایسه با جانشینی برتری داشته‌اند (Koocheki *et al*., 2014).

صدری و همکاران (Sadri *et al*., 2015) با مطالعه کشت مخلوط شنبلیله و رازیانه بیان کردند که بیشترین نسبت برابری زمین مربوط به سری افزایشی ۱۰۰ درصد رازیانه + ۳۳ درصد شنبلیله و

کمترین آن مربوط به سری جایگزینی ۷۵ درصد رازیانه + ۲۵ درصد شنبلیله بود. رضائی‌چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2014) درکشت مخلوط زنیان و شنبلیله گزارش کردند که بالاترین از کشت مخلوط نواری ۴ ردیف زنیان و ۲ ردیف شنبلیله حاصل شد. اما با افزایش عرض نوارها LER احتمالاً به دلیل کاهش اثرات تسهیل و تکمیل‌کنندگی دو گونه کاهش پیدا کرد. LER جزئی در زنیان در تمامی تیمارها بالاتر از شنبلیله بود که می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که زنیان از کشت مخلوط با شنبلیله اثر مثبت پذیرفته است.

کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2010) در کشت مخلوط کنجد و شاهدانه نشان دادند که در تیمارهای مختلف کشت مخلوط، LER جزئی شاهدانه بالاتر از کنجد بود و می‌توان چنین استنباط نمود که شاهدانه گیاه غالب بوده و از کشت مخلوط با کنجد اثر مثبت پذیرفته است.

نتیجه‌گیری

در این آزمایش، اثر نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی دو گیاه شنبلیله با سیاه‌دانه در مقایسه با کشت خالص آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تیمارهای کشت مخلوط حاکی از آن بود که با افزایش سهم بوته سیاه‌دانه در نسبت‌های کشت بر عملکرد آن افزوده شد اما متعاقباً از عملکرد و اجزای عملکرد گونه شنبلیله کاسته شد که احتمالاً به دلیل افزایش رقابت به‌وجود آمده در جهت جذب منابع بیشتر بین دو گونه بود. بر این اساس، اگرچه نسبت برابری زمین نیز در تمام تیمارهای مخلوط بالاتر از یک بود که نشان از برتری کشت مخلوط این دو گونه با یکدیگر نسبت به کشت خالص هرکدام از گونه‌ها می‌باشد؛ ولی از آن‌جا که بالاترین مقدار برای تیمار ۷۵٪سیاه‌دانه+ ۱۰۰٪ شنبلیله به‌دست آمد لذا این تیمار را می‌توان به‌عنوان تیمار برتر به کشاورزان معرفی نمود. با توجه به افزایش بهره‌وری منابع در کشت مخلوط همچون کارایی بالاتر منابع، کاهش فضاهای خالی و همچنین تولید گیاهان سالم تحت تأثیر عدم استفاده از نهاده‌های شیمیایی پیشنهاد می‌شود به‌منظور بهبود رشد و عملکرد، کاشت این گیاهان با گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن همچون شنبلیله مدنظر قرارگیرد.

References

1. Ahmad, W. R., Hassan, F. H., Ansar, M., Manaf, A., and Sher, A. 2013. Enhancing crop productivity through wheat (*Triticum aestivum* L.) fenugreek intercropping system. The Journal of Animal & Plant Sciences 23 (1): 210-215.
2. Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Investigating of growth characteristics, yield, yield components and potential weed control in intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and vegetative sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) Journal of Agroecology 2 (3): 383-397. (in Persian with English abstract).
3. Al-qurashi-Adel, D. S. 2005. Growth and leaf nutrients content of Guava seedling (*Psidium guajava* L.) Intercropped with some legume cover crops. Assiut Journal of Agricultural Science 36 (3): 109-119.
4. Asadi, G. A., Khorramdel, S., and Hatefi Farajian, M. H. 2016. The effects of row intercropping ratios of chickpea and saffron on their quantitative characteristics and yield. Saffron Agronomy & Technology 4 (2): 93-103. (in Persian with English abstract).
5. Awasthi, U. D., Tripathi, A. K., Dubey, S. D., and Kumar, S. 2011. Effect of row ratio and fertility levels on growth, productivity, competition and economics in chickpea + fennel intercropping system under scarce moisture condition. Journal of Food Legumes 24 (3): 211-214.
6. Banik, B., Midya, A., Sarkar, B. K., and Ghose, S. S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24 (4): 325-332.
7. Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, R., and Jahan, M. 2014. Effects of intercropping on biological yield, percentage of nitrogen and morphological characteristics of coriander and fenugreek. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (3): 369-377. (in Persian with English abstract).
8. Bindera, A. D., and Thakur, V. S. 2005. Legume intercropping with potato based cropping system at varied fertility levels under high hills dry temperate conditions of Himachal Pradesh. Indian Journal of Agricultural Sciences 8: 488-498.
9. Boyie Jalloh, M., Sulaiman Wan Harun, W., Talib, J., Fauzi Ramlan, M., Amartalingam, R., TehBoon Sung, C., and Haruna Ahmed, O. 2009. A simulation model estimates of the intercropping advantage of an immature-rubber, banana and pineapple system. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 4 (3): 249-254.
10. Carruthers, K., Prithirviraj, B., Clouter, D., Martin, R. C., and Smith, D. L. 2000. Intercropping corn with soybean, lupin and forages: Yield component responses. European Journal Agronomy 12: 103-115.
11. D'Antuono, L. F., Moretti, A., and Lovato, A. F. S. 2002. Seed yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascene* L. Industrial Crops and Products 15: 59-69.
12. Dua, V. K., Lal, S. S., and Govindakrishnan, P. M. 2005. Production potential and competition indices in potato + french bean intercropping system in Shimla Hills. Indian Journal of Agricultural Science 75: 321-323.

13. Fernandez-Aparicio, M., Emeran, A. A., and Rubiales, D. 2008. Control of Orobanch crenata in legumes for dryland maize-bean intercropping. Tropical Agriculture 78 (1): 8-12.
14. Fujita, K., Ofosu-Budu, K. G., and Ogata, S. 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping systems 141(1-2): 155-175.
15. Geno, L., and Geno, B. 2001. Polyculture production principles benefits and risks of multiple cropping land management systems for Australia. RIRDC.
16. Gholinezhad, E., and Rezaei- Chiyaneh, E. 2014. Evaluation of grain yield and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 16 (3): 236-249. (in Persian with English abstract).
17. Ghorbani, M., Yazdani, S., and Zare Mirakabad, H. Introduction to sustainable Agriculture (The Economic Approach). 2010. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran 538pp. (in Persian).
18. Ghosh, P. K. 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. Field Crops Research 88: 227-237.
19. Ghosheh, O. A., Houdi, A. A., and Crooks, P. A. 1999. High performance liquid chromatographic analysis of the pharmacologically active quinones and related compounds in the oil of the black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 19 (5): 757-62.
20. Hamzei, J., Seyedi, M., Ahmadvand, G., and Abutalebian, M. A. 2012. The Effect of additive intercropping on weed suppression, yield and yield component of chickpea and barley. Journal of Research Production and Processing of Crops and Horticulture 2 (3): 43-56. (in Persian with English abstract).
21. Jahan, M. 2004. Ecological aspects of intercropping chamomile (*Matricaria chamomilla* L) and marigold (*Calendula officinalis* L.) with manure. Master thesis of Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Iran. (in Persian with English abstract).
22. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008. Application effects of biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6 (2): 285-294. (in Persian with English abstract).
23. Khorramdel, S., Siahmarguyee, A., and Mahmoudi, G. H. 2016. Effect of replacement and additive intercropping series of ajowan with bean on yield and yield components. Journal of Crop Production 9 (1): 1- 24. (in Persian with English abstract).
24. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Deihimfard, R., Mirzaei Talarposhti, R., and Kheirkhah, M. 2014. Evaluating the competitiveness and productivity in a maize-bean intercropping system using some indices. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (4): 535-542. (in Persian with English abstract).
25. Koocheki, A., Zarghani, H., and Norooziyan, A. 2016. Comparison of yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and red bean (*Phaseolus calcaratus*) under different intercropping arrangements. Iranian Journal of Field Crops Research 14 (2): 226-243. (in Persian with English abstract).
26. Koocheki, A., Hosseini, M., and Hashemi Dezfouli, A. 1995. Sustainable agriculture. Jahad University Press Mashhad, Iran. 188, pp. (in Persian).
27. Koocheki, A., Lalehgani, B., and Najibnia, S. 2010. Evaluation of productivity in bean and corn intercropping. Iranian Journal of Crop Research 7 (2): 605-614. (in Persian with English abstract).
28. Koocheki, A., Nasiri Mohalati, M., Jahani, M., Boroum Reza Zadeh, Z., and Jafari, L. 2014. Yield responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) to intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.) and bean (*Phaseoluse vulgaris* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 12 (1): 1-8. (in Persian with English abstract).
29. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorramdel, S., Anvarkhah, M., Teimouri, S., and Sanjani, S. 2010. Evaluation of growth indices of hemp (*Cannabis sativa* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.) in intercropping with replacement and additive series. Journal Agroecology 2 (1): 27-36. (in Persian with English abstract).
30. Koocheki, A., Solouki, H., and Karbor, S. 2016. Study of ecological aspects of Sesame (*Sesamum indicum* L.) and Mung Bean (*Vigna radiata* L.) intercropping in weed control. Iranian Journal of Pulses Research 7 (2): 27-44. (in Persian with English abstract).
31. Kumar, A., Singh, R., and Chhillar, R. K. 2006. Nitrogen requirement of fennel (*Foeniculum vulgare*) based cropping systems. Indian Journal of Agricultural Science 76 (10): 599-602.
32. Manna, M. C., and Singh, M. V. 2001. Long- term effects of intercropping and bio-litter recycling on soil biological activity and fertility status of subtropical soils. Bioresources Technology 76: 143-150.
33. Mansouri, L., Jamshidi, K. H., Rastgo, M., Saba, J., and Mansouri, H. 2013. The effect of additive intercropping maize (*Zea mays* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield, yield components and control weeds in Zanjan climatic conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (3): 483-492. (in Persian with English abstract).
34. Mardani, F., and Balouch, H. 2015. Effect of intercropping on the yield and some quantitative and qualitative traits of fenugreek and anise. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25 (2): 1-16. (in Persian with English abstract).

35. Mazaheri, D. 1987. Intercropping maize and kale. Iranian Journal of Agricultural Science 18 (3,4). (in Persian with English abstract).
36. Mazaheri, D. 1993. Intercropping. Tehran Univ. Publisher. (in Persian).
37. Mirhashemi, S. M., Koocheki, A., Parsa, M., and Nassiri Mahallati, M. 2009. Evaluation benefit of ajowan and fenugreek intercropping indifferent levels of manure and planting pattern. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (1): 259-269. (in Persian with English abstract).
38. Morris, R. A., Villegan, A. N., Polthanee, A., and Centeno, H. S. 1990. Water use by monocropped and intercropped cowpea and sorghum after rice. Agronomy Journal 82: 664-668.
39. Nachigera, G. M., Ledent, J. F., and Draye, X. 2008. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: effects on growth and yield. Environmental and Experimental Botany 64 (2): 180-188.
40. Naghipoor Dehkordi, P., Koocheki, A., Nasiri Mohalati, M., and Khorramdel, S. 2015. Effect of combined intercropping on the yield of three medicinal species of black seed (*Nigella sativa* L.) and borage (*Borago officinalis* L.) and marigold (*Calendula officinalis* L.). Third National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture. 11 June 2015. (in Persian).
41. Omid Beigi, R. 2011. Production and processing of medicinal plants. Volume 3, Sixth Edition, Astan Quds Razavi Publishing, Mashhad, Iran. (in Persian).
42. Pouramir, F., Nasiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Gorbani, R. 2010. Assessment of sesame and chickpea yield and yield components in the replacement series intercropping. Iranian Journal of Field Crop Research 8 (5): 747-757. (in Persian with English abstract).
43. Putnam, D. H., and Allen, D. L. 1992. Mechanism for over yielding in sunflower-mustard intercrop. Agronomy Journal 84:188-195.
44. Rezaei Chiyaneh, E., Khorramdel, S., and Jamali, M. 2014. Evaluation of Quantitative yield and essential oil content of dill (*Anethun graveolens* L.) in different intercropping patterns with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Seed and Plant Improvement Research Institute, Karaj, Iran. 24-26 Agust. (in Persian).
45. Rezaei- Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Valizadegan, O., and Banaei- Asl, F. 2014. Evaluation of different intercropping patterns of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and lentil (*Lens culinaris* L.) in double crop. Journal of Agroecology 5 (4): 426-472. (in Persian with English abstract).
46. Rezaei- chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Jamali, M., and Ghiyasi1, M. 2016. Evaluation of yield and indices advantages at different intercropping patterns of dill (*Anethun graveolens* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Plant Production Technology 8 (1): 15-27. (in Persian with English abstract).
47. Rezaei-Chiyaneh, E., and Gholinezhad, E. 2015. Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology 7 (3): 381-396. (in Persian with English abstract).
48. Rezazadeh, M., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Khorramdel, S. 2016. Effect of intercropping ratios in additive series of fenugreek with tomato cultivars on yield. 9th Horticultural Science Congress, 25-28 Junuary. (in Persian).
49. Rezvani Moghaddam, P., and Ahmad Zadeh Motlagh, M. 2007. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa*) in Islamabad-Ghayein. Journal Pajouhesh & Sazandegi 20 (3): 62-68. (in Persian with English abstract).
50. Rezvani Moghaddam, P., and Moradi, R. 2011. Evaluation of planting dates, intercropping and biological fertilizers on the yield and quality of essential oil of cumin and fenugreek. Iranian Journal of Field Crop Scienc 43 (2): 217-230. (in Persian with English abstract).
51. Rezvani Moghaddam, P., Raoofi, M. R., Rashed Mohassel, M. H., and Moradi, M. 2009. Evaluation of sowing patterns and weed control on mung bean (*Vigna radiate* L. Wilczek)- black cumin (*Nigella sativa* L.) intercropping system. Journal of Agroecology 1 (1): 65-79. (in Persian with English abstract).
52. Rostaei, M., Fallah, S., and Abbasi Sorki, A. 2014. Effect of fertilizer sources on growth, yield and yield components of fenugreek intercropped with black cumin. Journal of Crop Production 7 (4): 222-197. (in Persian with English abstract).
53. Sadeghi, S., Rahnavard, A., and Ashrafi, Z. 2005. Effect of planting date and plant density on yield of black cumin. International Journal of Biological Resarch 2 (2): 94-98. (in Persian with English abstract).
54. Sadri, S., Pouryouseforcid, M., Soleimani, A., Barzegar, T., and Jamshidi, Kh. 2015. Evaluation of agronomical traits fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)- fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in intercropping. Iranian Journal of Medicinal lants 45(4): 593-602. (in Persian with English abstract).
55. Sharifi, Y., Aqa Alikhani, M., Modares Sanavi, A. M., and Soroushzadeh, A. 2006. Effect of mixing ratio and plant density on forage production in sorghum mix (*Sorghum bicolor*) with vigna (*Vigna unguiculata*). Iranian Agriculture Sciences Journal 1-37 (2): 370-363. (in Persian with English abstract).
56. Solouki, S., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Rezvani Moghaddam, P. 2015. Evaluation of substitution and additive intercropping effect on seed and biological yield of milk thistle (*Silybum marianum* L.) and fennel

(*Foeniculum vulgare* Mill.). Second National Conference on Agricultural Engineering and Environment and Sustainable Natural Resources Engineering. 11 March 2015. (in Persian).
57. Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparison of radiation use efficiency of mono-/inter–cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71: 17-29.
58. Vafabakhsh, K., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2007. Agro-ecosystems health assessment in Mashhad. Iranian Journal of Field Crops Research 5 (1): 177-184. (in Persian with English abstract).
59. Valizadegan, A. 2015. Study of yield quality and quantity in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) and species diversity and relative abundance of insects in row and strip intercropping. Journal of Agricultural Science (University of Tabriz) 25 (3): 15-30. (in Persian with English abstract).
60. Willey, R. W. 1990. Resources use in intercropping systems. Journal of Agriculture Water Management 17: 215-23.
61. Yadav, U. C., Moorthy, K., and Baquer, N. Z. 2004. Effects of sodium-orthovanadate and Trigonella foenumgraecum seed son hepatic and renal lipogenic enzymes and lipid profile during alloxan diabetes. Journal Bio Sciences 29: 81-91.
62. Zargari, A. 1997. Medicinal plants (Vol. 4). Tehran University Publisher, Iran. (in Persian).
63. Zarifpour, N., Taghi Naseri Poor Yazdi, M., and Nasiri Mahallati, M. 2014. Evaluate the Effect of Different Intercropping Arrangements of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) and Chickpea (*Cicer arietinum* L.) on Quantity and Quality Characterastis of Species. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (1): 34-43. (in Persian with English abstract).
64. Zhang, F., and Li, L. 2003. Using competitive and facilitative interaction in intercropping systems enhances crop productivity nutrient- use efficinency. Plant and Soil 248: 305-312.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 31-47

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۴۷-۳۱

Effect of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and Black Seed (*Nigella sativa* L.) Additive Intercropping on Yield and Yield Components

K. Abdollahpour[1], A. Koocheki[2*], M. Nassiri Mahallati[2], S. Khorramdel[3]

Received: 28-02-2018
Accepted: 10-03-2019

Introduction

Medicinal plants are looked upon not only as a source of affordable health care products but also as a source of income. There is a growing demand for plant-based medicines, health products, essential oils, fragrances, cosmetics and natural aroma chemicals in the markets. Cultivation of medicinal and aromatic plants has several advantages such as higher net returns per unit area, low incidence of pests and diseases, improvement of degraded and marginal soils, longer shelf life of end products and foreign exchange earning potential. Intercropping is a multiple cropping system that has been practiced for many years in various methods in most of the regions. It has played important roles in the redistribution of soil nutritional resources and establishment of soil microbial diversity. Legumes have been intercropped with medicinal plants for many years. Land equivalent ratio (LER) is often used as an indicator to determine the efficiency of intercropping. It is the most common index adopted in intercropping to measure the land productivity. The objectives of this study were to determine the effects of black seed (*Nigella sativa* L.) intercropped with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in additive series on their yield and yield components and LER.

Materials and Methods

An experiment was performed based on a randomized complete block design with six treatments and three replications at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad during growing season of 2015-2016. Intercropping ratios were 25% B (black seed) +100% fenugreek (F), 50% B+100% F, 75% B +100% F, 100% B+100% F and their monoculture. Studied traits were the number of branches per plant, the number of follicles per plant, the number of seeds per follicle, 1000- seed weight, seed yield, biological yield and harvest index for black seed and the number of branches per plant, the number of pods per plant, the number of seeds per pod, 1000- seed weight, seed yield, biological yield and harvest index for fenugreek. LER was calculated as the criterion for intercropping.

The treatments were run as an analysis of variance (ANOVA) by using Minitab to determine if significant differences existed among treatments means. Multiple comparison tests were conducted for significant effects using the LSD test.

Results and Discussion

The results showed that the different intercropping ratios of black seed with fenugreek had significant effect on the number of branches per plant, the number of follicles and pods per plant, the number of seeds per follicle/pod, seed yield and biological yield. The highest and the lowest seed yield of black seed were observed for monoculture and 25% black seed+100% fenugreek with 291 and 107 $kg.ha^{-1}$, respectively. The maximum and the minimum seed yield of fenugreek were related to its monoculture and 100% black seed+100% fenugreek with 655 and 363 $kg.ha^{-1}$, respectively. When the two plants are grown together, yield advantages occur due to their differences to use resources.

LER of the black seed/ fenugreek intercropping system ranged from 1.12 to 1.24, and thus land use efficiency was significantly enhanced by this intercropping system. LER was much higher than one in all of the intercropping ratios, indicating the intercropping yield advantage. The maximum LER was calculated for 75% black seed+100% fenugreek with 1.24.

Conclusions

Fenugreek intercropped with black seed showed a significant increase in yield, yield components and LER. It has been proved that the effects of intercropping by its involvement in improved soil chemical characteristics, increased nitrogen content (nitrogen biological fixation) has greatly contributed to agroecological services. It can be concluded that intercropping of fenugreek with contributed to productivity increases per unit area of black seed.

1- MSc student Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

Acknowledgement

This research was funded by Vice Chancellor for Research of Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Additive series, Land equivalent ratio, Medicinal plant

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۵۹-۴۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 49-59

بررسی اثر القاکننده‌های تولید گره بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و خصوصیات گره‌زایی یونجه (*Medicago sativa* L.) در شرایط شوری

رقیه مردانی[۱*]، کاظم پوستینی[۲]، علیرضا عباسی[۳]، احمدعلی پوربابایی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۵

چکیده

لوتئولین یکی از مهم‌ترین فلاونوئیدها است که توسط بذرهای در حال جوانه‌زنی یونجه ترشح می‌شود. در این مطالعه تاثیر لوتئولین بر بیان ژن گره‌زایی دو سویه *Rhizobium meliloti* با استفاده از پلاسمید حامل پروموتور nodA و ژن *lacZ* از باکتری *Escherichia coli* و توسط فعالیت آنزیم β-galactosidase مورد بررسی قرار گرفت. لوتئولین بیان ژن nod را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. سپس تاثیر لوتئولین و ترشحات بذر بر گره‌زایی و عملکرد یونجه در شرایط تنش شوری و بدون شوری مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی، در سه تکرار و تیمارهای شوری، ارقام یونجه، سویه باکتری و نوع کاربرد القاکننده‌های خارجی اجرا شد. سطوح شوری شامل: شاهد (بدون شوری) و آب با شوری ۱۵دسی‌زیمنس بر متر، روش به‌کارگیری القاکننده‌ها در سه سطح (پیش‌تیمار سویه‌های *ریزوبیوم* با لوتئولین، استفاده از لوتئولین و ترشحات بذر به‌طور مستقیم روی سطح بذر و شاهد) دو رقم یونجه (G/۰۲۲ و G/۰۱۹) و سویه‌های باکتری شامل سویه حساس و مقاوم به شوری بود. در شرایط شوری تیمار بذرهای یونجه با القاکننده‌ها، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و ارتفاع گیاه را به‌طور متوسط ۳۰٪ تعداد گره را ۴۷٪ افزایش داد ولی بر غلظت کلروفیل تاثیر معنی‌داری نداشت. همچنین، شوری موجب افزایش چهار برابری پرولین نسبت به شرایط عادی شد که استفاده از لوتئولین و ترشحات بذر، پرولین را در شرایط شوری به‌ترتیب ۱/۶۶ و ۱/۳۵ برابر افزایش داد ولی در شرایط عادی کاربرد القاکننده‌ها تاثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین نداشت. همچنین، شوری محتوای سدیم برگ (۷ برابر) و ریشه (۸/۵ برابر) را افزایش داد و محتوای پتاسیم این اندام‌ها را به‌ترتیب ۲۹٪ و ۲۴٪ کاهش داد که کاربرد لوتئولین و ترشحات بذر تا حدی این تغییرات را تعدیل کرد. در این آزمایش، در تمام صفات مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری بین شاهد و پیش‌تیمار باکتری‌ها با لوتئولین مشاهده نشد. به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که لوتئولین و ترشحات بذر می‌تواند به‌عنوان القاکننده خارجی در بهبود رشد و گره‌زایی یونجه در شرایط شور و عادی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: القاکننده خارجی، ترشحات بذر، لوتئولین، ژن *lacZ*

مقدمه

در لگوم‌ها مانند همه گیاهان نه تنها مساله تحمل به شوری مهم است، بلکه تحمل هم‌زیستی آن‌ها به شوری نیز مهم است. هم‌زیستی از هر یک از هم‌زیست‌ها (لگوم و ریزوبیوم) به شوری حساس‌تر است. شوری منجر به کاهش رشد گیاه، تعداد ریشه‌های مویین، تغییر شکل ریشه‌های مویین، کاهش تبادلات پیامی بین دو هم‌زیست (Miransari and Smith, 2009)، کاهش رشد ریزوبیوم‌ها (Tu, 1981)، کاهش پیچش ریشه‌های مویین (Miransari and Smith, 2009; Zahran and Sprent, 1986; Tu, 1981)، کاهش توسعه ریشه‌های مویین (Zahran and Sprent, 1986)، تغییر شکل رشته سرایت، کاهش تعداد گره‌ها (Soussi *et al.*, 1999; Zahran and Sprent, 1986; Tu, 1981; Bouhmouch *et al.*, 2005)، افزایش قند و پروتئین در گره‌ها (Soussi *et al.*, 1999) و کاهش فعالیت احیای استیلن (Soussi *et al.*, 1999) می‌شود. تثبیت نیتروژن در بسیاری از گونه‌ها در شوری ۵۰ mM NaCl تقریباً ۵۰٪ کاهش می‌یابد (Bruning and Rozema, 2012). در کل، تثبیت نیتروژن نسبت به تولید زیست‌توده بیشتر تحت تاثیر تنش شوری قرار می‌گیرد (Bruning and Rozema, 2012). در شرایط تنش شوری تعداد ریزوبیوم‌ها نیز کاهش می‌یابد (Tu, 1981)، با این حال بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهد که ریزوبیوم‌ها به شوری مقاوم‌تر از لگوم‌ها هستند (Bruning and Rozema, 2012).

برای شروع گره‌زایی، هر دو هم‌زیست (گیاه میزبان و میکروب) برای برقراری ارتباط با هم‌دیگر مولکول‌هایی را ترشح می‌کنند. گیاه میزبان فلاونوئیدها را برای جذب ریزوبیوم‌ها ترشح می‌کند، این تبادل پیام نیز تحت تاثیر تنش شوری قرار می‌گیرد (Miransari and Smith, 2009; Oldroyd and Downie, 2004). علاوه بر فلاونوئیدها، پیام‌های گیاهی شامل بتائین‌ها، آلدونیک اسیدها،

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۴- دانشیار گروه خاک‌شناسی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: (Email: rm.mardani@ut.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.71885

زانتون‌ها، فنولیک‌های ساده و جاسمونات‌ها هستند که مشاهده شده است همه آن‌ها به‌عنوان القاکننده‌های ژن‌های nod عمل می‌کنند (Cooper, 2007).

فعال شدن ژن‌های گره‌زایی و نسخه‌برداری آن‌ها منجر به سنتز Nod فاکتورهای chitooligosaccharide می‌شود (Mulligan and Long, 1989). تشخیص Nod فاکتورهای خاص توسط ریشه مویین گیاه منجر به آغاز پاسخ‌های سازمان‌یافته‌ای در ریشه گیاه می‌شود. ریشه‌های موئین پیچ می‌خورند و تولید یک فرورفتگی در دیواره سلولی (رشته سرایت) می‌کنند، تا باکتری‌ها از طریق آن وارد ریشه شوند و تصور می‌شود که Nod فاکتورهای باکتریایی منجر به اختصاصی بودن رابطه هم‌زیستی می‌شود. Nod فاکتورها موجب تجمع فلاونوئیدها، مهار انتقال اکسین و تقسیم سلولی در کورتکس ریشه می‌شوند و در نتیجه منجر به تشکیل پریموردیای گره می‌شوند. رشته سرایت باکتری‌ها را در پریموردیای گره آزاد می‌کند و فرآیند ادامه می‌یابد تا منجر به تثبیت نیتروژن در گره‌ها شود (Hirsch, 1992; Perret *et al.*, 2000).

شواهدی وجود دارد که استفاده از القاکننده‌های خارجی بیان ژن‌های nod گره‌زایی، عملکرد و گره‌زایی را در برخی از گونه‌های لگوم‌ها در شرایط عادی و تنش افزایش می‌دهد (Kapulnik *et al.*, 1987; Begum *et al.*, 2001; Abd-Alla 2014; Ghasem *et al.*, 2012; Hungria and Phillips 1993).

بنابراین، این آزمایش با هدف بررسی تاثیر لوتئولین و ترشحات بذر یونجه به‌عنوان القاکننده‌های خارجی بر بهبود بیان ژن گره‌زایی ریزوبیوم و عملکرد و گره‌زایی یونجه در شرایط تنش شوری به‌اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش ۱: تاثیر لوتئولین بر بیان ژن گره‌زایی *R. Meliloti*

بررسی تاثیر لوتئولین بر بیان ژن nodA ریزوبیوم با استفاده از روش β-galactosidase (Miller, 1972) انجام شد. در این روش از پلاسمید pMPA221 (تهیه شده از دانشگاه Maria Curie-Skłodowska لهستان) حاوی PnodA–lacZ (پروموتور ژن گره‌زایی A و ژن بدون پروموتور lacZ از باکتری اشرشیاکولی) استفاده شد. lacZ آنزیم β-galactosidase را کد می‌کند، این آنزیم لاکتوز را به گلوکز و گالاکتوز تجزیه می‌کند.

برای انجام آزمایش ابتدا پلاسمید باید وارد باکتری‌های ریزوبیوم می‌شد که این کار با استفاده از الکتروپوریشن انجام شد. در این روش به ۹۰µl (تقریباً ۵×۱۰^{۸}) باکتری مستعد ریزوبیوم (Garg *et al.*, 1999)، ۵µl (تقریباً ۵۰ng) پلاسمید اضافه شد و ۳۰ دقیقه روی یخ قرار داده شد. باکتری‌ها با استفاده از دستگاه الکتروپوریشن در ۱۸۰۰V، ۲۰۰Ω و ۵۰µF الکتروپوریت شدند (پژوهشگاه ملی و مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری). سپس ۲۴ ساعت در محیط YEM در شیکر در دمای ۲۸ درجه‌سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از ۲۴ ساعت باکتری‌ها به محیط جامد YMA که حاوی تتراسایکلین (پلاسمید مقاوم به تتراسایکلین می‌باشد) بود منتقل شد. بعد از دو تا سه روز کلونی‌ها به محیط تازه منتقل شدند. باکتری‌های حاوی پلاسمید در این روش مورد استفاده قرار گرفت.

ریزوبیوم‌هایی که دارای پلاسمید بودند به محیط YEM حاوی تتراسایکلین اضافه شدند، و به مدت ۳ تا ۵ روز، در شیکر ۲۸ درجه سانتی‌گراد رشده داده شدند به‌طوری‌که OD_{620} آن‌ها به ۰/۴ رسید، سپس با استفاده از محیط رشد تازه OD_{620} آن‌ها به ۰/۱ رسانده شد. باکتری‌ها به مقدار مساوی در تیوب‌ها توزیع شدند و مقداری از لوتئولین به آنها اضافه شد که غلظت نهایی این القاکننده در تیوبها به ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰µM رسید. شاهد فاقد القاکننده بود و به‌دلیل استفاده از اتانول برای تهیه محلول لوتئولین، از اتانول به‌عنوان کنترل منفی استفاده شد. سپس، تیوب‌ها به مدت ۱۸ ساعت در شیکر ۲۸ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. و بعد از این مدت، آزمایش فعالیت β–galactosidase انجام شد. تا زمان انجام آزمایش باکتری‌ها را می‌توان در ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری کرد.

این روش، بیان ژن nod (ژن گره‌زایی) در اثر القاکننده (لوتئولین) را به شکل غیرمستقیم توسط مقدار فعالیت آنزیم β–galactosidase اندازه می‌گیرد. در این روش، ۰/۵ml از باکتری‌ها با بافر Z به حجم ۱ml رسانده شدند (بافر Z: ۱۶/۱ گرم $Na_2HPO_4.7H_2O$، ۵/۵ گرم $NaH_2PO_4.H_2O$، ۰/۷۵گرم KCl، $MgSO_4.7H_2O$ ۰/۲۴۵گرم، β-mercaptoethanol ۲/۷گرم در ۵۰۰ml آب با PH ۷/۰)، ۴۰µl تولوئن اضافه شد و به مدت ۱۰ ثانیه ورتکس شدند. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس ۰/۲ml ONPG (O-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside) در غلظت $۴mg.ml^{-1}$ به تیوب‌ها اضافه شد. ONPG شبه لاکتوز است که در اثر آنزیم β-galactosidase تجزیه می‌شود و تولید رنگ زرد می‌کند. پس از اضافه کردن ONPG، باکتری‌ها دوباره در بن‌ماری دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند تا تغییر رنگ دهند (رنگ زرد). طبق یک آزمایش مقدماتی، این مرحله در زمانه‌ای مختلف از ۱۵ دقیقه تا ۲۴ ساعت انجام شد بهترین زمان برای این مرحله یک ساعت بود. بعد از یک ساعت واکنش توسط Na_2CO_3 یک مولار متوقف شد.

بعد از توقف واکنش، تیوب‌ها در ۷۲۰۰ g به مدت ۴ دقیقه سانتریفیوژ شدند و باکتری‌ها حذف شد و OD_{420} محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شد. در کوویت دیگر ۰/۵ml از باکتری‌ها با بافر Z به حجم ۱ml رسانده شد و OD_{600} آن خوانده شد. این آزمایش سه بار در سه تکرار انجام شد. فعالیت β– galactosidase با استفاده از

معادله (۱) در واحد میلر (Miller units) اندازه‌گیری شد (Mabood and Smith 2005).

$$\beta\text{-galactosidase activity (Miller units)}=\frac{(OD420\times1000)}{(OD600\times T\times V)} \quad (۱)$$

که در آن:

T: زمان واکنش (دقیقه) در این آزمایش یک ساعت بود.

V: حجم محیط باکتری‌ها (میلی‌لیتر) می‌باشد.

آزمایش ۲: تاثیر کاربرد خارجی لوتئولین بر عملکرد و گره‌زایی یونجه

برای بررسی تاثیر پیش‌تیمار *R. meliloti* با لوتئولین به‌عنوان القاکننده ژن *nod* و آغشته کردن بذور یونجه با لوتئولین و ترشحات بذر بر گره‌زایی، رشد و عملکرد یونجه آزمایشی در گلخانه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. با توجه به آستانه تحمل شوری یونجه، سطوح شوری شامل شاهد (آب معمولی) و ۱۵دسی‌زیمنس بر متر (در این شوری ۷۰٪ عملکرد یونجه کاهش می‌یابد)، روش به‌کارگیری القاکننده‌ها شامل ۱- پیش‌تیمار سویه‌های ریزوبیوم با لوتئولین ۲- آغشته کردن بذور یونجه با لوتئولین و ترشحات بذر ۳- شاهد، دو رقم یونجه (G/۰۲۲ و G/۰۱۹) تهیه شده از موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و سویه‌های باکتری شامل سویه حساس و مقاوم به شوری بود.

برای پیش‌تیمار باکتری‌ها، باکتری‌های *R. meliloti* به مدت ۴۸ ساعت در پتری‌دیش‌های حاوی محیط YMA (Yeast Mannitol Agar) در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد رشد داده شدند. سپس یک کلونی منفرد از پتری‌دیش‌ها در ۴ml محیط YMB (yeast mannitol broth) قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در شیکر ۲۸ درجه سانتی‌گراد رشد داده شد. سپس مجدداً به ۴۰۰ml محیط تازه YMB منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در شیکر ۲۸ درجه سانتی‌گراد رشد داده شدند. پس از ۲۴ ساعت، با توجه به تعداد گلدان‌ها و مقدار مورد نیاز، در ارلن‌های ml ۱۰۰ توزیع شد و مقداری لوتئولین به آن اضافه شد که غلظت نهایی لوتئولین در باکتری‌های مقاوم و حساس به شوری به‌ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار رسید. ارلن شاهد فاقد لوتئولین بود. ارلن‌ها در شیکر در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت یک روز قرار گرفتند (مقدار استفاده شده از ترکیب القاکننده ژن‌های تولید گره بر اساس نتایج آزمایش بتاگالاکتوزیداز بود (شکل ۱)).

بذرهای یونجه با هیپوکلریت (۲/۵٪) ضدعفونی شد و سپس چندین بار با آب مقطر شسته شدند، به‌منظور آغشته کردن بذرها با ریزوبیوم تلقیح شده از صمغ عربی استفاده شد. برای این منظور از صمغ عربی ۱۰٪ استفاده شد که ابتدا بذرها در محلول صمغ عربی قرار داده شدند. سپس باکتری‌ها به بذرها اضافه شدند تا بذرها کاملاً آغشته به باکتری‌ها شوند. البته قبل از استفاده، به‌منظور افزایش غلظت باکتری‌ها، باکتری‌ها ابتدا به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند و سپس در کلرید سدیم ۵٪ دوباره حل شدند. بذرها بلافاصله در گلدان‌های حاوی پرلیت به تعداد ۱۰ عدد در هر گلدان کاشته شدند. که بعد از رشد تعداد بوته‌ها در هر گلدان به ۵ عدد کاهش داده شد.

برای استفاده مستقیم لوتئولین و ترشحات بذر روی سطح بذر، به‌ترتیب از محلول ۲۰۰µM و ۵۰٪ لوتئولین و ترشحات بذر استفاده شد. مقداری از این محلوها استفاده شد، که کاملاً سطح بذرها را پوشش دهد. سپس بذرها در گلدان‌هایی که قبلاً ریزوبیوم اضافه شده بود، کاشته شدند.

برای تهیه ترشحات بذر یونجه (*Medicago sativa* L.)، ابتدا بذرها ضدعفونی شدند و در فلاسک برای هر گرم بذر، ۲ تا ۳ میلی‌لیتر آب مقطر استریل اضافه شد، و در شیکر ($۱۲۰ r.min^{-1}$) ۲۲- ۲۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند سپس ترشحات جمع شدند و تا زمان مصرف در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (Tambalo *et al.*, 2013).

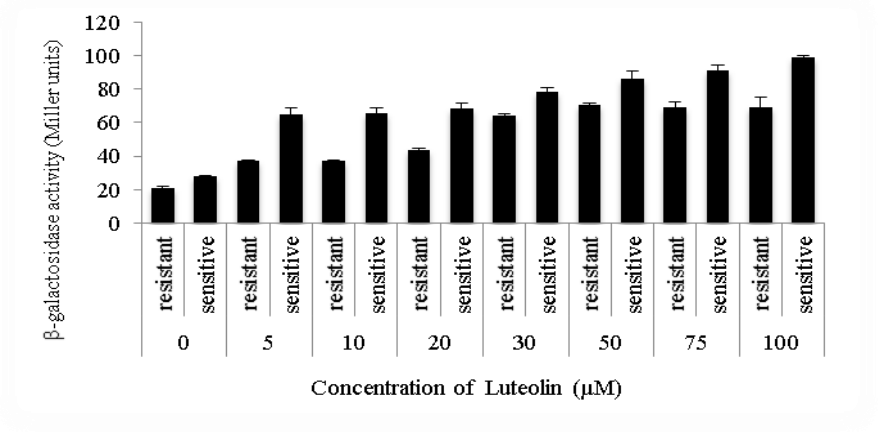
در مرحله سه یا چهار برگی بوته‌ها، شوری همراه با محلول هوگلند اعمال شد (Miransari and Smith, 2009). آبیاری گلدان‌ها با محلول اصلاح‌شده هوگلند انجام شد که در آن $CaNO_3$ و KNO_3 توسط ۱mM $MCaCl_2$، ۱mM K_2HPO_4 و ۱mM KH_2PO_4 جایگزین شدند تا یک محلول فاقد نیتروژن تهیه شود. در مرحله شروع گلدهی صفات عملکرد، ارتفاع بوته، تعداد گره و غلظت کلروفیل، محتوای پرولین و محتوای سدیم و پتاسیم به‌ترتیب بر اساس روش آرنون (Arnon , 1967)، Bates *et al.* (1973) و فلیم فتومتری اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل آماری از برنامه SAS (version 9. 1. 3) و برای رسم نمودار از Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از خطای استاندارد و آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

تاثیر لوتئولین بر بیان ژن گره‌زایی *R. meliloti*

فعالیت β –galactosidase نشان داد که لوتئولین بیان ژن گره‌زایی را در هر دو سویه (سویه‌های مقاوم و حساس به شوری) تحریک می‌کند. بیان ژن nod در هر دو سویه تحت تاثیر غلظت لوتئولین قرار گرفت ولی واکنش این دو سویه به غلظت لوتئولین متفاوت بود. به‌طوری‌که در سویه مقاوم به شوری فعالیت القایی لوتئولین تا غلظت ۵۰µM افزایش یافت و سپس ثابت ماند در حالی‌که، در سویه حساس به شوری با افزایش غلظت لوتئولین تا ۱۰۰µM فعالیت القایی آن نیز افزایش یافت (شکل ۱). آزمایش‌های متعدد نشان داده است که استفاده از القاکننده خارجی منجر به افزایش بیان ژن‌های گره‌زایی می‌شود (Maj *et al.*, 2008; Mabood and

Smith 2005; Pérez-Montaño *et al.*, 2011). به نظر می‌رسد تاثیر القاکننده‌ها بر ژن‌های nod خاص هر سویه است و تاثیر متفاوت بر سویه‌ها دارند که ممکن است در رقابتی بودن سویه‌ها تاثیر بگذارد (Maj *et al.*, 2008).

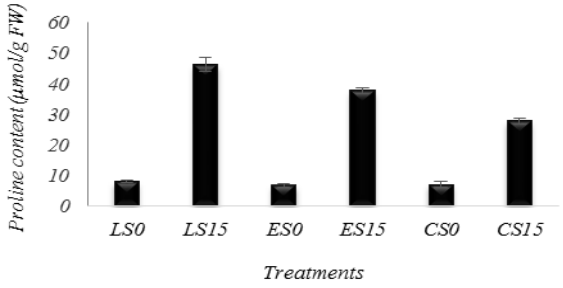


شکل ۱- تاثیر لوتئولین در غلظت‌های مختلف بر بیان ژن گره‌زایی *R. meliloti* در یونجه

Figure 1- Effect of Luteolin at different concentrations on the induction activity of nod genes in *R. meliloti* in alfalfa. The extended bars represent ±standard error.

محتوای پرولین

افزایش پرولین تحت تاثیر تنش‌ها یک واکنش معمول توسط گیاهان است. در این آزمایش نیز، تحت تاثیر شوری میزان پرولین یونجه تقریباً ۴ برابر افزایش یافت. در شرایط غیرشور کاربرد القاکننده‌ها بر محتوای پرولین معنی‌دار نبود، ولی در شرایط شور لوتئولین و ترشحات بذر به‌ترتیب ۱/۶۶ و ۱/۳۵ برابر محتوای پرولین را افزایش دادند (شکل ۲). پرولین یکی از اسمولیت‌های مهم است که گیاهان و میکروارگانیسم‌ها در مواجهه با شوری و تنش آبی تولید می‌کنند. افزایش مقدار پرولین تحمل به شوری را بهبود می‌بخشد (Campanelli *et al.*, 2013). تجمع پرولین در شرایط شوری منجر به کاهش گلوتامات در بیوسنتز کلروفیل می‌شود (Valia *et al.*, 1993).



شکل ۲- تاثیر القاکننده‌های خارجی و شوری بر محتوای پرولین یونجه

Figure 2- The effect of inducers and salinity on proline content of alfalfa

S_0: سطح شوری شاهد، L: کاربرد مستقیم لوتئولین روی سطح بذر، S_{15}: شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، E: کاربرد مستقیم ترشحات بذر روی سطح بذر، C: شاهد (بدون استفاده از القاکننده خارجی)

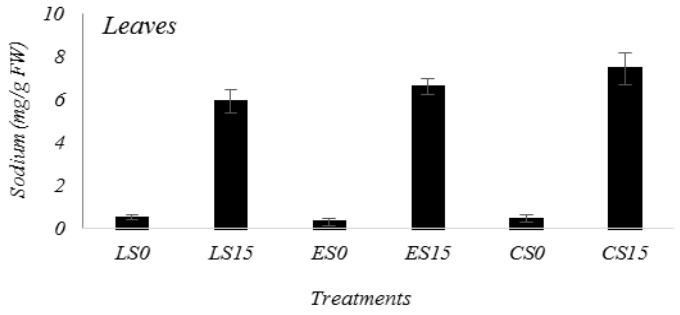
محتوای سدیم و پتاسیم

با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ شوری منجر به افزایش ۷ و ۸/۵ برابری تجمع سدیم به‌ترتیب در برگ و ریشه یونجه شد که مطابق با نتایج Zeng *et al.* (2015); Farissi *et al.* (2014); Wang *et al.* (2012); Ghoulam *et al.* (2002) بود. تجمع شوری در اندام ریشه بیشتر از برگ بود، ریشه اولین اندامی است که تنش شوری را درک و پاسخ می‌دهد (Wang *et al.*, 2012). در آزمایشی هم که توسط Zeng *et al.* (2015) انجام شد تجمع سدیم در ریشه بیشتر از اندام هوایی بود. در شرایط شوری لوتئولین و ترشحات بذر تجمع سدیم را در ریشه و برگ کاهش دادند که این کاهش در برگ معنی‌دار نبود ولی در ریشه معنی‌دار بود. در شرایط شوری افزایش یون‌های معدنی نقش مهمی را در تنظیم اسمزی بازی می‌کند (Farissi *et al.*, 2014; Zeng *et al.*, 2015). نقش یون‌های معدنی در تنظیم اسمزی بین ۵۹ تا ۹۰٪ است در حالی‌که سولوت‌های آلی ۱۰ تا ۳۷٪ نقش دارند که نشان‌دهنده نقش مهم یون‌های معدنی در تنظیم اسمزی است (Zeng *et al.*, 2015). بیشتر بودن مشارکت یون‌های

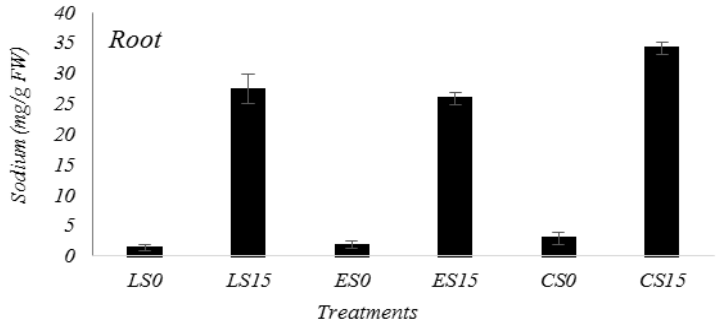
معدنی در تنظیم اسمزی توسط Wang *et al.*, (2012) نیز گزارش شده است. تجمع یون‌های معدنی از لحاظ متابولیکی مفیدتر هستند زیرا انرژی که برای جذب آن‌ها مصرف می‌شود بسیار کمتر از انرژی است که برای سنتز اسمولیت‌های آلی نیاز است (Zeng *et al.*, 2015). یون‌های معدنی اسمولیت‌های غیرآلی هستند که در شرایط شوری در واکوئل تجمع می‌یابند (Zeng *et al.*, 2015).

در شرایط شوری مقدار پتاسیم در ریشه و برگ کاهش یافت (شکل‌های ۵ و ۶). این کاهش در ریشه و برگ به‌ترتیب ۲۴٪ و ۲۹٪ بود. کاربرد لوتئولین و ترشحات بذر تا حدی این کاهش را جبران کردند و در شرایط شور منجر به افزایش محتوای پتاسیم در برگ و ریشه گیاه شدند که این افزایش معنی‌دار بود (شکل‌های ۵ و ۶).

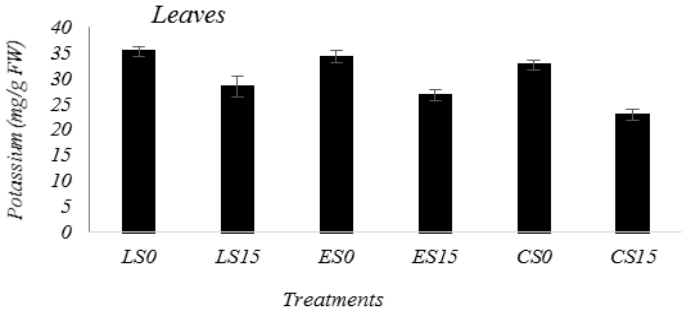
کاهش معنی‌دار k^+ در بافت‌های گیاهی با افزایش شوری را می‌توان با تاثیر آنتاگونیستی Na^+ بر جذب پتاسیم توضیح داد (Farissi *et al.*, 2014; Dadkhah, 2011). نتایج مشابه برای گیاهان *Beta vulgaris* L. (Ghoulam *et al.*, 2002), *Lycopersicon esculentum* Mill. (Juan *et al.*, 2005) و *Schinopsis quebracho* (Meloni *et al.*, 2008) نیز گزارش شده است. همچنین، سدیم می‌تواند با پتاسیم در سایت‌های پیوندی مشابه رقابت کند (Lokhande *et al.*, 2011). نقش پتاسیم در تنظیم اسمزی ۸٪ است که البته با افزایش شوری این نقش کمتر می‌شود (Zeng *et al.*, 2015).



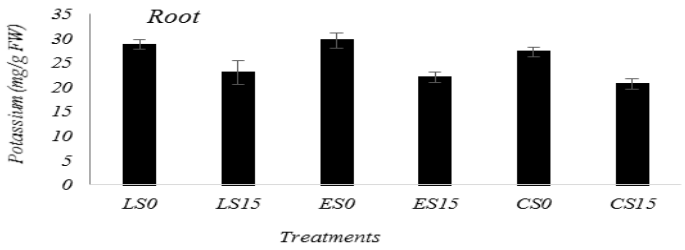
شکل ۳- تاثیر القاکننده‌های خارجی و شوری بر محتوای سدیم برگ یونجه
Figure 3- The effect of inducers and salinity on sodium content of alfalfa leaves



شکل ٤- تاثیر القاکننده‌های خارجی و شوری بر محتوای سدیم ریشه یونجه
Figure 4- The effect of inducers and salinity on sodium content of alfalfa root



شکل ٥- تاثیر القاکننده‌های خارجی و شوری بر محتوای پتاسیم برگ یونجه
Figure 5- The effect of inducers and salinity on potassium content of alfalfa leaves



شکل ٦- تاثیر القاکننده‌های خارجی و شوری بر محتوای پتاسیم ریشه یونجه

Figure 6- The effect of inducers and salinity on potassium content of alfalfa root

S_0: سطح شوری شاهد، L: کاربرد مستقیم لوتئولین روی سطح بذر، S_{15}: شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، E: کاربرد مستقیم ترشحات بذر روی سطح بذر، C: شاهد (بدون استفاده از القاکننده خارجی)

غلظت کلروفیل a و b

با توجه به نتایج تجزیه واریانس تیمار شوری در سطح ۱٪ تاثیر معنی‌دار بر غلظت کلروفیل a و b داشت. تاثیر القاکننده‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). شوری غلظت کلروفیل a و b را تقریباً ۵۰٪ کاهش داد (جدول ۲). به نظر می‌رسد افزایش غلظت یون‌های سمی از جمله یون سدیم در بافت برگ، در اثر شوری موجب تخریب کلروفیل می‌شود (Asch and All, 2000). در آزمایشی هم که توسط Farhangian (2009) انجام شد غلظت کلروفیل در اثر شوری کاهش یافت.

تعداد گره

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که تیمارهای شوری، القاکننده‌های خارجی و اثر متقابل آن‌ها تاثیر معنی‌دار در سطح ۱٪ بر این صفت داشت. مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۲) نشان داد که شوری تقریباً ۶۰٪ این صفت را کاهش داد و تیمار بذر با القاکننده‌ها تقریباً ۴۷٪ تعداد گره را افزایش داد که اختلاف معنی‌داری بین دو القاکننده وجود نداشت. همچنین اختلاف معنی‌داری بین شاهد و پیش‌تیمار باکتری‌ها با لوتئولین وجود نداشت. بیشترین تعداد گره در شرایط شور و غیرشور به‌ترتیب به تعداد ۱۸/۳۳ و ۴۶ عدد در تیمار بذر با لوتئولین و ترشحات بذر بود.

ارتفاع گیاه

با توجه به جدول ۱ تیمارهای شوری و کاربرد القاکننده‌های خارجی و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱٪ تاثیر معنی‌داری بر این صفت داشت و تاثیر سویه باکتری بر این صفت در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲) شوری ارتفاع بوته‌ها را تقریباً ۷۰٪ کاهش داد. تیمار بذرها با القاکننده‌های خارجی ارتفاع بوته‌ها را نزدیک به ۳۰٪ افزایش داد البته اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار لوتئولین و ترشحات بذر وجود نداشت (جدول ۲). در این آزمایش اختلاف معنی‌داری بین شاهد و پیش‌تیمار باکتری با لوتئولین مشاهده نشد. همچنین استفاده از باکتری مقاوم به شوری منجر به افزایش ۶ درصدی ارتفاع بوته‌ها شد. با توجه به مقایسه میانگین‌ها بیشترین ارتفاع بوته در شرایط شور و غیر شور با طول ۱۲و ۳۶/۳۳ سانتی‌متر به‌ترتیب مربوط به تیمار بذرها با ترشحات بذر و لوتئولین بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر شوری و القاکننده‌های خارجی بر صفات مورد بررسی

Table 1- Analysis of variance for the effects of salinity and inducers on some traits of alfalfa

S.O.V	d.f	Shoot dry weight	Root dry weight	Height	The number of nodule	Chlorophyll a	Chlorophyll b
Rep	2	0.049^{*}	0.088^{*}	76.53^{**}	15.38^{*}	46.54^{*}	390.12^{*}
Salinity (S)	1	1.97^{**}	5.23^{**}	8738.26^{**}	10479.26^{**}	3529.53^{**}	2189.19^{**}
Inducers (T)	3	0.22^{**}	0.39**	181.52^{**}	4775.03^{**}	11.13^{ns}	134.24^{ns}
Alfalfa cultivars (V)	1	0.007^{ns}	0.022^{ns}	6.20^{ns}	10.01^{ns}	29.34^{ns}	99.87^{ns}
Strain of Bacteria (R)	1	0.023^{ns}	0.067^{ns}	46.62^{*}	10.01^{ns}	24.76^{ns}	101.98^{ns}
S×T	3	0.074^{**}	0.16^{**}	78.94^{**}	253.87^{**}	19.04^{ns}	139.64^{ns}
S×V	1	0.002^{ns}	0.015^{ns}	11.76^{ns}	2.34^{ns}	14.17^{ns}	87.65^{ns}
S×R	1	0.006^{ns}	0.057^{ns}	102.30^{**}	2.34^{ns}	17.56^{ns}	127.85^{ns}
T×V	3	0.035^{*}	0.094^{*}	10.58^{ns}	3.95^{ns}	23.24^{ns}	132.76^{ns}
T×R	3	0.007^{ns}	0.009^{ns}	3.40^{ns}	3.01^{ns}	18.45^{ns}	87.53^{ns}
V×R	1	0.007^{ns}	0.005^{ns}	17.001^{ns}	3.76^{ns}	10.81^{ns}	90.73^{ns}
S×T×V	3	0.021^{ns}	0.05^{ns}	15.96^{ns}	2.01^{ns}	34.45^{ns}	152.63^{ns}
S×V×R	1	0.021^{ns}	0.002^{ns}	12.9^{ns}	0.01^{ns}	21.65^{ns}	138.98^{ns}
S×T×R	3	0.001^{ns}	0.009^{ns}	88.26^{ns}	0.39^{ns}	15.17^{ns}	78.54^{ns}
T×V×R	3	0.010^{ns}	0.017^{ns}	22.18^{ns}	0.59^{ns}	29.54^{ns}	134.74^{ns}
S×T×V×R	3	0.010^{ns}	0.045^{ns}	1.43^{ns}	2.12^{ns}	30.18^{ns}	149.23^{ns}
Error	62	0.012	0.029	10.39	3.28	44.17	99.01

**، * و ^{ns} به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

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

وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه

تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر تیمارهای شوری، القاکننده‌ها و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد ولی اثر نوع رقم، باکتری و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود. شوری تقریباً ۸۰٪ وزن خشک شاخسار و ریشه را کاهش داد (جدول ۲). همچنین تیمار بذرهای یونجه با لوتئولین و ترشحات بذر این صفات را به‌طور متوسط ۳۰٪ افزایش داد که البته بیشترین تاثیر مربوط به تیمار بذرها با ترشحات بذر بود ولی با این وجود اختلاف معنی‌داری بین این دو القاکننده مشاهده نشد (جدول ۲). در این آزمایش اختلاف معنی‌داری بین شاهد و پیش‌تیمار باکتری‌ها با لوتئولین وجود نداشت. وزن خشک اندام هوایی و ریشه در باکتری مقاوم به شوری افزایش جزئی نشان داد ولی این افزایش معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه در شرایط شور و غیر شور به‌ترتیب با وزن ۰/۲۱ و ۱/۰۷ گرم در هر بوته مربوط به تیمار بذرهای یونجه با ترشحات بذر و وزن خشک شاخسار به‌ترتیب با وزن ۰/۱۵ و ۰/۷۱ گرم در هر بوته به‌ترتیب مربوط به تیمارهای لوتئولین و ترشحات بذر بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی یونجه تحت شوری و القاکننده‌های خارجی

Table 2- comparison of some traits of alfalfa under salinity and inducers

Treatments	Shoot dry weight (g.plant^{-1})	Root dry weight (g.plant^{-1})	Height (cm)	The number of nodule	Chlorophyll a content (mg.g FW^{-1})	Chlorophyll b content (mg.g FW^{-1})
$S_0E_lV_1R_h$	0.15 ^{hijk}	0.26 ^{ghijk}	22.33 ^{de}	23.66 ^{c}	0.57^{a}	0.48^{ab}
$S_0E_lV_1R_m$	0.17 ^{ghijk}	0.30 ^{fghijk}	23.66 ^{cd}	24.33 ^{c}	0.59^{a}	0.47^{ab}
$S_0E_lV_2R_h$	0.22 ^{fghij}	0.32 ^{efghij}	23.00 ^{cd}	23.66 ^{c}	0.60^{a}	0.50^{a}
$S_0E_lV_2R_m$	0.22 ^{fghij}	0.31 ^{fghij}	25.33 ^{cd}	24.33 ^{c}	0.59^{a}	0.51$_{a}$
$S_0P_lV_1R_h$	0.44 ^{bcde}	0.65 ^{cd}	27.66 ^{bc}	42.00 ^{b}	0.58^{a}	0.49^{ab}
$S_0P_lV_1R_m$	0.71 ^{a}	0.96 ^{ab}	36.33 ^{a}	43.66 ^{ab}	0.60^{a}	0.52^{a}
$S_0P_lV_2R_h$	0.42 ^{bcde}	0.63 ^{cd}	28.00 ^{bc}	42.00 ^{b}	0.59^{a}	0.52^{a}
$S_0P_lV_2R_m$	0.38 ^{cdef}	0.55 ^{cdef}	32.66 ^{ab}	44.33 ^{ab}	0.58^{a}	0.45^{ab}
$S_0P_tV_1R_h$	0.44 ^{bcde}	0.67 ^{cd}	25.33 ^{cd}	43.00 ^{b}	0.59^{a}	0.52^{a}
$S_0P_tV_1R_m$	0.51 ^{bcd}	0.68 ^{cd}	30.66 ^{b}	42.66 ^{b}	0.62^{a}	0.50^{a}
$S_0P_tV_2R_h$	0.56 ^{abc}	0.75 ^{bc}	27.66 ^{bc}	44.00 ^{ab}	0.61^{a}	0.53^{a}
$S_0P_tV_2R_m$	0.58 ^{ab}	1.07 ^{a}	30.66 ^{b}	46 ^{a}	0.60^{a}	0.55^{a}
$S_0shaV_1R_h$	0.29 ^{efghi}	0.42 ^{defghi}	17.66 ^{e}	22.66 ^{c}	0.56^{a}	0.48^{ab}
$S_0shaV_1R_m$	0.30 ^{efgh}	0.49 ^{cdefgh}	22.00 ^{de}	23.00 ^{c}	0.58^{a}	0.53^{a}
$S_0shaV_2R_h$	0.34 ^{defg}	0.52 ^{cdefg}	25.00 ^{cd}	24.00 ^{c}	0.60^{a}	0.52^{a}
$S_0shaV_2R_m$	0.36 ^{cdef}	0.59 ^{cdef}	23.00 ^{cd}	24.33 ^{c}	0.63^{a}	0.55^{a}
$S_{15}E_lV_1R_h$	0.07 ^{jk}	0.08 ^{jk}	6.53 ^{gh}	10.00 ^{e}	0.30^{b}	0.26^{c}
$S_{15}E_lV_1R_m$	0.03 ^{k}	0.04 ^{jk}	4.25 ^{gh}	8.00 ^{e}	0.32^{b}	0.29^{c}
$S_{15}E_lV_2R_h$	0.02 ^{k}	0.02 ^{k}	4.50 ^{gh}	8.33 ^{e}	0.32^{b}	0.31^{bc}
$S_{15}E_lV_2R_m$	0.05 ^{jk}	0.04 ^{jk}	5.00 ^{gh}	9.00 ^{e}	0.33^{b}	0.30^{bc}
$S_{15}P_lV_1R_h$	0.08 ^{jk}	0.15 ^{ijk}	7.66 ^{fgh}	17.33 ^{d}	0.32^{b}	0.32^{bc}
$S_{15}P_lV_1R_m$	0.12 ^{ijk}	0.13 ^{jk}	5.50 ^{gh}	17.33 ^{d}	0.33^{b}	0.34^{bc}
$S_{15}P_lV_2R_h$	0.08 ^{jk}	0.10 ^{Jk}	9.33 ^{fg}	15.66 ^{d}	0.34^{b}	0.32^{bc}
$S_{15}P_lV_2R_m$	0.13 ^{hijk}	0.12 ^{jk}	7.16 ^{fgh}	d18.33 ^{d}	0.34^{b}	0.30^{bc}
$S_{15}P_tV_1R_h$	0.10 ^{jk}	0.11 ^{jk}	12 ^{f}	16.00 ^{d}	0.32^{b}	0.33^{bc}
$S_{15}P_tV_1R_m$	0.12 ^{ijk}	0.17 ^{ijk}	9.33 ^{fg}	16.00 ^{d}	0.34^{b}	0.35^{bc}
$S_{15}P_tV_2R_h$	0.15 ^{hijk}	0.21 ^{hijk}	8.66 ^{fgh}	18.00 ^{d}	0.32^{b}	0.34^{bc}
$S_{15}P_tV_2R_m$	0.23 ^{fghij}	0.15 ^{ijk}	7.75 ^{fgh}	17.00 ^{d}	0.31^{b}	0.37^{bc}
$S_{15}shaV_1R_h$	0.07 ^{jk}	0.07 ^{jk}	4.00 ^{h}	9.33 ^{e}	0.30^{b}	0.28^{c}
$S_{15}shaV_1R_m$	0.06 ^{jk}	0.09 ^{Jk}	9.33 ^{fg}	8.66 ^{e}	0.30^{b}	0.30^{bc}
$S_{15}shaV_2R_h$	0.08 ^{jk}	0.10 ^{jk}	7.83 ^{fgh}	8.00 ^{e}	0.32^{b}	0.26^{c}
$S_{15}shaV_2R_m$	0.08 ^{jk}	0.12 ^{jk}	6.83 ^{fgh}	8.66 ^{e}	0.33^{b}	0.22^{c}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

S_0: سطح شوری شاهد، E_l: پیش تیمار سویه‌های ریزوبیوم با لوتئولین، S_1: شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، P_l: کاربرد مستقیم لوتئولین روی سطح بذر، V_1 و V_2 دو رقم یونجه، P_t: کاربرد مستقیم ترشحات بذر روی سطح بذر، R_m و R_h سویه ریزوبیوم مقاوم و حساس به شوری، sha: شاهد (بدون استفاده از القاکننده خارجی)

لوتئولین یکی از مهم‌ترین فلاونوئیدهای یونجه در بیان ژن nod می‌باشد که از بذرهای در حال جوانه‌زنی ترشح می‌شود و در ترشحات ریشه یونجه وجود ندارد. در طول ۴ ساعت اول آبنوشی، فعالیت کل بیان ژن توسط بذرها ۱۰۰ برابر بیشتر از بیان ژن توسط ریشه‌ها از گیاهچه‌های ۷۲ ساعته بود (Hartwig *et al.*, 1990). Kapulnik *et al.* (1987) وقتی لوتئولین به ریزوسفر اضافه کردند، افزایش معنی‌داری را در گره‌زایی، تثبیت نیتروژن و رشد گیاهچه یونجه مشاهده کردند. در آزمایشی نسبت شاخساره/ریشه برای صفر و

μM۱۰ لوتئولین به‌ترتیب ۲/۴۱ و ۲/۴۵ بود (Kapulnik *et al.*, 1987). در آزمایشی هم که توسط Begum *et al.* (2001) اجرا شد عملکرد نخود در تیمار آغشته کردن بذر با القاکننده‌های نارینجنین و هسپرتین نسبت به پیش‌تیمار باکتری‌ها با این القاکننده‌ها بیشتر بود که مطابق با نتایج این آزمایش بود.

Novak *et al.* (2002) با توجه به آزمایشی که انجام داد بیان کرد که به نظر نمی‌رسد، فلاونوئیدهایی که به‌طور طبیعی از ریشه نخود آزاد می‌شوند برای القا کامل ژن‌های nod در محلول غذایی کافی باشد. در این آزمایش که به‌صورت هیدروپونیک انجام شد، مشاهده شد که وقتی گیاهچه‌های تلقیح نشده یک هفته‌ای نخود، با باکتری تلقیح شدند محلول غذایی حاوی ترشحات یک روزه ریشه، قادر بود فقط ۳٪ از حداکثر فعالیت ژن nod را القا کند. در آزمایشی هم ۱۰۰٪ فعالیت القایی ۴ روز پس از تلقیح در محلول غذایی مشاهده شد (Zaat *et al.*, 1988). به نظر می‌رسد به همین دلیل اضافه کردن فلاونوئیدها به محیط رشد گیاه، منجر به افزایش گره‌زایی می‌شود (Novak *et al.*, 2002).

در این آزمایش همچنین از ترشحات بذر خود گیاه یونجه به‌عنوان القاکننده استفاده شد. که با توجه به نتایج آزمایش، تاثیر این ترکیب بر صفات مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری با لوتئولین نداشت. استفاده از ترشحات بذر و گیاه به‌عنوان فعال‌کننده ژن گره‌زایی ریزوبیوم‌ها اقتصادی‌تر می‌باشد حتی اگر آن‌ها مخلوطی از القاکننده‌ها و بازدارنده‌ها باشند. در آزمایشی ترشحات بذر نسبت به فلاونوئید سنتتیک، بیان ژن گره‌زایی ریزوبیوم‌ها را ۵۰ برابر بیشتر افزایش داد. در این آزمایش پیش‌تیمار باکتری‌ها با ترشحات بذر شبدر منجر به افزایش معنی‌دار وزن تر ریشه و شاخساره و تعداد گره‌های شبدر شد (Maj *et al.*, 2010) که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت.

برخلاف نتایج آزمایش‌های دیگر (Begum *et al.*, 2001; Zhang and Smith, 1996; Hungria and Phillips, 1993; Maj *et al.*, 2010; Mabood and Smith, 2005) در این آزمایش پیش‌تیمار ریزوبیوم با القاکننده خارجی در صفات مورد بررسی در یونجه با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت که احتمال دارد مربوط به مرگ و میر ریزوبیوم‌ها روی بذر باشد (Deaker *et al.*, 2004) به نظر می‌رسد برای استفاده از این تکنیک نیاز به روش جدیدی است که هم مقرون به‌صرفه باشد و هم قابل تولید توسط تولیدکنندگان باشد (Deaker *et al.*, 2004).

نتیجه‌گیری

لوتئولین یکی از مهم‌ترین فلاونوئیدهای یونجه در بیان ژن گره‌زایی می‌باشد در این آزمایش نیز لوتئولین بیان ژن *nodA* را افزایش داد. با وجود این‌که پیش‌تیمار ریزوبیوم با لوتئولین تاثیر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی نداشت. ولی آغشته کردن بذور یونجه با لوتئولین و ترشحات بذر منجر به افزایش گره‌زایی و رشد در شرایط عادی و شور شد. بنابراین این ترکیبات می‌توانند به‌عنوان القاکننده‌های خارجی در بهبود رشد و گره‌زایی یونجه در شرایط شور و عادی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، در این آزمایش تاثیر ترشحات بذر بر صفات مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری با لوتئولین نداشت. استفاده از ترشحات بذر و گیاه به‌عنوان القاکننده اقتصادی‌تر می‌باشد. با این حال، استفاده از القاکننده‌ها برای افزایش گره‌زایی و عملکرد زمانی مفید است که القاکننده‌ها توسط عوامل زراعی و وضعیت ژنتیکی خود گیاه محدود شده باشند. لذا، بهتر است، ابتدا کاربرد آن در مزارع و گیاهان مورد کاشت مطالعه و سپس مورد استفاده قرار گیرد. چون با توجه به نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد استفاده از فلانوئیدها یک روش مناسب برای بهبود گره‌زایی می‌باشد. در این آزمایش با توجه به آستانه تحمل یونجه شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر که در آن ۷۵ درصد عملکرد کاهش می‌یابد انتخاب شد که در این شوری القاکننده‌های خارجی تاثیر مناسبی بر افزایش عملکرد و گره‌زایی یونجه داشت، بنابراین کاربرد القاکننده‌های خارجی در سطوح شوری پایین‌تر و در شرایط مزرعه به شرط بررسی اولیه توصیه می‌گردد.

References

1. Abd Alla, M. H., Bagy, M. K., El-enany, A. S., and Bashandy, S. R. 2014. Activation of Rhizobium tibeticum With Flavonoids Enhances Nodulation, Nitrogen Fixation, and Growth of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) Grown in Cobalt-Polluted Soil. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 66: 303-315.
2. Arnon, D. I. 1967. Copper anzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. Pant Physiology 24: 1-10.
3. Asch, F., Dingkuhn, M., and Droffling, K. 2000. Salinity increases CO_2 assimilation but reduces growth in field growth irrigated rice. Plant and Soil 218: 1-10.
4. Bates, L. S., Waldren, R. P., and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.
5. Begum, A. A., Leibovitch, S., Migner, P., and Zhang, F. 2001a. Specific flavonoids induced nod gene expression and pre-activated nod genes of Rhizobium leguminosarum increased pea (*Pisum sativum* L.) and lentil (*Lens culinaris* L.) nodulation in controlled growth chamber environments. Journal of Experimental Botany 52: 1537-1543.

6. Begum, A. A., Leibovitch, S., Migner, P., and Zhang, F. 2001b. Inoculation of pea (*Pisum sativum* L.) by *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* preincubated with naringenin and hesperetin or application of naringenin and hesperetin directly into soil increased pea nodulation under short season conditions. Plant and Soil 237: 71-80.
7. Bouhmouch, I., Souad-Mouhsine, B., Brhada, F., and Aurag, J. 2005. Influence of host cultivars and rhizobium species on the growth and symbiotic performance of *Phaseolus vulgaris* under salt stress. Journal of Plant Physiology 162: 1103-1113.
8. Bruning, B., and Rozema, J. 2012. Symbiotic nitrogen fixation in legumes: Perspectives for saline agriculture. Environmental and Experimental Botany 92: 134-143.
9. Campanelli, A., Ruta, C., Morone-Fortunato, I. and Mastro, G. D. 2013. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) clones tolerant to salt stress: in vitro selection. Central European Journal of Biology 8 (8): 765-776.
10. Cooper, J. E. 2007. Early interactions between legumes and rhizobia: disclosing complexity in a molecular dialogue. Journal of Applied Microbiology 103: 1355-1365.
11. Dadkhah, A. 2011. Effect of Salinity on Growth and Leaf Photosynthesis of Two Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology 13: 1001-1012.
12. Deaker, R., Roughley, R. J., and Kennedy, I. R. 2004. Legume seed inoculation technology. Soil Biology and Biochemistry 36: 1275-1288.
13. Farhangian, S. 2009. The effect of salinity on chlorophyll content of *Onobrychis sativa* and *Medicago sativa*. Plant and Ecosystem 18: 77- 89.
14. Farissi, M., Faghire, M., Bargaz, A., Bouizgaren, A., Makoudi, B., Sentenac, H., and Ghoulam, C. 2014. Growth, nutrients concentrations, and enzymes involved in plants nutrition of alfalfa populations under saline conditions. Journal of Agricultural Science and Technology 16: 301-314.
15. Garg, B., Dogra, R. C., and Shama, P. K. 1999. High-efficiency transformation of Rhizobium leguminosarum by electroporation. Applied and Environmental Microbiology 65: 2802-4.
16. Ghasem, F., Poustini, K., Besharati, H., Mohammadi, V. A., Abooei Mehrizi, F., and Goettfert, M. 2012. Pre-incubation of *Sinorhizobium meliloti* with Luteolin, Methyl jasmonate and Genistein Affecting Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Growth, Nodulation and Nitrogen Fixation under Salt Stress Conditions. Journal of Agricultural Science and Technology 14: 1255-1264.
17. Ghoulam, C., Foursy, A., and Fares, K. 2002. Effects of Salt Stress on Growth, Inorganic Ions and Proline Accumulation in Relation to Osmotic Adjustment in Five Sugar Beet Cultivars. Environmental and Experimental Botany 47: 39-50.
18. Hartwig, U. A., Maxwell, C. A., Joseph, C. M., and Phillips, D. A. 1990. Chrysoeriol and Luteolin Released from Alfalfa Seeds Induce nod Gene *sin Rhizobium meliloti*. Plant Physiology 92: 116-122.
19. Hirsch, A. M. 1992. Developmental biology of legume nodulation. New Phytologist 122: 211-237.
20. Hungria, M., and Phillips, D. A. 1993. Effects of a seed color mutation on rhizobial nod- gene- inducing flavonoids and nodulation in common bean. Molecular Plant-Microbe Interactions 6: 418-22.
21. Juan, M., Rivero, R. M., Romero, L., and Ruiz, J. M. 2005. Evaluation of Some Nutritional and Biochemical Indicators in Selected Salt Resistance Tomato Cultivars. Environmental and Experimental Botany 54: 193-201.
22. Kapulnik, Y., Joseph, C. M., and Phillips, D. A. 1987. Flavone limitations to root nodulation and *symbiotic nitrogen fixation in alfalfa.* Plant Physiology 84: 1193-1196.
23. Lokhande, V. H., Nikam, T. D., Patade, V. Y., Ahire, M. L., and Suprasanna, P. 2011. Effects of optimal and supra-optimal salinity stress on antioxidative defence, osmolytes and in vitro growth responses in *Sesuvium portulacastrum* L. Plant Cell, Tissue Organ Culture 104: 41-49.
24. Mabood, F., and Smith, D. L. 2005. Pre-incubation of *Bradyrhizobium japonicum* with jasmonates accelerates nodulation and nitrogen fixation in soybean (*Glycine max*) at optimal and suboptimal root zone temperatures. Physiologia Plantarum 125: 311-323.
25. Maj, D., Wielbo, J., Marek-Kozaczuk, M., and Skorupska A. 2010. Response to flavonoids as a factor influencing competitiveness and symbiotic activity of *Rhizobium leguminosarum*. Microbiological Research 165: 50-60.
26. Meloni D. A., Gulotta, M. R., and Martinez, C. A. 2008. Salinity Tolerance in *Schinopsis quebracho* Colorado: Seed Germination, Growth, Ion Relations and Metabolic Responses. Journal of Arid Environments 72: 1785-1792.
27. Miller, J. 1972. Experiments in molecular genetics. Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory.
28. Miransari, M., and Smith, D. L. 2009. Alleviating salt stress on soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Bradyrhizobium japonicum symbiosis, using signal molecule genistein. European Journal of Soil Biology 45: 146-152.
29. Mulligan, J. T., and Long, S. R. 1989. A family of activator genes regulates expression of Rhizobium meliloti nodulation genes. Genetics 122: 7-18.
30. Novak, K., Chovance, P., Skrdleta, V., Kropacova, M., Lisa, L., and Nemcova, M. 2002. Effect of exogenous flavonoids on nodulation of pea (*Pisum sativum* L.). Journal of Experimental Botany 53 (375): 1735-1745.
31. Oldroyd, G. E. D., and Downie, J. A. 2004. Calcium, kinases and nodulation signalling in legumes. Nature Reviews Molecular Cell Biology 5: 566-576.

32. Pérez-Montaño, F., Guasch-Vidal, B., González-Barroso, S., López-Baena, F. J., and Cubo, T. 2011. Nodulation-gene-inducing flavonoids increase overall production of autoinducers and expression of *N*-acyl homoserine lactone synthesis genes in rhizobia. Research in Microbiology 162: 715-723.
33. Perret, X., Staehelin, C., and Broughton, W. J. 2000. Molecular basis of symbiotic promiscuity. Microbiology and Molecular Biology Reviews 64: 180-201.
34. Soussi, M., Lluch, C., and Ocana, A. 1999. Comparative study of nitrogen fixation and carbon metabolism in two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under salt stress. Journal of Experimental Botany 50: 1701-1708.
35. Tambalo, D. D., Vanderlinde, E. M., Robinson, S., Halmillawewa, A., Hynes, M. F., and Yost, C. K. 2013. Legume seed exudates and *Physcomitrella patens* extracts influences warming behavior in *Rhizobium leguminosarum.* Canandian Journal of Microbiology 60: 15-24.
36. Tu, J. C. 1981. Effect of salinity on rhizobium-root-hair interaction nodulation and growth of soybean. Canadian Journal of Plant Science 61: 231-239.
37. Valia, R. Z., Patel, V. K. and Kaadia, P. K. 1993. Physiological response of drumstick (*Moringoolifera* Lamk) to varying Levels of ESP. Indian Journal of Plant Physiology 36 (4): 261-262.
38. Wang, X., Chen, W., Zhou, Y., Han, J., Zhao, J., Decheng Shi, D., and Yang, C. 2012. Comparison of adaptive strategies of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to salt and alkali stresses. Australian Journal of Crop Science 6 (2): 39-315.
39. Zaat, S. A., Wijffelman, C. A., Mulders, I. H. M., van Brussel, A. A. N., and Lugtenberg, B. J. J. 1988. Root exudates of various host plants of Rhizobium leguminosarum contain different sets of inducers of Rhizobium nodulation genes. Plant Physiology 86: 1298-303.
40. Zahran, H. H., and Sprent, J. I. 1986.Effects of sodium-chloride and polyethyleneglycol on root hair infection and nodulation of *Vicia faba* L. plants by *Rhizobium leguminosarum*. Planta 167: 303-309.
41. Zeng, Y., Li, L., Yang, R., Yi, X., and Zhang, B. 2015. Contribution and distribution of inorganic ions and organic compounds to the osmotic adjustment in *Halostachys caspica* response to salt stress. Scientific Reports 1-11.
42. Zhang, F., and Smith, D. L. 1996. Inoculation of soybean [*Glycine max (L) Merrill*] with genistein-preincubated *Bradyrhizobium japonicum* or genistein directly applied into soil increases soybean protein and dry matter yield under short season conditions. Plant and Soil 179: 33-241.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 49-59

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۵۹-۴۹

The Effect of Nodulation Inducers on Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Yield and Nodulation under Optimal and Salinity Conditions

R. Mardani[1*], K. Poustini[2], A. R. Abbasi[3], A. A. Pourbabaei[4]

Received: 05-04-2018
Accepted: 24-02-2019

Introduction

Luteolin is one of the most important flavonoids, which release from seeds during the first four hours of imbibition. On the other hand, at present, salinity is one of the most important factors in reducing crop production. The results of some studies show that the use of external flavonoids increases expression of nod genes, yield and nodulation in some legumes species under stress conditions. Therefore, this experiment was conducted with the aim of investigating the effect of luteolin and alfalfa seed exudates external inducers on the expression of *Rhizobium* nod gene and the yield and nodulation of alfalfa in normal and salinity condition.

Materials and Methods

We studied the effect of luteolin on the induction of nod genes in *R. Meliloti* carrying a plasmid with a translational fusion between *R. Meliloti* nodA and lacZ of *Escherichia* coli, and the expression activity was measured by β-galactosidase activity. Luteolin strongly induced the expression of nod genes inhibitory effects. We further studied the effect of luteolin and Seed exudate on alfalfa (*Medicago sativa* L.) yield and nodulation under optimal and salinity condition. One greenhouse was conducted to determine whether the pre-incubation of *Rhizobium meliloti* with luteolin and application of luteolin and seed exudate directly on to the seed surface can increase alfalfa nodulation and yield. The factorial experiment was arranged based on randomized complete block design, with three replications. Treatments were two cultivars, two bacterial strains (Sensitive and resistant strains), two levels of salt (0 and 15 $dS.m^{-1}$ of NaCl) and two levels of application of inducers along with control.

Results and Discussion

The results from this experiment clearly indicated that inoculation of alfalfa seeds with luteolin and seed exudate increase alfalfa nodulation (47%) and yield (30%) significantly under salinity condition that these treats affect on traits more under normal condition. But significant effect was not observed on chlorophyll content. In this experiment a significant difference was not observed between the control and pre-incubation of *R. meliloti*. Also, salinity increased proline four times compared to normal condition. Luteolin and seed exudates increased proline 1.66 and 1.35 times respectively in salinity condition, but under normal condition they did not have significant effect. Salinity increased the content of sodium in the leaves (7 times) and roots (8.5 times) and decreased the content of potassium 29% and 24% in these organs of the plant, respectively, that, luteolin and seed exudate partially moderated these changes.

Conclusions

The results of this experiment indicated that luteolin and seed exudate can be used as exogenous inducers to improve the growth and nodulation of alfalfa under salinity and normal condition. Flavonoid inducers act in low concentration, and their negative effects relate to reduced germination and growth. In general, it seems that the application of flavonoid inducers is more suitable to improve nodulation, but the direct application of them in agriculture should be used only in specified cases and when flavonoids are as a limiting factor.

Keywords: Inducers, LacZ gene, Luteolin, Seed exudate

1, 2 and 3- PhD student, Professor and Associate Professor, respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran
4- Associate Professor, Department of Soil Science, University of Tehran
(*- Corresponding Author Email: rm.mardani@ut.ac.ir)

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۷۰-۶۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 61-70

بررسی مصرف فسفر و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد علوفه و بذر در دو اکوتیپ یونجه

مسعود ترابی[۱]، محسن حیدری سلطان آبادی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳

چکیده

در تحقیقی سه ساله (۱۳۹۳-۱۳۹۰) اثرات مصرف تلفیقی عناصر فسفر و ریزمغذی (حاوی آهن، منگنز، مس و روی) بر خصوصیات کمی و کیفی بذر و علوفه تولیدی دو اکوتیپ یونجه همدانی و رهنانی، در ایستگاه تحقیقات گلپایگان مورد مطالعه قرار گرفتند. به این منظور از طرح آماری کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده گردید که در آن دو اکوتیپ یونجه رهنانی و همدانی به‌عنوان عامل اصلی و تلفیق میزان مصرف کودهای فسفر در سه سطح صفر، ۶۵ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو حالت محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی به‌عنوان عامل فرعی به‌صورت تیمار مرکب بررسی گردید. بر اساس نتایج، میانگین عملکرد علوفه تر و بذر در اکوتیپ‌های همدانی و رهنانی بدون اختلاف معنی‌دار به‌ترتیب ۳۵/۴۰ و ۳۴/۷۷ تن در هکتار و ۴۹۸ و ۴۸۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. سال اثر معنی‌داری بر عملکرد علوفه تر و خشک، میزان بذر تولیدی و وزن هزار دانه داشت به‌گونه‌ای که حداقل و حداکثر صفات یاد شده به‌ترتیب مربوط به سال اول و دوم بود. بیشترین مقدار علوفه تر تولیدی با مقدار ۴۵/۴۲ تن در هکتار، بیشترین میزان بذر تولیدی با مقدار ۶۸۹ کیلوگرم در هکتار و بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر با میزان ۹۵/۱۲ درصد در تیمار کودی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر همراه با محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی حاصل شد. مقادیر یاد شده در تیمار شاهد (بدون کود فسفر و عدم محلول پاشی عناصر ریزمغذی) دارای حداقل مقدار بود.

واژه‌های کلیدی: اکوتیپ رهنانی، اکوتیپ همدانی، درصد جوانه‌زنی، کود، وزن هزار دانه

مقدمه

یونجه با نام علمی *Medicago sativa* L. یک لگوم چند ساله است که به علت مقاومت به خشکی، قدرت سازگاری بالا، طول عمر زیاد، پروتئین بالا، قابلیت تبدیل به پودر و قرص (پلیت) یونجه، استفاده به‌صورت تر و خشک توسط دام‌ها، چرای مستقیم و اثر آن بر حاصل‌خیزی خاک‌های ضعیف، یکی از ارزشمندترین و مهمترین گیاهان علوفه‌ای به‌شمار می‌آید (Dordas, 2006). یکی از عوامل محدودکننده کشت و توسعه این گیاه، عدم دسترسی به بذر سالم و مرغوب می‌باشد. در صورتی که عواملی مانند اقلیم مناسب شامل روزهای بلند آفتابی، درجه حرارت مناسب در فصل بهار و آخر تابستان جهت گرده‌افشانی، بومی بودن محصول و وجود دانش فنی بذرگیری در بین کشاورزان مهیا گردد، می‌توان امر تولید بذر را به نحو مناسبی جامه عمل پوشاند و حداکثر عملکرد کمی و کیفی را از نظر تولید علوفه و بذر انتظار داشت (Torabi, 2001). امروزه تغذیه متعادل گیاهان برای دست‌یابی به حداکثر عملکرد کمی و کیفی امری مهم به‌شمار می‌رود به‌گونه‌ای که به‌کارگیری مقادیر مفید و مناسب کودهای شیمیایی در افزایش حاصل‌خیزی خاک و به تبع آن افزایش بازده محصولات کشاورزی ضروری گردیده است. خاک‌های آهکی ظرفیت بالایی برای تثبیت عناصر غذایی از قبیل فسفر و عناصر کم مصرف به‌ویژه آهن و روی دارند (Malakouti *et al.*, 2005). در تولید گیاه یونجه نیز تغذیه مطلوب از عوامل کلیدی در رشد و نمو محصول بوده و تاثیر مستقیمی بر عملکرد علوفه و بذر دارد (Hall *et al.*, 2004). فسفر یکی از مواد مورد نیاز یونجه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است، گرچه جذب محصول برای مواد مغذی دیگر مانند نیتروژن، پتاسیم و کلسیم بسیار بیشتر است (Ottman, 2010). طبق گزارش‌ها به ازای هر تن تولید علوفه یونجه ۰/۲ تا ۰/۵ درصد فسفر و ۱ تا ۲ درصد پتاسیم از خاک جذب می‌شود که باید جایگزین شود (Mullen *et al.*, 2000). بررسی‌ها نشان داده گیاه یونجه به شدت به عنصر فسفر نیازمند است به‌گونه‌ای که یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد این گیاه در خاک‌های کلرادو محسوب گردید (Davis *et al.*, 2005). رفتار فسفر در خاک‌های آهکی پیچیده است و فسفر محلول می‌تواند به‌دلیل وجود کلسیم بالا در محلول خاک تولید فسفات‌های کم محلول نموده و به‌تدریج از دسترس گیاه خارج

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی - باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mheisol@gmail.com)
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.77497

گردد. لذا تأمین فسفر مورد نیاز یونجه در خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Torabi, 2001).

در تحقیقی اثر روش‌های متفاوت تخصیص کود فسفر بر عملکرد یونجه بررسی گردید. نتایج نشان داد که در برداشت سال اول، بیشترین عملکرد در تخصیص ۲۷۲ کیلوگرم کود فسفر به‌صورت یک‌جا دیده شد. همچنین متوسط عملکرد شش سال یونجه نشان داد که تخصیص ۲ سال یک‌بار ۹۰ کیلوگرم فسفر بیشترین عملکرد علوفه را به همراه داشت. دیگر نتیجه حاکی از آن بود که قرار دادن کود فسفر در عمق ۱۵/۲۵ سانتی‌متر خاک نسبت به روش پخشی باعث افزایش ۴۰ درصدی عملکرد گردید (Mullen *et al.*, 2000). در پژوهشی تاثیر مصرف سه میزان صفر، ۳۰۰ و۶۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در سال، در سه روش گرده‌افشانی آزاد، گرده‌افشانی به‌وسیله زنبور عسل و بدون گرده‌افشانی بر عملکرد بذر تولیدی یونجه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تمامی صفات رشد رویشی در گرده‌افشانی بدون حشره (آزاد) نسبت به گرده‌افشانی با زنبور عسل و بدون گرده‌افشانی بیشتر بود. همچنین با افزایش سطوح کود فسفر از صفر به ۳۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم در سال، وزن هزار دانه به‌ترتیب ۱/۶۷ و ۲/۴۴ برابر و عملکرد بذر در واحد سطح به‌ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۶ برابر افزایش یافت (Al-Kahtani *et al.*, 2017). در مطالعه دیگری تاثیر دو عمق کودگذاری ۷ تا ۸ و ۱۵ تا ۱۶ سانتی‌متری، دو زمان کوددهی سالیانه و هر سه سال، و سه مقدار کوددهی شامل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگرم کود فسفر بر عملکرد تولید بذر یونجه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش میزان کود مصرفی در روش کوددهی سالیانه، عملکرد بذر افزایش یافت. در کوددهی هر سه سال، کاربرد ۴۵ کیلوگرم کود فسفات مناسب‌تر از ۱۵ کیلوگرم کود در هر سال بود. عمق قراردهی کود تاثیری بر میزان عملکرد بذر نداشت (Zhang *et al.*, 2014). در تحقیقی تاثیر مصرف کودهای فسفر در چهار مقدار صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم در پنج مقدار صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار بر عملکرد و اجزای عملکرد علوفه یونجه به مدت ۳ سال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به‌طور کلی افزودن کود موجب افزایش عملکرد گردید (Berg *et al.*, 2005). در تحقیقی کود فسفر در مقادیر صفر، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ کیلوگرم در هکتار در زراعت یونجه استفاده و اثر بر عملکرد یونجه بررسی گردید. نتایج نشان داد که طی مدت ۱۰ سال با افزایش مصرف کود فسفر، عملکرد در واحد سطح یونجه نیز افزایش یافت (Moyer, 1992). نتایج بررسی اثر مقادیر مختلف کود فسفر، به‌کارگیری باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفر و مقادیر مختلف بذر مصرفی بر کیفیت بذر تولیدی یونجه نشان داد که برای تولید بذر یونجه با بنیه بالا استفاده از ۶ کیلوگرم در هکتار بذر و مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود به همراه باکتری تسهیل‌کننده فسفر با سویه شماره ۴۱ نتایج مطلوبی به دنبال خواهد داشت (Habibi *et al.*, 2014). نتایج تحقیقی حاکی از آن بود در بین روش‌های تغذیه‌ای یونجه، بیشترین غلظت فسفر در غلاف به میزان ۰/۴۷ درصد و بیشترین ذخیره بذر به مقدار ۸۳۸ غلاف در مترمربع با کاربرد باکتری تثبت‌کننده نیتروژن + باکتری تسهیل‌کننده جذب فسفر به‌دست آمد که نشان‌دهنده برتری این روش جهت تولید بذر در شرایط اجرای آزمایش بود (Shabani, *et al.*, 2014).

علاوه بر فسفر، عناصر ریزمغذی نقش مهمی در افزایش عملکرد کمی و کیفی یونجه دارند. در ایران کمبود عناصر کم مصرف به‌خصوص روی، منگنز و بور در مزارع و باغات به دلیل آهکی بودن خاک‌ها، پایین بودن مواد آلی خاک، حلالیت کم این عناصر در خاک‌های آهکی، وجود یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب آبیاری و مصرف بالای فسفر عمومیت دارد (Malakouti *et al.*, 2001). تعدادی از محققان در بررسی‌های خود نشان دادند که کاربرد عناصر ریزمغذی از قبیل: مس، آهن، روی و منگنز اثر معنی‌داری بر میزان بذر تولیدی یونجه داشت (Brown and Gibson, 2000). آزمایشی نشان داد که کاربرد عناصر میکرو با روش تزریق در خاک می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کیفیت بذر تولیدی یونجه داشته باشد (Hanson and Barnes, 1988). طی تحقیقی اثر مصرف ریزمغذی‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد بذر یونجه مورد بررسی قرار گرفت. طی دو سال آزمایش مشخص شد که کمبود بور و مولیبدن نسبت به سایر ریزمغذی‌ها در تولید دانه شرایط بحرانی‌تری ایجاد نمود. مصرف مولیبدن بر عملکرد دانه را به‌ترتیب ۲۷ تا ۴۷ درصد و ۲۲ تا ۳۵ درصد افزایش داد. مصرف سایر ریزمغذی‌ها تغییری در عملکرد تولید بذر نداشتند (Du *et al.*, 2009). طبق نتایج پژوهشی اضافه کردن عناصر کم مصرف به خاک در زراعت یونجه با میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار با توجه به میزان مصرف عناصر پرمصرف نتوانست افزایش معنی‌داری در عملکرد و میزان پروتئین محصول یونجه ایجاد نماید (Mehnatkesh, 2005). در آزمایشی به بررسی اثر مصرف باکتری *Ensifer meliloti* و مصرف کود فسفر در شرایط خشکی بر عملکرد یونجه پرداخته شد. نتایج نشان داد که برای کاهش مصرف کودهای نیتروژن و افزایش عملکرد یونجه، مصرف ۳۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و مایه‌زنی باکتری *E. meliloti* می‌تواند در شرایط با و بدون تنش کمبود آب توصیه شود (Markarian *et al.*, 2016).

تأمین فسفر و عناصر ریز مغذی خاک به‌منظور ایجاد تعادل در عناصر غذایی خاک نقش مهمی در بهبود کمی و کیفی محصول داشته و ضروری است که در رابطه با گیاه یونجه نیز تحقیقات جامع صورت پذیرد. هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر مصرف مقادیر مختلف کود فسفر و عناصر ریزمغذی بر عملکرد علوفه و خصوصیات کمی و کیفی بذر یونجه بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه اثر مصرف عنصر فسفر و عناصر ریزمغذی بر خصوصیات کمی و کیفی بذر و علوفه یونجه، آزمایشی به‌مدت ۳ سال (۱۳۹۳-۱۳۹۰) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گلپایگان اجرا شد. شهر گلپایگان در ۲۰۰ کیلومتری شمال غربی اصفهان قرار دارد و ارتفاع از سطح دریا در آن ۱۸۱۸ متر می‌باشد. شهرستان گلپایگان دارای زمستان‌های نسبتاً سرد با حداقل دمای ۲۱ - درجه سانتی‌گراد و تابستان‌های گرم و خشک است که حداکثر دمای آن تا ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. بارندگی غالباً در زمستان و میزان آن حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال است.

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار، تاثیر شش سطح کودی فسفر و عناصر ریزمغذی بر عملکرد بذر و علوفه تولیدی دو اکوتیپ یونجه مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش، کرت اصلی در دو سطح شامل یونجه اکوتیپ رهنانی (V1) و یونجه اکوتیپ همدانی (V2) و کرت فرعی (تیمار فرعی) در ۶ سطح به‌صورت تیمارهای مرکب فسفر و ریزمغذی در نظر گرفته شد. تیمارهای کرت فرعی شامل فسفر (P_2O_5) در سه سطح صفر (P0)، ۶۵ (P65) و ۱۲۰ (P120) کیلوگرم در هکتار و عناصر ریز مغذی در دو سطح عدم مصرف (R0) و مصرف ریزمغذی به‌صورت محلول‌پاشی(R1) بودند. فسفر به فرم سوپرفسفات تریپل در سال اول هنگام کاشت با کاربرد خاکی و در سال‌های بعد نیز در بین ردیف‌های کاشت با جای‌گذاری در عمق ۵ سانتی‌متری خاک مصرف شد. عناصر ریزمغذی به‌صورت ترکیب سولفات‌های این عناصر (روی، آهن، مس و منگنز) استفاده گردید. فرم قابل مصرف هر کدام از این عناصر با غلظت ۳ در هزار در آب حل شده که در مجموع محلولی با غلظت ۱۲ در هزار به‌دست آمد و به‌صورت محلول‌پاشی برای هر چین قبل از گلدهی استفاده شد. در زمان آماده‌سازی زمین بعد از شخم از افق‌های سطحی و زیرسطحی تا عمق ۶۰ سانتی‌متری نمونه خاک تهیه و جهت اندازه‌گیری و تعیین پاره‌ای از خصوصیات خاک از جمله مقادیر نیتروژن (N)، روی (Zn)، آهن (Fe)، مس (Cu)، پتاسیم (K)، منگنز (Mn) و فسفر (P) نمونه‌برداری گردید. همچنین درصد کربنات کلسیم، درصد کربن آلی، EC و بافت خاک نیز در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. حد بحرانی فسفر برای یونجه در منطقه مورد آزمایش اندازه‌گیری نشده اما مقدار آن در سایر نقاط کشور تا ۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (Hashemi Majd *et al.*, 2009). کود نیتروژن به میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان استارتر و کود پتاسیم به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار هر دو در ابتدای سال اول با توجه به آزمون خاک، قبل از کاشت مصرف شد. کاشت به‌صورت خطی با فاصله خطوط ۱۵ سانتی‌متر و تراکم ۱۵ کیلوگرم بذر در هکتار، در تاریخ ۲۰ شهریور انجام شد. به این ترتیب در هر کرت اصلی ۳۶ خط یونجه به طول ۵ متر کاشته شد که هر ۶ خط، مربوط به یک تیمار فرعی (کودی) بوده و بر این اساس ابعاد تقریبی هر کرت فرعی ۱ در ۵ متر به‌دست آمد. میزان بذر مصرفی در واحد سطح با هدف تولید بذر تعیین گردید و لذا کمتر از میزان بذر مصرفی برای مزارع تولید علوفه بود. به منظور آبیاری کرت‌های آزمایشی، میزان خالص ارتفاع آب آبیاری طی فصل رشد (میلی‌متر) برای رژیم رطوبتی شهرستان گلپایگان به‌دست آمد (Alizadeh and Kamali, 2007). سپس با در نظر گرفتن سطح کرت‌ها حجم آب محاسبه شده و به‌وسیله کنتور حجمی ۲ اینچی به زمین مورد کشت اختصاص یافت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil experimental site

نیتروژن کل Total N (%)	OC (%)	مواد خنثی شونده Neutralizing material (%)	pH	EC*10^3 (dS.m^{-1})	بافت خاک Soil texture	عمق خاک Soil depth (cm)
0.036	0.36	25.25	7.8	0.47	Loam	0-30
0.036	0.36	25.75	7.8	0.58	Loam	30-60

جدول ۲- مقدار عناصر خاک محل آزمایش

Table 2- The amount of soil elements of the farm experimental site

Mg.kg^{-1}						
Fe	Zn	Cu	Mn	K	P	عمق خاک Soil depth (cm)
7	0.88	0.96	13	219	29.4	0-30
6.2	1.04	1.08	9.4	220	20.6	30-60

صفاتی شامل وزن علوفه تر، وزن علوفه خشک، میزان بذر تولیدی، وزن هزار دانه و درصد جوانه‌زنی بذر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان علوفه و بذر، دو خط حاشیه در نظر گرفته شد و چهار خط وسط به طول چهار متر برداشت شد. برای تعیین درصد ماده

خشک و در پی آن عملکرد علوفه خشک، یک نمونه یک کیلوگرمی یونجه تر توزین و سپس در آون در دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شده و درصد ماده خشک و عملکرد علوفه خشک محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری میزان بذر تولیدی، پس از برداشت چهار خط از هر کرت آزمایشی، عملیات جداسازی بذر از علوفه و غلاف انجام و مقدار متوسط وزن بذر استحصالی در هر تیمار ثبت گردید. در سال اول تعداد دو چین برای علوفه و یک چین برای تولید بذر، در سال دوم، سه چین برای علوفه و یک چین برای تولید بذر و در سال سوم تعداد سه چین برای تولید علوفه و یک چین به تولید بذر اختصاص داده شد. در همه سال‌ها در چین دوم عملیات بذرگیری انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه توسط بذر شمار، ۵ نمونه ۱۰۰۰ تایی بذر شمارش شده و پس از توزین توسط ترازوی الکترونیکی و تعیین میانگین، وزن هزار دانه در هر تیمار مشخص شد. در برآورد درصد جوانه‌زنی بذرها در هر تیمار، تعداد ۵ نمونه ۱۰۰ تایی بذر سالم و خالص جدا شده و در آزمایشگاه بذر بر اساس استانداردهای ISTA (Anonymous, 1985) درصد جوانه‌زنی تعیین گردید.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس عملکرد سه ساله علوفه تر و خشک در جدول شماره ۳ ارائه شده است. طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، تاثیر سال، زمان برداشت یونجه (چین‌ها) و اثر تیمارهای کودی بر روی میزان علوفه تر و خشک تولیدی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بین اکوتیپ‌های یونجه رهنانی و همدانی از نظر عملکرد علوفه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های عملکرد علوفه تر و خشک طی سه سال آزمایش نشان داد که حداکثر عملکرد به میزان ۴۵/۸۷ و ۱۰/۵۶ تن در هکتار علوفه تر و خشک مربوط به سال دوم بود. سال سوم به‌ترتیب با عملکرد ۴۰/۱۴ و ۹/۹۶ تن در هکتار علوفه تر و خشک و سال اول با عملکرد ۱۹/۲۶ و ۴/۹۲ تن در هکتار علوفه تر و خشک در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۴). به‌صورت مشابه با علوفه تر، حداکثر عملکرد علوفه خشک در سال دوم به‌دست آمد که از نظر آماری بیشتر از دو سال دیگر بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد در سال اول، مراحل استقرار گیاه همچنان ادامه داشته و عملکرد چندانی حاصل نشد. در سال دوم، استقرار کامل یونجه در خاک، گسترش ریشه و افزایش فعالیت بیولوژیکی گیاه منجر به افزایش قابل توجه عملکرد شده است. در سال سوم به دلیل تغییرات شرایط محیطی مانند دما کاهش نسبی عملکرد اتفاق افتاد. مطالعه مشابهی نشان داد که طی یک آزمایش ۵ ساله بر روی ارقام یونجه و سطوح کود فسفات آمونیم، عملکرد یونجه در مجموع در سال دوم بیشتر از سال‌های دیگر بود (Nabiei, 2001). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها میزان عملکرد علوفه تر و خشک به‌ترتیب با مقادیر ۴۰/۵ و ۹/۹ تن در هکتار در چین دوم حداکثر بود (جدول ۴). چین‌های اول و سوم بدون اختلاف معنی‌دار در رتبه بعدی قرار گرفتند. در چین دوم به علت وجود شرایط بهینه محیطی و تکمیل رشد رویشی گیاه، عملکرد یونجه نسبت به دو چین دیگر افزایش نشان داد. در مطالعه دیگری بر روی تاثیر ارقام و چین‌های مختلف یونجه مشخص گردید که چین اول از نظر عملکرد علوفه، مجموع ماده خشک، پروتئین و فیبر تولیدی در هر هکتار و درصد پروتئین علوفه نسبت به سایر چین‌ها برتری داشت (Moeinizadeh *et al.*, 2017). این نتیجه تاثیر شرایط محیطی بر عملکرد یونجه را نشان می‌دهد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد حداکثری مقدار کود فسفر (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد تولید علوفه را به همراه داشت به‌طوری که حداکثر علوفه تولیدی تر به میزان ۴۵/۴۲ تن در هکتار در تیمار مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (P_2O_5) همراه با محلول‌پاشی ریز مغذی‌ها (P120-R1) به‌دست آمد (جدول ۴). تیمار مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر بدون مصرف ریز مغذی‌ها (P120-R0) با تولید ۳۷/۹۸ تن در هکتار علوفه تر در رده بعدی و به‌صورت معنی‌دار بیشتر از سایر تیمارها قرار گرفت. این نتیجه نقش مهم تأمین عناصر مغذی در حفظ فعالیت عادی فیزیولوژی گیاهی، رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه و افزایش عملکرد محصول را نشان می‌دهد که سایر محققان نیز به آن اشاره کرده‌اند (Bai,1992; Baligar and Fageria, 2005). همان‌گونه که در جدول ۲ ارائه گردید، مقدار فسفر موجود در خاک مورد آزمایش به میزان ۲۹/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق ۳۰-۰ گزارش شده است. اگر چه این میزان فسفر جزء مقادیر بالا محسوب می‌شود، اما با توجه به عدم تعیین حد بحرانی فسفر برای یونجه در منطقه مورد مطالعه و نیز عکس‌العمل مثبت محصول نسبت به مقادیر بالای مصرف فسفر، به نظر می‌رسد حد بحرانی فسفر برای یونجه در منطقه مورد آزمایش، بیشتر از ۲۹/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باشد.

طبق نتایج، کاربرد ریزمغذی‌ها نتیجه افزایشی و معنی‌دار در عملکرد علوفه تر و خشک بر جا گذاشت به‌طوری که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در سه وضعیت بدون مصرف کود فسفر، استفاده از ۱۲۰ کیلوگرم کود فسفر و استفاده از ۶۵ کیلوگرم کود فسفر، به‌ترتیب موجب افزایش ۹/۷ درصد، ۱۹/۵۹ درصد و ۱۱/۷۳ درصد در عملکرد علوفه تر و ۱۲/۵ درصد، ۲۰/۹۸ درصد و ۹/۸۳ درصد در عملکرد علوفه خشک گردید. بررسی های انجام شده تاکنون نشان داده است که فقدان یا کمبود عناصر کم مصرف در خاک موجب محدودیت رشد گیاه و کاهش عملکرد محصول زراعی می‌گردد. از طرفی با عنایت به

این‌که خاک‌های ایران عمدتاً آهکی بوده و در شرایط آهکی، اغلب ترکیبات معدنی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک به علت حلالیت کم، به‌خوبی جذب گیاه نمی‌شوند، این عامل تشدیدکننده کمبود بعضی عناصر (به‌ویژه عناصر کم‌مصرف) بوده و در نهایت باعث کاهش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود (Mehnatkesh, 2005). بنابراین مصرف عناصر ریزمغذی در این خاک‌ها موجب افزایش عملکرد محصول خواهد شد. سایر محققان نیز اثر افزایشی کاربرد ریزمغذی‌ها بر عملکرد یونجه را نشان داده‌اند (Mullen *et al.*, 2000; Berg *et al.*, 2005; Moyer 1992).

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد سه ساله علوفه تر و خشک یونجه در اکوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 3- Analysis of variance for three-year yield of alfalfa fresh and dry forage in under studied ecotypes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات M.S	
		علوفه تر Fresh forage	علوفه خشک Dry forage
سال Year	2	2356.72**	114.32**
تکرار × سال Year × Replication	6	30.07^{ns}	2.12^{ns}
چین Cutting	2	269.63**	18.05**
چین × سال Year × Cutting	4	52.49^{ns}	3.60^{ns}
خطای الف Error (a)	12	23.85	1.83
رقم Cultivar	1	3.29^{ns}	0.010^{ns}
رقم × سال Year × Cultivar	2	5.36^{ns}	0.300^{ns}
رقم ×چین Cutting × Cultivar	2	3.13^{ns}	0.739^{ns}
رقم× چین × سال Year × Cutting × Cultivar	4	1.507^{ns}	0.389^{ns}
خطای ب Error (b)	18	1.89	0.23
کود Fertilizer	5	209.158**	12.63**
کود× سال Year × Fertilizer	10	3.52^{ns}	0.32^{ns}
چین× کود Fertilizer × Cutting	10	4.85^{ns}	0.362^{ns}
کود× چین× سال Year × Cutting × Fertilizer	20	5.36^{ns}	0.354^{ns}
رقم× کود Fertilizer × Cultivar	5	3.579^{ns}	0.244^{ns}
کود × رقم ×سال Year × Cultivar × Fertilizer	10	1.13^{ns}	0.119^{ns}
کود × رقم ×چین Cutting × Cultivar × Fertilizer	10	2.020^{ns}	0.159^{ns}
کود× رقم× چین× سال Year ×Cutting × Cultivar × Fertilizer	20	1.49^{ns}	0.116^{ns}
خطا Error	180	3.65	0.224
C.V%		21.6	23.1

** و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

**and ns means significant at level of 1% and no significant respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای مختلف بر علوفه تولیدی تر و خشک
Table 4- Mean comparison of different treatments on fresh and dry forage production

		علوفه تولیدی Forage production (ton ha^{-1})	
		علوفه تر Fresh forage	علوفه خشک Dry forage
سال Year	2012	19.26c	4.92c
	2013	45.78a	10.56a
	2014	40.14b	9.96b
چین Cutting	اول First	31.64b	7.65b
	دوم Second	40.50a	9.90a
	سوم Third	33.15b	7.99b
تیمارهای کودی Fertilizing treatments	P0-R0(Check)	29.34e	7.20d
	P0-R1	32.19d	8.10c
	P120-R0	37.98b	9.15b
	P120-R1	45.42a	11.07a
	P65-R0	30.93de	7.32d
	P65-R1	34.56c	8.04c
رقم Cultivar	رهنانی Rehnani	34.77a	8.49a
	همدانی Hamedani	35.4a	8.46a

در هر ستون و برای هر عامل، اعداد با یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری (در سطح ۵٪) بر اساس آزمون دانکن ندارند.
In each group and each factor, means followed by the same letters in each column are not significantly different (in level 5%) by Duncan's test.

P0: بدون کود فسفر، P65: ۶۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، P120: ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، R0: عدم مصرف ریزمغذی و R1: مصرف ریز مغذی
P0: no phosphorus, P65: 65 kg.ha^{-1} phosphorus, P120: 120 kg.ha^{-1} phosphorus, R0: no micronutrient and R1: with micronutrient.

تحقیق دیگری نشان داد که استفاده از ریزمغذی‌ها موجب افزایش ۱۰ درصدی عملکرد یونجه گردید (Mehnatkesh, 2005). مقایسه میانگین عملکردها نشان داد که از نظر میران علوفه تولیدی هر دو اکوتیپ رهنانی و همدانی به‌ترتیب با ۳۴/۷۷ و ۳۵/۴۰ تن در هکتار علوفه تر و تولید ۲۵/۴۷ و ۲۵/۳۸ تن در هکتار علوفه خشک، بدون اختلاف معنی‌دار در یک گروه قرار دارند (جدول ۴). این نتیجه نشان می‌دهد که در کل، دو اکوتیپ یونجه نسبت به تغییرات سال، چین‌برداری و مقادیر فسفر مصرفی و عناصر ریزمغذی واکنش یکسانی نشان داده‌اند. طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) اثر سال بر روی میزان بذر تولیدی و وزن هزار دانه و تیمارهای کودی بر میزان بذر تولیدی و درصد جوانه‌زنی بذر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین بذر تولیدی به میزان ۵۴۶/۶۹ و ۵۳۵/۰۵ کیلوگرم در هکتار و بدون اختلاف معنی‌دار به‌ترتیب مربوط به سال‌های دوم و سوم بود (جدول ۶). همچنین وزن هزار دانه به مقدار ۲/۸۷ گرم در سال دوم بیشتر از دو سال دیگر آزمایش‌ها به‌دست آمد. اندازه‌گیری درصد جوانه‌زنی در هر سال نشان داد که اثر سال بر آن معنی‌دار نبود (جدول ۶). به نظر می‌رسد با توجه به عدم استقرار کامل گیاه در سال اول، عملکرد بذر و وزن هزار دانه نسبت به سال‌های بعدی کمتر بوده است. همچنین علت تفاوت وزن هزار دانه و عدم تغییر عملکرد بذر در دو سال بعد را می‌توان به اثر شرایط محیطی بر این دو دانست. سایر محققان نیز بیان داشتند که به دلیل شدت تاثیر عوامل محیطی بر رشد و نمو و اجزای عملکرد گیاه، عملکرد و خصوصیات دانه یونجه در شرایط مختلف محیطی می‌تواند متفاوت باشد (Bolanos *et al*., 2000).

بررسی مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که تیمار کودی مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر همراه با محلول‌پاشی ریز مغذی‌ها (P120-R1) با عملکرد بالایی در تولید بذر نسبت به سایر تیمارها برتری داشت و بذر تولیدی نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱۰۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۶). از نظر میزان بذر تولیدی تیمار مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر بدون کاربرد ریز مغذی‌ها (P120-R0) در جایگاه بعدی قرار گرفت. درصد جوانه‌زنی بذور نیز در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به همراه مصرف ریزمغذی به‌صورت محلول‌پاشی (P120-R1) برتری خود را نشان داد و مقدار آن (۹۵/۱۲ درصد) به‌صورت معنی‌دار بیشتر از سایر تیمارها قرار گرفت (جدول ۶). این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد بیشترین مقدار کود فسفر (۱۲۰کیلوگرم در هکتار) به همراه استفاده از کودهای ریزمغذی

بیشترین تولید بذر را نسبت به سایر تیمارها داشت. نقش عناصر ریزمغذی در بهبود عملکرد بذر یونجه و افزایش درصد جوانه‌زنی بذر به اثبات رسیده است به‌گونه‌ای که مطالعات مشابه حاکی از افزایش تولید بذر یونجه در استفاده از کودهای فسفر و ریزمغذی بود (Al-Kahtani *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2014). در تحقیقی اثر مصرف عناصر ریزمغذی بور، منگنز، مولیبدن، مس، آهن و روی بر درصد جوانه‌زنی و عملکرد بذر یونجه بررسی شد. نتایج نشان داد که از میان عناصر یاد شده تنها مولیبدن و بور موجب افزایش درصد جوانه‌زنی و عملکرد بذر گردید. با این وجود مصرف عناصر ریزمغذی دیگر موجب بهبود اجزای عملکرد بذر شامل تعداد شاخه در واحد سطح، تعداد شاخه‌های بارور و تعداد بذر درون غلاف‌ها شد (Du *et al.*, 2009).

اثر اکوتیپ یونجه بر روی درصد جوانه‌زنی بذر از نظر آماری معنی‌دار نشد و میانگین‌های آن‌ها به‌ترتیب برای اکوتیپ رهنانی و همدانی ۹۱/۵۹ درصد و ۹۰/۹۷ به‌دست آمد. همچنین اثر اکوتیپ بر روی میزان بذر تولیدی و وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (جدول۶)، به‌طوری‌که اکوتیپ‌های همدانی و رهنانی به‌ترتیب با متوسط تولید بذر ۴۹۷ و ۴۸۷ کیلوگرم در هکتار در سال و وزن هزار دانه ۲/۸۲ و ۲/۸۱ گرم در یک گروه قرار گرفتند. به‌جز شرایط محیطی، عواملی مانند خصوصیات ژنتیکی و تکنیک‌های زراعی نیز بر روی فیزیولوژی تولید مثل گیاه و در نتیجه بر عملکرد و اجزای عملکرد بذر یونجه موثر واقع می‌شوند (Sengul, 2006). با این وجود، تغییرات وزن هزار دانه، عملکرد بذر و درصد جوانه‌زنی دو رقم یونجه همدانی و رهنانی در برابر تیمارهای مختلف یکسان بوده است.

جدول۵- تجزیه واریانس سه ساله بذر تولیدی، قوه نامیه و وزن هزار دانه یونجه در اکوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 5- Analysis variance of three-year of alfalfa seed production, seed vigor and 1000-seed weight in under studied ecotypes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات M.S		
		بذر تولیدی Seed yield	درصد جوانه‌زنی Seed germination	وزن هزار دانه 1000-grain weight
سال Year	2	255407.69**	4.55^{ns}	0.119**
تکرار × سال Year × Replication	6	9514.32^{ns}	11.67^{ns}	0.007^{ns}
رقم Cultivar	1	3104.08^{ns}	10.32^{ns}	0.00001^{ns}
رقم × سال Year × Cultivar	2	17833.52^{ns}	22.25^{ns}	0.010^{ns}
خطای الف Error (a)	6	14255.1	20.42	0.011
کود Fertilizer	5	257532.50**	92.62**	0.17 ^{ns}
کود × سال Year × Fertilizer	10	4425.3 ^{ns}	4.23 ^{ns}	0.018 ^{ns}
رقم× کود Fertilizer × Cultivar	5	7873.08^{ns}	5.30^{ns}	0.005^{ns}
کود × واریته ×سال Year × Cultivar × Fertilizer	10	5594.66^{ns}	5.30^{ns}	0.012^{ns}
خطا Error	60	9210.4	5.75	0.22
C.V%		12.3	3.5	4.6

** و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

** and ns means significant at level of 1% and no significant respectively.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سه ساله، بررسی مصرف عناصر فسفر و ریزمغذی‌ها بر عملکرد علوفه تر و خشک و نیز برخی خصوصیات کمی و کیفی بذر تولیدی دو اکوتیپ یونجه نشان داد که دو اکوتیپ یونجه همدانی و رهنانی به‌ترتیب با میانگین سه ساله تولید ۳۵/۴۰ و ۳۴/۷۷ تن در هکتار علوفه و ۴۹۸ و ۴۸۷ کیلوگرم در هکتار بذر، تحت تیمارهای مختلف مصرف کود تفاوت معنی‌داری نداشتند. طبق همین نتایج، حداکثر عملکرد علوفه تر و خشک، میزان بذر تولیدی و وزن هزار دانه در سال دوم اتفاق افتاد. طبق نتایج، بیشترین مقدار علوفه تر تولیدی، بیشترین میزان بذر تولیدی و بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر به‌ترتیب با مقادیر ۴۵/۴۲ تن در هکتار، ۶۸۹ کیلوگرم در

هکتار و ۹۵/۱۲ درصد، در حالت کودپاشی با ۱۲۰ کیلـوگرم در هکتـار فسفر، همراه با محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی به‌دست آمد. در حـالی که حداقل این مقـادیر بـه‌ترتیـب بـا ۲۹/۳۴ تـن در هکتـار، ۳۳۶/۲۷ کیلوگرم در هکتار و ۸۸/۹۵ درصد در حالت عدم استفاده از کود فسفر و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی مشاهده شد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر بذرتولیدی، وزن هزار دانه و قوه نامیه

Table 6- Mean comparison of different treatments on seed yield, 1000-grain weight and seed vigor

		بذر تولیدی Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	جوانه‌زنی بذر Seed germination (%)
سال Year	2012	395.33b	2.76b	91.26a
	2013	546.69a	2.87a	91.64a
	2014	535.05a	2.81b	90.93a
تیمارهای کودی Fertilizing treatments	P0-R0 (Check)	336.27e	2.75a	88.95c
	P0-R1	41d	2.79a	90.52bc
	P120-R0	536.05b	2.87a	92.54b
	P120-R1	689.11a	2.98a	95.12a
	P65-R0	459.61cd	2.73a	89.46c
	P65-R1	512.11bc	2.77a	91.06bc
رقم Cultivar	رهنانی Rehnani	487a	2.82a	91.59a
	همدانی Hamedani	498a	2.819a	90.97a

در هر گروه و برای هر عامل اعداد با یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری (در سطح ۵٪) بر اساس آزمون دانکن ندارند.

In each group and each factor, means followed by the same letters in each column are not significantly different (in level 5%) by Duncan's test.

P0: بدون کود فسفر، P65: ۶۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، P120: ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، R0: عدم مصرف ریزمغذی و R1: مصرف ریز مغذی

P0: no phosphorus, P65: 65 $kg.ha^{-1}$ phosphorus, P120: 120 $kg.ha^{-1}$ phosphorus, R0: no micronutrient and R1: with micronutrient.

References

1. Alizadeh, A., and Kamali, G. H. 2007. Water requirement of plants in Iran. Imam Reza University Press. First Printing P: 223.
2. Al-Kahtani, S. N., El-Kazafy, A. T., and Al-Abdulsalam, M. 2017. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed yield in relation to phosphorus fertilization and honeybee pollination. Saudi Journal of Biological Sciences 24: 1051-1055.
3. Anonymous. 1985. International Rules, for Seed Testing. Seed Science and Technology 13 (2): 299-513.
4. Bai, B. Z. 1992. Plant physiology. Beijing: China Agricultural Press P: 183.
5. Baligar, V. C., and Fageria, N. K. 2005. Soil aluminum effects on growth and nutrition of Cacao. Soil Science and Plant Nutrition 51: 709-713.
6. Berg, W. K., Cunningham, S. M., Brouder, S. M., Joern, B. C., Johnson, K. D., Santini, J., and Volenec, J. J. 2005. Influence of phosphorus and potassium on alfalfa yield and yield components. Crop Science Abstract – Forage and Grazing Lands 45 (1): 297-304.
7. Bolanos-Aguilar, E. D., Huyghe, C., Julier, B., and Ecalle, C. 2000. Genetic variation for seed yield and its components in alfalfa (*Medicago sativa* L.) Populations. Agronomy 20 (3): 335-345.
8. Brown, B., and Gibson, R. 2000. Nutrient availability for alfalfa seed production. Project No. BJK-214. Brad Brown, Parma Research and Extension Center, 29603 U of I Lane, Parma, Idaho 83660.
9. Davis, J. G., Smithand, D. H., and Croissant, R. L. 2005. Fertilizing alfalfa and grasses. Colorado State University, Cooperative Extension 3/96.
10. Dordas, C. H. 2006. Foliar boron application improves seed set, seed yield and seed quality of alfalfa. Agronomy Journal 98 (4): 907-913.
11. Du, W. H., Tian, X. H., Cao, Z. Z., and Humphries, A. 2009. Effects of micronutrients on seed yield and yield components of alfalfa. Journal of Plant Nutrition 32 (5): 809-820.
12. Habibi, H., Aghighi Shahverdi, M., Nasiri, Z., Chaichi, M. R., and Fotokian, M. H. 2015. Effect of seed rate and efficiency of PGPR on quality of alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed, using standard germination and accelerated. Iranian Journal of Seed Research 1 (2): 1-17. (in Persian with English abstract)
13. Hall, M. H., Jennings, J. A., and Shewmaker, G. E. 2004. Alfalfa establishment guide. Available at http://www.plantmanagementnetwork.org/sub/fg/management/2004/alfalfa/Hall.pdf (verified 24 Apr. 2008. Forage and Grazinglands. DOI:10.1094/FG-2004-0723-01-MG.

14. Hashemi Majd, K., Mohammadi Farani, T., Homaporgurabajiri, M., Yaghoubi, A., Kuckakpur, Sh., Komaklaei, F., and Abdollahi, J. 2009. Determination of critical phosphorus limit for alfalfa in Ardabil area soils. 11th Iranian Soil Science Congress, Gorgan, University of Gorgan. (in Persian).
15. Malakouti, M. J., Nafisi, M., and Motshrazadeh, B. 2001. National determination to produce fertilizer inside the country is a valuable step toward self-sufficiency and access to sustainable agriculture. Agricultural Research and Education Organization. Soil and Water Research Institute. Agriculture Education Publication. Tehran, Iran. P: 300. (in Persian).
16. Malakouti, M. J., Tabatabai, J., and Kasafi, M. 2005. New methods for timely supply of nutrients in plants. Department of Horticulture, Ministry of Jihad-e-Agriculture. Tehran, Iran. (in Persian).
17. Markarian, Sh., Najafi, N., Asgharzadeh, N. A., and Avesta, Sh. 2016. Interactive effects of Ensifer Meliloti (*Sinorhizobium meliloti*) and phosphorus on some growth characteristics of alfalfa under soil water deficit conditions. Journal of Soil Biology 3 (2): 163-177. (in Persian with English abstract).
18. Mehnatkesh, A. 2005. Effect of soil nutrient utilization on nutrient yield and quality characteristics of alfalfa. 9th Soil Science Congress of Iran. Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Tehran. (in Persian).
19. Moeinizadeh, M., Piri, E., Tavasoli, A., and Shojaei, S. 2017. Study of quantitative and qualitative forage yield of alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.) in different harvest in Khash region. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology 3 (2): 127-140. (in Persian with English abstract).
20. Moyer, J. R. 1992. Alfalfa yields in establishment and subsequent years after herbicide and phosphorus application during establishment. Canadian Journal of Plant Science 72 (2): 619-625.
21. Mullen, R. W., Johnson, G. V., Stritzke, J. F., Caddel, J. L., Phillips, S. B., and Raun, W. R. 2000. Alfalfa yield response to method and rate of applied phosphorus. Better Crops 84 (3): 18-23.
22. Nabiei, M. Gh. 2001. Effect of phosphate on forage yield of different alfalfa cultivars in rain fed condition. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research 8 (4): 25-34. (in Persian with English abstract).
23. Ottman, M. 2010. Alfalfa nutrient requirements, deficiency symptoms and fertilizer application. 2010 California Alfalfa & Forage Symposium, Visalia Convention Center. Visalia, CA.
24. Sengul, S. 2006. Using path analysis to determine lucerne (*Medicago sativa* L.) seed yield and its components. New Zealand Journal of Agricultural Research 49 (1): 107-115.
25. Shabani, G., Chaichi, M. R., Ardakani, M. R., Khavazi, K., and Friedel, J. 2014. The effect of different fertilizing systems on seed yield and phosphorous absorption in annual medic var. Robinson. Applied Field Crops Research 27 (104): 87-95. (in Persian with English abstract).
26. Torabi, M. 2001. Investigating and determining the most suitable seed rats and cutting time before seeding of alfalfa. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Final Report No. 806/79. (in Persian).
27. Zhang, T., Kang, J., Zhao, Z., Guo, W., and Yang, Q. 2014. Frequency, depth and rate of phosphorus fertilizer application effects on alfalfa seed yields. Canadian Journal of Plant Science 94 (7): 1149-1156.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 61-70

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۷۰-۶۱

Investigating the Application of Phosphorus and Spraying of Micronutrients on Forage and Seed Yield in Alfalfa Ecotypes

M. Torabi[1], M. Heidarisoltanabadi[2*]

Received: 17-12-2018
Accepted: 14-12-2019

Introduction

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is known as the most valuable forage in the world due to its resistance to drought, the high quality of forage and high adaptability, high shelf life and high protein. Desirable nutrition of alfalfa is one of the key factors in the quantity and quality of seed and forage production. In alfalfa production, optimum nutrition is one of the key factors in the growth and development of the product and has a direct effect on the yield of forage and seed. The provision of phosphorus and micronutrient elements of soil in order to balance the nutrients of soil plays an important role in quantitative and qualitative improvement of the product, and it is necessary to carry out a comprehensive research on alfalfa. The purpose of this study was to investigate the effect of different levels of phosphorus and micronutrient fertilizer on quantitative and qualitative yield of alfalfa seed and forage.

Material and Methods

In a three-year research (2011-2014), the effects of using phosphorus and micronutrients including iron, manganese, copper and zinc on quantitative and qualitative characteristics of seeds and forage production of alfalfa were studied at Golpayegan Research Station Isfahan province. For this purpose, using a split- plot experiment based on a randomized complete block design with three replications, the effect of two alfalfa ecotypes (as the main plot) and 6 levels of phosphorus and micronutrient fertilization (as a sub-plot) on the yield of seed and forage production was investigated. The main plots were consisted of alfalfa Hamedani (V1) and Rehnani (V2) and sub plots (sub-treatment) were included phosphorus (P_2O_5) at three levels: zero (P0), 65 (P65) and 120 (P120) kg.ha^{-1}, and micronutrient elements in two levels of no applied (R0) and micronutrient application as spraying (R1). Parameters were measured, including forage weight, dry forage weight, seed yield, 1000 seed weight and seed vigor percentage. In the first year, there were two cutting for forage and one for seed production, in the second year there were three cutting for forage and one for seed production, and in the third year there were three cutting for forage production and one for seed production.

Results and Discussion

The results showed that there was no significant difference in forage production, seed yield, 1000 seed weight, and percentage of seed vigor between two ecotypes of alfalfa, and the average yield of forage and seed in Hamedi and Rehnani ecotypes was 35.40 and 34.77 ton.ha^{-1} and 498 and 487 kg.ha^{-1} respectively. The year had a significant effect on the yield of fresh and dry forage, seed yield and 1000-seed weight. Also, the maximum of these traits were observed in the second year. The effect of the year on vigor seed was not significant. Comparison of means showed that P fertilizer application of 120 kg.ha^{-1} with micronutrient spraying (P120-R1) had the highest seed production and increased of 105% compared to control treatment. The application of 120 kg.ha^{-1} phosphorus without micronutrient application was in the next place. The percentage of seed vigor in the treatment of 120 kg.ha^{-1} P, with the micronutrient application (95.1%) was significantly higher than other treatments.

Conclusions

In this three-year research, the study of the use of phosphorus and micronutrients on fresh and dry forage yield and some quantitative and qualitative characteristics of seed produced in two alfalfa ecotypes was carried out. The results showed that the highest amount of forage production with the amount of 42.45 ton.ha^{-1} and the highest amount of seed produced with the amount of 689 kg.ha^{-1}, belonged to the treatment 120 kg.ha^{-1} phosphorus with micronutrient spraying.

Keywords: Fertilizer, Hamedani ecotype, Rehnani ecotype, Vigor seed, 1000-seed weight

1- Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: mheisol@gmail.com)

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۸۳-۷۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 71-83

تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر حفاظت آب خاک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم

محمد بنایان اول[1*]، کمال حاج محمدنیا قالی‌باف[2]، فاطمه یعقوبی[3]، زهرا رشیدی[4]، نیوشا ولایی[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۷

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر میزان آب خاک، اجزای عملکرد و عملکرد گندم، آزمایشی مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی شامل شیوه متداول خاک‌ورزی و کاهش‌یافته به‌عنوان کرت‌های اصلی و سه مدیریت بقایای گیاهی شامل حفظ صفر، ۳۰ و ۶۰ درصد بقایای گوجه‌فرنگی به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اثر سیستم خاک‌ورزی بر میزان آب خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری در دو روز پس از آبیاری چهارم و عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری در دو روز پس از آبیاری پنجم، ششم و هفتم، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و بیولوژیک گندم معنی‌دار بود و بیشترین مقادیر این صفات از تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته حاصل شد. اما اثر مدیریت بقایای گیاهی بر هیچ‌یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود. نتایج اثر متقابل نشان داد تنها میزان آب خاک در عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری خاک به‌ترتیب دو روز پس از آبیاری چهارم و سوم، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی قرار گرفتند. حداکثر میزان آب خاک (۲۲/۱۰٪ و ۱۷/۵۷٪ در عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری خاک به‌ترتیب دو روز پس از آبیاری چهارم و سوم) و وزن هزار دانه (۳۸/۴۴ گرم) در سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته و حفظ ۶۰ درصد بقایای گیاهی به‌دست آمد و تیمار خاک‌ورزی کاهش یافته و حفظ ۳۰ درصد بقایای گیاهی بیشترین تعداد دانه در سنبله (۶۱/۹۰) و عملکرد دانه (۷۱۲۰/۶۷ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد. با توجه به نتایج حاصله اعمال خاک‌ورزی کاهش یافته و حفظ ۳۰ درصد بقایای گوجه‌فرنگی جهت حصول به عملکرد بالاتر، مطلوب به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: بقایای گوجه فرنگی، خاک‌ورزی حفاظتی، رطوبت خاک، شخم کاهشی

مقدمه

گندم *Triticum aestivum* مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا است که به دلیل سازگار بودن با شرایط آب و هوایی مختلف، دامنه پراکندگی آن از سایر گونه‌ها بیشتر می‌باشد. این گیاه غذای اصلی اکثریت جمعیت جهان را به خود اختصاص داده و در بیش از ۲۵۰ میلیون هکتار در سراسر جهان کشت می‌شود (Royo *et al*., 2005). در ایران نیز گندم از نظر سطح زیر کشت و تولید، مهم‌ترین محصول به حساب می‌آید و افزایش عملکرد این محصول مورد توجه تولیدکنندگان قرار دارد (Emam, 2003).

خاک از مهم‌ترین ارکان تولید، امنیت غذایی، خودکفایی و اقتصاد ملی محسوب می‌شود (Friedrich *et al*., 2009). خاک مناطق نیمه‌خشک که اغلب اراضی زراعی ایران نیز در این نواحی قرار دارند از نظر میزان مواد آلی فقیر می‌باشند (Zarea, 2010). در چند دهه اخیر با ورود نهاده‌های برون مزرعه‌ای مانند ماشین‌آلات کشاورزی و کودهای شیمیایی آسیب‌های جدی به ساختار و کارکرد خاک اراضی زراعی وارد شده است (Kamkar and Mahdavi Damghani, 2009).

عملیات خاک‌ورزی در اکثر بوم‌نظام‌های زراعی کشور به‌وسیله گاوآهن برگردان‌دار و با حذف بقایای گیاهی انجام می‌شود. این عملیات که خاک‌ورزی متداول نامیده می‌شود نه تنها به انرژی زیادی نیاز دارد بلکه در دراز مدت منجر به تخریب خصوصیات فیزیکی خاک گردیده و آن را دچار فرسایش می‌کند (Frye *et al*., 2003; Helm, 2005; Moeini Rad *et al*., 2015). خاک‌ورزی متداول به دلیل عدم امکان مدیریت بقایای گیاهی در سطح خاک، شرایط محیطی مناسبی را برای حفظ رطوبت در خاک فراهم نمی‌سازد و با بر هم زدن و زیر و رو کردن زیاد خاک علاوه بر افزایش تبخیر و تشدید تلفات

۱- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استادیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۵- دانشجوی دکتری علوم علف‌های هرز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: banayan@um.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.78442

محتوی رطوبتی خاک، با تسریع اکسیداسیون ماده آلی، محتوی کربن آلی را کاهش داده که این امر افت خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را نیز به همراه دارد (Schillinger, 2005; Tripathi *et al*., 2007; Karlen *et al*., 2013).

خاک‌ورزی حفاظتی، نخستین گام در راستای مدیریت مطلوب خاک در کشاورزی پایدار می‌باشد (Hobs *et al*., 2006). خاک‌ورزی حفاظتی با حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک منجر به افزایش مواد آلی و میکروارگانیسم‌های خاک و بهبود چرخه عناصر غذایی به دلیل افزایش میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود. این امر کاهش استفاده از کودهای شیمیایی، بهبود ساختار خاک، افزایش نفوذ آب به خاک، کاهش رواناب و فرسایش و بالاخره کنترل آفات به علت افزایش تنوع زیستی میکروارگانیسم‌های خاک، کاهش مصرف آفت‌کش‌ها و آلودگی محیطی را در پی دارد (Shaxson, 2006; Kamkar and Mahdavi Damghani, 2009; Jat *et al*., 2012). روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به‌منظور جلوگیری از تخریب و فرسایش روزافزون خاک‌های زراعی در حفاظت هرچه بیشتر از منابع طبیعی در جهان رو به گسترش است (Moeini Rad *et al*., 2015).

در آزمایشی که علیخانی و همکاران (Ali Khani *et al*., 2011) بر تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و مقادیر بقایای ذرت (*Zea mays* L.) بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گندم انجام دادند، بیان نمودند که خاک‌ورزی کاهش یافته با افزایش مقادیر بقایا به دلیل افزایش درصد کربن آلی و نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود. شریفی و همکاران (Sharifi *et al*., 2018) در بررسی تأثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نشان دادند که کشت گیاهان پوششی خلر و منداب و اعمال روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی سبب بهبود عملکرد گندم گردید. گادر مایر و همکاران (Gadermaier *et al*., 2011) در مطالعه خود بیان داشتند که شرایط شخم کاهشی سبب افزایش عملکرد محصولات علوفه‌ای در مقایسه با شخم رایج می‌شود. ساماراجیو و همکاران (Samarajeewa *et al*., 2006) نشان دادند که سیستم‌های شخم حفاظتی تولید بیشتری را نسبت به شخم رایج داشتند و علت آن را بهبود کیفیت خاک و کارایی استفاده از آب بیان نمودند.

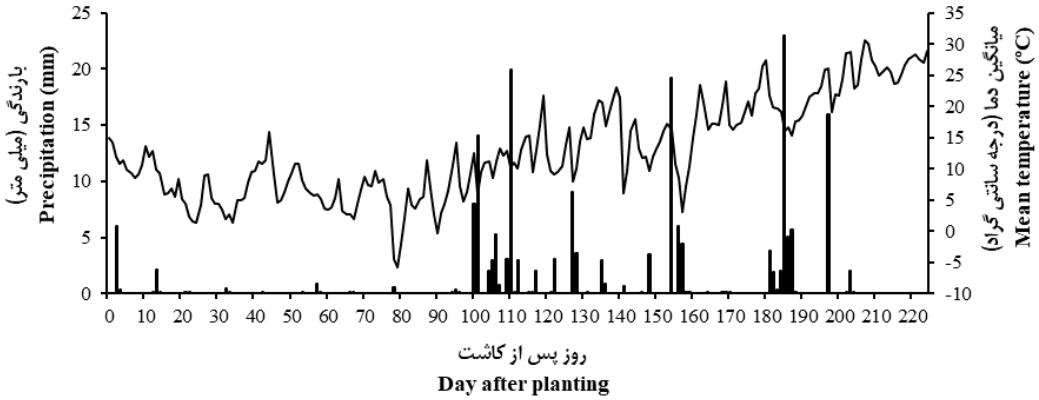
از آن‌جایی‌که خاک‌ورزی حفاظتی با حفظ و ذخیره رطوبت خاک تأثیر بسیار عمده‌ای در رشد گیاه و افزایش تولید دارد و با توجه به این‌که دستیابی به عملکرد بالقوه خاک‌های تحت کشت بدون تأمین مواد آلی کافی در خاک امکان‌پذیر نمی‌باشد، مطالعه کلیه روش‌هایی که بتواند مواد آلی خاک را افزایش دهد از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به گستردگی روش‌های خاک‌ورزی و میزان بقایای مختلف در سطح زمین و محدود بودن منابع آب در مناطق خشک، لازم است سیستم خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل مزایای فراوانی که نسبت به خاک‌ورزی متداول دارد در ایران نیز گسترش یابد و با خاک‌ورزی متداول مقایسه گردد. از این رو هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی متداول و خاک‌ورزی کاهش یافته و مدیریت بقایای گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) بر میزان نگهداشت آب خاک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گوجه‌فرنگی بر میزان آب خاک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم آزمایشی مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ درجه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. متوسط بارندگی سالانه ۲۸۶ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه در این منطقه به‌ترتیب ۴۲ و ۲۷/۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. آب و هوای منطقه بر اساس روش آمبرژه سرد و خشک است. مشخصات هواشناسی محل آزمایش در طول فصل رشد گندم (آبان تا تیرماه) و در سال زراعی مورد مطالعه برای ایستگاه هواشناسی مشهد در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین دمای روزانه در طول فصل رشد گندم در دامنه بین ۵/۷۵- تا ۳۰/۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشت و میزان بارندگی نیز در این سال زراعی ۱۸۵/۴۴ میلی‌متر بود.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی شامل شیوه متداول خاک‌ورزی (شخم، دیسک، تسطیح و کاشت با بذرکار) و خاک‌ورزی کاهش‌یافته (دیسک، تسطیح و کاشت با بذرکار) به‌عنوان کرت‌های اصلی و سه مدیریت بقایای گیاهی شامل بدون بقایا، حفظ ۳۰ و ۶۰ درصد بقایا به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد. در تیمار مدیریت بقایا از هر یک از کرت‌های فرعی بقایا جمع‌آوری و توزین شدند، سپس متناسب با تیمار مورد نظر صفر، ۳۰ و ۶۰ درصد بقایا به کرت‌ها اضافه شدند. میزان بقایا برای تیمار کاربرد ۶۰ درصد بقایا ۸۵۳۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار و برای تیمار کاربرد ۳۰ درصد بقایا ۴۲۶۵/۶۲ کیلوگرم در هکتار بود. قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، از عمق ۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی انجام و به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. پس از اضافه شدن بقایا به کرت‌های مورد نظر، عملیات آماده‌سازی زمین برای کشت گندم صورت گرفت. در این راستا، ابتدا تیمارهای خاک‌ورزی اعمال شدند به‌صورتی که در تیمار خاک‌ورزی متداول بقایا به‌وسیله گاوآهن برگردان‌دار تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط و سپس دیسک زده شد. اما در تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته بقایا تنها

با استفاده از دیسک تا عمق ۱۵ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. سپس در هر دو تیمار خاک‌ورزی متداول و کاهش‌یافته عملیات تسطیح با لولر صورت گرفت. کشت گندم (رقم فلات) در ۲۰ آبان ماه ۱۳۹۶ بر اساس نقشه طرح، در کرت‌هایی با ابعاد ۴ در ۳۲ متر در عمق سه سانتی‌متری خاک انجام گرفت. برای این منظور از دستگاه خطی‌کار غلات مدل پارس با فاصله فارو ۵۰ سانتی‌متر و سه خط کاشت روی هر پشته استفاده شد. فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها شش متر بود.



شکل ۱- بارندگی و میانگین دمای روزانه ایستگاه هواشناسی مشهد در طول فصل رشد گندم طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

Figure 1- Daily precipitation and mean temperature of Mashhad meteorological station during the wheat growing season in 2017-2018

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

Table 1- Physical and chemical particular of research station soil

عمق خاک Soil depth	کلاس بافت خاک Soil texture class	پتاسیم Potassium (ppm)	فسفر Phosphorus (ppm)	نیتروژن Nitrogen (%)	ماده آلی (%) Organic matter	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته pH
0-20	Silty loam	7.45	0.32	0.067	1.15	0.84	8.45
20-40	Silty loam	5.26	0.24	0.052	0.93	0.46	8.64

به‌منظور تأمین نیاز کودی گندم، کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت و کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو نوبت قبل از کاشت و در زمان طویل شدن ساقه‌ها به خاک اضافه شد. آبیاری به فاصله هر ۱۰ روز و به‌صورت جوی و پشته‌ای انجام شد. در کل با توجه به بارندگی‌های صورت گرفته در طی فصل رشد، هشت نوبت آبیاری انجام شد. میزان آب مصرفی به هر کرت به‌وسیله کنتور اندازه‌گیری شد، به‌طوری‌که در هر نوبت آبیاری تمامی کرت‌ها با میزانی یکسانی آبیاری شدند. همچنین از هیچ‌گونه علف‌کش و آفت‌کشی در طول دوره رشد گیاه استفاده نشد و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت گرفت.

محتوای آب خاک در دو عمق ۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری، دو روز بعد از هر آبیاری اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری آب خاک با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری رطوبت خاک[1] مدل PMS-714 و از سه نقطه از هر کرت به‌صورت تصادفی صورت گرفت. پس از مرحله رسیدگی برای ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ضمن رهاسازی خطوط حاشیه، شش مترمربع (سه کوادرات دو متر مربعی) از هر کرت به‌طور تصادفی برداشت گردید، سپس ارتفاع بوته، تعداد سنبله در متر مربع، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در زمان برداشت، فاصله سطح خاک تا نوک ریشک ۲۰ بوته در هر کوادرات به‌طور تصادفی اندازه‌گیری و سپس میانگین ارتفاع بوته در هر کرت محاسبه شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک در مرحله رسیدگی گیاه، کل بوته‌های موجود در سطح شش مترمربع برداشت و وزن گردید. جهت تعیین تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد کل سنبله‌های برداشت شده در سطح شش مربع مورد شمارش قرار گرفته و به تعداد سنبله در متر مربع تبدیل گردید. جهت تعیین طول سنبله و تعداد دانه در سنبله، به‌طور تصادفی ۲۰ سنبله را از کل سنبله‌های هر کوادرات جدا کرده و سپس طول سنبله‌ها اندازه‌گیری و میانگین طول سنبله در هر کرت محاسبه گردید. سپس تمام دانه‌های سنبله‌ها جدا و شمارش گردیدند و از تقسیم تعداد دانه بر تعداد سنبله، تعداد دانه در هر سنبله به‌دست آمد. وزن هزار دانه نیز پس از شمارش هزار دانه توسط دستگاه بذر شمار اندازه‌گیری شد.

1- Soil Moisture Meter

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار R و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

میزان آب خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سیستم خاک‌ورزی بر میزان آب خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر تنها در دو روز پس از چهارمین نوبت آبیاری معنی‌دار بود ($p \leq ۰/۰۵$) (جدول ۲). به‌طوری‌که حداکثر میزان آب خاک در دو روز پس از چهارمین نوبت آبیاری در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته ثبت شد و حدود ۲/۰۸ درصد بیشتر از خاک‌ورزی متداول بود (شکل ۲-الف). خاک‌ورزی کاهش‌یافته به دلیل کاهش زیر و رو کردن خاک باعث کاهش تبخیر و حفظ رطوبت بیشتر در خاک می‌گردد. اسکندری (Eskandari, 2004) در آزمایشی با بررسی میزان نگهداشت آب خاک در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی نشان داد که عدم خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی متداول باعث افزایش رطوبت حجمی خاک شد. سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر میزان آب خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در دو روز پس از دیگر نوبت‌های آبیاری تأثیر معنی‌داری نداشت. همچنین اثر کاربرد بقایا بر میزان آب خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). احتمالاً مخلوط کردن بقایا با خاک سبب غیر معنی‌دار شدن اثر کاربرد بقایا شده است و شاید حفظ بقایا در سطح خاک بتواند نقش مثبتی بر حفظ آب خاک داشته باشد. اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و میزان بقایا نیز بر میزان آب خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر تنها در دو روز پس از چهارمین نوبت آبیاری و در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq ۰/۰۵$) معنی‌دار گردید (جدول ۲). حداکثر میزان آب خاک (۲۲/۱۰٪) در تیمار سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته و حفظ ۶۰ درصد بقایا که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای خاک‌ورزی کاهش‌یافته و حفظ صفر و ۳۰ درصد بقایا نداشت. حداقل میزان آب خاک نیز (۱۸/۳۱٪) در سیستم خاک‌ورزی متداول و حفظ ۶۰ درصد بقایا به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سیستم خاک‌ورزی متداول و حفظ ۳۰ درصد بقایا و سیستم خاک‌ورزی متداول و عدم کاربرد بقایا نداشت (شکل ۳). در سیستم خاک‌ورزی متداول کاربرد ۶۰ درصد بقایا سبب تخلخل بیشتر خاک و نفوذپذیری بیشتر آب در خاک شد لذا میزان نگهداشت آب در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر از خاک کاهش یافت. اما در سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته به دلیل کاهش زیر و کردن خاک و همچنین کاهش اختلاط بقایا با خاک و احتمالاً باقی‌ماندن بخشی از بقایا در سطح خاک، حفظ ۶۰ درصد بقایا توانست میزان نگهداشت آب خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر خاک را افزایش دهد. سینگ و هایلی نیز (Singh and Haily, 2007) در آزمایش خود نشان دادند که خاک‌ورزی حداقل منجر به افزایش میزان رطوبت خاک شد.

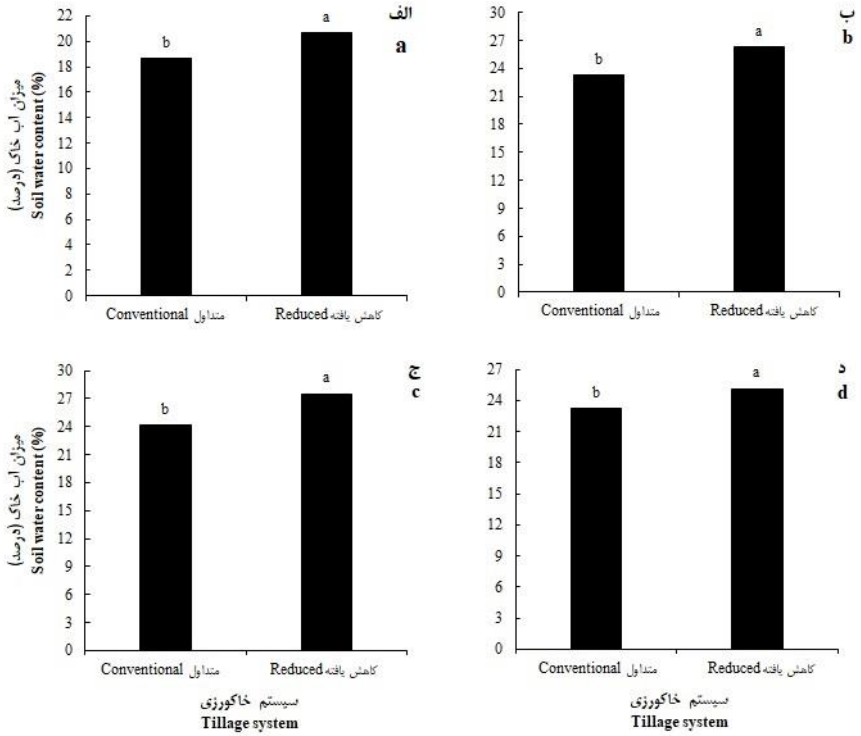
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سیستم خاک‌ورزی و بقایای گوجه‌فرنگی بر میزان آب خاک در دو روز پس آبیاری

Table 2- Analysis of variance for effects of tillage system and tomato residue on soil water content two days after irrigation

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of Squares													
		میزان آب خاک در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک دو روز پس از آبیاری Soil water content in 0-20 cm depth two days after irrigation							میزان آب خاک در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری خاک دو روز پس از آبیاری Soil water content in 20-40 cm depth two days after irrigation						
		اول First	دوم Second	سوم Third	چهارم Fourth	پنجم Fifth	ششم Sixth	هفتم Seventh	هشتم Eighth	اول First	دوم Second	سوم Third	چهارم Fourth	پنجم Fifth	ششم Sixth	هفتم Seventh	هشتم Eighth
تکرار Replication	2	6.52 ns	10.39 ns	3.32*	16.57**	7.43 ns	6.18**	0.60 ns	3.08 ns	7.15 ns	1.91 ns	1.39 ns	50.37 ns	9.52 ns	60.47**	4.02 ns	3.68 ns
سیستم خاک‌ورزی Tillage system	1	18.24 ns	2.25 ns	0.12 ns	8.71*	0.20 ns	0.64 ns	1.50 ns	0.18 ns	0.85 ns	3.57 ns	1.71 ns	0.87 ns	43.24*	50.33*	16.63*	3.12 ns
خطای a Error a	2	12.25	3.98	0.96	0.73	0.81	1.27	3.16	1.13	12.87	12.94	0.48	21.77	2.74	15.87	4.90	0.43
بقایای گیاهی Residue	2	0.30 ns	4.03 ns	2.10 ns	2.04 ns	1.22 ns	0.08 ns	3.60 ns	4.95 ns	4.46 ns	0.46 ns	0.35 ns	14.90 ns	2.80 ns	3.39 ns	0.68 ns	2.51 ns
سیستم خاک‌ورزی × بقایای گیاهی Tillage system× Residue	2	4.65 ns	12.82 ns	0.09 ns	4.51*	0.87 ns	0.27 ns	5.02 ns	6.46 ns	4.61 ns	0.65 ns	3.32**	13.06 ns	8.06 ns	5.10 ns	1.56 ns	2.74 ns
خطای b Error b	8	7.91	4.48	0.68	1.01	3.59	0.58	3.59	1.07	1.57	0.694	0.32	19.60	6.87	4.96	2.68	1.61
ضریب تغییرات CV (%)	-	28.9	14.4	5.2	5.1	8.6	3.3	8. 7	4. 8	11.4	5.5	3.7	22.1	10.6	8.6	6.8	5.6

ns، * و ** به‌ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد، ns غیر معنی‌دار

ns, * and ** are significant at 5 and 1% probability levels, ns: Non-significant

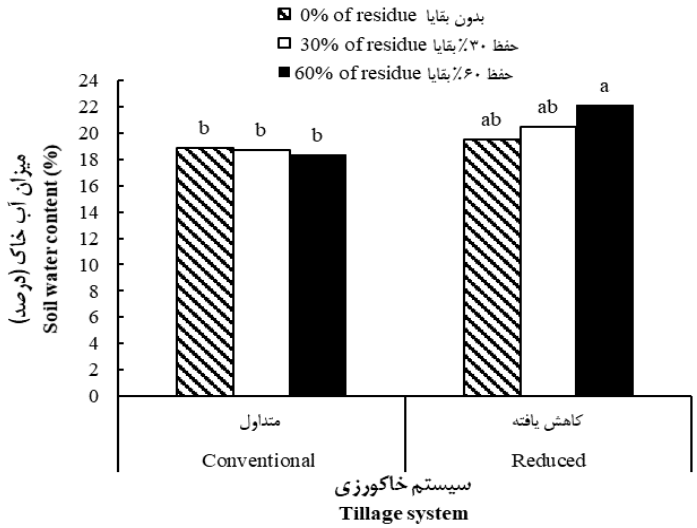


شکل ۲- اثر سیستم خاک‌ورزی بر میزان آب خاک: الف) در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری دو روز پس از آبیاری چهارم، ب) در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری دو روز پس از آبیاری پنجم، ج) آبیاری ششم و د) آبیاری هفتم

Figure 2- Effect of tillage system on soil water content: a) in 0-20 cm depth two days after 4th irrigation, b) in 20-40 cm depth two days after 5th irrigation, c) 6th irrigation and d) and 7th irrigation

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.



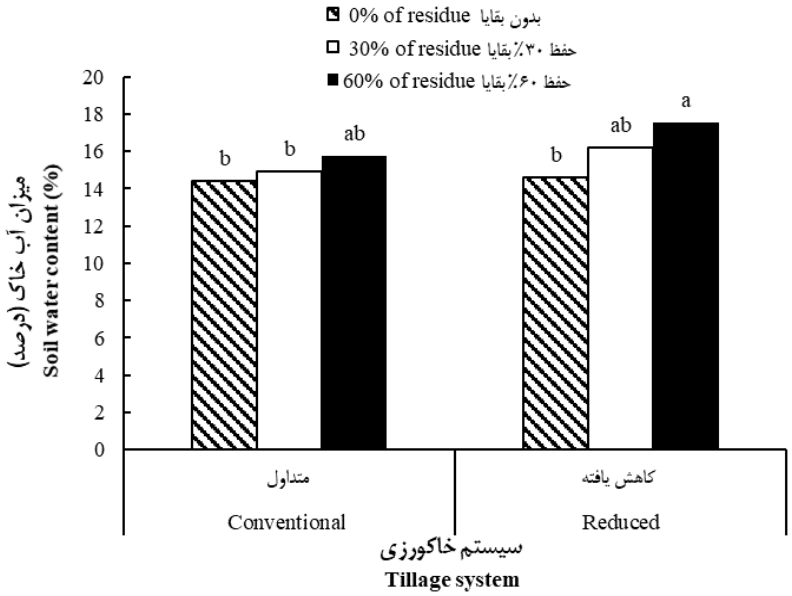
شکل ۳- اثر متقابل سیستم خاک‌ورزی و بقایای گوجه‌فرنگی بر میزان آب خاک در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک دو روز پس از چهارمین آبیاری

Figure 3- Interaction effect between tillage system and tomato residue on soil water content in 0-20 cm depth two days after 4th irrigation

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری ($p \leq ۰/۰۵$) بر میزان آب خاک در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متر در دو روز پس از پنجمین، ششمین و هفتمین نوبت آبیاری داشت (جدول ۲). مقایسات میانگین در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی نشان داد که میزان آب خاک در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری در سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته در مقایسه با خاک‌ورزی متداول بیشتر بود (شکل ۲-ب، ج و د). خاک‌ورزی از طریق تأثیر بر شرایط سطحی و زیر سطحی خاک، وضعیت آب خاک را متأثر می‌نماید. نتایج تحقیقات فراهانی و همکاران (Farahani *et al*., 1998) نیز نشان داد میزان حفظ رطوبت در سیستم‌های بدون شخم و شخم حداقل نسبت به شخم متداول بیشتر بود. تأثیر کاربرد بقایا بر میزان آب خاک در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متر غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر میزان آب خاک در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متر خاک تنها در دو روز پس از سومین نوبت آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۱$) گردید (جدول ۲). به‌طوری‌که حداکثر و حداقل میزان آب خاک به‌ترتیب به سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته و حفظ ۶۰ درصد بقایا (۱۷/۵۷٪) و سیستم خاک‌ورزی متداول و بدون بقایا (۱۴/۴۴٪) اختصاص داشت (شکل ۴). کاربرد ۶۰ درصد بقایا سبب تخلخل و نفوذپذیری بیشتر آب در اعماق بالای خاک شد لذا محتوای آب خاک در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر در این تیمار نسبت به سایر تیمارهای بقایا در هر دو سیستم خاک‌ورزی بیشتر بود. با این وجود میزان آب خاک در سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته و حفظ ۶۰ درصد بقایا اختلاف معنی‌داری با ۳۰ حفظ درصد بقایا نداشت و همچنین در سیستم خاک‌ورزی متداول بین سطوح مختلف کاربرد بقایا اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۴). احتمالاً کاربرد بقایا در سیستم خاک‌ورزی متداول به میزانی نبوده است که بتواند تأثیر معنی‌داری بر میزان نگهداشت آب خاک در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متر خاک داشته باشد. مالهی و همکاران (Malhi *et al*., 2006) در تحقیقات خود نشان دادند که بدون خاک‌ورزی و کاربرد بقایا، منجر به بهبود ظرفیت خاک برای ذخیره آب می‌گردد.



شکل ٤- اثر متقابل سیستم خاک‌ورزی و بقایای گوجه فرنگی بر میزان آب خاک در عمق ۲۰ تا ٤۰ سانتی‌متری خاک دو روز پس از سومین آبیاری
Figure 4- Interaction effect between tillage system and tomato residue on soil water content in 20-40 cm depth two days after 3th irrigation

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی، کاربرد بقایا و اثر متقابل آن‌ها بر ارتفاع بوته گندم بود (جدول ۳). در مطالعه‌ای در ارتباط با تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نیز سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گندم نداشت (Zarei *et al*., 2015). سلامی و همکاران (Salami *et al*., 2017) نیز نشان دادند که اثر تیمارهای خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گیاهی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و اثر متقابل آن‌ها بر ارتفاع بوته گندم معنی‌دار نبود.

تعداد سنبله در متر مربع

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر تعداد سنبله در متر مربع معنی‌دار بود ($p \leq ۰/۰۵$) اما اثرکاربرد بقایا و اثر متقابل خاک‌ورزی و کاربرد بقایا بر تعداد سنبله در متر مربع غیر معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سیستم خاک‌ورزی و بقایای گوجه‌فرنگی بر اجزای عملکرد و عملکرد گندم

Table 3- Analysis of variance for effects of tillage system and tomato residue on yield components and yield of wheat

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares							
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد سنبله در متر مربع Spike no. per m^2	طول سنبله Spike length	تعداد دانه در سنبله Grain no. per spike	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	14.06 ns	2387.65 ns	0.05 ns	15.64 ns	19.57 ns	1284039.34 ns	3597222.22 ns	6.21 ns
سیستم خاک‌ورزی Tillage system	1	2.72 ns	39.51 *	0.15 ns	367.66*	17.31 ns	11472795.12*	24890432.10*	86.61 ns
خطای a Error a	2	20.16	328.39	0.05	36.25	7.15	3726159.36	955246.91	131.96
بقایای گیاهی Residue	2	14.62 ns	12622.84 ns	0.29 ns	16.20 ns	45.98 ns	808953.097 ns	11032407.41 ns	33.26 ns
سیستم خاک‌ورزی × بقایای گیاهی Tillage system × Residue	2	16.34 ns	4611.72 ns	2.95 ns	64.01*	20.37*	5653414.65*	12149691.35 ns	76.59 ns
خطای b Error b	8	17.61	2641.35	0.38	79.90	6.90	1914798.17	2310702.50	48.63
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	-	5.6	15.0	6.8	17.2	7.6	25.3	15.7	17.3

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد، غیر معنی‌دار

*, ** are significant at 5 and 1% probability levels, ns: Non-significant

بیشترین تعداد سنبله در متر مربع در سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته به‌دست آمد که ۴/۲ درصد بیشتر از سیستم خاک‌ورزی متداول بود (جدول ۴). نتایج تحقیقات ریگر و همکاران (Rieger *et al*., 2008) نشان داد که در تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته تعداد سنبله در متر مربع گندم بیشتر از تیمار بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول بود. در گیاه گندم تعداد سنبله در مترمربع به تراکم بوته و تعداد پنجه در بوته بستگی دارد (Singh *et al*., 2004). در این آزمایش تعداد سنبله در واحد سطح با کاهش عملیات خاک‌ورزی افزایش یافت که احتمالاً به دلیل بهتر شدن شرایط رشد برای بوته‌های گندم، دستیابی به رطوبت بیشتر و افزایش تعداد پنجه در بوته می‌باشد.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر سیستم خاک‌ورزی بر اجزای عملکرد و عملکرد گندم

Table 4- Mean comparison for effects of tillage system on yield components and yield of wheat

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد سنبله در متر مربع Spike no. m^{-2}	طول سنبله Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Grain no. per spike	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 grain weight (g)	عملکرد دانه grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)
شخم متداول Conventional tillage	75.65 a	340.37 b	8.95 a	47.41 b	33.62 a	4666.07 b	12237.27 b	38.13 a
شخم کاهشی Minimum tillage	74.88 a	354.66 a	9.13 a	56.31 a	35.58 a	6262.78 a	14729.02 a	42.52 a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

طول سنبله

آزمون تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن اثرات سیستم‌های خاک‌ورزی و کاربرد بقایا و اثر متقابل آن‌ها بر طول سنبله بود (جدول ۳). امینی و همکاران (Amini *et al*., 2015) در مطالعه‌ای در ارتباط با تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم به این نتیجه رسیدند که روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی تفاوت معنی‌داری بر طول سنبله گندم ایجاد نکردند. در مطالعه معینی راد و همکاران (Moeini Rad *et al*., 2015) نیز روش‌های مختلف خاک‌ورزی در سال اول تأثیر معنی‌داری بر طول سنبله گندم نداشت، اما در سال دوم بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی از نظر ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید.

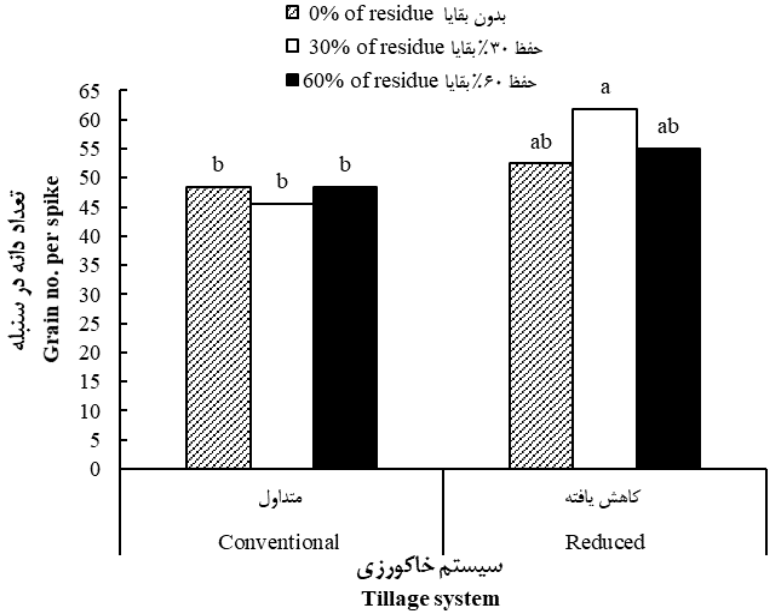
تعداد دانه در سنبله

سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی باعث بروز تفاوت معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) بر تعداد دانه در سنبله شد، اما اثر کاربرد بقایا بر تعداد دانه در سنبله غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد که تعداد دانه در سنبله در تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته ۱۸/۸ درصد بیشتر از خاک‌ورزی متداول بود (جدول ۴). با این وجود محققان بسیاری اختلاف معنی‌داری بین خاک‌ورزی کاهش‌یافته و متداول از نظر این صفت به‌دست نیاوردند (Moeini Rad *et al*., 2015; Zarei *et al*., 2015; Salami *et al*., 2017; Sharifi *et al*., 2017). اثر متقابل خاک‌ورزی وکاربرد بقایا بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) بود (جدول ۳). به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله (۶۱/۹۰) مربوط به سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته و کاربرد ۳۰ درصد بقایا بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای بدون بقایا و حفظ ۶۰ درصد بقایا در شخم کاهش‌یافته نداشت. کمترین تعداد دانه در سنبله (۴۵/۴۷) نیز مربوط به خاک‌ورزی متداول و حفظ ۳۰ درصد بقایا بود (شکل ۵).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه گندم تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی قرار نگرفت (جدول ۳) که با نتایج ریگر و همکاران (Rieger *et al*., 2008) و زارعی و همکاران (Zarei *et al*., 2015) مطابقت داشت. وزن هزاردانه تنها جزئی از عملکرد است که در انتهای چرخه رشد و نموی گندم شکل گرفته و میزان آن تابعی از مهیایی محیط برای رشد و البته تابعی از اثرات جبرانی بین اجزای عملکرد است (Sharifi *et al*., 2018). لذا چنین به نظر می‌رسد که نزدیک بودن وزن هزار دانه گندم در سیستم خاک‌ورزی متداول به کاهش‌یافته را بتوان به اثر جبرانی بین اجزای عملکرد و پیامد کاهش تعداد دانه در سنبله نسبت داد. اثر اصلی کاربرد بقایا بر وزن هزار دانه غیر معنی‌دار بود اما اثر متقابل آن با سیستم خاک‌ورزی بر این صفت معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) شد (جدول ۳). به‌طوری‌که تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته و حفظ ۶۰ درصد بقایا بیشترین (۳۸/۴۴ گرم) و تیمار خاک‌ورزی متداول و بدون بقایا کمترین وزن هزار دانه گندم (۳۰/۹۱ گرم) را به خود اختصاص دادند

(شکل ۶). سلامی و همکاران (Salami *et al*., 2017) نیز با بررسی تأثیر انواع روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی چغندر بر عمکرد و اجزای عملکرد گندم به این نتیجه رسیدند که بیشترین و کمترین وزن دانه به‌ترتیب مربوط به تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و متداول بود. با این وجود بحرانی و همکاران (Bohrani, 1996) نشان دادند وزن هزار دانه ذرت تحت تأثیر تیمارهای مدیریت بقایا و سامانه‌های خاک‌ورزی قرار نمی‌گیرد، زیرا وزن هزار دانه ویژگی ژنتیکی بوده و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی قرار می‌گیرد.

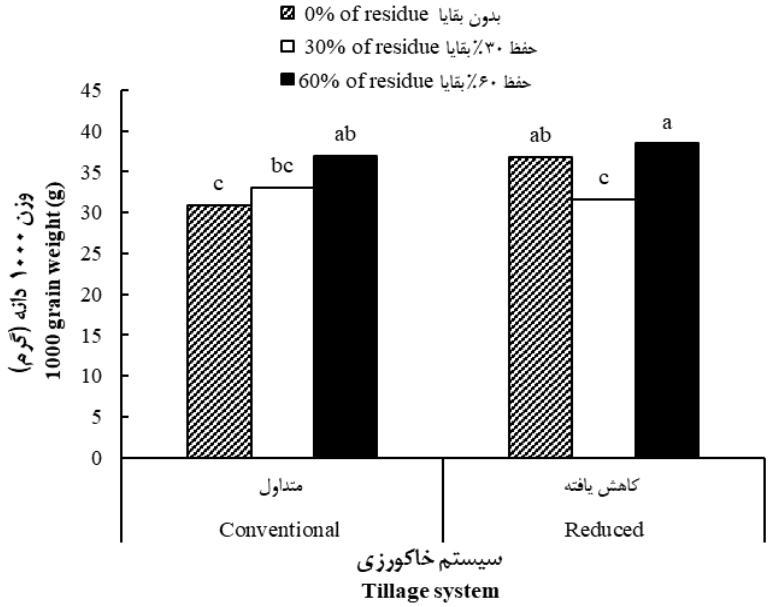


شکل ۵- اثر متقابل سیستم خاک‌ورزی و بقایای گوجه‌فرنگی بر تعداد دانه در سنبله

Figure 5- Interaction effect between tillage system and tomato residue on grain number per spike

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.



شکل ٦- اثر متقابل سیستم خاک‌ورزی و بقایای گوجه‌فرنگی بر وزن هزار دانه

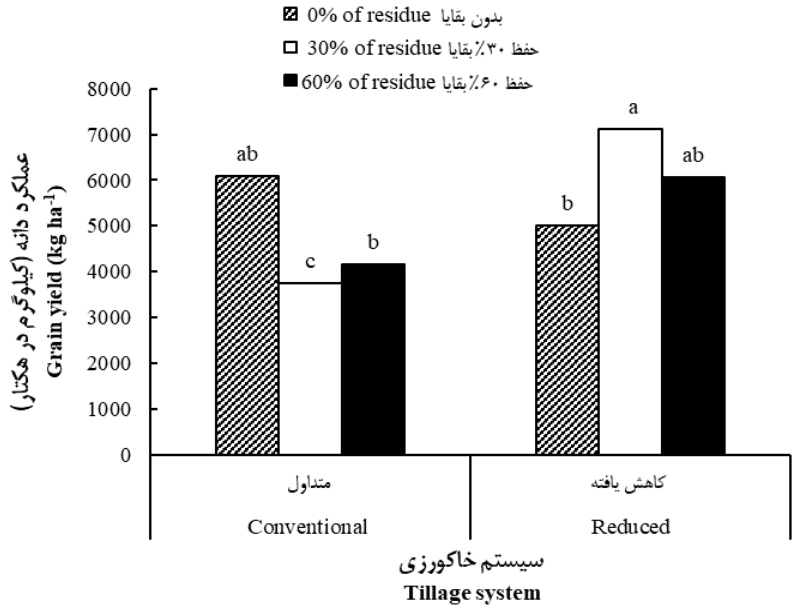
Figure 6- Interaction effect between tillage system and tomato residue on 1000 grain weight

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

عملکرد دانه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده، اثر بقایای گیاهی بر عملکرد دانه غیر معنی‌دار بود، اما اثر سیستم خاک‌ورزی و اثر متقابل آن با کاربرد بقایای گیاهی بر عملکرد دانه گندم معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر اصلی خاک‌ورزی نشان داد که عملکرد دانه در سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته (۶۲۶۲/۷۸ کیلوگرم در هکتار) ۳۴/۲۲ درصد بیشتر از عملکرد دانه در سیستم خاک‌ورزی متداول (۴۶۶۶/۰۷ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۴). بالاتر بودن اجزای عملکرد دانه در این تیمار تأییدکننده این امر می‌باشد، زیرا تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته بیشتر از متداول بود (جدول ۴). این امر می‌تواند به علت افزایش مواد غذایی خاک، بهبود وضعیت فیزیکی خاک و بهتر شدن وضعیت آب خاک باشد (Govaerts *et al*., 2009; Kaschuk *et al*., 2010; Jat *et al*., 2012). همت و اسکندری (Hemmat and Eskandari, 2006) نشان دادند عملکرد دانه به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی قرار گرفت که آن را به تعداد سنبله در بوته و وزن دانه نسبت دادند. محققان دیگری نیز افزایش عملکرد در سیستم‌های خاک‌ورزی کاهش‌یافته نسبت به متداول را گزارش نمودند (Amini *et al*., 2014; Salami *et al*., 2017). نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد دانه گندم در سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته و حفظ ۳۰ درصد بقایا (۷۱۲۰/۶۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن در سیستم خاک‌ورزی متداول و حفظ ۳۰ درصد بقایا (۳۷۴۸/۴۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (شکل ۷). با این وجود عملکرد دانه در تیمار سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته و حفظ ۳۰ درصد بقایا با تیمار سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته و حفظ ۶۰ درصد بقایا اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). همچنین نتایج حاکی از معنی‌دار نبودن اثر اصلی کاربرد بقایا بر عملکرد دانه بود (جدول ۳). این امر می‌تواند به علت کاهش فعالیت میکروبی، تجزیه ناکامل بقایای گیاهی و تثبیت عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و در نتیجه کاهش نیتروژن قابل دسترس باشد. به‌طوری‌که سینگ و همکاران (Singh *et al*., 2004) گزارش نمودند که کاربرد بقایای گیاهی زیاد بدون کاربرد نیتروژن کافی باعث کاهش تولید گندم می‌شود. زارع فیض آبادی و نوری حسینی (Zarea Feizabadi and Nourihosseini, 2013) نیز بیان داشتند که عدم استفاده از مقدار مناسب کود نیتروژنه جهت تجزیه بقایای گیاهی موجب افزایش میزان کربن خاک و کاهش نیتروژن مورد نیاز می‌شود و در نهایت روی تولید تأثیر می‌گذارد.



شکل ۷- اثر متقابل سیستم خاک‌ورزی و بقایای گوجه‌فرنگی بر عملکرد دانه

Figure 7- Interaction effect between tillage system and tomato residue on grain yield

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test.

عملکرد بیولوژیک

سیستم خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک گندم داشت ($p \leq ۰/۰۵$)، اما اثر کاربرد بقایا و اثر متقابل آن با سیستم خاک‌ورزی بر این صفت غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته بیشترین عملکرد بیولوژیک را با میزان ۱۴۷۲۹/۰۲ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد که نسبت به خاک‌ورزی

متداول ۲۰/۳۶ درصد بیشتر بود (جدول ۴). نتیجه حاضر با نتایج همتی و اسکندری (Hemmat and Eskandari, 2006) و کریگوی و همکاران (Kirigwi *et al*., 2004) مطابقت دارد. افزایش عملکرد بیولوژیک با کاهش خاک‌ورزی می‌تواند به علت افزایش عناصر قابل دسترس در نتیجه فعالیت بیشتر موجودات زنده خاک باشد. زیرا کاهش عملیات خاک‌ورزی صدمه کمتری به عوامل زنده خاک رسانده و میزان فعالیت آن‌ها را افزایش می‌دهد (Salami *et al*., 2017).

شاخص برداشت

اثر سیستم خاک‌ورزی و کاربرد بقایا و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۳) که با نتایج زابلستانی و همکاران (Zabolestani *et al*., 2008)، اسکندری و فیضی اصل (Eskandari and Feiziasl., 2017) و سلامی و همکاران (Salami *et al*., 2017) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته سبب نگهداشت بیشتر رطوبت در خاک گردید اما تنها در برخی موارد این افزایش معنی‌دار بود چرا که حجم آب آبیاری برای تمامی تیمارها یکسان بوده و نمود این برتری در شرایط تنش بیشتر می‌باشد. سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته با بهبود وضعیت رطوبتی برای گیاه موجب شرایط مناسب‌تر برای رشد گیاه شده و در نهایت توانست سبب بهبود اجزای عملکرد، عملکرد دانه و بیولوژیک گندم گردد. همچنین نتایج حاکی از این بود که حفظ بقایای گیاهی گوجه‌فرنگی احتمالاً به دلیل تجزیه نشدن کامل بقایای گیاهی و تثبیت عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن نتوانست تأثیر معنی‌داری بر هیچ‌یک از صفات مورد مطالعه داشته باشد. با این وجود نتایج اثر متقابل آن با سیستم خاک‌ورزی نشان داد که کاربرد سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته همراه با ۳۰ درصد بقایا توانست بیشترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص دهد. اما عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تحت تأثیر اثر متقابل عوامل مورد بررسی قرار نگرفتند چرا که ساختمان و ساختار خاک در مرحله گذر از خاک‌ورزی متداول به خاک‌ورزی کاهش‌یافته بهبود می‌یابد و از طرف دیگر در دراز مدت مقدار تجزیه ماده آلی با مقدار اضافه شدن آن به خاک به تعادل می‌رسد در نتیجه مزایای خاک‌ورزی حفاظتی در بلند مدت بیشتر نمود پیدا خواهد کرد. با توجه به نتایج به‌دست آمده جهت نیل به حداکثر عملکرد دانه و صدمه کمتر به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مورد مطالعه اجرای خاک‌ورزی کاهش‌یافته و حفظ ۳۰ درصد بقایای گیاهی گوجه‌فرنگی مناسب به نظر می‌رسد. با این وجود با توجه به این‌که نتایج مطالعات خاک‌ورزی در دراز مدت نمود بیشتری دارند تکرار این آزمایش به‌منظور نتیجه‌گیری دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود. به‌طور کلی با توجه به تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع آبی در کشور روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مدیریت بقایا راهکاری مناسب برای حفظ منابع و پایداری تولید خواهد بود.

سپاسگزاری

هزینه‌های مورد نیاز جهت انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با کد ۲/۴۵۶۴۲ مورخ ۱۳۹۶/۱۰/۶ تأمین شده است که بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Amini, A., Rajaie, M., and Farsinezhad, K. 2014. Effects of different plant residue under different tillage practices on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Ecophysiology 16: 27-37. (in Persian with English abstract).
2. Bohrani, M. J. 1996. Management of plant residue in irrigated cropping systems. Proceedings of 5th Conference of Agriculture and Plant Breeding, Karaj, Iran. (in Persian).
3. Emam, Y. 2003. Cereal Crops. Shiraz University, Iran. (in Persian).
4. Eskandari, I. 2004. Effects of different tillage and planting methods on soil moisture and seed yield of chickpea in dryland conditions. Seed and Plant 19 (4): 497-511. (in Persian with English abstract).
5. Eskandari, I., and Feiziasl, V. 2017. Influence of conservation tillage on some soil physical properties and crop yield in vetch-wheat rotation in dryland cold region. Journal of Agricultural Machinery 7 (2): 451-467. (in Persian with English abstract).
6. Friedrich, T., Kassam, A. H., and Shaxson, F. 2009. Conservation Agriculture. In: Agriculture for Developing Countries. Science and Technology Options Assessment (STOA) project. European Technology Assessment Group, Karlsruhe, Germany.
7. Frye, W. W., Blevins, R. L., and Smith, M. A. 2003. Cover crops in conservation tillage: benefits and liabilities. Agronomy Journal 22: 145-171.
8. Govaerts, B., Sayre, K. D., Goudeseune, B., De Corte, P., Lichter, K., Dendooven, L., and Deckers, J. 2009. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. Soil and Tillage Research 103: 222-230.

9. Helm V, 2005. Conservation tillage: corn, grain sorghum, and wheat in Dallas County, Texas. Soil and Tillage Research 23 (5): 356-366.
10. Hemmat, A. and Eskandari, I. 2006. Dryland winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in northwestern Iran. Soil and Tillage Research 86: 99-109.
11. Hobbs, P. R., Sayre, K., and Gupta, R. 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 363: 543-555.
12. Jat, R. A., Wani, S. P., and Sahrawat, K. L. 2012. Conservation agriculture in the semi-arid tropics: prospects and problems. Advances in Agronomy 117: 191-237.
13. Kamkar, B., and Mahdavi Damghani, A., 2009. Principles of sustainable agriculture. Ferdowsi University Publication, Iran. (in Persian).
14. Karlen, D. L., Cambardella, C. A., Kovar, J. L., and Colvin, T. S. 2013. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. Soil and Tillage Research 133: 54-64.
15. Kaschuk, G., Alberton, O., and Hungria, M. 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. Soil Biology and Biochemistry Journal 42: 1-13.
16. Kirigwi, F. M., Ginkel Van, M., Trethowan, R., Sears, R. G., Rajaram, S., and Aulsen, G. M. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. Euphytica 135: 361-371.
17. Malhi, S. S., Lemke, R. L., Wang, Z., Farrell, R., and Chhabra, B. S. 2006. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield and nutrient uptake, soil quality and greenhouse gas emissions. Soil and Tillage Research 90: 171-183.
18. Moeini Rad, A., Yeganehpoor, F., and Pirdashti, H. 2015. Effects of different tillage methods on yield and yield components of N-80-9 wheat cultivar. Agroecology Journal 10 (4): 57-66. (in Persian with English abstract).
19. Rieger, S., Richner, W., Streit, B., Frossard, E., and Liedgens, M. 2008. Growth, yield and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity, preceding crops, and N fertilization. European Journal of Agronomy 28: 405-411.
20. Royo, C., Miloudi, M. M., Di Fonze, N., Arraus, J. L., Pfeiffer, W. H., and Slafer, G. A. 2005. Durum Wheat Breeding Current Approaches and Future Strategies. Food Product Press. New York, pp. 379-396.
21. Salami, M. R., Rezvani Moghaddam, P., Sharifi, H. R., Ghaemi, A. R., and Nassiri Mahallati, M. 2017. Different types of soil tillage and sugar beet (*Beta vulgaris*) residue management on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum*). Iranian Journal of Field Crops Research 15 (3): 663-675. (in Persian with English abstract).
22. Schillinger, W. F. 2005. Tillage method and sowing rate relations for dryland spring wheat, barley, and oat. Crop Science 45: 2636-2643.
23. Sharifi, H., Gazanchian, G. A., and Anahid, S. 2018. Effects of planting date and seed priming on partitioning coefficients, grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Seed Science and Technology 7 (1): 257-280. (in Persian with English abstract).
24. Singh, Y., Ladha, J. K., Khind, C. S., and Bueno, C. S. 2004. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice- wheat rotation. Soil Science Society of America Journal 68: 854-864.
25. Singh, B. R., and Haile, M. 2007. Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen use efficiency of tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) and soil properties. Soil and Tillage Research 94: 55-63.
26. Tripathi, R. P., Sharma, P., and Singh, S. 2007. Influence of tillage and crop residue on soil physical properties and yields of rice and wheat under shallow water table conditions. Soil and Tillage Research 92: 221-227.
27. Zabolestani, A., Sedge, A. R., and Zamani, A. S. 2008. Effect of different tillage methods on grain yield and components of water wheat. Journal of new Agricultural Sciences 12: 39-48. (in Persian with English abstract).
28. Zarea, M. J. 2010. Conservation tillage and sustainable agriculture in semi-arid dryland farming. PP 195-238 in E. Lichtfouse ed. Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture. Springer Press.
29. Zarea Feizabadi, A., and Nourihosseini, M. 2013. Study on the variations of organic carbon and some nutrients in soil. Iranian Journal of Soil Research 27 (4): 629-643. (in Persian with English abstract).
30. Zarei, M., Kazemeini, S. A., and Bahrani, M. J. 2015. Effect of tillage systems and water stress on growth and yield of wheat. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (4): 793-804. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 71-83

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۸۳-۷۱

Effect of Tillage Systems and Residue Management on Soil Water Conservation, Yield and Yield Components of Wheat

M. Bannayan Aval[1*], K. Hajmohammadnia Ghalibaf[2], F. Yaghoubi[3], Z. Rashidi[4], N. Valaie[5]

Received: 10-01-2019
Accepted: 29-09-2019

Introduction

Soil is one of the most important components of production, food security, self-sufficiency and national economy. Soil of semi-arid regions, which most of Iran's agricultural lands are located in these areas, are poor in terms of organic matter. The soil tillage operations are carried out by means of moldboard plow and removal of plant residue in most of the agricultural systems. This operation, called conventional tillage, requires not only high energy but also damages to soil physical properties and erosion in the long-term. Conventional tillage does not provide good environmental conditions to maintain moisture in the soil due to the impossibility of managing plant residue in the soil surface. In addition this tillage increases the evaporation and losses of soil water content and reduces the soil organic carbon as a result conventional tillage reduces the physical, chemical and biological characteristics of the soil. The objective of this study was investigation of effect of conventional and reduced tillage systems and management of tomato residue on soil water content, yield and yield components of wheat.

Materials and Methods

The experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad, during growth season 2017-18. Tillage system (in two levels i.e. conventional and minimum tillage) and tomato residue retention (0, 30 and 60%) were in main plots and sub plots, respectively. The sowing date was 11th November in 2017.Sampling was done at harvest time and included plant height, spike number.m^{-2}, spike length, grain number per spike, 1000 grain weight, grain yield, biological yield and harvest index. During the growing season, soil water content in 0-20 and 20-40 cm depth was measured by the soil moisture meter (PMS-714 model) two days after irrigation. Data were analyzed with R software; obtained averages compared with Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the effect of tillage system was significant on soil water content in 0-20 cm depth two days after forth irrigation, soil water content in 20-40 cm two days after fifth, sixth and seventh irrigation, spike number.m^{-2}, grain number per spike, grain and biological yield. Maximum of this traits were obtained in reduced tillage due to increased soil nutrition, improved physical condition of the soil and soil water status. However, the effect of management of tomato residue on any of the studied traits was not significant. This could be due to reducing microbial activity, in complete decomposition of plant residues and reducing available nitrogen.

The interaction effect between tillage system and tomato residue was significant on soil water content in 0-20 and 20-40 cm depth two days after forth and third irrigation, respectively, grain number per spike, 1000 grain weight and grain yield. Reduced tillage and 60% of tomato residue showed that maximum of soil water content and 1000 grain weight (38.4 g).Maximum of grain number per spike (61.9) and grain yield (7120. 7 kg.ha^{-1}) were obtained in treatment of reduced tillage and 30% of tomato residue.

Conclusions

The results of this study indicate that in order to achieve maximum grain yield and less damage to the physical and chemical properties of soil, the implementation of reduced tillage and maintenance of 30% of tomato residue is recommended in the studied area. In general, due to climate change and water resource constraints in the country, conservation tillage and residue management practices are a good way to maintain resources and sustainability.

Keywords: Conservation tillage, Minimum tillage, Soil moisture, Tomato residue

1- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- PhD. student of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
4- PhD. student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
5- PhD. student of Weed Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: banayan@um.ac.ir)

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۰۰-۸۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 85-100

تأثیر قطع آبیاری و محلول‌پاشی روی و منگنز بر عملکرد و صفات اکوفیزیولوژیک کلزا (*Brassica napus* L.)

قربان خدابین[۱]، زین‌العابدین طهماسبی سروستانی[۲*]، امیر حسین شیرانی‌راد[۳]، سید علی محمد مدرس ثانوی[۴]، اسماعیل بخشنده[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۷

چکیده

بررسی واکنش ارقام مختلف کلزا به عوامل محیطی یکی از اصول اساسی برنامه‌ریزی کشور برای حصول حداکثر عملکرد کمی و کیفی است. کم‌آبی و عدم تغذیه مناسب از جمله عواملی هستند که با تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه بر عملکرد محصولات زراعی تأثیر می‌گذارد. به‌منظور بررسی واکنش ۳ رقم کلزا در شرایط قطع آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی، بر خصوصیات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل اسپیلیت در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل آبیاری در دو سطح آبیاری معمول و قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی، محلول‌پاشی در چهار سطح با آب، غلظت چهار در هزار سولفات روی، غلظت چهار در هزار سولفات منگنز و محلول‌پاشی هم‌زمان سولفات روی و سولفات منگنز با غلظت چهار در هزار در مرحله ۵۰٪ ساقه‌دهی و رقم در سه سطح رقم نیما به‌عنوان رقم شاهد و لاین‌های امیدبخش R15 و KS7 بودند. بیشترین میزان عملکرد روغن (۱۷۲۸ کیلوگرم در هکتار)، وزن هزاردانه (۳/۲۱ گرم)، عملکرد زیستی (۱۵۶۷۵ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب (۰/۹۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) مربوط به اثر اصلی تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر بود. نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری عادی، بیشترین عملکرد دانه (۵۱۶۸ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد روغن (۲۲۴۴ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب در لاین R15 و در شرایط قطع آبیاری در رقم نیما به‌دست آمد. در شرایط آبیاری کامل، محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر باعث افزایش صفات مورد بررسی شد. اما در شرایط قطع آبیاری تنها ارتفاع بوته و درصد روغن تحت تأثیر محلول‌پاشی افزایش پیدا کرد. در شرایط آبیاری کامل لاین R15 رقم برتر بود، اما در شرایط قطع آبیاری رقم نیما بیشترین عملکرد و اجزای آن را دارا بود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد و اجزای عملکرد، عناصر ریزمغذی، کارایی مصرف آب

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) از جمله گیاهان زراعی می‌باشد که جهت استخراج روغن مورد کشت و کار قرار می‌گیرد و پس از سویا و نخل روغنی در جایگاه سوم تولید قرار دارد (El-Din *et al.*, 2010). ارقام پاییزه‌ی کلزا می‌تواند مانند سایر گیاهان زمستانه از بارندگی فصلی استفاده نموده و به این علت جانشین مناسبی برای سایر دانه‌های روغنی نظیر سویا و آفتاب‌گردان هستند (Rameeh, 2014). با رعایت اصول به‌زراعی و به‌نژادی، عملکرد کلزا را می‌توان بهبود بخشید. بدین منظور، با معرفی ارقام دارای عملکرد بالاتر می‌توان از حداکثر ظرفیت ژنتیکی ارقام موجود نیز در شرایط آب و هوایی مختلف استفاده نمود (Sieling *et al.*, 2017).

کمبود رطوبت سبب کوتاه شدن عمر گیاه کلزا و کاهش تولید ماده خشک و بازدهی محصول می‌شود. تحقیقات نشان داده است که در اثر قطع آبیاری از مرحله ساقه‌رفتن تا گل‌دهی کپسول‌های نارس کلزا در اثر خشکی خاک به زمین می‌ریزند، نقل و انتقال مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه متوقف می‌شود و درنتیجه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Khan *et al.*, 2010). حساس‌ترین مرحله رشد و نمو کلزا به کمبود آب، مرحله گل‌دهی است. کمبود آب در این مرحله سبب افت شدید تعداد گل، کپسول و دانه شده و وزن هزار دانه و میزان روغن دانه را کاهش می‌دهد. تنش کم آبی باعث می‌شود که گیاه در شرایط نامساعد محیطی به گل رفته و در اثر گرما، تعدادی از گل‌ها عقیم مانده و ریزش کنند. همچنین چون گیاه در اثر بالا بودن دمای محیط در مدت زمان کمتری نیاز حرارتی خود را تأمین می‌کند طول دوره گلدهی گیاه کوتاه شده و پتانسیل تولید غلاف کاهش می‌یابد (Sepehri and Golparvar, 2011).

تأثیر منفی تنش خشکی به‌ویژه طی مرحله گلدهی، تشکیل و پر شدن دانه مهم است. کمبود آب خاک در هر مرحله‌ای از رشد به‌خصوص در مرحله زایشی، سبب تشدید کاهش عملکرد می‌گردد و

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- استاد، موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۵- استادیار، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Tahmaseb@modare.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.80050

در نیمه انتهایی نمو زایشی به حداکثر می‌رسد (Keerthi *et al.*, 2017). کمبود آب در انتهای مرحله نمو غلاف و طی تشکیل دانه، توانایی گیاه را برای سازگاری به تنش رطوبتی محدود می‌کند. در صورت آبیاری، وزن دانه و تعداد غلاف گیاهان آبیاری شده در مقایسه با گیاهان تحت تنش افزایش می‌یابد. آبیاری هنگام تکمیل گل‌دهی و پر شدن دانه، عملکرد را تا دو برابر در مقایسه با هنگامی که آبیاری انجام نشود، افزایش می‌دهد. کاهش رطوبت در زمان رشد رویشی نیز می‌تواند به‌طور غیرمستقیم بر ارتفاع گیاه مؤثر باشد. در واقع علت کاهش ارتفاع به تعداد گره کمتر و فاصله میانگره کوتاه‌تر مربوط است (Sabaghnia *et al.*, 2010). پرهیز از تنش آبی در طول دوره بحرانی گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک مهم بوده و در همین راستا گزارش شده که در طول این دوره میزان آب نباید کمتر از ۵۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک باشد (Keerthi *et al.*, 2017).

به علت قرار گرفتن اکثر اراضی زراعی ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک امکان استفاده بهینه از کودهای شیمیایی به‌صورت خاک مصرف چندان رضایت‌بخش نیست زیرا به علت کمبود نزولات جوی و عدم تأمین آب کافی در اواخر دوره رشد، گیاهان امکان جذب عناصر ریز مغذی از خاک محدود می‌گردد. زیرا خاک‌های ایران به دلیل آهکی بودن، بی‌کربناته بودن مواد آلی و مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته دچار کمبود شدید ریز مغذی‌ها به‌ویژه روی و منگنز می‌باشند. کاربرد خاکی مواد غذایی تحت شرایطی که آب در دسترس کم است، در افزایش جذب و انتقال مواد غذایی به شاخ و برگ گیاه همیشه مؤثر نیست. محلول‌پاشی برگی یکی از روش‌های سریع در عکس‌العمل گیاهان به کود بوده که باعث صرفه‌جویی در مصرف کود می‌گردد. استفاده از این روش کوددهی علاوه بر جنبه اقتصادی و اثر بخشی سریع، باعث حفظ محیط‌زیست شده و در نهایت در رسیدن به کشاورزی پایدار نیز بسیار موثر و مفید است. بنابراین برای استفاده بهینه از کودهای شیمیایی در مناطق خشک و بهبود کیفی و کمی محصول، مصرف کودها از طریق محلول‌پاشی بایستی در اولویت قرار گیرد. عناصر ریز مغذی نقش اساسی در تمایز سلولی، رشد و استحکام دیواره سلولی دارند و در اکثر موارد باعث مقاومت گیاهان به آفات و امراض می‌شوند. در چنین شرایطی کاربرد محلول‌پاشی شاخ و برگ گیاه مفیدتر از کاربرد خاکی مواد غذایی برای بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه است (Rajabi *et al.*, 2013).

عنصر روی در گیاه متحرک نیست، ازاین‌رو علائم کمبود آن ابتدا در برگ‌های جوان‌تر یا نقاط در حال رشد ظاهر می‌شود (Cakmak *et al.*, 2017). این عنصر به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌هایی همچون کربنیک آنهیدراز، دهیدروژنازها، آلدولازها، سوپراکسید دیسموتاز، آرانای پلیمراز، ریبولوز بیس‌فسفات کربوکسیلاز و فسفولیپازها عمل می‌کند. به‌طوری‌که برای سنتز کلروفیل و تشکیل کربوهیدرات‌ها لازم و ضروری است (Candan *et al.*, 2018). عنصر روی برای سنتز تریپتوفان، پیش‌ماده سنتز ملاتونین، اسید نیکوتنیک و اکسین، ضروری است (Obaid and Al-Hadethi, 2013). گزارش شده با افزایش مقادیر مصرف سولفات روی در ارقام کلزا، درصد روغن، عملکرد دانه و عملکرد روغن به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد (Bybordi and Mamedov, 2010).

منگنز (Mn) در سیستم‌های ترکیبی گیاه مشارکت دارد. در واکنش‌های انتقال الکترون گیاه دخیل بوده و در تولید کلروفیل نیز نقش دارد. وجود آن در فتوسیستم II که در فتولیز آب شرکت می‌نمایند، ضروری به‌شمار می‌آید. منگنز به‌عنوان یک فاکتور فعال‌کننده در گیاه عمل می‌کند که تقریباً باعث فعال شدن سی و پنج آنزیم مختلف در گیاه می‌شود. این یون همانند یون منیزیم قادر است ATP را با کمپلکس آنزیمی پیوند دهد (Obaid and Al-Hadethi, 2013). گزارش شده محلول‌پاشی سولفات منگنز بر گیاه کلزا مورد باعث افزایش عملکرد دانه و مقدار روغن در گیاه شده است (Imran and Ali Khan, 2017).

درمجموع، لازم است که اطلاع کامل و صحیحی از عوامل محیطی، خصوصیات زراعی و نیازهای اکولوژیک ارقام مختلف داشت تا بتوان در هر منطقه، رقم مناسبی پیشنهاد داد. با توجه به وجود پتانسیل کشت کلزا در منطقه کرج و نبود اطلاعات جامع در رابطه با محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی مناسب در این منطقه، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی واکنش ارقام مختلف کلزا (از لحاظ عملکرد و اجزای عملکرد، برخی صفات فیزیولوژیک و همچنین محتوای روغن دانه) به شرایط مختلف ایجاد شده در شرایط قطع آبیاری و تغذیه روی و منگنز در لاین‌های جدید کلزا انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در منطقه کرج با متوسط بارندگی بلند مدت ۲۴۴ میلی‌متر، که بیشترین میزان آن در آذر ماه و کمترین آن به میزان یک میلی‌متر در تابستان اتفاق می‌افتد، انجام گرفت. بافت خاک مزرعه آزمایش، لومی رسی با ۰/۶۴ درصد کربن آلی، اسیدیته ۷/۷۴ و هدایت الکتریکی ۱/۷۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب به‌ترتیب ۱۰/۳ و ۲۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، میزان نیتروژن کل خاک برابر ۰/۰۶ درصد، میزان روی ۰/۵ و منگنز ۲/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت.

عامل‌ها در این پژوهش عبارتند از آبیاری، محلول‌پاشی و رقم که در آن آبیاری و محلول‌پاشی به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل رقم در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. آبیاری در دو سطح شامل آبیاری معمول و قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، محلول‌پاشی در چهار سطح شامل محلول‌پاشی با آب، محلول‌پاشی با غلظت چهار

در هزار سولفات روی، محلول‌پاشی چهار در هزار سولفات منگنز و محلول‌پاشی هم‌زمان سولفات روی و سولفات منگنز با غلظت چهار در هزار در مرحله ۵۰ درصد ساقه‌دهی و تیمار رقم در سه سطح شامل رقم نیما به‌عنوان رقم شاهد و لاین‌های امیدبخش R15 و KS7 بودند. رقم نیما زودرس و لاین KS7 دیررس می‌باشد. لاین R15 از نظر طول دوره رشد بین این دو قرار دارد. هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول پنج متر، فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر از هم بود که دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت ۵ سانتی‌متر بود. کلیه عملیات مربوط به داشت به‌جز آبیاری به‌صورت یکسان و بر اساس عرف منطقه انجام شد.

خاک مزرعه در افق توزیع ریشه‌های گیاه با حفر پروفایل ۹۰ سانتی‌متری مورد بررسی قرار گرفت. با تعیین ظرفیت مزرعه‌ای خاک (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP)، میزان آب قابل استفاده خاک (AW) به‌طور مرتب کنترل شد. برای اعمال تیمار آبیاری، با نمونه‌برداری‌های مداوم از عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر خاک کرت زمانی که ۵۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک تخلیه گردید، آبیاری صورت گرفت. همچنین برای تعیین و کنترل مقدار آب آبیاری از لوله‌های مجهز به کنتور استفاده شد. کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه و آب مصرفی در طول فصل بر اساس معادله زیر محاسبه شد (Geng *et al.*, 2017):

WUE: Grain Yield/Irrigation

به‌منظور آماده‌سازی زمین، قبل از اجرای آزمایش، زمین مورد نظر آبیاری گردید و پس از گاو رو شدن، به‌وسیله گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد. سپس جهت خرد شدن کلوخ‌ها و همچنین یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، زمین مذکور دیسک و ماله زده شد. سپس اقدام به نمونه‌گیری از خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر گردید. بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، اقدام به کودپاشی (قسمتی از کود نیتروژن‌دار و تمامی کود فسفره و پتاسه مورد نیاز) و پخش علف‌کش ترفلان (تریفلورالین) به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه گردید و به‌وسیله دیسک سبک، کود و علف‌کش با خاک مخلوط گردیدند. به‌منظور استفاده بهینه از نیتروژن، بقیه کود نیتروژن‌دار مورد نیاز به‌صورت سرک در مرحله شروع ساقه رفتن و ظهور اولین غنچه‌های گل مصرف گردید (Khajepour, 2001). پس از اجرای آزمایش مطابق نقشه کاشت و سبز شدن و استقرار گیاهچه، کنترل آفات به‌ویژه شته مومی با استفاده از سموم متاسیستوکس (۱/۵ لیتر در هکتار) و اکاتین (۱ لیتر در هکتار) صورت گرفت.

جهت اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیک، نمونه‌گیری از برگ در مرحله ۵۰٪ خورجین‌دهی انجام شد. بلافاصله بعد از نمونه‌گیری، نمونه‌ها درون فویل آلومینیومی پیچیده و به درون نیتروژن مایع انداخته شدند و سپس تمام نمونه‌ها تا انجام آزمایشات بیوشیمیایی درون فریزر ۸۰- نگهداری گردیدند. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول برگ از روش دوبیس و همکاران استفاده شد (Dubois *et al.*, 1956). کلروفیل برگ نیز به روش آرنون اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949).

به‌منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد، برداشت به‌صورت دستی و با داس انجام گرفت. مساحت برداشت شده‌ی هر کرت برای عملکرد دانه و عملکرد زیستی از ۴ ردیف میانی با لحاظ کردن اثر حاشیه، ۱ مترمربع بود. جهت تعیین اجزای عملکرد از کل بوته‌های برداشت شده از هر کرت، ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین اندازه‌گیری شد. وزن هزاردانه، درصد روغن دانه و عملکرد روغن دانه نیز اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین درصد روغن، پس از خشک کردن دانه‌ها در آون ۶۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت، نمونه‌های ۲۵ گرمی مربوط به هر تیمار آسیاب شده و با استفاده از دستگاه Inframatic 8620 Percor (Germany) مقدار روغن دانه‌ها اندازه‌گیری شد. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2002) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد محاسبه گردید. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل به روش برش‌دهی از هم جدا شدند. همبستگی بین صفات در دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری به‌صورت جداگانه ارائه شد تا ارتباط بهتری بین صفات برقرار شود.

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس حاکی از تأثیر تیمارهای اعمال شده بر تمامی صفات مورد بررسی بود (جدول ۱). اثر اصلی آبیاری بر تمام صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد ($P\leq$۰/۰۱) معنی‌دار بود. اثر محلول‌پاشی به‌جز کربوهیدرات‌های محلول برگ و ارتفاع بوته در باقی صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری نشان داد. اثر متقابل آبیاری در محلول‌پاشی تنها در ارتفاع بوته و درصد روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر اصلی رقم و اثر متقابل آبیاری در رقم نیز به‌جز درصد روغن دانه، در باقی صفات معنی‌دار شد. اثر متقابل محلول‌پاشی در رقم و اثر سه‌گانه تاریخ کاشت×آبیاری×رقم در هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نگردید (جدول ۱). نمودار آب و هوای دوره کشت کلزا حاکی از بارندگی ناچیز در فصل بهار و در زمان ساقه‌دهی به بعد بود (شکل ۱).

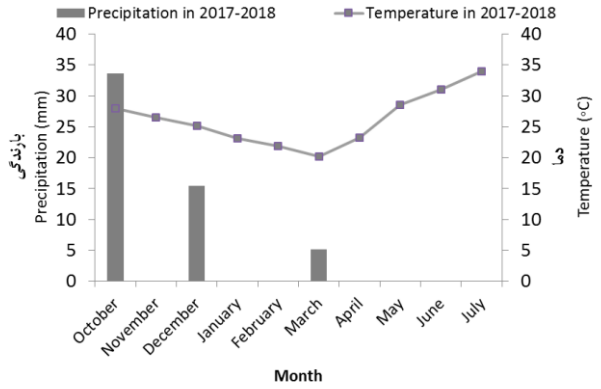
جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر تیمارهای آبیاری، محلول‌پاشی و رقم

Table 1- Analysis of variance (mean squares) of physiological traits, yield and yield components in different regimes, foliar application and cultivars

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	کلروفیل کل Totall Chl	کربوهیدرات Carbohydrate	ارتفاع بوته Plant height	تعداد خورجین در بوته No. pod/plant	تعداد دانه در خورجین No. seed/pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil content	عملکرد روغن Oil yield	عملکرد زیستی Biological yield	کارایی مصرف آب Water use efficiency
بلوک Block	2	0.03 ^{ns}	10.6 ^{ns}	126.0 ^{ns}	85.3 ^{ns}	9.8 *	0.2 ^{ns}	858902 *	1.48 ^{ns}	141648 ^{ns}	3119219 ^{ns}	0.06 *
آبیاری Irrigation(I)	1	10.69 **	1223.3 **	24857.0 **	20940.8 **	592.0 **	18.6 **	75172191 **	666.7 **	19561002 **	984511146 **	0.07 *
محلول‌پاشی Foliar application(F)	3	0.12 *	18.6 ^{ns}	91.5 ^{ns}	1324.5 **	16.1 **	0.59 **	1283067 **	42.3 **	405428 *	194919999 **	0.07 *
آبیاری×محلول‌پاشی I×F	3	0.003 ^{ns}	13.6 ^{ns}	140.8 *	54.9 ^{ns}	0.41 ^{ns}	0.02 ^{ns}	28047 ^{ns}	10.9 *	14227 ^{ns}	1189239 ^{ns}	0.004 ^{ns}
خطا کرت اصلی (Main Error)	14	0.025	6.7	38.6	116.5	1.64	0.09	228331	2.73	43930	1609807	0.01
رقم Cultivar (C)	2	0.20 **	27.6 **	880.2 **	1143.5 **	12.4 **	0.51 *	1475691 **	1.4 ^{ns}	277991 **	25295115 **	0.10 **
رقم×آبیاری (I×C)	2	0.15 **	62.4 **	397.0 **	850.8 **	12.6 **	0.47 **	1525116 **	1.68 ^{ns}	289176 **	32423613 **	0.10 **
رقم× محلول‌پاشی (C×F)	6	0.001 ^{ns}	1.03 ^{ns}	0.68 ^{ns}	33.4 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.004 ^{ns}	4325 ^{ns}	0.03 ^{ns}	911 ^{ns}	113474 ^{ns}	0.0004 ns
آبیاری×محلول‌پاشی× رقم (C×S×I)	6	0.0009 ^{ns}	3.57 ^{ns}	0.78 ^{ns}	33.9 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.005 ^{ns}	14011 ^{ns}	0.01 ^{ns}	2204 ^{ns}	280337 ^{ns}	0.001 ns
خطای کرت فرعی(Sub Error)	32	0.015	4.7	25.0	82.5	0.88	0.04	155300	1.48	37113	1345511	0.008
ضریب تغییرات CV(%)		10.0	6.9	4.05	6.9	5.3	6.7	10.5	3.3	12.5	8.0	10.2

ns، * و ** به‌ترتیب بدون اثر معنی دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

**, *and ns significant at 0.01, 0.05 probability level and no significant, respectively.



شکل ۱- مجموع بارندگی و متوسط دمای ماهانه در طی دوره رشد
Figure 1- The average monthly rainfall and temperature during the growth period

کلروفیل کل

اثر اصلی محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار گردید و موجب افزایش حداقل ۸ درصدی غلظت کلروفیل نسبت به عدم استفاده از این عناصر شد. به‌طوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل کل (۱/۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان هر دو عنصر مشاهده گردید (جدول ۲). همچنین میزان کلروفیل کل تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری در رقم قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل کل در شرایط کامل آبیاری (بدون قطع آبیاری) و لاین R15 با میانگین ۱/۷۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر مشاهده شد (جدول ۴). قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد موجب کاهش غلظت کلروفیل شد، اما این بار رقم نیما بیشترین غلظت کلروفیل (۰/۹۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را دارا بود. اگرچه لاین R15 نیز در همین گروه آماری بود اما از لحاظ عددی مقدار کمتری داشت (جدول ۴).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر اثر اصلی آبیاری، محلول‌پاشی و رقم
Table 2- Main effect of irrigation, foliar application and cultivars treatment on physiological traits, yield and yield components

محلول‌پاشی Foliar application	کلروفیل کل Totall Chl ($mg.g^{-1}$ FW)	تعداد خورجین در بوته No. pod/plant	تعداد دانه در خورجین No. seed/pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد روغن Oil yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد زیستی Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	کارایی مصرف آب Water use efficiency ($kg.ha^{-1}.mm^{-1}$)
آب (شاهد) Water (Control)	1.13 b	124.4 c	16.5 c	2.77 b	3445 b	1363 c	13160 c	0.80 b
۰/۰۰۴ سولفات روی So_4Zn 0.004	1.23 ab	134.8 ab	17.5 b	2.97 b	3781 ab	1512 bc	14562 b	0.88 ab
۰/۰۰۴ سولفات منگنز So_4Mn 0.004	1.24 ab	131.2 b	17.6 b	2.99 ab	3727 b	1554 b	14156 b	0.88 b
سولفات‌روی+سولفات منگنز So_4Zn 0.004+So_4Mn 0.004	1.34 a	140.8 a	18.8 a	3.21 a	4096 a	1728 a	15675 a	0.97 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند.
Values within the each column and followed by the same letter are not different at $P \leq 0.05$ by LSD test.

عنصر روی برای فعالیت انواع گوناگون آنزیم لازم است و کمبود آن موجب به هم‌ریختگی در سوخت و ساز قندها و ساخت پروتئین‌ها می‌شود. در گیاهانی که با کمبود روی روبه‌رو هستند، فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز و فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفاتاز به شدت کاهش می‌یابد (Balaji *et al.*, 2014). منگنز در فعال کردن آنزیم‌های فتوسنتزی دکربوکسیلاز و دهیدروژناز مورد نیاز است. در مرکز واکنش دستگاه نوری ۲ به دست کم ۴ اتم منگنز نیاز است و بخشی از مجموعه آزادکننده اکسیژن می‌باشد. گزارش شده گیاهانی که تحت

تیمار منگنز قرار می‌گیرند فعالیت فتوسنتزی بهتری دارند (Obaid and Al-Hadethi, 2013) که ناشی از افزایش کلروفیل برگ بود. اگر چه محلول‌پاشی هر کدام از عناصر به تنهایی باعث افزایش میزان کلروفیل برگ شد، اما به‌نظر می‌رسد کاربرد هم‌زمان این دو عنصر کارایی بیشتری داشته است. کاهش مقادیر کلروفیل تحت تنش قطع آبیاری، توسط دیگر محققین گزارش شده است (Jamshidi *et al.*, 2012). آن‌ها اعلام کردند که میزان کلروفیل در بسیاری از گیاهان متأثر از شرایط محیطی بوده و می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های تحمل به خشکی مورد توجه قرار گیرد. در گیاه برنج تأثیر تنش خشکی موجب کاهش ۲۵ درصدی در محتوای کلروفیل گردید (Xu *et al.*, 2015). گیاهان مختلف و حتی ارقام مختلف یک گیاه پاسخ‌های متفاوتی به تنش‌های محیطی می‌دهند که ناشی از پتانسیل ژنتیکی گیاهان می‌باشد. در واقع گیاهان توانایی‌های متفاوتی در استفاده از عوامل محیطی دارند. در این بین، تنش‌های زیستی و غیر زیستی نیز باعث افزایش و کاهش این توانایی‌ها می‌شود. از آنجا که لاین KS7 از اختلالات ظاهری برخوردار بود، می‌توان این‌گونه استنباط نمود که کمتر بودن غلظت کلروفیل گیاه نیز ناشی از اختلالات ژنتیکی و پتانسیل پایین این رقم باشد. اگرچه قطع آبیاری باعث کاهش غلظت کلروفیل کل در هر سه رقم شد اما بین لاین R15 و رقم نیما تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما این لاین KS7 بود که با اختلاف معنی‌داری غلظت کلروفیل کمتری نسبت به دو رقم دیگر داشت که خود دلیلی بر کمتر بودن پناتسیل ژنتیکی این رقم نسبت به دو رقم دیگر است.

کربوهیدرات‌های محلول برگ

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری در رقم بر میزان کربوهیدرات محلول برگ نشان داد که در شرایط آبیاری کامل در طول کشت، لاین R15 و KS7 نسبت به رقم نیما دارای میزان کربوهیدرات محلول برگ بیشتری بودند، ولی هر دو در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۴). در شرایط قطع آبیاری، میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ افزایش نشان داد، اما بین ارقام مورد مطالعه تفاوتی معنی‌داری وجود نداشت که نشان می‌دهد هر سه واکنش مشابهی در شرایط قطع آبیاری از خود نشان دادند (جدول ۴).

در شرایط آبیاری کامل میزان کربوهیدرات دو لاین R15 و KS7 بیشتر از رقم نیما بود. جدا از تفاوت‌های ژنتیکی، این اختلاف را می‌توان ناشی از طول دوره کوتاه‌تر رقم نیما ذکر کرد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول در برگ از جمله مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در شرایط تنش خشکی است. افزایش مقدار قندهای محلول بر اثر تنش خشکی در کنجد (Aein, 2011) و برنج (Pirdashti *et al.*, 2009) نیز گزارش شده است. کربوهیدرات‌های محلول برگ به‌واسطه‌ی حفظ آماس در برگ‌های تحت تنش، از دهیدراسیون پروتئین‌ها و غشاهای سلولی جلوگیری می‌کند (Sevanto, 2018). گزارش شده که تجمع کربوهیدرات‌های محلول نتیجه برخی فعل و انفعالات متابولیکی است که در نتیجه باعث اختلال در تشکیل و یا انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی برگ می‌شود که در نهایت منجر به ممانعت از فتوسنتز در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Xu *et al.*, 2013). افزایش کربوهیدرات‌های محلول در فرآیند سازگاری گیاه به تنش اهمیت به‌سزایی دارد. تجمع بیشتر این مواد در پنبه و در شرایط تنش خشکی نیز گزارش شده است (Zahoor *et al.*, 2017).

ارتفاع بوته

در شرایط آبیاری کامل بیشترین ارتفاع بوته در تیمار محلول‌پاشی با سولفات منگنز و در شرایط قطع آبیاری بیشترین ارتفاع بوته در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۶ و ۴/۶ درصد بیشتر بود (جدول ۳). در هر دو شرایط آبیاری کامل و و قطع آبیاری، لاین R15 با اختلاف معنی‌داری رقم برتر بود که نسبت به رقم نیما (به‌عنوان رقم شاهد) به‌ترتیب ۱۲ و ۲ درصد بیشتر بود. در شرایط آبیاری کامل لاین KS7 نسبت به رقم نیما ارتفاع بیشتری داشت. این درحالی بود که در شرایط قطع آبیاری رقم نیما دارای ارتفاع بیشتری نسبت به لاین KS7 بود (جدول ۴).

در گیاهانی که طول دوره رشد خود را به سرعت طی می‌کنند، طول دوره رویشی کمتر بوده و گیاه از ارتفاع کمتری برخوردار است (Candan *et al.*, 2018). قطع آبیاری و تنش ناشی از آن نیز خود عاملی بوده که تفاوت‌های بین ارقام مشخص شود. دیگر محققین در بررسی خود مشاهده کردند که قطع آبیاری (تنش خشکی) موجب کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک گردید (Hassan-zade *et al.*, 2005). کاهش ارتفاع گیاه در اثر اعمال تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به‌واسطه کم‌آبی، کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه نسبت داد که در نتیجه طویل شدن سلول‌ها متوقف می‌شود (Candan *et al.*, 2018). در واقع رقم نیما به‌عنوان رقم زودرس بیشتر تحت تأثیر تنش قطع آبیاری قرار گرفت و آن هم به این دلیل بود که این رقم ذاتاً زودس و دارای ارتفاع کمتری است. وقوع تنش قطع آبیاری خود مزید بر علت شده و ارتفاع را دو چندان کاهش داد. همچنین در شرایط کمبود آب، ترشح هورمون سیتوکینین از ریشه کاهش یافته و از طریق کاهش تقسیم سلولی ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (Lalinia *et al.*, 2012). با افزودن عناصر ریزمغذی ارتفاع بوته افزایش یافت که علت آن را می‌توان علاوه بر پتانسیل ژنتیکی ارقام، به وجود عناصر ریز مغذی روی و منگنز در رشد گیاه نسبت داد. به‌نظر می‌رسد وقوع تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث توقف رشد رویشی و تسریع در رشد زایشی و در نتیجه توقف افزایش ارتفاع کلزا شده است (Candan *et al.*, 2018). احتمالاً افزایش

ارتفاع بوته در اثر مصرف روی به دلیل تأثیر این عنصر در سنتز اکسین باشد. از آنجا که عنصر روی سبب افزایش تولید اکسین می‌شود در نتیجه محلول‌پاشی آن افزایش ارتفاع در گیاه را به همراه داشته است. در شرایط آبیاری کامل ارتفاع بوته با تمام صفات مورد بررسی همبستگی مثبت و معنی‌دار ($P\leq0.05$) داشت (جدول ۵) که نشان از نقش مثبت ارتفاع گیاه در افزایش عملکرد است. اگرچه باید به این نکته اذعان داشت که طیف وسیعی از اختلال‌های مولکولی ناشی از رادیکال‌های فعال و مخرب اکسیژن منجر به ایجاد آسیب‌های فیزیولوژیک در گیاهان تحت تنش می‌شود. یون‌های فلزی همچون روی و منگنز به‌عنوان کوفاکتور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مشارکت داشته و تحت شرایط تنش، این عناصر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داده و حساسیت گیاه به تنش را کاهش می‌دهد. سایر محققین نیز گزارش کرده‌اند که محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Rajabi *et al.*, 2013).

تعداد خورجین در بوته

هر چند که با کاربرد عناصر ریز مغذی تعداد خورجین در بوته افزایش یافت ولی بین تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی و تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). در شرایط آبیاری کامل بیشترین تعداد خورجین در بوته در لاین R15 مشاهده شد، اما در شرایط قطع آبیاری رقم نیما بیشترین تعداد خورجین در بوته را دارا بود که با لاین R15 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین ارتفاع بوته و درصد روغن تحت تاثیر اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی

Table 3- Two way interaction of irrigation and foliar application plant height and oil content

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی Foliar application	ارتفاع بوته Plant height (cm)	درصد روغن Oil percent
بدون قطع آبیاری Without water holding	آب (شاهد) Water (Control)	137.0 b	42.1 b
	۰/۰۰۴ سولفات‌روی Zn So_4 0.004	139.2 b	42.5 b
	۰/۰۰۴ سولفات‌منگنز + Mn So_4 0.004	146.1 a	43.3 ab
	سولفات روی+سولفات منگنز Zn So_4 0.004+ Mn So_4 0.004	145.3 a	43.9 a
قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به بعد Water holding at flowering stage	آب (شاهد) Water (Control)	103.1 b	34.5 b
	۰/۰۰۴ سولفات‌روی $ZnSo_4$ 0.004	108.0 a	35.3 b
	۰/۰۰۴ سولفات‌منگنز + $MnSo_4$ 0.004	102.9 b	38.7 a
	سولفات روی+سولفات منگنز Zn So_4 0.004+ Mn So_4 0.004	104.8 b	39.0 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Values within the each column and followed by the same letter are not different at $P \leq 0.05$ by LSD test.

در مراحل خروج از روزت و ساقه‌دهی گیاه برای رشد سریع و تشکیل اجزای عملکرد آماده می‌شود که در این مراحل نیاز به عناصر از جمله روی و منگنز افزایش می‌یابد. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج سایر محققین که گزارش کردند مصرف عناصر روی و منگنز باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه می‌شود مطابقت دارد (Bameri *et al.*, 2012). در شرایط قطع آبیاری رقم نیما به دلیل زودرس بودن از خسارات ناشی از تنش فرار کرده و توانسته از ریزش خورجین به دلیل تنش جلوگیری کند. در این رابطه می‌توان بیان نمود قطع آبیاری و تنش خشکی ناشی از آن باعث ایجاد نقصان در تولید و عرضه مواد فتوسنتزی به خورجین‌های تولید شده و در حال رشد می‌شود که در نتیجه ریزش آن‌ها را در پی‌خواهد داشت. در شرایط آبی کامل، به دلیل بلندتر بودن طول دوره رشد لاین R15 نسبت به رقم نیما، از فرصت بیشتری برای تشکیل خورجین در بوته برخوردار بوده است.

تعداد دانه در خورجین

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح محلول‌پاشی بر تعداد دانه در خورجین نشان داد که تیمار محلول‌پاشی دو عنصر باهم با میانگین ۱۸/۸ دانه در خورجین بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد و نسبت به سایر تیمارها برتری داشت (جدول ۲). اگرچه بین تیمار

محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات منگنز به‌تنهایی، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و رقم بر تعداد دانه در خورجین نشان داد که تیمار آبیاری معمول در لاین R15 بیشترین تعداد دانه در خورجین را داشت و بین سایر ارقام تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. اما در شرایط قطع آبیاری این رقم نیما بود که دارای بیشترین تعداد دانه در خورجین بود. اگرچه لاین R15 نیز در همین گروه آماری قرار داشت اما از لحاظ عددی مقدار کمتری داشت (جدول ۴).

تاثیرات مثبت روی و منگنز بر متابولیسم گیاه باعث تقویت گیاه در مرحله زایشی و تشکیل دانه می‌شود؛ در نتیجه تعداد دانه در خورجین افزایش می‌یابد. عنصر روی تأثیرات مستقیم و غیر مستقیمی بر باروری دارد. تأثیرات غیرمستقیم آن، احتمالاً به تغییرات ایجاد شده در مقدار و ترکیب شهد گیاه ارتباط دارد به گونه‌ای که سبب جلب بیشتر حشرات در زمان گرده‌افشانی می‌شود. تأثیرات مستقیم آن به همبستگی مثبت این عنصر با تولید دانه گرده دارد که در سنتز پروتئین لوله گرده نقش دارد و منجر به تشکیل بیشتر دانه می‌شود (Borg and Berger, 2015). در تحقیقی مشخص شده است که مصرف روی سبب افزایش معنادار عملکرد و اجزای عملکرد در کلزا شد (Yang *et al.*, 2009). تعداد دانه در خورجین یکی از اجزای عملکرد دانه کلزا است که با افزایش آن عملکرد گیاه افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش سایر محققان هم‌خوانی دارد (Jamshidi *et al.*, 2012). در شرایط آبیاری کامل لاین R15 به دلیل طول دوره رشد بیشتر نسبت به رقم نیما، فرصت بیشتری برای تشکیل دانه در اختیار داشت. بنابراین بیشتر بودن تعداد دانه در این رقم دور از انتظار نیست. اما در شرایط قطع آبیاری بعد از گلدهی، تشکیل دانه در این ارقام مختل می‌شود که خود از خسارات ناشی از تنش است. همچنین لاین R15 به‌دلیل چند روز دیررس تر بودن نسبت به رقم نیما، مدت زمان بیشتری را در شرایط قطع آبیاری به سر برد، که منجر به کاهش تعداد دانه در خورجین شد. از علل این اتفاق می‌توان به هزینه بالای نگهداری گیاه در شرایط تنش و کمبود فرآورده‌های فتوسنتزی نسبت داد. با توجه بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش (Zahoor *et al.*, 2017) تامین نیاز غذایی گیاه مختل شده که خود منجر به تقسیط کمتر فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها می‌گردد.

اما در شرایط تنش، زودرس بودن رقم نیما باعث فرار گیاه از شرایط تنش و گرمای آخر فصل می‌شود. همین امر منجر به این می‌شود که از عملکرد زیستی بیشتر نسبت دو رقم دیگر برخوردار باشد. اگرچه لاین R15 نیز در همین گروه آماری قرار داشت اما از لحاظ عددی مقدار کمتری داشت.

جدول ٤- اثر متقابل دوگانه رقم و آبیاری بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

Table 4- Two-way interaction between irrigation and cultivar on physiological traits, yield and yield components

تیمار Treatment		صفات Traits							
آبیاری Irrigation	رقم Cultivar	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	کربوهیدرات Carbohydrate (µg.g^{-1} FW)	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	تعداد خورجین در بوته No. pod/plant	تعداد دانه در خورجین No. seed/pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد روغن Oil yield (kg.ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (kg.ha^{-1})	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg.ha^{-1}.mm^{-1})
بدون قطع آبیاری Without water holding	R15	1.74 a	29.7 a	152.6 a	159.2 a	21.6 a	3.7 a	5168 a	2244 a	20233 a	0.99 a
	KS7	1.59 b	27.9 a	139.5 b	146.5 b	20.2 b	3.4 b	4693 b	2016 b	17546 b	0.90 b
	Nima	1.54 b	24.4 b	133.6 c	140.9 b	19.6 b	3.3 c	4491 b	1922 b	16478 c	0.86 b
قطع از مرحله گل دهی به‌بعد Water holding at flowering stage	R15	0.91 a	35.1 a	108.0 a	119.2 a	15.1 a	2.53 a	2855 a	1061 a	10845 a	0.88 a
	KS7	0.70 b	35.3 a	101.0 c	104.6 b	13.6 b	2.28 b	2338 b	861 b	9589 b	0.72 b
	Nima	0.96 a	36.2 a	105.2 b	120.5 a	15.5 a	2.63 a	3029 a	1133 a	11636 a	0.94 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Values within the each column and followed by the same letter are not different at $P \leq 0.05$ by LSD test.

وزن هزار دانه

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین مقدار این صفت از محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر با میانگین ۳/۲ گرم حاصل شد و نسبت به محلول‌پاشی با آب برتری ۱۳ درصدی داشت (جدول ۲). در شرایط آبیاری کامل لاین R15 دارای بیشترین وزن هزار دانه بود که نسبت به رقم نیما ۱۰ درصد بیشتر بود. در حالی‌که در شرایط قطع آبیاری رقم نیما، رقم برتر بود که نسبت به لاین KS7 ۱۳ درصد بیشتر بود (جدول ۲). شرایط قطع آبیاری باعث کاهش ۳۱ درصدی وزن هزار دانه لاین R15 شد.

افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف هم‌زمان روی و منگنز را می‌توان به نقش این عناصر در افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد (ایندول استیک اسید)، کربوهیدرات‌ها و متابولیسم نیتروژن نسبت داد که در نهایت منجر به افزایش تولید و تجمع آسیمیلات در دانه خواهد شد (Sperotto *et al.*, 2013). از طرفی یکی از دلایل عملکرد پایین گیاهان زراعی، فقدان برنامه تغذیه‌ای مناسب برای این محصولات است (Soleimani, 2005) و همواره یک یا چند عنصر بر اساس قانون حداقل باعث عدم دستیابی به بیشینه عملکرد می‌شود که می‌توان با محلول‌پاشی این عناصر بیشترین عملکرد ممکن را به‌دست آورد. با توجه به این‌که وزن هزار دانه یکی از اجزای عملکرد محسوب می‌شود افزایش آن باعث افزایش عملکرد می‌شود. نتایج جدول همبستگی حاکی از همبستگی مثبت و معنی‌دار این دو صفت در شرایط آبیاری کامل است (جدول ۵). نتایج آزمایش والی و همکاران نیز حاکی از همبستگی بالای عملکرد دانه با وزن هزار دانه در گلرنگ بود (Valli *et al.*, 2016). رجبی و همکاران نیز افزایش وزن هزار دانه را با محلول‌پاشی روی و منگنز در گلرنگ گزارش کردند (Rajabi *et al.*, 2013).

بیشتر بودن وزن هزار دانه لاین R15 در شرایط آبی احتمالاً به دلیل طولانی بودن دوره رشد این رقم نسبت به رقم نیما باشد. ارقامی که طول دوره رشد کوتاه‌تری دارند فرصت کمتری خواهند داشت تا سلول‌های مخزن دانه را پر کنند. وزن هزار دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن دانه است و از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تأمین می‌شود. در شرایط قطع آبیاری به دلیل کوتاه شدن دوره رویشی کربوهیدرات‌های کمتری در گیاه ذخیره می‌شود. کم بودن کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای سبب کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی می‌شود. درواقع تنش خشکی منجر به اختلال در تولید و انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه شده که کاهش وزن هزاردانه را در پی دارد. همچنین تنش خشکی، انتقال مجدد مواد فتوسنتزی را از برگ‌ها و مخازن دیگر به دانه کاهش می‌دهد. در شرایط قطع آبیاری، گرمای آخر فصل و نبود آب کافی منجر به کاهش وزن هزار دانه ارقام با طول دوره رشد بیشتر می‌شود. رقم نیما و R15 با زودتر تمام کردن طول دوره رشد خود، از گرمای آخر فصل فرار کرده‌اند.

عملکرد دانه

بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل متعلق به لاین R15 بود، به‌طوری‌که نسبت به رقم نیما ۱۳ درصد بیشتر بود. لاین Ks7 و رقم نیما در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. در شرایط قطع آبیاری رقم نیما بیشترین عملکرد دانه را با میانگین ۳۰۲۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آورد. اگرچه لاین R15 در همین گروه آماری قرار داشت اما از لحاظ عددی مقدار کمتری داشت (جدول ۴). در شرایط آبیاری کامل لاین R15 بیشترین عملکرد دانه را نشان داد که علت آن‌را می‌توان طولانی بودن طول دوره رشد نسبت به رقم نیما دانست. در شرایط تنش، رقم نیما از عملکرد بیشتری نسبت به دو رقم دیگر برخوردار بود. رقم نیما به علت این‌که طول دوره رشد خود را زودتر تمام کرد، از خسارات ناشی از گرمای آخر فصل و نبود آب لازم فرار کرده و دچار افت عملکرد بیشتر نشد. دیگر محققین اظهار داشتند هنگامی‌که گیاه در مرحله رشد خورجین‌ها با کمبود آب مواجه گردد، انتقال مواد غذایی به دانه‌ها تقلیل یافته و عملکرد کاهش می‌یابد که متأثر از کاهش اجزای عملکرد از جمله تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع بوته و وزن زیست‌توده بوده است (Molazem *et al.*, 2013; Bameri *et al.*, 2012). نتایج جدول مقایسه میانگین حاکی از آن بود که تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان دو ریزمغذی بیشترین عملکرد را به‌دست آورد (جدول ۲). اگرچه تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی نیز در همین گروه آماری قرار داشت. همچنین بین محلول‌پاشی با سولفات منگنز و آب تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همبستگی مثبت بالایی بین تعداد خورجین در گیاه، تعداد شاخه در بوته، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه با عملکرد دانه را گزارش شده است (Molazem *et al.*, 2013).

تنش خشکی کلیه فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان را تحت تأثیر قرار داده، باعث کاهش تقسیم سلولی، سطح برگ و در نهایت باعث کاهش عملکرد گیاه می‌گردد (Faize *et al.*, 2015). اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد گیاهان توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Ma *et al.*, 2017; Marreiro *et al.*, 2017). محلول‌پاشی با روی باعث افزایش تعداد برگ، خوشه، سطح برگ و وزن هزار دانه در ارقام گندم شد (Qaswar *et al.*, 2017). یک توضیح محتمل در این زمینه، بهبود اجزای عملکرد در اثر کاربرد روی است. روی اثر مطلوبی بر فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها دارد و سبب انتقال بهتر مواد فتوسنتزی می‌شود. از طرف دیگر، شکل‌گیری اندام‌های جنسی نر و ماده و فرآیند گرده‌افشانی بر اثر کمبود روی مختل شد و به کاهش

عملکرد در اثر کاهش تولید ایندول استیک اسید انجامید (Yang *et al.*, 2009). گزارش شده محلول‌پاشی سولفات روی از طریق افزایش اکسین و تنظیم آب گیاه باعث بهبود رشد رویشی، افزایش فتوسنتز و افزایش عملکرد گیاه می‌گردد (Qaswar *et al.*, 2017). منگنز در فرآیند فتوسنتز، سنتز کربوهیدرات‌ها و متابولیسم‌چربی‌ها نقش دارد. منگنز همچنین یک عنصر ضروری در سنتز پروتئین‌ها به‌شمار می‌رود و اثرات این عنصر در افزایش عملکرد دانه در گیاهان، مربوط به نقش این عنصر در فعالیت آنزیم‌ها است. با توجه به مطالب عنوان شده وجود این عناصر ریز مغذی می‌تواند عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار دهد.

با توجه به این‌که رقم نیما زودرس می‌باشد طول دوره رشد خود را سریع طی نموده و در شرایط کم‌آبی کمتر تحت تأثیر خسارات ناشی از قطع آبیاری قرار گرفت. بنابراین در شرایط قطع آبیاری از اجزای عملکرد بیشتر (جدول ۵) و در نتیجه عملکرد دانه‌ی بیشتری نسبت به سایرین برخوردار بود که نقطه قوت این رقم در شرایط کم‌آبی است. اما همین رقم در شرایط آبی مناسب به علت این‌که طول دوره رشد خود را سریع طی می‌کند نسبت به سایر ارقام فرصت کمتری برای افزایش عملکرد دارد. در مقابل لاین KS7 به علت دیر رس بودن و وجود اختلالات ژنتیکی، در شرایط قطع آبیاری از خسارات ناشی از آن در امان نبوده و در شرایط آبی مناسب نیز توان استفاده از عوامل محیطی را نداشته است. اگرچه در برخی صفات مورد بررسی لاین KS7 با رقم برتر در یک گروه آماری قرار می‌گرفت اما رقمی که حداقل در ظاهر دچار اختلالات و ناهنجاری‌هایی بود مناسب معرفی نیست.

درصد و عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی بر درصد روغن دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان روغن دانه مربوط به تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی همزمان سولفات روی و منگنز با میانگین ۴۳/۹ درصد بود به‌طوری‌که نسبت به تیمار شاهد ۴ درصد افزایش داشت. تیمار محلول‌پاشی با منگنز به‌تنهایی نیز در همین گروه آماری قرار داشت (جدول ۳). اگرچه در شرایط قطع آبیاری درصد روغن دانه کاهش داشت اما محلول‌پاشی همزمان دو عنصر توانست تا حدودی باعث افزایش درصد روغن دانه شود.

جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد روغن در تیمار محلول‌پاشی همزمان سولفات روی و منگنز با میانگین ۱۷۲۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد، اگرچه بین تیمار عناصر ریز مغذی به‌تنهایی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × رقم نشان داد که در شرایط آبیاری کامل لاین R15 با میانگین ۲۲۴۴ کیلوگرم در هکتار رقم برتر بود اما در شرایط قطع آبیاری این رقم نیما بود که از باقی ارقام عملکرد روغن بیشتری داشت (جدول ۴).

درصد روغن دانه صفتی با وراثت‌پذیری بالا می‌باشد که البته تا حدودی هم تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. در واقع قطع آبیاری با کاهش جذب عناصر غذایی و اختلال در فرآیند کربن‌گیری موجب کاهش درصد روغن در بذر می‌شود که با محلول‌پاشی تا حدودی این کاستی جبران شد. محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز، متابولیسم چربی‌ها را افزایش داده و میزان چربی ذخیره شده در بافت‌های ذخیره‌ای مانند دانه بیشتر می‌شود (Hanif *et al.*, 2017; Kanwal *et al.*, 2016). در شرایط آبیاری کامل درصد روغن دانه همبستگی مثبتی با عملکرد زیستی داشت (جدول ۵) که نشان می‌دهد افزایش وزن زیست‌توده گیاهی و در نتیجه افزایش سطح فتوسنتزکننده موجب افزایش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و در نهایت افزایش درصد روغن در دانه می‌شود.

بیشترین همبستگی عملکرد روغن با عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۵). از آن‌جایی‌که نقش منگنز در متابولیسم چربی‌ها بسیار کلیدی است (Cakmak *et al.*, 2017) نتایج به‌دست آمده دور از انتظار نیست. گزارش شده که کاربرد عناصر ریزمغذی باعث افزایش عملکرد روغن دانه می‌شود که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد (Rezaeieh *et al.*, 2016). در این آزمایش، علی‌رغم مشابه بودن درصد روغن دانه در ارقام مختلف کلزای مورد مطالعه، لاین R15 بیشترین عملکرد روغن در واحد سطح را نشان داد. به‌نظر می‌رسد که عملکرد روغن کلزا در واحد سطح بیشتر تابع عملکرد دانه است و افزایش عملکرد دانه سبب ارتقاء عملکرد روغن در هکتار می‌شود.

عملکرد زیستی

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح محلول‌پاشی بر عملکرد زیستی نشان داد که محلول‌پاشی هم‌زمان دو عنصر با میانگین ۱۵۶۷۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد زیستی را داشت و نسبت به عدم محلول‌پاشی برتری ۱۶ درصدی از خود نشان داد (جدول ۲). بیشترین عملکرد زیستی در لاین R15 و در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد که نسبت رقم نیما (شاهد) ۱۸ درصد بیشتر بود. قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث کاهش عملکرد زیستی شد به‌طوری‌که در بین ارقام مورد بررسی، رقم نیما با میانگین ۱۱۶۳۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین و لاین KS7 با ۹۵۸۹ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد زیستی را دارا بود. با توجه به زودرسی بودن رقم نیما، کمتر بودن عملکرد زیستی در این رقم قابل‌توجیه است. اما در شرایط تنش، زودرس بودن رقم نیما باعث فرار گیاه از شرایط تنش و گرمای آخر فصل می‌شود. همین امر منجر به این می‌شود که از عملکرد زیستی بیشتر نسبت دو رقم دیگر برخوردار باشد. اگرچه لاین R15 نیز در همین گروه آماری قرار داشت اما از لحاظ عددی مقدار کمتری داشت.

سولفات روی با افزایش هورمون اکسین و سولفات منگنز با نقش داشتن در فرآیند فتوسنتز (Obaid and Al-Hadethi, 2013) باعث افزایش رشد سلولی، افزایش سطح برگ و در نهایت باعث افزایش رشد رویشی شده که این خود باعث افزایش عملکرد زیستی در کلزا می‌شود. عملکرد زیستی از چند جنبه حائز اهمیت است. از طرفی به دلیل این‌که دربرگیرنده عملکرد کاه است، می‌تواند از لحاظ اقتصادی مورد توجه قرار گیرد. چرا که علوفه کلزا از نظر پروتئین قابل هضم کیفیت خوبی برای دام دارد (Khajepour, 2005). از نظر فیزیولوژیکی نیز عملکرد زیستی معادل تولید خالص کل می‌باشد. بنابراین گیاهانی دارای عملکرد بالایی خواهند بود که با توجه به شرایط رشد خود از عوامل تولید بهترین استفاده را داشته و مواد فتوسنتزی بیشتری را در اندام‌های خود تجمع دهند و دارای بیشترین تولید خالص باشند. گزارش شده که افزایش تنش خشکی باعث کاهش عملکرد زیستی می‌شود (Xu *et al.*, 2015) اگرچه این کاهش بسته به نوع گیاه و در هر رقم متفاوت است. دلیل افزایش تولید ماده خشک در گیاهان تحت تیمار آبیاری مطلوب، گسترش بیشتر و دوام بهتر سطح برگ است که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک می‌گردد که نتیجه این گزارش با این تحقیق مطابقت دارد.

کارایی مصرف آب

بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار محلول‌پاشی دو عنصر سولفات منگنز و روی (هم‌زمان) (۰/۹۷ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۷/۵ درصد افزایش یافت. کارایی مصرف تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۱). در شرایط آبیاری کامل لاین R15 با میانگین ۰/۹۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر بیشترین کارایی مصرف آب را دارا بود که نسبت به لاین KS7 و نیما به‌ترتیب ۹ و ۱۳ درصد بیشتر بود. در شرایط آبیاری کامل، لاین R15 بیشترین کارایی مصرف آب را داشت در حالی‌که رقم نیما با دوره رشد کمتر، کارایی مصرف آب کمتری داشت. این مطلب نشان‌دهنده آن است که مقدار آب مصرفی در مقابل دانه تولید شده در رقم نیما، کارایی کمتری داشته در حالی‌که لاین R15 با تولید دانه بیشتر در دوره رشد بیشتر و بالطبع مصرف آب بیشتر (نسبت به رقم نیما) کارایی مصرف آب بهتری داشته است و از رطوبت موجود حداکثر استفاده را نموده است. در شرایط قطع آبیاری رقم نیما بیشترین کارایی مصرف آب را دارا بود، به‌طوری‌که نسبت به شرایط کامل آبیاری در همین رقم ۸ درصد افزایش نشان داد و حاکی از این است که اگرچه مقدار عملکرد دانه کاهش یافت اما موجب افزایش کارایی مصرف آب شده است. گزارش‌های بسیاری در مورد تنوع ژنتیکی در بین ارقام مختلف گیاهان زراعی از نظر کارایی مصرف آب وجود دارد (Slafer and Whitechurch, 2001; Sadeghinejad *et al.*, 2014). اختلاف ارقام از نظر کارایی مصرف آب به توانایی آن‌ها از نظر گسترش سیستم ریشه، جذب رطوبت خاک و قابلیت آن‌ها در تقسیط بیشتر ماده خشک به دانه وابسته می‌باشد (Sadeghinejad *et al.*, 2014). در شرایط قطع آبیاری رقم نیما با فرار از خسارت ناشی از گرمای آخر فصل، مانع کاهش بیشتر عملکرد ناشی از گرمای آخر فصل می‌شود که منجر به افزایش کارایی آب مصرفی نسبت به لاین R15 شد. کارایی مصرف آب با محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز افزایش یافت. این نتیجه می‌تواند مربوط به نقش روی در هدایت روزنه‌ای باشد. کمبود روی موجب اختلال در ورود کربن/خروج رطوبت از روزنه‌ها می‌شود. از طرفی محلول‌پاشی عناصر عناصر ریز مغذی از طریق افزایش تولید عملکرد دانه باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی سبب کاهش عملکرد، اجزای عملکرد و روغن کلزا می‌شود. مصرف عناصر ریز مغذی روی و منگنز به‌صورت محلول‌پاشی می‌تواند عملکرد و اجزای آن را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد. لذا با توجه به آهکی بودن غالب خاک‌های ایران و مشکل کاهش جذب عناصر ریز مغذی از طریق خاک، محلول‌پاشی این عناصر می‌تواند منجر به افزایش عملکرد کلزا شود. به‌علاوه محصول کلزا بسته به نوع رقم و قابلیت ارقام در پاسخ به شرایط آبی و تغذیه‌ای، واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند. با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان تا حدودی نیاز گیاه به عناصر ریز مغذی را با محلول‌پاشی تأمین نمود و باعث افزایش عملکرد دانه گیاه شد. در بین ارقام مورد بررسی، اگرچه در برخی صفات مورد بررسی لاین KS7 با رقم برتر در یک گروه آماری قرار می‌گرفت، اما رقمی که حداقل در ظاهر دچار اختلالات و ناهنجاری‌هایی بود، به هیچ عنوان قابل توصیه و معرفی به‌عنوان رقم مناسب یک شرایط خاص یا یک منطقه خاص نیست. با توجه به این نکته، در شرایط آبیاری مناسب لاین R15 مناسب آب و هوای منطقه کرج است، اما در صورتی‌که پیش‌بینی می‌شود در بهار با کمبود آب مواجه می‌شویم رقم نیما با توجه به کوتاه بودن دوره رشد، رقم مناسبی خواهد بود.

جدول ۵- ضریب همبستگی پیرسون بین صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

Table 5- Pierson correlation coefficients between physiological traits, yield and yield components traits of canola

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
آبیاری کامل Normal irrigation regimes	1- Total Chlorophyll کلروفیل کل	1										
	2- Carbohydrate کربوهیدرات	0.45 **	1									
	3- Plant height ارتفاع بوته	0.67 **	0.65 **	1								
	4- No. of pod تعداد خورجین در بوته	0.61 **	0.59 **	0.67 **	1							
	5- No. of seed in تعداد دانه در خورجین	0.55 **	0.61 **	0.63 **	0.64 **	1						
	6- 1000 seed weight وزن هزاردانه	0.62 **	0.72 **	0.80 **	0.68 **	0.86 **	1					
	7- Seed yield عملکرد دانه	0.74 **	0.74 **	0.73 **	0.49 **	0.43 **	0.61 **	1				
	8- Oil percentage درصد روغن دانه	0.60 **	0.30 **	0.45 **	0.26 ns	0.51 **	0.42 **	0.44 **	1			
	9- Oil yield عملکرد روغن دانه	0.78 **	0.49 **	0.75 **	0.49 **	0.51 **	0.64 **	0.97 **	0.64 **	1		
	10- Biomass yield عملکرد زیستی	0.50 **	0.63 **	0.63 **	0.42 **	0.44 **	0.48 **	0.56 **	0.34 *	0.58 **	1	
	11-Water use کارایی مصرف آب	0.75 **	-0.44 **	0.69 **	0.49 **	0.43 **	0.61 **	0.97 **	0.44 **	0.97 **	0.56 **	1

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
قطع آبیاری Water holding regimes	1- Total Chlorophyll کلروفیل کل	1										
	2- Carbohydrate کربوهیدرات	0.09 ns	1									
	3- Plant height ارتفاع بوته	0.49 **	0.11 ns	1								
	4- No. of pod تعداد خورجین در بوته	0.72 **	0.14 ns	0.77 **	1							
	5- No. of seed in تعداد دانه در خورجین	0.66 **	0.11 ns	0.77 **	0.72 **	1						
	6- 1000 seed weight وزن هزاردانه	0.71 **	0.15 ns	0.50 **	0.69 **	0.49 **	1					
	7- Seed yield عملکرد دانه	0.76 **	0.15 ns	0.58 **	0.73 **	0.66 **	0.66 **	1				
	8- Oil percentage درصد روغن دانه	0.42 **	0.10 ns	0.47 **	0.43 **	0.64 **	0.46 **	0.57 **	1			
	9- Oil yield عملکرد روغن دانه	0.73 **	0.15 ns	0.61 **	0.72 **	0.72 **	0.66 **	0.97 **	0.74 **	1		
	10- Biomass yield عملکرد زیستی	0.49 **	-0.09 ns	0.64 **	0.58 **	0.69 **	0.60 **	0.56 **	0.41 *	0.57 **	1	
	11-Water use کارایی مصرف آب	0.76 **	-0.48 **	0.22 ns	0.73 **	0.66 **	0.65 **	0.96 **	0.56 **	0.97 **	0.56 **	1

ns، * و ** به‌ترتیب بدون اثر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

** ,*and ns significant at 0.01, 0.05 probability level and no significant, respectively.

Refrences

1. Aein, A. 2011. Changes in the amount of proline, carbohydrate solution and potassium, zinc and calcium absorption in sesame genotypes. (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. Crop production under environmental stress conditions 4 (3): 39-48. (in Persion).
2. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in beta vulgaris. Plant Physiology 24: 1-15.
3. Balaji, S., Kalaivani, T., and Rajasekaran, C. 2014. Biosorption of Zinc and Nickel and Its Effect on Growth of Different Spirulina Strains. Clean – Soil, Air, Water 42 (4): 507-512.
4. Bameri, M., Abdolshahi, R., Mohammadi-Nejad, Gh., Yousefi, Kh., and Tabatabaie, S. M. 2012. Effect of different microelement treatment on wheat (*triticum aestivum*) growth and yield. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3 (1): 219-223.
5. Borg, M., and Berger, F. 2015. Chromatin remodelling during male gametophyte development. The Plant Journal 83 (1): 177-188.
6. Bybordi, A., and Mamedov, G. 2010. Evaluation of Application Methods Efficiency of Zinc and Iron for Canola (*Brassica napus* L.). Notualea Science Biological 2 (1): 94-103.
7. Cakmak, I., McLaughlin, M. J., and White, P. 2017. Zinc for better crop production and human health. Plant and Soil 411: 1-4.
8. Candan, N., Cakmak, I., and Ozturk, L. 2018. Zinc-biofortified seeds improved seedling growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 181 (3): 388-395.
9. Din, J., Khan, S. U., Ali, I., and Gurmani, A. R. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. The Journal of Animal and Plant Sciences 21 (1): 78-82.
10. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Reber, P. A., and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Annual Chemistry 28: 350-356.
11. El-Din, H., El-Beltagi, S., and Mohamed, A. A. 2010. Variations in fatty acid composition, glucosinolate profile and some phytochemical contents in selected oil seed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. Grasas y Aceites 61 (2): 141-150.
12. Faize, M., Nicola´s, E., Faize, L., Dı´az-Vivancos, P., Burgos, L., and Herna´ndez, J. A. 2015. Cytosolic ascorbate peroxidase and Cu, Zn-superoxide dismutase improve seed germination, plant growth, nutrient uptake and drought tolerance in tobacco. Theor. Experimental Plant Physiology 27: 215-226.
13. Geng, Y. J., Chen, L., Yang, C., Jiao, D. Y., Zhang, Y. H., and Cai, Z. Q. 2017. Dry-season deficit irrigation increases agricultural water use efficiency at the expense of yield and agronomic nutrient use efficiency of Sacha Inchi plants in a tropical humid monsoon area. Industrial Crops & Products 109: 570-578.
14. Hanif, M. A., Nawaz, H., Ayub, M. A., Tabassum, N., Kanwal, N., Rashid, N., Saleem, M., and Ahmad, M. 2017. Evaluation of the effects of zinc on the chemical composition and biological activity of basil essential oil by using Raman spectroscopy. Industrial Crops Product 96: 91-101.
15. Hassan-Zade, M., Naderi Darbaghshahi, M. R., and Shirani Rad, A. H. 2005. Evaluation of drought stress effects on yield and yield components of autumn rapeseed varieties in Isfahan region. Iranian Journal of Research in Agriculture 2 (2): 51- 62. (in Persian).
16. Imran and Ali Khana, A. 2017. Canola Yield and Quality Enhanced with Sulphur Fertilization. Russian Agricultural Sciences 43 (2): 113-119.
17. Jamshidi, N., Shirani rad, A. H., Takht chin, F., Nazeri, P., and Ghafari, M. 2012. Evaluation of Rapeseed Genotypes under Drought Stress Condition. Journal of Crop Ecophysiology 6 (3): 323-339. (in Persian).
18. Kanwal, N., Hanif, M. A., Khan, M. M., Ansari, T.M., and Khalil-Ur-Rehman, R. 2016. Effect of micronutrients on vegetative growth and essential oil contents of Ocimum sanctum. Journal Essential Oil Bearing Plants 19: 980-988.
19. Keerthi, P., Pannu R. K., and Dhaka A. K. 2017. Effect of sowing dates and nitrogen levels on total dry matter and its partitioning at different growth stages and yield of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). Agricultural Science Digest 37 (1): 27-31.
20. Khajepour, M. R. 2001. Industrial plants. Publications Unit, University Jihad of Isfahan., 571 pages. (in Persion).
21. Khan, M. A., Ashraf, M. Y., Mujtaba, S. M., Shirazi, M. U., Khan, M. A., Shereen, A., Mumtaz, S., Aqil Siddiqui M., and Murtaza Kaleri, G. 2010. Evaluation of high yielding canola type Brassica genotypes/mutants for drought tolerance using physiological indices as screening tool. Pakistan Journal of Botany 42 (6): 3807-3816.
22. Lalinia, A. A., Khamenh, M., Galostian, M., Majnoon Hoseini, N., and Esmailzade Bahabadi, S. 2012. Echophysiological impact of water stress on growth and development of mungbean. International Journal of Agronomy and Plant Production 3: 599-607.
23. Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y., and Guo, T. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. Frontiers in Plant Science 8. DOI: 10.3389/fpls.2017.00860.

24. Marreiro, D. D. N., Cruz, K. J. C., Morais, J. B. S., Beserra, J. B., Severo, J. S., and Oliveira, A. R. S. 2017. Zinc and oxidative stress: current mechanisms. Antioxidants 6. DOI: 10.3390/ antiox6020024.
25. Molazem, D., Azimi, J., Ghasemi, M., Hanifi, M., and Khatami, A. 2013. Correlation analysis in different planting dates and plant density of canola (*Brassica napus* L.) varieties in Astara Region. Life Science Journal 10 (1): 26-31.
26. Obaid, E. A., and Al-Hadethi M. A. E. 2013. Effect of Foliar Application with Manganese and Zinc on Pomegranate Growth, Yield and Fruit Quality. Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants 5 (1): 41-45.
27. Pirdashti, H., Tahmasebi – Sarvestani, Z., and Bahmanyar, M. A. 2009. Comparison of physiological response among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. World Academy of Science, Engineering and Technology 49: 52-53.
28. Qaswar, M., Hussain, S., and Rengel, Z. 2017. Zinc fertilisation increases grain zinc and reduces grain lead and cadmium concentrations more in zinc-biofortified than standard wheat cultivar. Science Total Environment 605: 454-460.
29. Rajabi, M., Fetri, M., Ghobadi, M. E., Faraji, M. H., and Asadian, Gh. 2013. Foliar application of Zn and Mn fertilizers on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. International Journal of Agricultural Crop Scince 5: 718-822.
30. Rameeh, V. 2014. Evaluation of planting dates effects on growth, phenology and seed yield of spring rapeseed varieties. Oil Plant Production 79-89. (in Persion).
31. Rezaeieh, K. A. P., Gurbuz, B., and Eivazi, A. 2016. Effects of different zinc levels on vegetative growth and essential oil contents of some Iranian and Turkish cumin (*Cumin cyminum* L.) genotypes. Journal of Essential Oil Bearing Plants 19: 1181-1191.
32. Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B., and Mohghaddam, M. 2010. Interrelationships between seed yield and 20 related traits of 49 canola (*Brassica napus* L.) genotypes in non-stressed and water-stressed environments. Spanish Journal of Agricultural Research 8 (2): 356-370.
33. Sadeghinejad, A. A., Modarres Sanavi, S. A. M., Tabatabaei, S. A., and Modares Vameghi, S. M. 2014. Effect of water deficit stress at various growth stages on yield, yield components and water use efficiency of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Water and Soil Science 24 (2): 53-64. (in Persian).
34. Sepehri, A., and Golparvar, A. R. 2011. The eEffect of drought stress on water relations, chlorophyll content and leaf area in canola cultivars (*Brassica napus* L.). Electronic Journal of Biology 7 (3): 49-53.
35. Sevanto, S. 2018. Drought impacts on phloem transport. Current Opinion in Plant Biology 43: 76-81.
36. Sieling, K., Böttcher, U., and Kage, H. 2017. Sowing date and N application effects on tape root and above-ground dry matter of winter oilseed rape in autumn. Europe Journal of Agriculture 83: 40-46.
37. Slafer, G. A., and Whitechurch, E. M. 2001. Manipulation wheat development to improve adaptation. In: Reynolds M. P., Ortiz- Monasterio J. I., and McNab A. (eds). Application physiology in wheat breeding. Mexico, D. F, CIMMYT. pp: 160-170.
38. Soleimani, R. 2005. The integrated effects of foliar and soil application of Zn, Fe and Mn on yield and yield compounds of wheat in Ilam. Final Report of Research Project. Soil and Water Research Institute, Iran. 1222 (in Persian).
39. Sperotto, R. A., Ricachenevsky, F. K., de Waldow, V., Müller, A. L. H., Dressler, V. L., and Fett, J. P. 2013. Rice grain Fe, Mn and Zn accumulation: How important are flag leaves and seed number? Plant, Soil and Environment 59: 262-266.
40. Valli, S. P., Sudhakar, C., Rani, J., and Rajeswari, R. R. 2016. Correlation and path coefficient analysis for the yield components of safflower germplasm (*Carthamus tinctorius* L.). Electronic Journal Plant Breeding 7: 420-426.
41. Xu, C., McDowell, N. G., Sevanto, S., and Fisher, R. A. 2013. Our limited ability to predict vegetation dynamics under water stress. New Phytology 200: 298-300.
42. Xu, W., Cui, K., Xu, A., Nie, L., Huang, J., and Peng, Sh. 2015. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration. Acta Physiol Plant. 37: 9. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1760-0
43. Yang, M., Shi, L., Xu, F. S., Lu, J. W., and Wang, Y. H. 2009. Effects of B, Mo, Zn and their interactions on seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). Pedosphere 19 (1): 53-59.
44. Zahoor, R., Dong, H., Abid, M., Zhao, W., Wang, Y., and Zhou, Zh. 2017. Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolism. Environmental and Experimental Botany 137: 73-83.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 85-100

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۰۰-۸۵

The Effect of Withholding Irrigation and Foliar Application of Zn and Mn on Yield and Eco-physiological Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.)

G. Khodabin[1], Z. Tahmasebi-Sarvestani[2*], A. H. Shirani Rad[3], S. A. M. Modarres-Sanavy[4], E. Bakhshandeh[5]

Received: 12-04-2019
Accepted: 29-09-2019

Introduction

Development of new canola (*Brassica napus* L.) varieties need effective tools to monitor characterizes association in yield and its components. Although, determination of the response of oil seeds cultivars to environmental variables is one of the principal of agriculture planning to achieve maximum qualitative and quantitative yield. Water deficit stress and sufficient nutrition are the most important factors limiting yield production by changing the physiological processes of the plant. Iran is considered as the arid and semi-arid with average rainfall of 250 mm. On the other hand, 33% of agriculture land is devoted to dry cultivation. Water deficit by affecting on vegetative and reproductive growth period and balance between them will change yield and product quality.

Materials and Methods

In order to study the responses of three winter canola cultivars to late season drought stress and foliar application of Mn and Zinc sulfate fertilizer on physiological, morphology characteristics and yield, a split factorial experiment was carried out based on randomized complete block design with three replications in 2017-2018 at the Karaj province. Irrigation in two levels, normal and water holding at flowering stage to next, foliar application in four levels, sprayed with water (control), foliar application with zinc sulfate, foliar application with Mn sulfate, foliar application composition with zinc sulfate and Mn sulfate (each of them was with concentration of four per thousand) both in main plot and three cultivars included Nima (control) and two new lines KS7 and R15 in sob plot. Foliar application was applied during the stem elongation stage. When the 50% of pod appeared total chlorophyll and leaves carbohydrate solution content was measured as index of drought stress damage. Eight traits were measured on 10 random plants per plot. The traits were plant height, number of pods /plant, number of seeds/pod, 1000 seed weight, seed yield, biomass yield, oil percentage and oil yield.

Results and Discussion

The results showed all characteristics significantly were influenced by water holding and foliar application. Interaction of water holding and foliar application was significant in attributes of plant height and oil content. Main effect of cultivar and interaction of water holding and cultivar were significant in all treatment except oil content. Due to water holding increasing in soluble carbohydrates and reducing the concentration of chlorophyll was occurred. The yield components of canola because of irrigation disruption decreased which leads to lower grain and rapeseed oil yield. The results showed that in normal irrigation, the highest seed yield (5168 $kg.ha^{-1}$) oil yield (2244 $kg.ha^{-1}$) and water use efficiency (0.99 %) were related to R15 line but in water holding condition the Nima cultivar obtained the highest achievements. In complete irrigation, foliar application of the two micro elements increased the traits studied. Most of the seed oil yield (1728 $kg.ha^{-1}$), the weight of one thousand seeds (3.21 g), biological yield (15675 $kg.ha^{-1}$) and water use efficiency were related to the main effect of zinc sulfate and Mn sulfate combination. Spraying plants with zinc sulfate and Mn sulfate improved plant height and increased oil content in drought stress condition in relation to spray by water (control). Among cultivars, Nima cv. had better outperformed relative to KS7 and R15 in normal irrigation. In water holding treatment, two cultivars R15 and Nima narrowly to each other had better outperformed relative to KS7. Non significant interaction effects of foliar application and cultivars for seed and oil yield indicated that all cultivars had similar trend. Drought not only causes dramatic loss of pigments but also leads to disorganization of thylakoid

1- Ph.D. Candidate of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Professor of Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
5- Assistant Proffessor, Genetics and Agricultural Biotecechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(*- Corresponding Author Email: Tahmaseb@modare.ac.ir)

membrane, therefore reduction in chlorophyll contents is expected. The water holding condition in late season may influence plant growth that can be attributed to the lose yield components.

Conclusions

Correlation between drought situation and yield components in all cultivars, identify the most suitable indicators for monitoring drought tolerance cultivars. According to these results, R15 can be recommended for semiarid regions due to maximum seed and oil yield among and non stress condition. In water deficit condition R15 can be recommended for semiarid regions due to maximum seed and oil yield among and non stress condition.

Keywords: Micro Nutrition, Water deficit, Water use efficiency, Yield and component yield

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۰۹-۱۰۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 101-109

تاثیر کاربرد آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد، محتوای کلروفیل، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم دیم

فرامرز یقینی[۱]، رئوف سیدشریفی[۲*]، حامد نریمانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر کاربرد آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد دانه، محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه گندم دیم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل طی سال ۱۳۹۵ اجرا شد. عامل‌های آزمایشی سطوح آبیاری در سه مرحله (شامل عدم آبیاری یا کشت دیم، آبیاری تکمیلی در مراحل تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) و ظهور سنبله به‌ترتیب بر مبنای کد ۴۵ و ۶۱ از تقسیم‌بندی BBCH)، کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (شامل تلقیح بذر با آزوسپریلیوم، کاربرد میکوریزا، کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم و بدون کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم و آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ)، محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید را (به‌ترتیب ۷۶/۶، ۴۶/۲۶، ۴۹/۵۷ و ۱۰۰ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم افزایش داد. همچنین کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم و انجام آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ)، به‌ترتیب موجب افزایش ۱۵/۲۶، ۵۱/۳۵، ۱۴/۰۴، ۳۵/۹۲ و ۳۵/۲۷ درصدی در سرعت پر شدن دانه، وزن تک بذر، طول دوره‌ی پر شدن، دوره موثر پر شدن دانه و عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم شد. بر اساس نتایج این آزمایش، به‌نظر می‌رسد کاربرد آبیاری تکمیلی و کودهای بیولوژیک می‌تواند به‌عنوان تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی در گندم تحت شرایط دیم پیشنهاد شود.

واژه‌های کلیدی: آزوسپریلیوم، رنگیزه‌های فتوسنتزی، محدودیت آبی، میکوریزا

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌صورت دیم کشت می‌شود (Seyed Sharifi and Khalilzadeh, 2018). در چنین مناطقی محدودیت آبی در مرحله پر شدن دانه امری اجتناب‌ناپذیر است، که از طریق کاهش رشد (Galle *et al*., 2010)، کاهش میزان فتوسنتز (Saeidi and Abdoli, 2015)، تسریع پیری برگ‌ها (Martinez *et al*., 2003) موجب کاهش وزن دانه و عملکرد می‌شود. آبیاری تکمیلی یکی از راهکارهایی است که می‌تواند به‌منظور بهبود و تثبیت عملکرد در زمان‌هایی به‌کار گرفته شود که بارندگی نمی‌تواند رطوبت کافی برای رشد عادی گیاه را فراهم کند (Oweis *et al*., 1999). وطن‌دوست و همکاران (Vatan Doost *et al*., 2018) اظهار داشتند تحت شرایط محدودیت آبی، محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه کاهش یافته و استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش این صفات و عملکرد دانه‌ی کلزا (*Brassica napus* L.) شد. داداش‌زاده (Dadashzadeh, 2019) اظهار داشت کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش موجب افزایش محتوای کلروفیل، مولفه‌های پر شدن و عملکرد دانه‌ی جو (*Hordeum vulgare* L.) شد.

یکی از مهم‌ترین آثار تنش ناشی از محدودیت آبی، کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک است. در این راستا، کاربرد کودهای زیستی نه‌تنها مقاومت گیاه را در برابر شرایط تنش‌زای مختلف محیطی مانند کمبود آب و عناصر غذایی افزایش می‌دهد (Seyed Sharifi and Namvar, 2017)، بلکه میکروارگانیسم‌های از بین رفته خاک را نیز جبران می‌کند (Gusain *et al*., 2015). حضور میکوریزا در ریشه‌های گیاهان و گسترش هیف قارچ‌ها در لابه‌لای ذرات خاک، امکان جذب یون‌های کم‌تحرک را حتی در شرایطی که رطوبت خاک کم باشد، افزایش می‌دهد. افزایش تحمل به تنش خشکی و شوری، جذب بهتر مواد غذایی و بهبود ساختمان خاک (Al-Karaki *et al*., 2004) نمونه‌هایی از نقش این قارچ‌ها است. باکتری‌های محرک رشد نیز با تثبیت نیتروژن، تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن، تولید هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین، سیتوکینین و اکسین، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش، رشد گیاهان را بهبود می‌بخشند (Rudresha *et al*., 2005). عبادی و همکاران (Ebadi *et al*., 2018) گزارش کردند کاربرد کودهای

۱ و ۳- دانشجویان کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- استاد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
(*- نویسنده مسئول: Email: raouf_ssharifi@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.81264

زیستی در شرایط آبیاری تکمیلی موجب افزایش محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، مولفه‌های پر شدن دانه و عملکرد دانه جو شد. سید شریفی (Seyed Sharifi, 2018) گزارش کرد که باکتری‌های محرک رشد و میکوریزا با تولید هورمون‌های رشد و تامین عناصر غذایی ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه و تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه شد. خیری‌زاده آروق و همکاران (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016) مشاهده کردند کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش شوری موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و عملکرد دانه‌ی تریتیکاله (*Triticale spp*) شد. امانی و همکاران (Amani *et al*., 2017) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b و عملکرد دانه ذرت (*Zea maize* L.) شد.

کاهش طول دوره پر شدن دانه در بیشتر مناطق تحت کشت گندم دیم به‌دلیل مواجه شدن با محدودیت آبی، منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. در این راستا به‌دلیل اهمیت آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی در کاهش یا تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی و کمی بررسی‌های انجام شده در خصوص برهم‌کنش این دو عامل موجب شد تا تاثیر این عوامل بر عملکرد، محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل طی سال ۱۳۹۵ اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. ارتفاع از سطح دریا ۱۳۵۰ متر با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. خاک این اراضی جزء خاک‌های لوم رسی است. pH خاک حدود ۷/۷ و عمق زراعی آن حدود ۷۰ سانتی‌متر با میزان متوسط بارش ثبت شده ده سال اخیر در محدوده ۲۹۰–۲۸۰ میلی‌متر می‌باشد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش و مشخصات جوی در طول دوره رشدی به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

Table 1- Soil physicochemical properties

مشخصه Characteristic	آهک $CaCO_3$	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی O.C	نیتروژن N	هدایت الکتریکی EC	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	pH
	(%)						($dS.m^{-1}$)		$mg.kg^{-1}$		
میزانAmount	5	39	30	31	0.858	0.08	1.54	12.2	495	5.1	7.76

جدول ۲- مشخصات جوی در طول دوره رشدی گندم

Table 2- Atmospheric characteristics during wheat growth

پارامتر Parameter	مهر Oct	آبان Nov	آذر Dec	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul
بارندگی ماهانه Monthly rainfall (mm)	4.8	40.3	28.9	3.4	35.2	9.4	3.3	32.9	2.4	9.3
میانگین حداقل درجه حرارت (°C) Mean of minimum temperature	6.1	1.7	4.6	-5.1	-8.2	-1.4	2.1	7.4	10	12.8
میانگین حداکثر درجه حرارت (°C) Mean of maximum temperature	18.4	12.5	3.5	5.8	0.2	9.4	14.3	21.4	24.5	26.1
میانگین دمای روزانه Average daily temperature	12.2	7.1	0.6	0.4	-4	4	8.2	14.4	17.3	19.5
میانگین رطوبت نسبی ٪ Mean of relative humidity	76	75	65	64	82	69	69	62.6	68	60.6

ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل Reference: Department of Meteorology of the Ardebil province

عامل اول شامل سطوح آبیاری [آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ)، آبیاری تکمیلی در مرحله ظهور سنبله به‌ترتیب بر مبنای کد ۴۵ و ۶۱ از تقسیم‌بندی BBCH (Seyed Sharifi and Khalilzadeh, 2018) و عدم آبیاری یا کشت دیم، عامل دوم شامل کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (تلقیح بذر با آزوسپریلیوم، کاربرد میکوریزا، کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم و بدون کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد) بود، از قارچ *Glomus intraradicese* برای تلقیح استفاده شد که مخلوطی از اسپور، هیف

و قطعات جدا شده از ریشه‌های آلوده بود. مقدار قارچ مورد استفاده ۲۰ گرم در هر متر مربع خاک بود که از شرکت زیست‌فناوران توران تهیه شد. این مقدار توسط شرکت مربوطه توصیه شده است. برای تلقیح بذر با آزوسپریلیوم از مایه تلقیحی که هر گرم آن 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود استفاده شد. همچنین از محلول صمغ عربی به نسبت ۱۵ درصد وزنی-حجمی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این باکتری‌ها از موسسه آب و خاک تهران تهیه شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر و با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. تاریخ کاشت ۲۵ آبان ۱۳۹۵ بود. در این بررسی از گندم رقم رصد استفاده شد که بذر آن از ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل تهیه شده بود.

به‌منظور بررسی مولفه‌های پر شدن دانه هشت روز بعد از ظهور سنبله، در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار، سه بوته از بین بوته‌های رقابت‌کننده به‌طور تصادفی انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شدند. بعد به مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini *et al*., 2004). به‌منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) بر اساس رویه DUD و دستورالعمل Proc نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases} \quad (۱)$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدا است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت 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 پردازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه از معادله زیر استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992).

$$EFP = {MGW}/{b} \quad (۲)$$

در این رابطه EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پر شدن دانه است.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد.

عملکرد دانه از دو خط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع برداشت شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی، کودهای زیستی و برهمکنش این دو عامل بر محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به کاربرد توام آزوسپریلیوم و میکوریزا و آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) (به‌ترتیب ۳/۰۲، ۰/۹۸، ۳/۵۶ و ۱/۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کم‌ترین این مقادیر (به‌ترتیب ۱/۷۱، ۰/۶۷، ۲/۳۸و ۰/۵۴ میلی‌گرم بر وزن تر برگ) در عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط کشت دیم به‌دست آمد (جدول ۴).

کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می‌تواند عمدتاً به‌دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با گونه‌های فعال اکسیژن، تخریب پیش ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل، از جمله کلروفیلاز باشد (El-Tayeb, 2005; Neocleous and Nasilakakis, 2007). بررسی ژن ژو و ژن ون (Zhen-Zhu and Zhen-Wen, 2006) نشان داد آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم موجب افزایش محتوای کلروفیل b شد. امانی و همکاران (Amani *et al*., 2017) اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی به‌واسطه‌ی حضور باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و تامین مناسب و کافی نیتروژن موجب می‌شود که گیاه، نیتروژن کافی برای تولید کلروفیل در اختیار داشته باشد. بابایی و همکاران (Babaei *et al*., 2017) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب حذف گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش نشت الکترولیت برگ شده و همین امر را به افزایش محتوای کلروفیل برگ و عملکرد دانه نسبت دادند. خیری‌زاده آروق و همکاران (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016) مشاهده کردند کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش، ضمن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اسمولیت‌های سازگار در تریتیکاله منجر به بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش، افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و عملکرد دانه شد. عبادی و همکاران (Ebadi *et al*., 2018) اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) موجب

افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ پرچم جو نسبت به عدم کاربرد این کودها تحت شرایط دیم شد. همچنین داداش‌زاده (Dadashzadeh, 2019) گزارش کرد که کاربرد آزوسپریلیوم و میکوریزا در شرایط آبیاری کامل با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید برگ پرچم جو شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس محتوای کلروفیل، مولفه‌های پر شدن دانه و عملکرد گندم متاثر از کاربرد کودهای زیستی در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم

Table 3- Analysis of variance chlorophyll content, grain filling components and yield of wheat as affected of bio fertilizers under supplemental irrigation and rainfed condition

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات M.S								
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Replication	2	2.33**	0.32**	4.39**	0.3**	0.000005**	232.24**	366.52**	2.19**	592183.36ns
آبیاری Irrigation (I)	2	1.54**	0.08**	2.38**	0.35**	0.00035**	23.3**	6.46**	0.17**	182525.82ns
کودهای زیستی Bio fertilizers (B)	3	0.97**	0.05**	1.46**	0.037**	0.000104**	9.29**	2.34**	0.037**	329287.88ns
کودهای زیستی ×آبیاری I×B	6	0.08**	0.002**	0.11**	0.002**	0.0000024**	5.04**	3.11**	0.034**	3546666.8**
خطای آزمایشی Error	22	0.007	0.0004	0.011	0.001	0.00000091	0.29	0.04	0.0008	313204.33
ضریب تغییرات CV(%)	-	4.4	4.0	2.5	4.0	2.0	2.4	0. 8	1.3	13.3

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

مولفه‌های پر شدن دانه: نتایج تجزیه واریانس مولفه‌های پرشدن نشان داد که اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و برهمکنش این دو عامل بر مولفه‌های پر شدن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بالاترین سرعت پر شدن دانه در کاربرد آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) در تلقیح بذر با آزوسپریلیوم (۲/۳۸ میلی‌گرم در روز) و کم‌ترین آن تحت شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین طول دوره پر شدن دانه، حداکثر وزن خشک تک بذر و دوره مؤثر پر شدن دانه در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) و کاربرد توام آزوسپریلیوم با میکوریزا (به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۹/۵۵ روز، ۰/۰۵۶ گرم در روز و ۲۶/۳۷ روز) و کم‌ترین آن‌ها در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم به‌دست آمد (جدول ۴).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی بر برخی صفات گندم

Table 4- Means comparison of the effects of bio fertilizers and supplemental irrigation on some wheat traits

تیمار Treatments	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll Total	کاروتنوئید Carotenoid	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight (g)	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period (day)	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period (day)	سرعت پر شدن دانه grain filling rate (mg.day^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (g.m^{-2})	معادله برازش شده Estimated Equation
	mg.g^{-1} FW									
$I_1 \times B_1$	2.01de	0.78ef	2.79de	0.87d	0.049de	23.15cd	28.36bc	2.17de	3842ef	Y=0.00217X-0.0127
$I_1 \times B_2$	2.41c	0.88c	3.29c	0.93c	0.05cd	21.74ef	26.57f	2.38a	4059bc	Y=0.0023X-0.0138
$I_1 \times B_3$	2.87a	0.96ab	3.73a	1.01b	0.053b	24.09b	28.33c	2.26c	4080.3b	Y=0.0022X-0.0113
$I_1 \times B_4$	3.02a	0.98a	3.56a	1.08a	0.056a	26.37a	29.55a	2.19d	4200.3a	Y=0.0021X-0.0085
$I_2 \times B_1$	1.8fg	0.74g	2.54fg	0.74fg	0.042g	21.2f	26.79ef	2.08f	3600g	Y=0.002X-0.0131
$I_2 \times B_2$	1.95ef	0.75fg	2.7ef	0.76efg	0.047ef	23.57bc	26.79ef	2.08f	3807e	Y=0.002X-0.0121
$I_2 \times B_3$	2.35c	0.83d	3.18c	0.79ef	0.049de	23.73bc	28.72b	2.13e	3967cd	Y=0.0021X-0.0123
$I_2 \times B_4$	2.63b	0.93b	3.56b	0.81e	0.05c	22.45de	27.35d	2.33b	4005bc	Y=0.0023X-0.0137
$I_3 \times B_1$	1.71g	0.67i	2.38g	0.54i	0.037i	19.4g	25.91g	1.9h	3105h	Y=0.0019X-0.0135
$I_3 \times B_2$	1.79g	0.71h	2.5g	0.61h	0.04h	21.57ef	26.95e	1.9i	3500g	Y=0.0019X-0.0115
$I_3 \times B_3$	1.83fg	0.73gh	2.56ef	0.65h	0.042g	21.35f	26.97e	2.02g	3760f	Y=0.002X-0.0131
$I_3 \times B_4$	2.11d	0.81de	2.92e	0.71g	0.046f	21.96ef	27.39d	2.16de	3870de	Y=0.0021X-0.0139
LSD	0.15	0.03	0.18	0.05	0.0016	0.92	0.36	0.047	101.78	

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ)، ظهور سنبله و عدم آبیاری (کشت دیم)

B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب و بدون کاربرد کودهای زیستی، آزوسپریلیوم، میکوریزا و کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

I_1, I_2 and I_3 supplementary irrigation at heading stage, supplementary irrigation at boot stage and no irrigation respectively.

B_1, B_2, B_3 and B_4 no application bio fertilizers, application *Azospirillum*, *Mycorrhiza* and application *Mycorrhiza* and *Azospirillum* respectively.

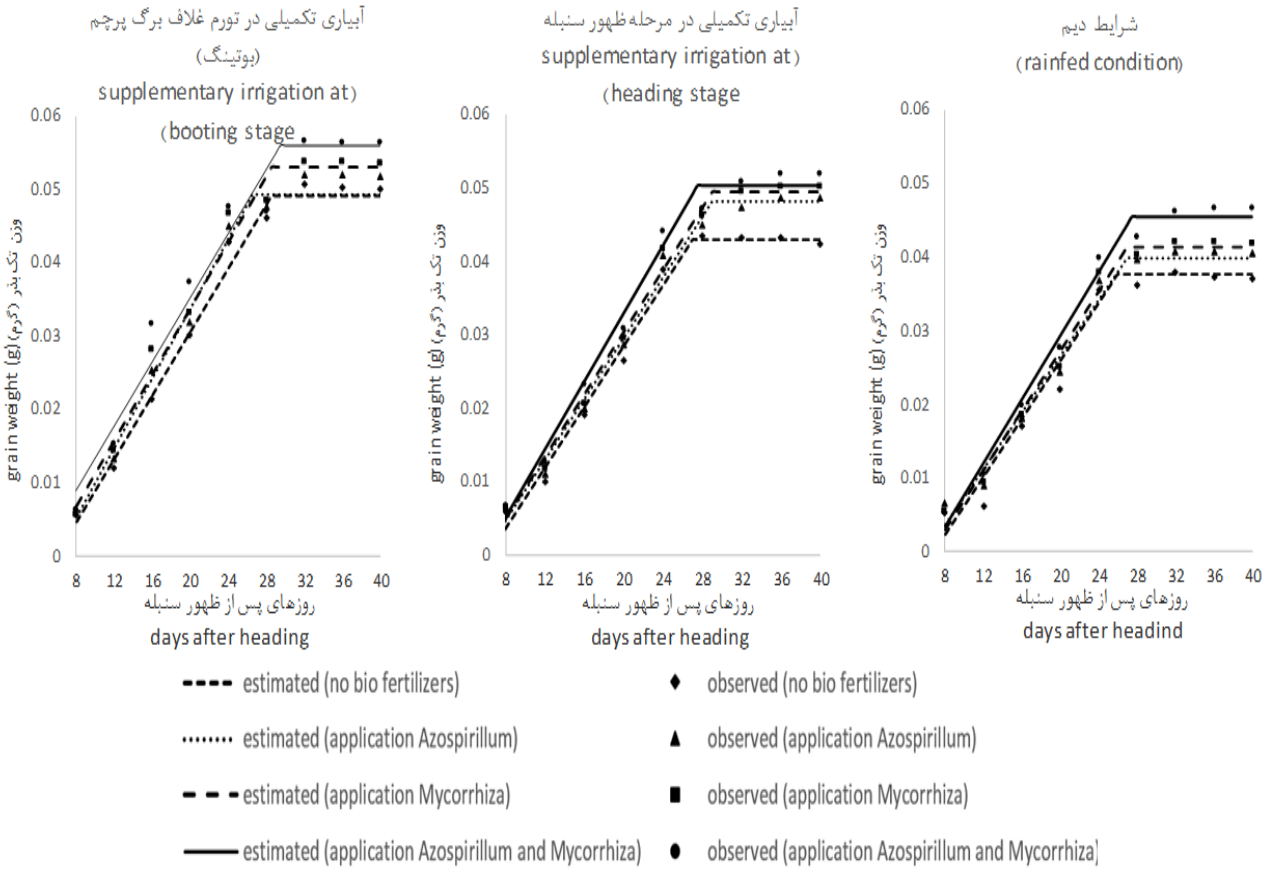
Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test at 0.01(*) and 0.05 (**) probability level.

بررسی سرعت پر شدن دانه نشان داد که که الگوی نمو بذر در سطوح مختلف آبیاری و کود زیستی از روند مشابهی تبعیت می‌کند (شکل ۱). بدین ترتیب که ابتدا وزن دانه در کلیه تیمارهای مورد ارزیابی به‌صورت خطی افزایش یافت و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی). پس از این مرحله، وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبود و به‌صورت یک خط افقی درآمد. افزایش وزن دانه از طریق طول دوره پر شدن دانه و سرعت پرشدن دانه میسر است (Hammer *et al*., 2009). معادلات رگرسیونی برازش داده شده نشان داد که بین سرعت پر شدن دانه تفاوت‌هایی وجود دارد. به بیانی دیگر شیب خطی برازش شده برای ترکیب‌های تیماری یکسان نیست. به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه در کاربرد توام آزوسپریلیوم و میکوریزا و آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) با افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۴) مرتبط باشد. در این راستا تسونو و همکاران (Tsuno *et al*., 1994) اظهار داشتند افزایش میزان کلروفیل در طول دوره رشد به‌ویژه دوره پر شدن دانه، موجب افزایش سرعت پر شدن دانه می‌شود. بائور و همکاران (Bauer *et al*., 1985) در ارزیابی مولفه‌های موثر بر وزن دانه بیان داشتند که سرعت انباشت مواد در دانه نسبت سایر مولفه‌ها اثر بیشتری دارد. کاتو (Kato, 1999) اظهار داشت که دانه‌های با وزن بالاتر، از سرعت پر شدن بالاتری نسبت به دانه‌های با وزن کمتر برخوردار می‌باشند. به‌نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد با تولید هورمون‌های رشد و تأمین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را نیز فراهم ساخته‌اند (Khalilzadeh *et al*., 2016; Zamber *et al*., 1984). لمون (Lemon, 2007) گزارش داد که تنش خشکی موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه در گیاه گندم شد.

احمدی و بیکر (Ahmadi and Baker, 2001) گزارش کردند که رشد دانه در شرایط مطلوب تا ۴۲ روز پس از گل‌دهی ادامه داشت ولی در شرایط تنش خشکی انتهایی و محدودیت آبی، این دوره در ۲۸ روز پس از گل‌دهی متوقف شد. آن‌ها اظهار داشتند که محدودیت آبی وزن تک بذر را از طریق کاهش دوره مؤثر پر شدن دانه، کاهش می‌دهد. گوتیری و همکاران (Guttieri *et al*., 2001) در ارزیابی اثر آبیاری محدود و شرایط دیم بر گندم اظهار داشتند که اثر کمبود آب در مرحله بین پر شدن دانه و رسیدن بسیار زیاد بوده و موجب کاهش عملکرد دانه به‌واسطه کاهش طول دوره پرشدن دانه شد. عباس‌پور (Abasspour, 2011) اظهار داشت که کاربرد باکتری‌های محرک رشد با افزایش میزان آسیمیلاسیون و سرعت پر شدن دانه، موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه و افزایش وزن دانه می‌شود. سید شریفی (Seyed Sharifi, 2018) گزارش کرد که باکتری‌های محرک رشد و میکوریز با تولید هورمون‌های رشد و تامین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه و تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه، موجب افزایش حداکثر وزن دانه و عملکرد دانه شد. عبادی و همکاران (Ebadi *et al*., 2018) اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) با افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید موجب افزایش حداکثر وزن دانه، سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه‌ی جو نسبت به عدم تلقیح تحت شرایط دیم شد. در بررسی داداش‌زاده (Dadashzadeh, 2019)، کاربرد آزوسپریلیوم و میکوریزا تحت شرایط آبیاری کامل با افزایش محتوای کلروفیل و بهبود شرایط فتوسنتزی موجب افزایش مولفه‌های پر شدن دانه جو شد.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی، کودهای زیستی و برهمکنش این دو عامل بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) با کاربرد توام کودهای زیستی بیش‌ترین عملکرد دانه (۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد، کشت دیم در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی، کم‌ترین این مقدار (۳۱۰۵ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). چو و همکاران (Chu *et al*., 2010) گزارش کردند که تنش‌های رطوبتی در مرحله ظهور سنبله تا پر شدن دانه به دلیل کاهش سنبله‌های بارور و تعداد دانه در هر سنبله موجب کاهش عملکرد می‌شود و اظهار داشتند که این امر ناشی از ویژگی خود تنکی است که در واکنش به کمبود منابعی مانند رطوبت رخ می‌دهد. تینگ لو و همکاران (Tinglu *et al*., 2005) گزارش کردند که آبیاری تکمیلی موجب می‌شود برگ‌های بالایی بوته و به‌خصوص برگ پرچم که سبز هستند در شرایط رطوبت کافی (آبیاری تکمیلی) بتوانند فتوسنتز بیشتری داشته و مواد بیشتری را به طرف دانه‌های در حال پر شدن منتقل کنند که در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود. رایت و همکاران (Wright *et al*., 1998) اظهار داشتند که کربن اضافی تثبیت‌شده توسط گیاهان میکوریزایی شده به قارچ‌های میکوریزا تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسمیلات‌ها، موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می‌کند. دلایلی مختلفی برای کاهش عملکرد در شرایط محدودیت آبی در طی مرحله زایشی گیاه گزارش شده است. تاتاری و همکاران (Tatari *et al*., 2010) اظهار داشتند که تنش از مرحله گلدهی تا مرحله رسیدگی، به‌دلیل تسریع در پیری برگ، دوره پر شدن دانه و به‌تبع از آن وزن دانه را کاهش می‌دهد. عبادی و همکاران (Ebadi *et al*., 2018) علت افزایش عملکرد دانه در انجام آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) و کاربرد کودهای زیستی را به افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و بهبود مولفه‌های پر شدن دانه‌ی جو نسب دادند.

داداش‌زاده (Dadashzadeh, 2019) اظهار داشت که کاربرد آزوسپریلیوم و میکوریزا در شرایط آبیاری کامل با بهبود محتوای کلروفیل a، b، کل، کاروتنوئید و مولفه‌های پر شدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه جو شد. نتایج مشابهی نیز توسط خیری‌زاده آروق و همکاران (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016) مبنی بر این‌که کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش با افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید منجر به بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه و عملکرد دانه می‌شود گزارش شده است. فلعه‌گری و همکاران (Felekari *et al*., 2017) اظهار داشتند آبیاری در مرحله گرده‌افشانی موجب بقا دانه‌های گرده و جلوگیری از سقط جنین و گرده‌افشانی موفق می‌شود و بیشترین عملکرد دانه را در انجام آبیاری در مرحله ظهور سنبله و حداقل عملکرد را در شرایط دیم به‌دست آوردند. امانی و همکاران (Amani *et al*., 2017) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی با تامین نیتروژن کافی جهت تولید کلروفیل به‌واسطه حضور باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن با افزایش محتوای کلروفیل a و b موجب افزایش عملکرد دانه ذرت شد. به‌نظر می‌رسد با افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید (جدول ۴) با بهبود فتوسنتز و افزایش مولفه‌های پر شدن دانه (جدول ۴) موجب افزایش عملکرد دانه (جدول ۴) شد.



شکل ۱- تاثیر کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی بر پر شدن دانه گندم

Figure 1- Effect of bio fertilizers and supplemental irrigation on grain filling of wheat

نتیجه‌گیری

کاربرد توام کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی به‌خصوص در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) در مقایسه با کشت دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی منجر به افزایش سرعت پر شدن دانه، وزن تک بذر، طول دوره‌ی پر شدن، دوره موثر پر شدن دانه، عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد. کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم و انجام آبیاری تکمیلی در تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ)، به‌ترتیب موجب افزایش ۱۵/۲۶، ۵۱/۳۵، ۱۴/۰۴، ۳۵/۹۲ و ۳۵/۲۷ درصدی در سرعت پر شدن دانه، وزن تک بذر، طول دوره‌ی پر شدن، دوره موثر پر شدن دانه و عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی با تعدیل اثرات محدودیت آبی می‌توانند در بهبود عملکرد و مولفه‌های پر شدن دانه حتی در شرایط دیم موثر واقع شوند.

References

1. Abasspour, S. 2011. Effects of seed inoculation with plant growth promoting *rhizobacteria* (PGPR) on grain yield and some agronomic characteristics of triticale. MSc thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (in Persian with English abstract).
2. Ahmadi, A., and Baker, D. A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. Journal of Agriculture Science 136 (3): 257-269. (in Persian with English abstract).
3. Al-Karaki, G. N., McMichael, B., and Zak, J. 2004. Field response of wheat to *arbuscular mycorrhizal* fungi and drought stress. Mycorrhiza 14 (4): 263-269.
4. Amani, N., Sohrabi, Y., and Heidari, G. 2017. Yield and some physiological characteristics in maize by application of bio and chemical fertilizers under drought levels. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27 (2): 65-83. (in Persian with English abstract).
5. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
6. Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A. R., and Khalilzadeh, R. 2107. Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Journal of Plant Interaction 12 (1): 381-389.
7. Bauer, A. A., Frand, B., and Black, A. L. 1985. Estimation of spring wheat grain dry matter assimilation on from air temperature. Agronomy Journal 77 (5): 743-752.
8. Chu, C. J., Weiner, J., Maestre, F. T., Wang, Y. S., Morris, C., Xiao, S., Yuan, J. L., Du, J. Z., and Wang, G. 2010. Effects of positive interactions, size symmetry of competition and abiotic stress on self-thinning in simulated plant populations. Annals of Botany 106 (4): 647-652.
9. Dadashzadeh, S. 2019. Effects of Nano iron oxide and bio fertilizers on yield, some agrophysioligical and biochemical tratis of barely (*Hordeum vulgare* L.) under salinity and drought stresses conditions. PhD Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (in Persian with English abstract).
10. Ebadi, N., Seyed Sharifi, R., and Sedghi, M. 2018. Effects of supplementary irrigation and biofertilizers on yield, chlorophyll content and grain filling period of barley. The international conference on agricultural science medicinal plant and traditional medicine, 14-15 February. (in Persian with English abstract).
11. Ellis, R. H., and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Science Research 2 (1): 19-25.
12. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulators 42: 215-224.
13. Felekari, H., Ghobadi, M., Mohammadi, G. R., and Said Jalali-Honarmand, S. 2017. Evaluation of wheat cultivars for physiological traits under different levels of nitrogen and irrigation. Plant Production Technology 8 (2): 97-109. (in Persian with English abstract).
14. Galle, A., Florez-Sarasa, I., Thameur, A., Paepe, R., de Flexas, J., and Ribas-Carbo, M. 2010. Effects of drought stress and subsequent dewatering on photosynthetic and respiratory pathways in Nicotiana Sylvester's wild type and the mitochondrial complex I-deficient CMSII mutant. Journal of Experimental Botany 61 (3): 765-775.
15. Gusain, Y. S., Singh, U. S., and Sharma, A. K. 2015. Bacterial mediated amelioration of drought stress in drought tolerant and susceptible cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology 14 (9): 764-773.
16. Guttieri, M. J., Stark, J. C., Brien, K. O., and Souza, E. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science 41 (2): 327-335.
17. Hammer, G., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C. C., Pszkiewicz, 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 (1): 299-312.
18. Kato, T. 1999. Genetic and environmental variations and associations of the characters related to the grain filling process in rice cultivars. Plant Production Science 2 (1): 32-36.
19. Khalilzadeh, R., and Seyed Sharifi, R. 2018. Cereal crops production. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. (in Persian with English abstract).
20. Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., and Jalilian, J. 2016. Effect of cycocel and bio fertilizers on quantitative and qualitative yield, rate and grain filling period of wheat under water limitation conditions. Crop Physiology Journal 8 (31): 41-60. (in Persian with English abstract).
21. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., and Barmaki, M. 2016. Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in *triticale* under salinity condition. Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 44 (1): 116-124.
22. Lemon, J. 2007. Nitrogen management for wheat protein and yield in the Esperance port zone. Department of Agriculture and Food. Western Australia, Perth. Bulletin 4707: 1-30.
23. Martinez, D. E., Luquez, V. M., Bartoli, C. G., and Guiamét, J. J. 2003. Persistence of photosynthetic components and photochemical efficiency in ears of water-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). Physiology Plant 119 (4): 519-525.
24. Neocleous, D., and Nasilakakis, M. 2007. Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. "Autumn

Bliss"). Scientia Horticulture 112: 282-289.
25. Oweis. T., Hachum, A., and Kijne, J. 1999. Water harvesting and supplementary irrigation for improved water use efficiency in dry areas. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka. pp. 7.
26. Ronanini, D., Savin, R., and Hal, A. J. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. Field Crop Research 83 (1): 79-90.
27. Rudresha, D. L., Shivaprakasha, M. K. and Prasad, R. D. 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma spp*. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). Applied Soil Ecology 28 (2): 139-146.
28. Saeidi, M., and Abdoli, M. 2015. Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables, and some physiological traits of wheat cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology 17 (4): 885-898.
29. Seyed Sharifi, R., and Namvar, A. 2017. Biofertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. (in Persian).
30. Seyed Sharifi, R. and Khalilzadeh, R. 2018. Cereal Crops Production. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. (in Persian).
31. Seyed Sharifi, S. 2018. Effects of uniconazole and bio fertilizers on grain filling period and contribution of remobilization in grain yield of wheat under different moisture regimes in greenhouse condition. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences 11 (3): 515-531. (in Persian with English abstract).
32. Tatari, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Dryland wheat yield prediction using precipitation and edaphic data by applying of regression models. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 357-365. (in Persian with English abstract).
33. Tinglu, F., Stewart, B. A. William, A. P. Yong, W. Shangyou, S. Junjie, L., and Clay, A. R. 2005. Supplemental irrigation and water-yield relationships for plastic culture crops in the Loess Plateau of China. Agronomy Journal 97: 177-188.
34. 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.
35. Vatan Doost, H., Seyed Sharifi, R., Farzaneh, S., and Hassan Panah, D. 2018. Grain filling and some fatty acids composition of canola (*Brassica napus* L.) with application of bio-fertilizers and irrigation withholding. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27 (4): 23-37. (in Persian with English abstract).
36. Wright, D. P., Scholes, J. D., and Read, D. J. 1998. Effects of VA *mycorrhizal* colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repense* L. Plant Cell and Environment 21 (2): 209-216.
37. Zamber, M. A., Konde, B. K., and Sonar, K. R. 1984. Effect of *Azotobacter chroococum* and *Azosprillum brasilense* inoculation under graded levels of nitrogen on growth and yield of wheat. Plant Soil 79: 61-67.
38. Zhen-zhu, X., and Zhen-Wen, Y. 2006. Nitrogen metabolism in flag leaf and grain of wheat in response to irrigation regimes. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 169: 118-126.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 101-109

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۰۹-۱۰۱

Effects of Supplemental Irrigation and Biofertilizers on Yield, Chlorophyll Content, Rate and Period of Grain Filling of Rainfed Wheat

F. Yaghini[1], R. Seyed Sharifi[2*], H. Narimani[3]

Received: 11-06-2019
Accepted: 16-11-2019

Introduction

The yield of wheat in Iran is very low as compared to the other wheat producing countries. One of the most important effective factors is water shortage. Water shortage can damage pigments and plastids, reduce chlorophyll a, chlorophyll b, rate and grain filling period. One approach to improve the salt stress problem is the use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and *Mycorrhiza*. The PGPR are a group of rhizosphere colonizing bacteria that produce substances to increase the growth of plants, synthesize different phytohormones including auxins, cytokinins, and gibberellins, synthesize enzymes that can modulate plant growth and development. *Arbuscular mycorrhizal* fungi (AMF) symbiosis is considered a valuable component in most agricultural systems due to its role in plant nutrition and soil health. Therefore application of biofertilizers and supplemental irrigation can improve crop yield and water productivity especially during critical crop growth stages.

Materials and Method

A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Station of Ardabil in 2016. Experimental factors included irrigation levels (no irrigation as rainfed, supplemental irrigation at booting and heading stages or according with 45 and 61 BBCH code, respectively) and four levels of biofertilizers application (inoculation with *Azospirilum*, *Mycorrhizal*, *Mycorrhizal+Azospirilum*, and without application of biofertilizers as control). A two part linear model was used to quantify 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 grain 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 = highest grain weight (g)/rate of grain filling (g day^{-1}).

Results and Discussion

The results showed that application of both biofertilizers (*Mycorrhiza* and *Azosprilium*) and supplementary irrigation at booting stage increased chlorophyll a, b, total chlorophyll and carotenoids (76.6, 42.26, 49.57 and 100% respectively) compared with no application of biofertilizers under rainfed condition. Also, both application of *Mycorrhizae* and *Azospirilium* and supplemental irrigation at booting stage increased grain filling rate, grain weight, grain filling period, effective grain filling rate and grain yield (15.26, 51.35, 14.04, 35.92 and 35.27% respectively) compared with no application of biofertilizers under rainfed conditions.

Conclusions

Based on this study, the application of *Azospirillum* and *Mycorrhiza* and supplemental irrigation at booting stage can improve the content of chlorophyll a, b, total chlorophyll, carotenoids, grain filling rate, grain weight, grain filling period, effective grain filling period and grain yield compared with no application of biofertilizers under rainfed conditions. Based on the results, it seems that application of biofertilizers and supplementary irrigation can be suggested as modulators of drought stress in wheat under rainfed conditionss.

Keywords: *Azospirilum*, *Mycorrhiza*, Photosynthetic pigments, Water limitation

1 and 3- MSc students of 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
(*- Corresponding Author Email: raouf_ssharifi@yahoo.com)

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۲۳-۱۱۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 111-123

اثر کمپوست کود دامی ترکیب شده با زئولیت و تلقیح مایکوریزا بر رشد و عملکرد تریتیکاله (X *Tritico-secale Wittmack*)

معصومه مکوندی[۱]، عبدالمهدی بخشنده[۲]، آیدین خدایی جوقان[۳*]، علی مشتطی[۴]، محمدرضا مرادی تلاوت[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر هم‌زیستی قارچ مایکوریزا (*Glomus interadices*) و کمپوست کود دامی ترکیب شده با زئولیت بر رشد و عملکرد تریتیکاله، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی سال ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد قارچ مایکوریزا در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) و درصد اختلاط زئولیت با کمپوست کود دامی در شش سطح (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد وزنی کود دامی) بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده در شرایط تلقیح قارچ بیشترین ارتفاع بوته در سطح ۱۰ درصد زئولیت با میانگین ۱۲۴/۳ سانتی‌متر به‌دست آمد، در صورتی‌که در تیمار عدم تلقیح بیشترین ارتفاع بوته در سطح ۲۰ درصد زئولیت با میانگین ۱۰۶/۶ سانتی‌متر حاصل شد. تعداد سنبله در متر مربع بر اثر کاربرد ۲۰ درصد زئولیت (۴۵۶) در حدود ۳۶ درصد بیشتر از عدم کاربرد زئولیت (۳۰۳) بود. در شرایط تلقیح مایکوریزا بیشترین عملکرد دانه (۳۵۱۰/۷ کیلوگرم در هکتار) به تیمار کاربرد ۱۰ درصد زئولیت و کمترین عملکرد دانه (۱۵۷۹/۶کیلوگرم در هکتار) به تیمار عدم کاربرد زئولیت تعلق گرفت، در حالی‌که در شرایط عدم کاربرد قارچ مایکوریزا برای افزایش عملکرد دانه به زئولیت بیشتری نیاز بود و با افزایش میزان زئولیت تا ۲۰ درصد عملکرد دانه افزایش یافت. با توجه به نتایج آزمایش حاضر مصرف ۱۰ درصد زئولیت در کمپوست کود دامی به همراه تلقیح با قارچ مایکوریزا، برای افزایش عملکرد دانه تریتیکاله توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، قارچ اندوفیت، کود آلی، مواد اصلاح‌کننده کود

مقدمه

یکی از ارکان اساسی کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی و دامی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و افزایش باروری خاک می‌باشد. استفاده بهینه از کودهای آلی و منابع بیولوژیک نه تنها دارای اثرات مثبت بر خصوصیات خاک است بلکه دارای جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مفید بوده و می‌تواند جایگزین خوبی برای نهاده‌های شیمیایی باشد (Moradi and Taleshi, 2018). کودهای دامی فعالیت‌های زیستی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک را بهبود بخشیده و ریز مغذی‌ها را تامین‌کرده و باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود. با وجود اثرات مثبتی که ذکر شد، استفاده از این مواد مشکلاتی دارد، از جمله استفاده از کودهای دامی تازه به دلیل افزایش ذخیره بذری علف‌های هرز در مزرعه، افزایش جمعیت آفات و بیماری‌ها و نهایتاً آسیب‌دیدگی ریشه گیاهان از طریق تجمع آمونیاک در محیط ریشه می‌تواند برای گیاه مشکل آفرین باشد (Cudney *et al.*, 1992) و مهم‌تر آن که فرآیند پوسیده شدن کودهای دامی و انجام روند کمپوست‌سازی حتی در بهترین شرایط باعث هدر رفتن ۴۰ تا ۶۰ درصد نیتروژن آن می‌شود (Dwairi, 1998) بنابراین ارائه راهکارهایی به‌منظور حل مشکلات استفاده از کودهای دامی و به‌کارگیری این مواد ارزشمند در اراضی کشاورزی مهم است.

تحقیقات بسیاری در مورد استفاده از مواد افزودنی مختلف به کودهای دامی در طی فرآیند کمپوست‌سازی به‌منظور افزایش اثرگذاری این مواد بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی انجام شده است (Lefcourt and Meisinger, 2001). زئولیت‌ها به‌عنوان بهترین مکمل در اصلاح کود محسوب شده و در بهره‌برداری و تولید بیشتر محصولات کشاورزی نقش مهمی را ایفا می‌کنند (Shiranirad *et al.*, 2011). زئولیت‌ها به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد مانند ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، ساختار بسیار متخلخل، جذب سطحی زیاد، میزان آبگیری بالا، جلوگیری از آبشویی عناصر، جذب انتخابی، قابلیت دسترسی و ارزش اقتصادی برای استفاده در زمینه‌های مختلف علمی از قبیل کشاورزی و دامپروری مطلوب به

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۴- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۵- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: a.khodaei@asnrukh.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.81266

حساب می‌آیند (Taghdisi Heydarian *et al.*, 2018). این مواد با ساختاری بسیار متخلخل و با سطح داخلی بسیار گسترده موجب تثبیت عناصرغذایی در بین ساختار خود شده و از طریق رهاسازی تدریجی آن‌ها فراهمی دراز مدت این عناصر را برای گیاه ایجاد می‌نماید (Rehakova *et al.*, 2004) با توجه به خصوصیات منحصر به فرد زئولیت‌ها و فراوانی طبیعی آن‌ها در ایران، استخراج آسان و قیمت اقتصادی مناسب، چنان‌چه این مواد در ابتدای عمل‌آوری کمپوست، به کودهای دامی تازه اضافه شوند، علاوه بر این که شرایط تهویه‌ای را برای فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی فراهم می‌کنند (Lefcourt and Meisinger, 2001) باعث جذب مواد مغذی کود دامی مخصوصاً نیتروژن آن می‌شود و در نتیجه از هدر روی نیتروژن موجود در کود دامی خواه به‌صورت آمونیاک و یا به‌صورت نیترات جلوگیری می‌کند. یکی از عوامل کلیدی در این زمینه مقدار کاربرد زئولیت در حین عمل‌آوری کمپوست است. در آزمایش غلامحسینی و همکاران (Gholamhoseini *et al.*, 2010) افزودن ۱۵ درصد زئولیت به کود دامی در زمان فرآوری کمپوست سبب افزایش عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش کم‌آبی شد.

یکی دیگر از راهکارهای مهم بهبود کارایی بوم نظام‌ها در کشاورزی پایدار به‌کارگیری جانداران سودمند خاک از طریق مصرف کودهای زیستی به‌عنوان طبیعی‌ترین و شایسته‌ترین راه‌حل برای زنده و فعال نگهداشتن بخش بیولوژیک خاک است (Darzi *et al.*, 2008). از انواع کودهای زیستی می‌توان به قارچ‌های مایکوریزایی اشاره کرد. هم‌زیستی گیاه با مایکوریزا با افزایش سطح جذب ریشه، جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر توسط هیف‌ها و انتقال آن به ریشه گیاه سبب بهبود وضعیت غذایی و کاهش اثرات منفی تنش شوری بر رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Abdel-Fattah *et al.*, 2014). در پژوهشی نشان داده شد که قارچ مایکوریزا موجب افزایش میزان کلروفیل برگ گندم می‌شود، به‌طوری‌که میزان کلروفیل a، b و کل در تیمارهای تلقیح‌شده با قارچ مایکوریزا به‌ترتیب ۱۳/۷، ۳۳/۵ و ۱۷/۴ درصد نسبت به شاهد (عدم تلقیح با قارچ مایکوریزا) افزایش یافت (Moucheshi *et al.*, 2012) در یک آزمون گلخانه‌ای، تاثیر ده تیمار قارچی مایکوریزا آربوسکولار بر رشد گندم رقم پیشتاز بررسی شد که طبق نتایج گزارش شده هم‌زیستی خوبی بین تمام تیمارهای قارچی با گندم وجود داشته و افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه باعث افزایش رشد گیاه و افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی گردید (Rejali *et al.*, 2007).

تریتیکاله از تلاقی گندم‌های تتراپلوئید و چاودار به‌دست آمده است. این گیاه در حال حاضر در بیش از ۳۲ کشور دنیا کشت می‌شود (Flowers *et al.*, 2007). امروزه تریتیکاله به‌عنوان یک غله تجاری با پتانسیل وسیع برای مشارکت در تغذیه انسان و دام مطرح است. طبق آمار منتشر شده از سازمان خوار و بار جهانی سطح زیر کشت جهانی تریتیکاله ۴۱۶۵۷۸۳ هکتار است (FAO, 2017). عملکرد ماده خشک و دانه بیشتر تریتیکاله در مقایسه با گندم آن را به‌عنوان منبع تغذیه خوبی برای دام مطرح کرده است (Qudsi, 2009). این گیاه قابلیت رشد و تولید در خاک‌های فقیر و کم‌استعداد که برای تولید گندم مناسب نیستند را دارد (Irannejad and Shahbazian, 2005). با توجه به اهمیت تولید این گیاه زراعی از یک سو و توجه به پایداری و سلامت بوم‌نظام‌های زراعی از سوی دیگر، هدف از انجام این پژوهش دستیابی به حداکثر عملکرد تریتیکاله با افزایش کارایی کمپوست کودهای دامی و کاربرد هم‌زمان این کود در شرایط تلقیح با مایکوریزا بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در ۳۶ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۵ دقیقه و ارتفاع حدود ۳۴ متر از سطح دریا اجرا شد. در سال آزمایش میزان بارندگی ۱۰۱/۴ میلی متر بود. بارندگی سالیانه منطقه حدود ۲۱۳ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت ۲۳/۵، متوسط حداکثر و حداقل درجه حرارت به‌ترتیب ۳۳ و ۱۴/۶ درجه سلسیوس و بر اساس روش طبقه‌بندی دومارتن، اقلیم خشک محسوب می‌شود.

عوامل آزمایش شامل کاربرد مایکوریزا در دو سطح (بدون تلقیح با مایکوریزا و تلقیح با مایکوریزا) و اختلاط زئولیت و کود دامی در شش سطح (صفر، ۵، ۱۰ ، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد وزنی کود دامی زئولیت) بود. به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی، قبل از کاشت و شروع آزمایش از سه قسمت از خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری به عمل آمد و پس از خرد کردن کلوخه‌ها نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری گذرانده شدند و در نهایت یک نمونه مرکب تهیه شد. سپس نمونه مرکب در آزمایشگاه از لحاظ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ارزیابی شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

برای تهیه کمپوست‌های مناسب برای اجرای آزمایش، ابتدا کود گاوی تازه (کودی که از جمع‌آوری آن در دامداری بیش از ۲۰ روز نگذشته‌بود) از ایستگاه دامپروری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به مزرعه منتقل شدکه ویژگی‌های آن در جدول ۳ مشاهده می‌شود، سپس شش ردیف هم وزن به طول پنج متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر از کود دامی توزین شد که در یکی از ردیف‌ها هیچ‌گونه ماده اضافی مصرف نشد ولی در ردیف‌های دیگر به‌ترتیب ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد وزن کود دامی، زئولیت طبیعی به‌صورت لایه لایه مخلوط گردید و برای جلوگیری از تابش

مستقیم نور خورشید بر ردیف‌های کود دامی، سطح ردیف‌ها به‌وسیله کاه و کلش به‌طور کامل پوشانده شد. زئولیت مورد نیاز از شرکت افرند توسکا و از معادن سمنان تهیه گردید (زئولیت از نوع کشاویت به‌صورت کریستاله با رنگ سفید، دانه‌بندی پودری و درصد خلوص ۹۰ درصد) که درصد ترکیبات آن در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Physical and chemical properties of the experimental field soil at the depth of 0 -30 cm

کربن آلی OC (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	pH	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus ($mg . kg^{-1}$)	پتاسیم Potassium ($mg . kg^{-1}$)	بافت خاک Soil texture
0.5	2.7	7.5	0.05	9.2	135	Silty clay

جدول ۲- درصد ترکیبات شیمیایی زئولیت مورد استفاده

Table 2- Chemical composition of the used zeolite (%)

P_2O_5	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Al_2O_3	SiO_2
0.01	0.04	0.05	1.6	2.2	0.1	1.1	3.0	12.0	0.65

C.E.C= 200 meq/100g

جدول ۳- ویژگی‌های کود دامی مورد استفاده در آزمایش

Table 3- Chemical properties of animal manure used in experiment

نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	نسبت کربن نیتروژن C/N	کربن آلی OC (%)	pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	منگنز $mg.kg^{-1}$	آهن $mg.kg^{-1}$	روی $mg.kg^{-1}$	پتاسیم کل Total K (%)	فسفر کل Total P (%)
1.35	30.8	41.58	8	20.2	267.6	8435	409.4	2.55	0.66

تبدیل کود دامی تازه به کمپوست‌های قابل استفاده ۸۵ روز به طول انجامید. در این مدت تأمین رطوبت مورد نیاز (۶۰ درصد) و شرایط هوازی، برای فعالیت ریز موجودات در ردیف‌های کود دامی تأمین شد. در شش نوبت دمای توده کود در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری به‌وسیلهٔ دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد تا از رسیدن دمای ردیف‌های کودی به مقدار مناسب (۶۰ درجه) برای از بین رفتن بذر علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها اطمینان حاصل شود (Salami *et al.*, 2008). نیاز نیتروژنی گیاه با توجه به عملکرد مورد انتظار (تن در هکتار)، درصد کربن آلی خاک، اقلیم منطقه و بر اساس دستورالعمل توصیه کودی سازمان جهاد کشاورزی منطقه ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. بدین منظور مقدار نیتروژن کمپوست اندازه‌گیری و با احتساب این‌که به‌ترتیب ۳۰ و ۴۰ درصد از نیتروژن آن در سال اول و دوم قابل دسترس است (Eghball *et al.*, 2001)، در تمام سطوح تیماری، میزان کمپوست زئولیتی معادل ۴۰ تن در هکتار در قبل از کاشت توسط کولتیواتور به خاک هر کرت اضافه شد. مایه تلقیح قارچ مایکوریزا گونه *Glomus interadices* از موسسه تحقیقات آب و خاک کشور تهیه شد که دارای ۳۰۰ اسپور در هر گرم مایه تلقیح بود. قبل از کشت مایه تلقیح قارچ با بذور به‌طور کامل مخلوط گردید، به‌گونه‌ای که تمامی بذرها با یک لایه یکنواخت از مایه تلقیح پوشانده شدند. در نهایت پس از خشک شدن رطوبت سطحی بذرهای تلقیح شده نسبت به کاشت آن‌ها در تاریخ ششم آذر اقدام شد. بذر کشت شده در این آزمایش رقم سناباد (بهاره، متوسط رس، مقاوم به خوابیدگی میانگین وزن هزار دانه ۴۵-۴۷ گرم) تهیه شده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بود.

پس از رسیدن رطوبت خاک مزرعه به حالت گاورو، عملیات خاک‌ورزی شامل شخم و دو دیسک عمود بر هم جهت تسطیح و خرد کردن کلوخه‌ها انجام شد. پس از این مرحله بر اساس نقشه آزمایش، محل قرار گرفتن بلوک‌ها و نهرهای آبیاری روی زمین مشخص شد. سپس کرت‌های مورد نظر توسط کارگر و به‌صورت دستی احداث شد و نهرها با استفاده از نهرکن ایجاد گردید. ابعاد هر کرت دو متر در دو متر، فاصله بین هر کرت نیم متر و فاصله هر بلوک دو متر در نظر گرفته شد. بذر مورد نیاز جهت تراکم مطلوب (۴۰۰ بذر در متر مربع) با توجه به درصد جوانه‌زنی بذور برای هر خط کاشت محاسبه شد. جهت کشت بذور ابتدا خطوط کشت را ایجاد کرده و بذرها به‌صورت دستی کشت شدند و سپس آبیاری صورت گرفت. علف‌های هرز فواصل بین کرت‌ها و داخل جوی‌ها در طول فصل رشد به‌صورت دستی کنترل شد. آبیاری به‌صورت غرقابی، با توجه به نیاز گیاه و شرایط آب و هوایی انجام شد. در طی فصل رشد برای حصول اطمینان از برقراری هم‌زیستی، با استفاده از روش فیلیپس و هیمن (Philips and Hayman, 1970) رنگ‌آمیزی ریشه صورت گرفت و سپس قطعاتی از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده روی

لام قرار داده شده و از نظر وجود اندام‌های قارچی توسط میکروسکوپ مورد بررسی قرار گرفتند.

برداشت در تاریخ ۱۱ اردیبهشت ماه انجام شد. برای تعیین عملکرد بیولوژیک و دانه از یک متر مربع اندازه‌گیری به‌عمل آمد و برای صفاتی نظیر ارتفاع بوته، طول سنبله و طول پدانکل از ۱۰ ساقه استفاده شد. اجزای عملکرد از طریق شمارش تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه محاسبه گردید. برای محاسبه وزن هزار دانه پس از جدا کردن دانه‌ها از سنبله، دو نمونه۵۰۰ بذری توسط دستگاه بذر شمار شمارش و وزن هزار دانه محاسبه شد. وزن خشک ساقه و برگ و کل گیاه پس از برداشت در یک متر مربع اندازه‌گیری و میانگین گرفته شد. برای تعیین عملکرد ماده خشک، با در نظر گرفتن اثر حاشیه از مساحت یک متر مربع از هر کرت برداشت و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و وزن‌گیری شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس در آون خشک گردید. سپس وزن آن‌ها اندازه‌گیری شده و با استفاده از تناسب، وزن خشک کل به‌دست آمد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار Minitab مورد بررسی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ استفاده‌شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد انجام‌شده و شکل‌ها به‌وسیله نرم‌افزار Excel رسم‌شد.

نتایج و بحث

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اثر اختلاط زئولیت با کود دامی بر طول پدانکل، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در سطح احتمال خطای یک درصد و بر طول سنبله و محتوای پروتئین دانه در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بود. اثر قارچ بر کلیه صفات غیر از عملکرد دانه معنی‌دار بود که این معنی‌داری برای صفات طول سنبله و محتوای پروتئین دانه در سطح احتمال خطای پنج درصد و مابقی صفات در سطح احتمال خطای یک درصد بود. برهم‌کنش عوامل آزمایشی بر تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال خطای یک درصد و بر ارتفاع بوته و طول پدانکل در سطح احتمال خطای پنج درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴).

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته یکی از اجزای مهم ریخت‌شناسی گیاه است که به‌عنوان یک شاخص با اهمیت برای تعیین میزان دسترسی به منابع محیطی رشد گیاه عمل می‌نماید. همان‌طور که در شکل ۱-الف مشاهده می‌شود با تلقیح قارچ ارتفاع گیاه در میزان کم‌تری از زئولیت به بیشترین اندازه خود رسید، به‌طوری‌که در زمان تلقیح بالاترین ارتفاع در سطح ۱۰ درصد زئولیت با میانگین ۱۲۴/۳ سانتی‌متر به‌دست آمده و پس از آن با کاهش مواجه شد. در شرایط عدم تلقیح بیشترین ارتفاع بوته در سطح ۲۰ درصد زئولیت با میانگین ۱۰۶/۶ سانتی‌متر حاصل شد، در تیمار عدم تلقیح برای به‌دست آوردن بالاترین ارتفاع مقدار بیشتری زئولیت لازم بود. این نتایج حاکی از آن است که در تیمار تلقیح قارچ با میزان کم‌تری از زئولیت می‌توان به بیشترین ارتفاع بوته رسید. به‌کارگیری زئولیت موجب افزایش جمعیت و فعالیت ریزجانداران شده که محققان این افزایش را ناشی از افزایش فراهمی عناصر غذایی و آب به‌ویژه یون آمونیوم و متعادل نگه داشتن pH محیط توسط زئولیت دانسته‌اند، که متعاقب آن این عوامل در جهت بهبود میزان فتوسنتز در رشد عمل نموده و موجب افزایش ارتفاع بوته می‌شود (He *et al.*, 2002). در پژوهشی محققین نشان‌دادند که کاربرد کود زئولیت ارتفاع ذرت را تا ۴/۶ درصد افزایش داد (Mohammadi *et al.*, 2013). در آزمایشی دیگر پژوهشگران با بررسی اثرات کاربرد زئولیت بر عملکرد کلزا تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی گزارش کردند که مصرف زئولیت به میزان ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته کلزا شد، به عقیده این محققین به نظر می‌رسد که زئولیت از طریق بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی خاک سبب دسترسی بهتر و آسان‌تر گیاه به آب و عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و در نتیجه افزایش رشد رویشی و ارتفاع بوته گیاه می‌شود (Zahadi *et al.*, 2009). بالاتر بودن ارتفاع بوته در تیمارهای تلقیح با مایکوریزا حاکی از فراهم شدن آب و عناصر غذایی بیش‌تر در ناحیه ریزوسفر ریشه و انتقال بهتر آن‌ها به گیاه است. یزدانی و همکاران (Yazdani *et al.*, 2009) تولید هورمون‌های مختلف از قبیل اکسین و جیبرلین در حضور کودهای بیولوژیک را بر افزایش ارتفاع ساقه گیاه ذرت موثر دانستند.

طول سنبله

طول سنبله از اجزای مهم دخیل در عملکرد است به‌طوری‌که سنبله‌های بلندتر تعداد سنبلچه‌های بیشتر و در نتیجه تعداد دانه بیشتری دارند. بیشترین طول سنبله (۹/۴ سانتی‌متر) در سطح ۱۰ درصد اختلاط زئولیت به‌دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با ۱۵ و ۲۰ درصد زئولیت نداشت و کمترین طول سنبله (۸/۵ سانتی‌متر) در شاهد و ۲۵ درصد زئولیت به‌دست آمد (جدول ۵). پلات و همکاران (Polat *et al.*, 2004) با مطالعه کاربرد زئولیت طبیعی در کشاورزی بیان‌کردند که این ماده از طریق جلوگیری از هدرروی عناصر غذایی باعث افزایش کارایی کودها شده و در نهایت موجب بهبود رشد گیاه می‌شود. کاربرد قارچ مایکوریزا باعث افزایش طول سنبله (۹/۳ سانتی‌متر) نسبت به عدم کاربرد آن (۸/۵ سانتی‌متر) شد (جدول ۵). اثر مثبت کاربرد قارچ مایکوریزا را می‌توان به افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌واسطه توسعه بیشتر ریشه‌ها در اثر تولید

هورمون‌های گیاهی نسبت داد. قورچیانی و همکاران (Ghorchiani *et al.*, 2011) در پژوهش خود بیش‌ترین طول سنبله را از تیمار مصرف ۳۷/۵ کیلوگرم کود فسفره همراه با تلقیح با قارچ مایکوریزا گزارش‌کردند که حاکی از تاثیر مثبت مایکوریزا بر طول سنبله است.

طول پدانکل

پدانکل یا بالاترین میانگره ساقه به‌عنوان یکی از اندام‌های تامین‌کننده کربن دانه در گیاه تریتیکاله محسوب شده و در بسیاری از تحقیقات ارتباط این اندام با عملکرد و اجزای عملکرد ارزیابی شده است (Ehdaie and Waines, 1996). تجمع مقدار قابل‌توجهی از کربوهیدرات‌های مازاد بر نیاز گیاه در پدانکل و انتقال مجدد آن‌ها به دانه‌های در حال پر شدن یکی از دلایل اهمیت این اندام در تعیین عملکرد دانه بیان شده است (Ahmadi *et al.*, 2008). در شرایط کاربرد قارچ مایکوریزا بیشترین طول پدانکل (۳۶/۲ سانتی‌متر) از اختلاط ۱۰ درصد زئولیت به‌دست آمد و پس از آن با کاهش مواجه شد و در شرایط عدم کاربرد قارچ مایکوریزا با افزایش میزان زئولیت تا سطح ۱۵ درصد طول پدانکل افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۱–ب). زئولیت از طریق افزایش فراهمی طولانی مدت رطوبت و عناصر غذایی به بهبود رشد گیاه کمک می‌کند (Polat, 2004). با افزایش میزان رطوبت قابل دسترس گیاه، معمولاً رشد رویشی گیاه افزایش یافته و با افزایش رشد رویشی، مقدار تولید مواد فتوسنتزی گیاه، تقسیم سلولی و رشد طولی سلول‌های ساقه و میانگره نیز افزایش خواهد یافت و در نتیجه طول پدانکل افزایش می‌یابد.

تعداد سنبله در متر مربع

تعداد سنبله در متر مربع از اجزای اصلی برآورد عملکرد دانه در واحد سطح است. داشتن تعداد بیشتری از سنبله بارور در متر مربع می‌تواند در نیل به عملکرد دانه مطلوب، مهم باشد. تعداد سنبله در متر مربع در اثر کاربرد ۲۰ درصد زئولیت (۴۵۶/۰) در حدود ۳۶ درصد بیشتر از عدم کاربرد زئولیت (۳۰۳/۰) بود هرچند با سطوح ۱۵ و ۲۵ درصد زئولیت از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). زئولیت قادر است مواد غذایی محلول را به‌طور آرام و پیوسته آزاد نموده و با کمترین هدر رفت در دسترس گیاه قرار بدهد. افزودن زئولیت به کود دامی تازه به شکل موثری قابلیت نگهداری نیتروژن و حفظ تعادل نیتروژن به فسفر را افزایش می‌دهد (Lefcourt and Meisinger, 2001). همچنین کاربرد زئولیت در خاک باعث بالا رفتن ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) در خاک می‌شود که این عمل باعث تسهیل جذب مواد غذایی توسط گیاه و در نتیجه بالا رفتن عملکرد گیاه و افزایش راندمان کاربرد کود می‌شود (Allen *et al.*, 1995). به نظر می‌رسد که افزایش جذب نیتروژن در حضور کود دامی و زئولیت، باعث افزایش تولید اسیمیلات توسط گیاه شده که علاوه بر تحریک تولید پنجه‌های بارور بیشتر، مانع از سقط گلچه‌ها می‌گردد. در پژوهشی بیشترین تعداد سنبله در متر مربع در بین سطوح تیمارهای مواد جاذب رطوبت مربوط به تیمار (۴ تن زئولیت+ ۲ تن بنتونیت+ ۱۵ تن کود دامی در هکتار) و کمترین تعداد آن در تیمار مصرف (۲ تن بنتونیت+ ۱۵ تن کود دامی در هکتار) بود (Farmahini, 2011).

همچنین نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که در شراط عدم تلقیح مایکوریزا تعداد سنبله بیشتری (۴۴۶/۸) نسبت به تلقیح مایکوریزا (۳۶۵/۵) به‌دست آمد (جدول ۵). این طور به نظر می‌رسد که تلقیح قارچ مایکوریزا بیشتر از این‌که باعث افزایش تعداد سنبله در متر مربع شود، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک را افزایش داده (شکل ۱–ج و د، جدول ۵) و از این طریق باعث افزایش عملکرد گردیده است.

تعداد دانه در سنبله

در شرایط کاربرد قارچ مایکوریزا با افزایش زئولیت تا سطح ۱۰ درصد تعداد دانه در سنبله افزایش یافت اما پس از آن با کاهش مواجه شد. در شرایط عدم کاربرد قارچ مایکوریزا کمترین تعداد دانه در سنبله مربوط به شاهد بود و با افزایش میزان زئولیت تا سطح ۱۵ درصد تعداد دانه در سنبله افزایش و پس از آن کاهش یافت هرچند که اختلاف این سطح با سطوح ۲۰ و ۲۵ درصد از نظر آماری معنی‌دار نبود (نمودار ۱– ج). این نتایج حاکی از آن است که در صورت عدم تلقیح قارچ مقادیر بیشتری از زئولیت لازم است تا به تعداد بالا دانه در سنبله دست یافت در زمان تلقیح با کمترین میزان زئولیت می‌توان به بیشترین تعداد دانه در سنبله دسترسی پیدا کرد. به نظر می‌رسد که در شرایط عدم تلقیح، کمبود نیتروژن در طول فصل رشد از علل اصلی کاهش تعداد دانه در سنبله تیمار شاهد باشد.

در پژوهشی مصرف زئولیت سبب افزایش ۱۰ درصدی تعداد دانه کلزا شد (Safaie *et al.*,2007) در آزمایشی مشخص شد که کاربرد زئولیت می‌تواند تعداد بذر در طبق گلرنگ را نسبت به شرایط شاهد ۲۵ درصد افزایش دهد (Sibi *et al.*, 2011). تعداد دانه در سنبله در سطوح ۲۰ و ۲۵ درصد اختلاط زئولیت در شرایط تلقیح بیشتر از حالت تلقیح قارچ بود. (شکل۱–ج)

مایکوریزا از طریق نفوذ در حفرات بسیار ریز خاک که برای ریشه‌های مویین قابل دسترس نیست و نیز افزایش سطح جذب مواد غذایی، باعث افزایش توان ریشه‌ای گیاه جهت بهره‌برداری از حجم بیشتری از خاک شده و میزان جذب عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف به‌خصوص فسفر را بهبود می‌بخشد و از این طریق بر وضعیت رشدی گیاه اثرات مثبتی بر جا می‌گذارد (Ghazi *et al.*, 2007). با توجه به این‌که عنصر فسفر در افزایش تعداد دانه در گیاه و نیز انتقال انرژی حاصل از فتوسنتز نقش مهمی دارد لذا افزایش تعداد دانه در اثر کاربرد مایکوریزا را می‌توان به افزایش فراهمی فسفر نسبت داد (Peradi *et al.*, 2003).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات عملکرد و اجزای عملکرد تریتیکاله تحت تاثیر قارچ مایکوریزا و اختلاط زئولیت با کود دامی

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for yield and yield components of triticale influenced by mycorrhiza fungi and zeolite amended manure

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات									
		ارتفاع بوته Plant Height	طول سنبله Spike Length	طول پدانکل Peduncle length	تعداد سنبله در متر مربع Number of spikes per square meter	تعداد دانه در سنبله Grain number in spike	وزن هزار دانه 1000-Grain Weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	پروتئین دانه Protein content of seed
بلوک Block	3	13.38^{ns}	1.25^{*}	0.62^{ns}	4840.00^{ns}	7.47^{ns}	41.71^{ns}	119202.85^{ns}	3061325.3^{ns}	24.11^{ns}	0.20^{ns}
قارچ Fungi	1	436.21^{**}	8.97^{**}	8.45^{ns}	97921.33^{**}	346.15^{**}	15.42^{ns}	161147.36^{ns}	14646665.0^{**}	103.23^{*}	66.24^{**}
زئولیت Zeolit	5	154.57^{*}	5.84^{*}	35.97^{**}	26181.33^{**}	42.46^{*}	161.90^{**}	3483450.45^{**}	27557690.0^{**}	110.92^{**}	6.67^{*}
قارچ*زئولیت Fungi*Zeolit	5	158.29^{*}	4.16^{ns}	20.85^{*}	2510.13^{ns}	130.55^{**}	167.95^{**}	937481.82^{**}	344782.6^{ns}	107.51^{**}	1.62^{ns}
خطا Error	33	49.82	17.98	224.17	2318.54	20.87	35.13	123735.74	1869499.6	18.22	1.65
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.4	8.2	8.2	12.0	14.0	18.4	15.4	16.5	15.4	14.0

*، ** و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار

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

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه یکی از اجزای اصلی عملکرد دانه و ازجمله صفات کمی است که به‌طور گسترده‌ای تحت تاثیر شرایط محیطی است. به‌طوری‌که حصول نسبت قابل‌قبولی از ظرفیت ژنتیکی این صفت، مستلزم وجود شرایط محیطی مناسب در طول دوره رشد و به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه است (Mohammadi *et al.*, 2011). در شرایط کاربرد مایکوریزا بیشترین وزن هزار دانه (۴۱/۹ گرم) مربوط به تیمار ۱۰ درصد زئولیت بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۵ درصد زئولیت نداشت و در شرایط عدم کاربرد مایکوریزا اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف اختلاط زئولیت مشاهده نشد هرچند که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار ۲۰ درصد زئولیت بود (شکل ۱- د).

در رابطه با معنی‌دار شدن اثر متقابل قارچ مایکوریزا و زئولیت می‌توان این گونه تفسیر کرد که با اثرات تشدیدکننده‌ای که بین کمپوست زئولیتی و مایکوریزا در اثر کاربرد تلفیقی آن‌ها ایجاد شده است، این کودها توانسته‌اند با ایجاد یک محیط کشت مناسب و فراهمی عناصر غذایی سبب بهبود فتوسنتز و انتقال و ذخیره بیشتر مواد غذایی در دانه شده و در نهایت وزن هزار دانه را افزایش دهند. همچنین نیتروژن و دیگر عناصر غذایی از کودهای آلی تلفیقی به آهستگی آزاد شده و در طول فصل رشد در اختیار گیاه قرار می‌گیرند و در نتیجه هدر روی کمتر بوده و تا انتهای فصل رشد عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تامین می‌شود. به نظر می‌رسد استفاده از زئولیت با توجه به قابلیت تبادل کاتیونی بالای آن سبب شده است مواد غذایی بیشتری در طول دوره رشد گیاه فراهم آید و متعاقباً باعث افزایش وزن هزار دانه در این تیمار شود. شیرانی راد و همکاران (Shirani rad *et al.*, 2011) بیان نمودند کاربرد زئولیت در خاک اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد داشت و کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت نسبت به عدم کاربرد آن، وزن هزار دانه را ۲۳ درصد افزایش داد.

عملکرد بیولوژیک

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاربرد ۱۰ درصد زئولیت با میزان ۱۱۱۰۷/۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک حاصل شد و عدم کاربرد زئولیت کمترین میزان عملکرد بیولوژیک (۶۳۱۲/۳ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۲۰ و ۲۵ درصد زئولیت نداشت (جدول ۵).

با مصرف زئولیت، به دلیل خاصیت ویژه این مواد در نگهداری طولانی مدت رطوبت در محیط توسعه ریشه، امکان رشد رویشی بیشتر و توسعه سطح برگ‌ها برای گیاه فراهم می‌شود. با توجه به رابطه مستقیمی که بین شاخص سطح برگ و توان فتوسنتزی گیاه وجود دارد هر اندازه سطح برگ گیاه بیشتر باشد به همان اندازه نیز گیاه قادر به استفاده بهتر از تشعشع خورشیدی بوده و توان تولید مواد فتوسنتزی بیشتری پیدا می‌کند (Sharma, 2002). درنتیجه می‌توان انتظار داشت که مصرف زئولیت در کود دامی با تامین آب و مواد مغذی مورد نیاز گیاه موجب افزایش عملکرد نهایی گیاه شود. افزایش عملکرد گیاهان مانند گندم، جو، سیب‌زمینی و غیره در اثر کاربرد زئولیت‌ها گزارش شده است (Rehakova *et al.*, 2004).

تلقیح با قارچ مایکوریزا تاثیر بیشتری (۸۸۳۸/۰ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد بیولوژیک نسبت به عدم تلقیح (۷۷۳۳/۲ کیلوگرم در هکتار) داشت. نتایج نشان داد که تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شده به‌طوری‌که بین گیاهان تلقیح شده با قارچ و گیاهان تلقیح نشده از نظر عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری وجود داشت که با نتایج Beltrano and Ronco (2008) همخوانی دارد.

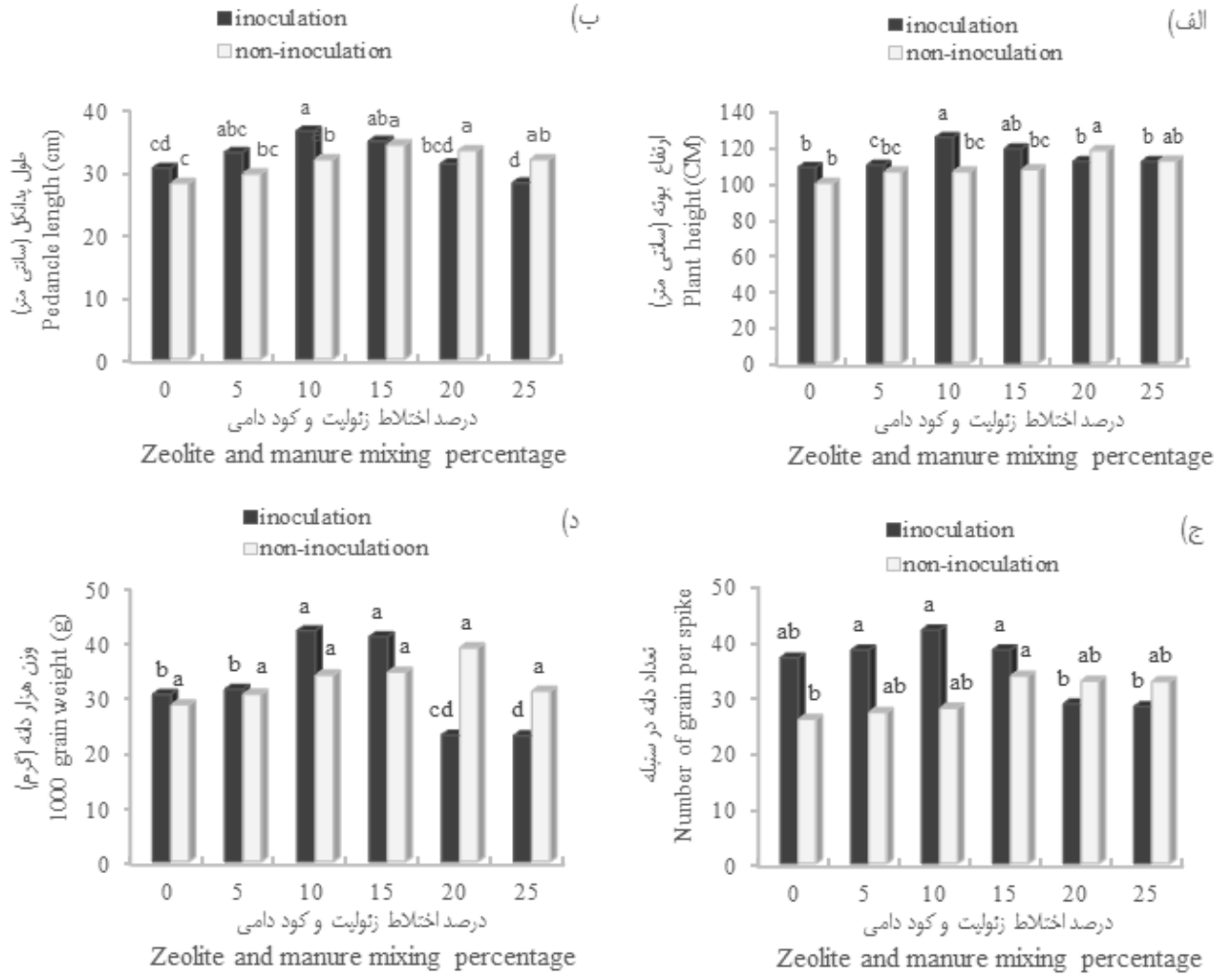
افزایش معنی‌دار مقدار ماده خشک گیاه در حضور قارچ مایکوریزا می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر و یا بهبود جذب آب (Bheemareddy and Lakshman, 2011) در گیاهان مایکوریزایی باشد. بات و همکاران (Bath *et al.*,2005) اظهار داشتند که تلقیح ریشه ماش با مایکوریزا، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک این گیاه شد.

عملکرد دانه

در شرایط تلقیح مایکوریزا بیشترین عملکرد دانه (۳۵۱۰/۷ کیلوگرم در هکتار) به تیمار کاربرد ۱۰ درصد زئولیت و کمترین عملکرد دانه (۱۵۷۹/۶کیلوگرم در هکتار) به عدم کاربرد زئولیت تعلق گرفت. هرچند اختلاف بین عدم کاربرد زئولیت و سطوح ۲۰ و ۲۵ درصد زئولیت معنی‌دار نبود. دلیل اصلی کاهش عملکرد دانه در سطوح بعد از ۱۰ درصد را می‌توان به کاهش مقدار کود دامی در کمپوست در این سطوح نسبت داد. در شرایط عدم کاربرد قارچ مایکوریزا برای افزایش عملکرد دانه به زئولیت بیشتری نیاز بود و با افزایش میزان زئولیت تا ۲۰ درصد عملکرد دانه افزایش یافت (شکل ۲-الف).

تغییر در فراهمی نیتروژن عملکرد گیاه را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. مقدار نیتروژن قابل دسترس در طول فصل رشد، بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی موثر بوده و بنابراین بر عملکرد تاثیر مستقیم دارد (Vakilian and Massah, 2017). به نظر می‌رسد که دلیل اصلی بیشتر بودن عملکرد دانه استفاده از کمپوست فرآوری شده بود که به فراهمی بیشتر نیتروژن تا انتهای فصل انجامیده و رهاسازی تدریجی این عنصر در تطابق بیشتر با نیتروژن در دسترس خاک و نیاز گیاه بود. همچنین استفاده از زئولیت در فرآیند تولید کمپوست سبب ایجاد شرایط تهویه‌ای مناسب‌تر، فعالیت میکروبی بهتر و حفظ عناصر غذایی آن شده و در نتیجه

کیفیت کمپوست را افزایش داد. همچنین به نظر می‌رسد که تلقیح بذر با قارچ مایکوریزا و احتمالاً ایجاد شرایط مناسب جهت جوانه‌زنی باعث استقرار سریع‌تر گیاهچه و بهره‌مندی بیشتر از منابع محیطی توسط گیاه شد. چنین وضعیتی باعث می‌شود که گیاه شرایط مناسب‌تری را جهت پر کردن دانه‌ها داشته باشد که این وضعیت همراه با افزایش عملکرد دانه نمود بیشتری می‌یابد. افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی، با کاربرد توام کمپوست زئولیتی و قارچ مایکوریزا و جذب بیشتر آن‌ها توسط گیاه، در نتیجه افزایش رشد و فتوسنتز با افزایش سطح برگ گیاه از عوامل افزایش عملکرد دانه در نتیجه کاربرد تیمارهای ترکیبی است.



حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد آزمونLSD می‌باشد.

Same letters are not significantly different at p<0.05, using LSD test.

شکل ۱- مقایسه میانگین تاثیر مایکوریزا و سطوح اختلاط زئولیت به روش برش‌دهی فیزیکی از نظر ارتفاع بوته (الف) طول پدانکل (ب) تعداد دانه در سنبله (ج) و وزن هزار دانه (د) تریتیکاله

Figure 1- Mean comparison of the effects of mycorrhiza fungi and zeolite amended manure compost on plant height, peduncle length, number of grain per spike and 1000 grain weight of triticale (physical slicing)

در پژوهشی زئولیت با بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی از طریق قابلیت جذب فسفر، آمونیوم و نیترات و همچنین با کاهش آبشویی و اتلاف کاتیون‌های تبادلی، به‌خصوص پتاسیم سبب افزایش عملکرد دانه گردید (Alberto *et al.*, 2010). در آزمایشی استفاده از زئولیت به مقدار ۳۰ تن در هکتار عملکرد دانه لوبیا قرمز رقم D81083 را افزایش داد (Zamani noori *et al.*, 2013). نتایج مطالعات سایر محققان نیز حاکی از آن است که افزایش مصرف زئولیت موجب افزایش عملکرد گیاه شده‌است (Islam *et al.*, 2011). با توجه به این‌که جهت تولید عملکرد بالا وجود آب کافی ضروری است این ماده (زئولیت) سبب افزایش آب قابل دسترس گیاه و در نهایت سبب افزایش عملکرد شد.

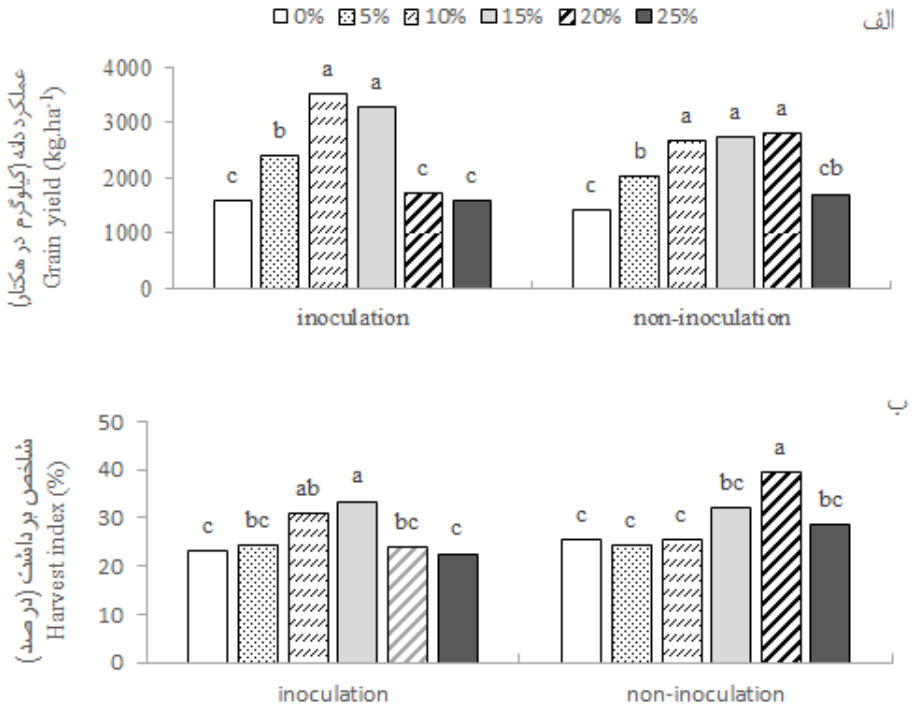
جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی تریتیکاله تحت تاثیر قارچ مایکوریزا و اختلاط زئولیت با کود دامی

Table 5- Mean comparison the effects of mycorrhiza fungi and zeolite amended manure on some characteristics of triticale

پروتئین دانه Protein content of seed (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	تعداد سنبله در مترمربع Number of spikes per square meter	طول سنبله Spike length (cm)	عامل آزمایشی
				زئولیت (درصد وزنی) Zeoit(%)
8.13^{c}	6312.3^{c}	303.00^{c}	8.61^{b}	0
9.20b^{c}	9113.9^{b}	376.50^{b}	8.63^{b}	5
9.68 ^{ab}	11107.0^{a}	400.50^{b}	9.40^{a}	10
10.62^{a}	9239.9^{b}	420.50^{ab}	9.18^{ab}	15
9.12^{bc}	7365.8^{c}	456.00^{a}	9.28^{ab}	20
8.32^{c}	6574.8^{c}	453.50^{a}	8.57^{b}	25
				قارچ Mycorrhiza
8.01^{b}	8838.0^{a}	356.50^{b}	9.38^{a}	تلقیح With inoculation
10.36^{a}	7773.2^{b}	446.83^{a}	8.51^{b}	عدم تلقیح No inoculation

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each column, and for each experimental factor means followed by the same letters are not significantly different at $p<0.05$, using LSD test.



حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد آزمونLSD می‌باشد.

Same letters are not significantly different at $p<0.05$, using LSD test.

شکل ۲- مقایسه میانگین تاثیر مایکوریزا و سطوح اختلاط زئولیت به روش برش‌دهی فیزیکی از نظر عملکرد دانه (الف) و شاخص برداشت (ب) تریتیکاله

Figure 2- Mean comparison of the effects of mycorrhiza fungi and zeolite amended manure compost on grain yield and harvest index of triticale (physical slicing)

شاخص برداشت

شاخص برداشت به نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیستی (وزن خشک کلیه اندام‌های هوایی گیاه) اطلاق می‌شود (Sinclair *et al.*, 1990) در شرایط تلقیح مایکوریزا شاخص برداشت تا سطح ۱۵ درصد وزنی زئولیت (۳۹/۴ درصد) افزایش داشت اما پس از آن با کاهش مواجه شد. در شرایط عدم کاربرد قارچ مایکوریزا بیشترین و کمترین شاخص برداشت به‌ترتیب (۳۹/۴) (۲۵/۴) مربوط به تیمار ۲۰ درصد زئولیت و شاهد بود (شکل ۲–ب). در شرایط وجود زئولیت بالا بودن شاخص برداشت می‌تواند به علت بالا بودن عملکرد دانه باشد که صورت کسر بزرگ می‌شود و در نتیجه میزان شاخص برداشت افزایش می‌یابد. در پژوهشی مشخص شد که مصرف ۹ تن در هکتار زئولیت، شاخص برداشت را نسبت به شاهد، ۵/۰۷ درصد افزایش داد که نشان‌دهنده‌ی نقش مثبت آن در کاهش صدمات ناشی از تنش کمبود آب است. صفت شاخص برداشت نشان‌دهنده چگونگی توزیع شیره پرورده بین اندام‌های رویشی و دانه گیاه است، بنابراین هر عاملی که مقادیر این توزیع را تغییر دهد، باعث تغییر در شاخص برداشت می‌شود (Majidian *et al.*, 2008).

پروتئین دانه

بیشترین میزان پروتئین (۱۰/۶ درصد) مربوط به تیمار ۱۵ درصد زئولیت بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با ۱۰ درصد نداشت و کمترین میزان پروتئین دانه به‌ترتیب مربوط به تیمار صفر و ۲۵ درصد زئولیت بود (جدول ۵). علت افزایش درصد پروتئین در تیمارهای زئولیت می‌تواند به دلیل خاصیت آن در کاهش آبشویی نیتروژن خاک و افزایش غلظت آن در اندام گیاه باشد (Khan *et al.*, 2009). احتمالاً به‌کار بردن زئولیت از طریق جلوگیری از هدر روی نیتروژن در توده کودی توانسته است نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار دهد و لذا درصد پروتئین در تیمارهای به‌کارگیری زئولیت نسبت به تیمارهای بدون زئولیت بالاتر بوده است. همچنین در رابطه با اثر تلقیح مایکوریزا بر درصد پروتئین دانه، در تیمار عدم تلقیح میزان پروتئین دانه بیشتری (۱۰/۳۶ درصد) نسبت به تیمار تلقیح (۸/۰۱ درصد) به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر می‌توان اظهار داشت که مخلوط کردن زئولیت با کود گاوی به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و عناصر غذایی در کود دامی، باعث موفقیت تریتیکاله در تولید عملکرد مناسب (عملکرد دانه و بیولوژیک) شد. اثر متقابل قارچ مایکوریزا و اختلاط زئولیت با کود دامی بر ارتفاع بوته، طول پدانکل، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه معنی‌دار بود. بالاترین میانگین ارتفاع بوته، طول پدانکل، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در تیمار کاربرد قارچ مایکوریزا و ۱۰ درصد زئولیت حاصل شد. اثر اصلی زئولیت و قارچ مایکوریزا بر طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار گردید. بیشترین طول سنبله و عملکرد بیولوژیک از گیاهان تحت تیمار ۱۰ درصد زئولیت حاصل شد. بالاترین تعداد سنبله در متر مربع مربوط به گیاهان تحت تیمار ۲۰ درصد زئولیت بود. همچنین کاربرد قارچ مایکوریزا باعث افزایش طول سنبله، عملکرد بیولوژیک شد. بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۳۵۱۰/۷ کیلو گرم در هکتار از تیمار کاربرد قارچ مایکوریزا و تیمار۱۰ درصد زئولیت به‌دست آمد. لذا با توجه به نتایج آزمایش حاضر کاربرد هم‌زمان قارچ مایکوریزا و کمپوست زئولیتی (با ده درصد زئولیت) در زراعت تریتیکاله توصیه می‌گردد.

References

1. Abdel-Fattah, G. M., Asrar, A. A., Al-Amri, S. M., and Abdel-Salam, E. M. 2014. Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization on the gas exchange, growth and phosphatase activity of soybean (*Glycine max* L.) plants. Photosynthetica 52 (4): 581-588.
2. Ahmadi, A., Judy, M., Tavakoli, A., and Ranjbar, M. 2008. Evaluation of yield and its related morphological traits responses in wheat genotypes under drought stress and irrigation conditions. Journal of Agricultural Science and Technology 12 (46): 155-165.
3. Alberto, C., Oliviera, P., and Melomonte, M. 2010. Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia.
4. Allen, E. R., Ming, D. W., Hossner, L. R., Henninger, D. L., and Galindo, C. 1995. Growth and nutrient uptake of wheat in clinoptinolite-phosphate rock substrste. Agronomy Journal 87: 1052-1059.
5. Bath, S. A., Thenua, O. V. S., Shivakumar, B. G., and Malik J. K. 2005. Performance of summer gram [*Vingaradiate* (L.) Wilczek] as influenced by biofertilizer and phosphorus nutrition. Haryana Journal of Agronomy 21: 203-205.
6. Beltrano, J., and Ronco, M. G. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: effect on growth and cell membrane stability. Brazilian Society of Plant Physiology 20 (1): 29-37.
7. Bheemareddy, V. S., and Lakshman, H. C. 2011. Effeect of salt and acid stress on *Triticum aestivum* inoculated with *Glomus fasciculatum*, Journal of Agricultural Technology 7: 945-956.
8. Cudney, D. W., Wright, S. D., Shulz, T. A., and Reints, J. S. 1992.Weed grain in dairy manure depends on collection site. California Agriculture 46: 31-32.

9. Darzi, M. T. Ghalavand, A., Safedkan, F., and Rajali, F. 2008. Effect of mycorrhiza, vermicompost and bio phosphate fertilizer on the quantity and quality of medicinal essential oil of fennel. Journal of Research in Iranian Herbs and Medicinal Herbs 24 (4): 396-413.
10. Dwairi, I. M. 1998. Conserving toxic ammoniacal nitrogen in manure using natural zeolite tuff: A comparative study. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 6: 126-133.
11. Eghball, B., Wienhold, B., and Gilley, J. 2001. Intensive manure management for improved nutrient utilization and environment quality. Soil and Water Conservation Research 1: 128-135.
12. Ehdaie, B., and Waines, J. G. 1996. Genetic variation for contribution of parenthesis assimilates to grain yield in spring wheat. Jornal if Genetic and Breeding 50: 47-56.
13. Farmahini, M., Mirzakhani, M., and Sajedi, N. A. 2011. Effect of water deficit stress and application of material humidity absorbent on physiological and agronomy traits of Alvand wheat. Thesis of MSc in Agronomy. Faculty of Agriculture & Natural Resources, Islamic Azad University Arak Branch. (in Persian).
14. Fao. 2017. Annual report of Cereal production in the world. Available online at: http://www. Fao.org/faostat.
15. Flowers, M., Peterson, C. J., Petrie, S., Machado, S. and Rhinhart, K. 2007. Planting date and seeding Rate effects on the yield of winter and spring wheat varieties–results from the 2005-2006 cropping year. Agricultural Research 12 (2): 72-74.
16. Ghazi, A., Nehad, A., and Yahia-Othman. 2007. Application of mycorrhizae fungi to improve drought tolerance in two onion cultivars. African Crop Science Society 8: 1-5.
17. Ghorchiani, M., Akbari, Gh. A., Alikhani, H., Allahdadi, A., and Zarei, M. 2011. Mycorrhizal fungi and bacteria arbuscular pseudomonas fluorescence characteristics of chlorophyll content and yield of corn in drought conditions. Journal of Soil and Water 21 (1): 313-319. (in Persian).
18. Ghosh, P. K., Ramesh, P., Bandyopadhyay, K. K., Tripathi, A. K., Hati, K. M., Misra, A. K., and Acharya, C. L. 2004. Comparative effectiveness of London, pp. 347- 364.
19. He, Z. L., Calvert, D. V., Alva, A. K., Li, Y. C., and Banks, D. J. 2002. Clinoptilolite Zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. Journal of Plant and Soil 247: 253-260.
20. Iran Nejad, H., and Shahbazian, N. 2005. Crop Growing. KartouPublishing House. 14: 291-330.
21. Islam, M. R., Hu, Y., Mao, S., Mao, J., Enejid, E., and Xuea, X. 2011. Effectiveness of a water- saving super-absorbent polymer in soil water conservation for corn (*Zea mays* L.) based on eco-physiological parameters. Journal of the Science of Food and Agriculture 91: 1998-2005.
22. Khan, H., Khan A. Z., Khan R., Matsue N., and Henmi, T. 2009. Influence of Zeolite Application on Germination and Seed Quality of Soybean Grown on Allophanic Soil. Research Journal of Seed Science 2 (1):1-8.
23. Lefcourt, A. M., and Meisinger, J. J. 2001. Effect of adding alud and zeolite to dairy Slurry On ammonia Volatilization and Chemical composition. Journal of Dairy Science 849: 1814-1824.
24. Majidian, M., Ghalavand, A., Karimaian, N. F., and Kamgar Haghighi, A. A. 2008. Effects of water stress, nitrogen fertilizer, manure and combination of nitrogen fertilizer and manure on yield, yield components and water use efficiency of SC 704 Corn. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 12 (44): 417-432. (in Persian).
25. Mohammadi, M., Moghaddam, H., Majnoon Hosseini, N., and Khavazi, K. 2011. Effect of chemical and biological phosphours fertilizers on yield and components of two Lentil cultivars under intermittent moisture conditions. Journal of Iranian Crop Science 42 (4): 845-855.
26. Mohammadi, M., Molavi, H., Leyaghat, A. M., and Parsi nejad, M. 2011. The effect of zeolite application on Yield and water use efficiency of corn. Journal of Water Research in Agriculture 27 (1): 75-67.
27. Moradi, M., and Taleshi, K. 2018. Effect of Manure and Biodiversity on Yield and Yield Componets of Gohar Cultivars in Khorramabad Region. PhD dissertation. Ecology of crops. Back to browse issues page 14 (4): 45-56.
28. 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.
29. Peradi, I., Bratek, Z., and Lang, F. 2003. Influence of Arbuscular mycorrhiza and phosphorus supply on polymine content, growth and photosynthesis of Plantago anceolata. Biologia Plantarum 46: 563-569.
30. Philips, J. M., and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society 55: 158-161.
31. Polat, E., Karaca, M., Demir, H., and Naci Onus, A. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit Ornamental. Plant Research. Special ed. 12:183-189.
32. Qudsi, M. 2005. Triticale, a technical instruction for planting, harvesting and harvesting. Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Agricultural Research center for Natural Resources of Khorasan Razavi (Technical Journal, 1513/88).
33. Rehakova, M., Cuvanova, S., Dzivak, M., Rimarand, J., and Gavalova, Z. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural Zeolite of the clinoptilolite type. Current Opinion in Solid State and Materials Science 8 (6): 397-404.

34. Rejali, F., Alizadeh, A., Malakuti, M., and Salehrastin, N. 2007. Effect of mycorrhiza symbiotic relationship arbescular on growth, yield and nutrient uptake in wheat plants under drought stress. Journal of Soil and Water Sciences 21 (2): 241-259.
35. Safaie, R., Shirani Rad, A., Mir Hadi, M. G., and Delkhosh, B. 2007. Zeolite effects on agronomic traits of two canola varieties under drought stress. Plant and Ecosystem. 15: 63-79. (in Persian).
36. Salimi, H., Khalaghani, J., Ghare-daghi, A. A. and Rahimian Mashhadi, H. 2008. Evaluation of weed grain viability in different layers of manure. Journal of pest and Diseases 1: 103-122.
37. Sharma, A. K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. 1nd edition Jodhpur: Agrobios, India, 456p.143-150.
38. Shirani rad, A., Taherkhani, T., Moradi Aghdam, A., Nazari Golshan, A., and Skandari, K. 2011. Effect of amount of Nitrogen and Zeolite on agronomic traits of canola under drought stress. Journal of Crop Ecophysiology 3 (2): 125-135. (in Persian).
39. Sibi, M., Mirzakhanei, M., and Gomaryan, M. 2011. Effect if different levels of water stress, zeolite and salicylic acid on spring safflower. Proceedings of the first national conference on modern topics in agriculture. October 2011. Islamic Azad University Saveh Branch.
40. Sinclair, T. R., Bennett, J. M., and Muchow, R. C. 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. Crop Science 30: 690-693.
41. Taghdisi Heydarian, S. Z., Khorassani, R., and Emami, H. 2018. The Effect of Zeolite, Manure and Vermicompost on Growth and Micronutrients Uptake by Corn. Journal of Water and Soil 32 (4): 763-778.
42. Vakilian, K. A., and Massah, J. 2017. A farmerassistant robot for nitrogen fertilizing management of greenhouse crops. Computers and Electronics in Agriculture 139: 153-163.
43. Yazdani, M., Bahmanyar, M. A., Pirdashti, H., and Esmaili, M. A. 2009. Effect of phosphate solubilization microorganisms and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of cron. International Journal of Life Sciences 1: 2-3.
44. Zahedi, H., Noor-Mohamadi, G. H., Shirani Rad, A. H., Habibi, D., and Mashhadi Akbar Boojar, M. 2009. The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth, yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. World Applied Sciences Journal 7: 255-262.
45. Zamani noori, A. R., Qashghai, A., and Hossini abri, A. 2013. Effect of Zeolite on yield, yield components and protein content of red bean plant. The first national Conference on Sustainable Agriculture Development Using Crop Pattern. Zarandiyeh, Iran. 24 (1): 263-277.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 111-123

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۲۳-۱۱۱

Effect of Zeolite Amended Cattle Manure Compost and Mycorrhiza Fungi Inoculation on Growth and Yield of Triticale (X *Tritico-secale Wittmack*)

M. Makvandi[1], A. Bakhshandeh[2], A. Khodaei Joghan[3*], A. Moshatati[4], M. R. Moradi Telavat[5]

Received: 12-06-2019
Accepted: 02-12-2019

Introduction: One of the basic principles of sustainable agriculture is application of biologic and organic fertilizers in order to reduce chemical inputs consumption and increase soil fertility. Application of manure improves biological activity, physicochemical properties and water holding capacity in soil. Despite these positive effects, increased weed seed bank, outbreak of pests and diseases and accumulation of ammonia in the root of plants are the disadvantages of manure application. Due to the unique attributes of zeolites if they were added at the beginning of composting process can provide ventilatory condition for the activity of aerobic microorganisms and absorbs nutrients, especially nitrogen. Another important solution of improving efficiency of sustainable agriculture ecosystems is use of biofertilizers as the most natural solution to increase biological activity of soil. Symbiosis of plant with mycorrhiza fungi improves nutritional status of plant by increasing water and nutrients absorption. Triticale is a commercial cereal with a vast potential to feed human and animal. This plant can be cultivated in poor soils that are not suitable for wheat production. Finally the aim of this study was to achieve maximum yield of triticale by increasing efficiency of manure compost and simultaneous use of this fertilizer and mycorrhiza.

Materials and Methods: The experiment was conducted at Research field of Agricultural sciences and Natural Resources University of Khuzestan during 2017-2018. Experimental design was a factorial based on randomized complete block design with four replications. The experimental factors included mycorrhizal application at two levels (application and non-application of mycorrhiza), and mixing of zeolite to manure in six levels (0, 5, 10, 15, 20 and 25% by weight of zeolite manure). The size of each experimental unit was 2×2 m^2 and planting density was 400 plants per m^2. Before the sowing, biofertilizer were shaken completely to cover the whole seeds surface after which the seeds were shadow-dried and planted, irrigation was done immediately after seed sowing. Traits included plant height, peduncle length, spike length, spikes per square meter, number of grains per spike, 1000 grain weight, grain yield, biological yield and harvest index were assessed in this experiment.

Results and Discussion: Based on the results, the interaction between mycorrhizal inoculation and mixing of zeolite with cattle manure were significant on plant height, peduncle length, number of grains per spike, 1000 grain weight and grain yield. The main effect of zeolite and mycorrhiza were significant on spike length, number of grains per spike and biological yield. In inoculation condition the most plant height (124.32 cm) was obtained at the level of 10% zeolite, while in non-inoculation condition the highest plant height (106.62) was obtained at the level of 20% zeolite. The number of spikes per square meter at the level of 20% zeolite (456) was 36% higher than the non-use of zeolite treatment (303). Under inoculation conditions, the highest grain yield (3510.7 $kg.ha^{-1}$) was belonged to application of 10% zeolite and the lowest grain yield (1579.69 $kg.ha^{-1}$) was gained from non-application of zeolite treatment. In non-inoculation condition compared to the inoculation treatment, more zeolite was needed to obtain high grain yield and by application of zeolite up to 20 percent gain yield increased.

Conclusions: According to results of the present experiment, application of 10% zeolite in manure compost along with mycorrhiza is recommended to increase the yield of triticale. It can be stated that the addition of zeolite to manure and the use of mycorrhiza fungi is a suitable method for achieving high yield in triticale cultivation.

Keywords Compost amendment, Endophytic fungi, Organic fertilizer, Yield component

1- MSc. Graduated of Agroecology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
3- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
4- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
5- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
(*- Corresponding Author Email: a.khodaei@asnrukh.ac.ir)

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۳۷-۱۲۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 125-137

تأثیر نحوه کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش کم‌آبی بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و اسانس گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

حسین آزادواری[۱]، معصومه نعیمی[۲*]، عبداللطیف قلی‌زاده[۳]، علی نخ‌زری مقدم[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و اسانس گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت شرایط کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی گنبد کاووس در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. سطوح مختلف آبیاری در چهار سطح شامل: عدم آبیاری (دیم)، یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی، یک‌بار آبیاری در مرحله پر شدن دانه و انجام دو بار آبیاری به‌ترتیب در زمان گلدهی و پر شدن دانه و عامل اسید سالیسیلیک در سه سطح شامل: عدم مصرف اسید سالیسیلیک (شاهد)، پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به‌میزان ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر در نظر گرفته شدند. صفات مورد مطالعه در این آزمایش شامل: ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن کپسول در بوته، وزن خشک بوته، درصد اسانس، عملکرد اسانس و در نهایت عملکرد دانه در گیاه بودند. نتایج نشان داد که اثرات برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک بر کلیه صفات مورد ارزیابی به‌جز درصد اسانس و عملکرد اسانس معنی‌دار بود و کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش صفات مورفولوژیکی گردید. بیشترین میزان اسانس (۰/۶۵۵ درصد) و عملکرد اسانس (۷/۹۳ کیلوگرم در هکتار) در سطوح مختلف آبیاری به‌ترتیب مربوط به تیمار آبیاری در مرحله پر شدن دانه و دو بار آبیاری بود. تیمار اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی بیشترین میزان اسانس و عملکرد اسانس را به‌خود اختصاص داد. بیشترین عملکرد دانه (۱۳۳۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط دوبار آبیاری و کمترین عملکرد دانه در تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک به‌میزان ۸۱۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط دیم به‌دست آمد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که با مصرف اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی و دو بار آبیاری می‌توان به عملکرد مطلوب سیاهدانه دست یافت.

واژه‌های کلیدی: اسانس، تنش خشکی، پرایمینگ، عملکرد دانه، محلول‌پاشی

مقدمه

اهمیت گیاهان دارویی و شناسایی نقش حیاتی آن‌ها در تحقق سلامت افراد جامعه، خودکفایی دارویی، ایجاد اشتغال و توسعه اقتصادی بر کسی پوشیده نیست (Khosarvi Pour *et al.*, 2015). گیاهان دارویی دارای خواص منحصر به فرد و ارزشمند بوده و بنابراین تا به امروز از توجه بالایی برخوردار بوده‌اند. اسانس‌های به‌دست آمده از گیاهان به‌عنوان عطر یا طعم‌دهنده در غذاها و نوشیدنی‌ها و همچنین به‌عنوان داروی گیاهی مدت‌هاست که مورد استفاده قرار می‌گیرند (Shibamoto *et al.*, 2010).

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی یک‌ساله متعلق به تیره آلاله[۵]، به ارتفاع ۶۰ تا ۷۰ سانتی‌متر، برگ‌ها به رنگ سبز خاکستری دارای بریدگی‌های نخی، گل‌ها به رنگ سفید تا آبی، میوه به‌صورت برگه (کپسول) می‌باشد که درون آن تعداد زیادی دانه سیاه و معطر قرار دارد. دانه سیاهدانه حاوی ۴۰ درصد روغن و حدود ۱/۴ درصد اسانس می‌باشد. دانه‌های این گیاه از لحاظ دارویی به‌عنوان بادشکن، قاعده‌آور، مسهل، شیرافزا، ضد یبوست و تقویت‌کننده نیروی جنسی در مردان کاربرد دارد. این گیاه علاوه بر خودرو بودن در مناطق مختلف اروپا، غرب آسیا و برخی مناطق ایران به‌صورت زراعی نیز کشت می‌شود (Majnoon Hosseini and Davazdah-Emami, 2007).

تنش خشکی به‌عنوان یک عامل کاهنده رشد و عملکرد گیاهان در بسیاری از مناطق جهان به‌شمار می‌آید که تولید محصولات زراعی را به‌طور جدی محدود کرده و وقوع تغییرات اقلیمی در کل جهان، این

۱- کارشناس ارشد کشاورزی اکولوژیک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
۲- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
۳- دکتری خاک‌شناسی- گرایش شیمی و حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
۴- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
(*- نویسنده مسئول: Email: Naeemi_701@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.82805

5- Ranunculaceae

وضعیت را جدی‌تر ساخته است (Anjum *et al*., 2011). تنش ناشی از کمبود آب سبب کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از ریشه‌ها، سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک، فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها، تعرق، تخریب آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و تغییر در سنتز پروتئین‌ها، تجمع اسیدهای آمینه و کاهش کلروفیل می‌شود (Koocheki *et al*., 2004). بسیاری از گیاهان دارای مکانیسم‌های خاصی جهت مقابله با شرایط کم‌آبی و افزایش کارآیی مصرف آب می‌باشند (Ghaderi *et al*., 2010). از ابتدایی‌ترین پاسخ گیاهان به کمبود آب بسته شدن روزنه‌ها است که جریان دی‌اکسید کربن به کلروپلاست را محدود می‌کند (Medrano *et al*., 2002).

در مطالعات مختلفی تأثیر تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاهان دارویی مورد توجه قرار گرفته است. در یک تحقیق، گزارش شد که با افزایش فواصل آبیاری به‌طور معنی‌داری از ارتفاع بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه گیاه دارویی سیاهدانه کاسته شد (Noroz Poor and Rezvani Moghadam, 2005). در بررسی دیگری مشاهده شد که ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، درصد اسانس و عملکرد اسانس سیاهدانه تحت تنش خشکی کاهش یافت (Rezapor *et al*., 2011). صادق‌زاده اهری و همکاران (Sadeghzadeh Ahari *et al*., 2010) با مطالعه اثر تنش خشکی بر گیاه شنبلیله (*Trigonella foenumgraecum* L.) اظهار داشتند که با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد به شدت تحت تأثیر قرار گرفت. مطالعات روی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) مشخص کرد که در شرایط تنش خشکی، ارتفاع گیاه، تعداد گل و عملکرد دانه این گیاه به شدت کاهش یافت (Moradi Marjaneh and Goldani, 2011).

استفاده از محرک‌های زیستی یکی از راهکارهای کاهش اثرات تنش‌های زیستی و غیر زیستی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول است. اسید سالیسیلیک یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید به گروهی از ترکیبات فنلی تعلق دارد که به‌عنوان یک مولکول مهم برای تعدیل پاسخ‌های گیاه به تنش‌های محیطی شناخته شده است (EL.Tayeb, 2005). اسید سالیسیلیک یک تنظیم‌کننده رشد بیرونی است که روی جوانه‌زنی بذر، بسته شدن روزنه، جذب و انتقال یون، نفوذپذیری غشاء، سرعت رشد و نیز فتوسنتز تأثیر می‌گذارد (Hussein *et al*., 2007).

اسید سالیسیلیک فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان را تنظیم و عوارض جانبی تنش را کاهش داده و می‌تواند اثر نامطلوب تنش را بهبود بخشد (Yavas and Unay, 2016). گیاهان با تغییرات مورفولوژیکی، تغییر در الگوهای نموی و تغییر در متابولیسم سلولی به کم‌آبی سازگار می‌شوند. اسید سالیسیلیک با تجمع پرولین، حفظ فعالیت آنزیم نیترات‌ردکتاز، حفظ محتوای نیتروژن و پروتئین، افزایش غلظت کلروفیل، سرعت فتوسنتز و فعالیت روبیسکو در شرایط کم‌آبی، گیاه را مقاوم می‌نماید (Umebese *et al*., 2009).

نتایج مطالعه مرادی‌مرجانه و گلدانی (Moradi Marjaneh and Goldani, 2011) روی گیاه همیشه بهار نشان داد که استفاده از اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر صفات مورفولوژیکی و زراعی این گیاه داشته و توانسته اثرات مخرب تنش خشکی را به‌میزان قابل توجهی کاهش دهد. گزارش‌های دیگری نیز از نقش اسید سالیسیلیک بر افزایش عملکرد ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) ارائه شده است (Fatma and Gharib, 2007). همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح ۲۷۰۰ میکرو مولار به‌صورت پرایمینگ در بذر لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد به‌میزان ۴۰ درصد در زمان تنش خشکی گردید (Pak Mehr *et al*., 2011).

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی روش‌های مختلف کاربرد و تعیین بهترین نحوه کاربرد اسید سالیسیلیک در سطوح مختلف آبیاری بر برخی پارامترهای مورفولوژیکی، عملکرد دانه و درصد و عملکرد اسانس در گیاه دارویی سیاهدانه بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس با مختصات جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. اقلیم گنبد کاووس بر اساس طبقه‌بندی کوپن اقلیم مدیترانه‌ای گرم و نیمه‌خشک بوده و دارای متوسط بارندگی ساله ۴۵۰ میلی‌متر (بر اساس داده‌های هواشناسی کشور، ۱۳۹۶) می‌باشد (جدول ۱). قبل از اجرای آزمایش برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ درج شده است.

در این پژوهش عامل آبیاری در چهار سطح شامل عدم آبیاری (کشت دیم)، یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی، یک‌بار آبیاری در مرحله پر شدن دانه و دو بار آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه و اسید سالیسیلیک در سه سطح شامل عدم مصرف، پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک (غلظت ۰/۵ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (۰/۵ میلی‌مولار) مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور اعمال تیمارهای مربوط به پرایمینگ بذر، پس از تهیه غلظت مورد نظر، بذرها در محلول اسید سالیسیلیک به‌مدت ۶ ساعت در تاریکی غوطه‌ور شده (Metwally *et al*., 2003) و سپس بذور پس از شستشو توسط آب مقطر در دمای اتاق خشک و در مزرعه کشت شدند.

جدول ۱- داده‌های هواشناسی منطقه گنبد کاووس در طی دوره رشد سیاهدانه (۱۳۹۷-۱۳۹۶)

Table 1- Meteorological data of Gonbad Kavous area during the period of Black cumin growth (2017-2018)

ماه‌های سال Months of the year	میانگین دما (°C)	میانگین رطوبت نسبی (%)	میزان بارندگی Rainfall (mm)
بهمن (Jan)	6.7	77	32.9
اسفند (Feb)	11.7	71	61.7
فروردین (Mar)	15.6	75	40.9
اردیبهشت (Apr)	20.3	68	40.4
خرداد (May)	26.6	59	7.8

جدول ۲- خصوصیات خاک محل آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Table 2- Soil properties of experiment site (depth 0-30 cm)

بافت خاک Soil texture	لای Silt (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	مواد خنثی شونده Self-neutralizing material (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC $ds.m^{-1}$
Silt-Loam	56	13	31	13	0.08	0.78	10.8	7.6	0.96

عملیات کاشت در بهمن سال ۱۳۹۶ به روش جوی و پشته انجام شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها از هم پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کرت‌هایی با ابعاد ۱۲۰ سانتی‌متر در ۲۵۰ سانتی‌متر ایجاد و در داخل هر کرت چهار ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد. در طول اجرای آزمایش هیچ نوع علف‌کش، آفت‌کش و یا قارچ‌کشی استفاده نشد. پس از سبز شدن بذور در مرحله چهار تا شش برگی اقدام به تنک‌کاری در فاصله‌های معین گردید و وجین علف‌های هرز در شش مرحله صورت گرفت. به‌منظور اعمال تیمار محلول‌پاشی، پس از تهیه محلول اسید سالیسیلیک با غلظت مورد نظر محلول‌پاشی در سه نوبت شامل یک‌بار در مرحله قبل از گلدهی، گلدهی (پنجاه درصد گلدهی) و مرحله پر شدن دانه انجام شد.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، هنگامی که رنگ بوته‌ها متمایل به زرد شده ولی هنوز کپسول‌ها شکاف بر نداشته بودند، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی برداشت شده و صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن خشک بوته و وزن کپسول در بوته اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد نهایی، دو ردیف کناری و نیم‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و مابقی بوته‌ها برداشت شد. سپس کپسول‌های کلیه بوته‌ها در سطح برداشتی کوبیده شد و عملکرد دانه در واحد سطح ثبت گردید.

استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر انجام گرفت (Clevenger, 1928). برای این منظور، ۱۰ گرم نمونه بذری از هر کرت توزین و پس از آسیاب کردن مختصر با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر درون بالن مخصوص دستگاه مخلوط گردید و اسانس‌گیری به‌مدت ۳ ساعت انجام گردید. عملکرد اسانس در واحد سطح از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد اسانس محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.1) انجام شد. میانگین صفات مورد مطالعه نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری LSD محافظت‌شده در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند و برای صفاتی که برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک معنی‌دار شد، برش‌دهی سطوح کاربردی اسید سالیسیلیک در سطوح مختلف عامل آبیاری به‌صورت جداگانه انجام شد. نمودارها مورد نیاز نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته سیاهدانه در این پژوهش تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک ($P<۰/۰۱$) و اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک قرار گرفت ($P<۰/۰۵$، جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد که در شرایط دیم، بیشترین ارتفاع بوته (۴۵/۰۱ سانتی‌متر) متعلق به تیمار پرایمینگ بود که با تیمار محلول‌پاشی (۴۳/۱۳ سانتی‌متر) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). در این شرایط آبیاری کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار عدم مصرف اسید

سالیسیلیک (۴۱/۱۶ سانتی‌متر) بود (جدول ۴). در شرایط دیم با کاربرد اسید سالیسیلیک ارتفاع گیاه افزایش یافت (جدول ۴). مشخص شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش تقسیم و تمایز سلول‌ها و افزایش تعداد روزنه‌ها می‌گردد و از طرفی سبب افزایش بافت‌های استحکامی و جلوگیری از تخریب دیواره‌های سلولی می‌شود (Madah *et al*., 2006)، به همین دلیل در این تحقیق کاربرد آن مانع از کاهش شدید ارتفاع ساقه در اثر خشکی شده است. همچنین بر اساس گزارشات موجود به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک بتواند سبب بهبود جذب عناصر غذایی به‌خصوص در شرایط تنش شود که این خود می‌تواند افزایش رشد را به‌همراه داشته باشد (Elizabeth Abreu and Munne-Bosch, 2008).

رضایی چیانه و پیرزاد (Rezaei Chiyaneh and Pirzad, 2014) در آزمایشی اثر کم‌آبی و اسید سالیسیلیک را بر ارتفاع ساقه سیاهدانه بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک حاصل شد و در این تیمار ارتفاع بوته به‌طور میانگین ۱۷ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون اسید سالیسیلیک) افزایش نشان داد. همچنین در پژوهش دیگری مشاهده شد که کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی سبب افزایش ارتفاع گیاه کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) گردید (Shirzad *et al*., 2011).

تعداد شاخه فرعی

نتایج جدول تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک (P<۰/۰۱) و برهمکنش آن‌ها بر تعداد شاخه فرعی بود (P<۰/۰۵، جدول ۳). مقایسه میانگین‌های برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد که در شرایط دیم، بیشترین تعداد شاخه فرعی (۸/۵۳ عدد) متعلق به تیمار محلول‌پاشی بود که با تیمار پرایمینگ (۸/۳۶ عدد) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). کمترین تعداد شاخه فرعی مربوط به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۶/۴۰ عدد) در شرایط دیم بود (جدول ۴). بررسی نتایج برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک بر تعداد شاخه فرعی نشان می‌دهد که در شرایط آبیاری در مراحل مختلف رشدی گیاه، کاربرد اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی سیاهدانه نداشت، ولی تحت شرایط دیم کاربرد اسید سالیسیلیک منجر به افزایش تعداد شاخه فرعی گردید و لذا کاربرد آن تحت شرایط دیم اثرات محسوس‌تری داشت (جدول ۴). نتایج همچنین نشان داد کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پرایمینگ و محلول‌پاشی در شرایط دیم، به‌ترتیب با ۳۰/۶۲ و ۳۳/۲۸ درصد باعث افزایش تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید سالیسیلیک شد (جدول ۴). صفت تعداد شاخه فرعی در بوته از نظر تشکیل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه نقش مهمی دارد.

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات سیاهدانه در سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک

Table 3- Analysis of variance of some black cumin traits at different levels of irrigation and salicylic acid

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean square								
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه‌های فرعی Number of lateral branches	تعداد کپسول در بوته Number of follicle per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per follicle	وزن کپسول در بوته Weight of follicle per plant	وزن خشک بوته Plant dry weight	میزان اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	0.030 ns	1.86 **	0.217 ns	9.16 ns	0.0003 ns	0.354 ns	0.0069 ns	0.398 ns	3350.6 ns
آبیاری (I) Irrigation	3	15.28 **	7.06 **	6.972 **	187.36 **	0.006 **	1.86 **	0.138 **	39.1 **	229451 **
سالیسیلیک اسید (SA) Salicylic acid	2	18.26 **	6.57 **	0.954 **	409.42 **	0.006 **	6.50 **	0.054 **	14.69 **	74621 **
I×SA	6	1.46 *	0.581 *	1.63 **	67.42 **	0.001 **	0.501 **	0.0096 ns	1.14 ns	8876.8 **
خطا Error	22	0.480	0.188	0.458	3.73	0.0002	0.154	0.0054	0.761	995.3
ضریب تغییرات CV (%)		1.5	4.9	5.4	2.2	4.6	6.9	13.8	14.6	2.9

ns، **، * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد

ns, * and ** not significant, significant at 0.01 and 0.05 probability level, respectively.

جدول ٤- برش‌دهی اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات گیاه سیاهدانه

Table 4- Slice interaction effects of different levels of irrigation and salicylic acid on some black cumin traits

تیمارها Treatments		ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه-های فرعی Number of lateral branches	تعداد کپسول در بوته Number of follicle per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per follicle	وزن کپسول در بوته Weight of follicle per plant (g)	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg. ha^{-1})
سطح آبیاری Irrigation level	اسید سالیسیلیک Salicylic acid							
دیم (Dry farming)	S_1	41.16b	6.40b	10.63b	71.28b	0.274b	4.50c	817c
	S_2	45.1a	8.36a	12.83a	91.08a	0.351a	5.62a	935b
	S_3	43.53ab	8.53a	11.36b	86.73a	0.374a	5.02b	1006a
LSD 5%		2.03	1.53	1.15	6.17	0.054	0.28	51.14
یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی (Once irrigation at flowering stage)	S_1	46.01a	7.70a	11.73b	80.36b	0.330a	5.14b	873b
	S_2	46.75a	9.16a	14.33a	87.32ab	0.356a	6.57a	1063a
	S_3	45.76a	9.06a	12.30ab	92.73a	0.377a	5.34ab	1164a
LSD 5%		2.06	2.05	2.24	10.24	0.047	1.28	156
یک‌بار آبیاری در مرحله پر شدن دانه (Once irrigation at grain filling stage)	S_1	43.93a	8.86a	12.20a	84.37c	0.380a	5.36a	1092a
	S_2	46.90a	10.16a	12.40a	93.52b	0.410a	6.10a	1151a
	S_3	44.65a	9.43a	10.90b	99.35a	0.391a	5.59a	1171a
LSD 5%		3.12	1.85	1.15	4.55	0.092	1.95	90.16
دو بار آبیاری به‌ترتیب در مرحله گلدهی و پر شدن دانه (Double irrigation at flowering and grain filling stages)	S_1	44.51a	9.33a	13.93a	91.83a	0.370a	5.36b	1265b
	S_2	46.56a	10.30a	14.46a	92.65a	0.369a	7.62a	1290ab
	S_3	44.90a	9.50a	12.13a	92.42a	0.388a	5.49b	1330a
LSD 5%		3.28	1.62	4.024	6.93	0.045	1.68	41.22

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌داری نیستند. S1، S2 وS3 به‌ترتیب عدم مصرف اسید سالیسیلیک، پرایمینگ و محلول‌پاشی می‌باشد.

In each column, averages that have at least one common alphabet, do not differ significantly from the LSD test at 5% probability level. S1, S2 and S3, respectively, Non application of salicylic acid, Priming and foliar spraying treatments.

نتایج نشان می‌دهد که تحت شرایط دیم تیمار گیاهان با اسید سالیسیلیک تأثیر بیشتری بر تعداد شاخه‌های فرعی دارد و با توجه به این‌که اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک ماده شبه هورمونی شناخته شده است، به‌نظر می‌رسد این ماده با تأثیر بر مریستم‌های رویشی و زایشی موجب افزایش تعداد شاخه‌های فرعی می‌گردد. در همین راستا گزارش شده است که اسید سالیسیلیک وضعیت هورمونی گیاه را متعادل نموده و باعث افزایش مقدار اکسین و سیتوکنین می‌گردد و از این طریق به افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه کمک می‌کند. نتایج این پژوهش با نتایج فرجام‌فر و همکاران (Farjamfar *et al*., 2014) روی گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) مطابقت داشت. در تحقیقی عنوان شده است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۱ میلی‌مولار توانست بیشترین تعداد ساقه جانبی در گیاه ریحان را به‌خود اختصاص دهد (Ramrodi and Khamar, 2013).

تعداد کپسول در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد کپسول در بوته نشانگر اثر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بود (P<۰/۰۱، جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل مشخص کرد که بیشترین تعداد کپسول در بوته از تیمار پرایمینگ (۱۴/۴۶ عدد) در شرایط دو بار آبیاری به‌دست آمد که با تیمار محلول‌پاشی و عدم مصرف اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد (جدول ۴). کمترین تعداد کپسول در بوته متعلق به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۱۰/۶۳ عدد) در شرایط دیم بود (جدول ۴). در شرایط کشت به صورت دیم، بیشترین تعداد کپسول متعلق به تیمار پرایمینگ (۱۲/۸۳ عدد) بود (جدول ۴). همچنین نتایج اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد که در شرایط دیم با کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پرایمینگ، تعداد کپسول نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی و عدم مصرف اسید سالیسیلیک به‌ترتیب به‌میزان ۱۲/۹۴ و ۲۰/۶۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). با توجه به نتایج می‌توان اظهار کرد که اسید سالیسیلیک توانسته است تأثیرات ناشی از تنش خشکی را تعدیل کند که این امر حاکی از تأثیر مهم اسید سالیسیلیک در افزایش صفات کمی از جمله تعداد کپسول در گیاه دارویی سیاهدانه است. در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی، بیشترین تعداد کپسول متعلق به تیمار

پرایمینگ (۱۴/۳۳ عدد) بود که با تیمار محلول‌پاشی (۱۲/۳۰ عدد) اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۴).

گزارش شده است در شرایط تنش خشکی، تعداد کپسول در سیاه‌دانه به‌دلیل کاهش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده به‌طور معنی‌دار کاهش می‌یابد (Noroz Poor and Rezvani Moghadam, 2005). کاربرد اسید سالیسیلیک می‌تواند از طریق پایداری غشاء، هدایت روزنه‌ای و باز نگه‌داشتن روزنه‌ها از تجمع یون‌های سمی جلوگیری نماید (Hayat *et al*., 2010) و در نهایت با افزایش در سرعت فتوسنتز و مواد فتوسنتزی از کاهش تعداد کپسول در بوته بکاهد. در این پژوهش با افزایش شدت تنش به‌علت کاهش رشد گیاه تعداد کپسول‌های کمتری در گیاه تشکیل شد. از طرفی با کاربرد اسید سالیسیلیک به‌ویژه به‌صورت پرایمینگ اثر سوء تنش آبی کاهش یافت و باعث افزایش تعداد کپسول‌های بیشتری نسبت به‌حالت محلول‌پاشی و عدم مصرف اسید سالیسیلیک شد. بنابراین می‌توان گفت که اسید سالیسیلیک با تأمین نیاز رطوبتی و کاهش تبخیر و تعرق در گیاه، باعث توانایی تولید و رشد بهتر در گیاه شده و تعداد کپسول در گیاه نیز افزایش می‌یابد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al*., 2014) روی گیاه گلرنگ مطابقت دارد.

تعداد دانه در کپسول

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بر تعداد دانه در کپسول اثر معنی‌داری داشته است (P<۰/۰۱، جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج اثرات متقابل نشان داد که بیشترین تعداد دانه در کپسول (۹۹/۳۵ عدد) به تیمار محلول‌پاشی در شرایط آبیاری در مرحله پر شدن دانه اختصاص داشت و کمترین تعداد دانه در کپسول متعلق به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۷۱/۲۸ عدد) در شرایط دیم بود، به‌طوری که در این شرایط بالاترین تعداد دانه در کپسول (۹۱/۰۸ عدد) را تیمار پرایمینگ به‌خود اختصاص داد که با تیمار محلول‌پاشی (۸۶/۷۳ عدد) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

بیشترین تعداد دانه در کپسول در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی، مربوط به تیمار محلول‌پاشی (۹۲/۷۳ عدد) که با تیمار پرایمینگ (۸۷/۳۲ عدد) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین تعداد دانه در کپسول متعلق به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۸۰/۳۶ عدد) که با تیمار پرایمینگ در یک گروه از لحاظ آماری قرار گرفتند (جدول ۴). احتمالاً در این آزمایش اسید سالیسیلیک توانسته با افزایش میزان فتوسنتز باعث افزایش تعداد دانه در کپسول نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک شود. همچنین برخی محققین گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش کربوهیدرات‌های قابل دسترس برای ارسال به دانه‌های در حال تشکیل می‌گردد که در نتیجه مقدار سقط جنین کاهش و تعداد دانه تشکیل شده در کپسول افزایش می‌یابد (Harris and Mottaram, 2004). اسفینی‌فراهانی و همکاران (Esfini Farahani *et al*., 2012) گزارش کردند، کاربرد ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک توانسته است از طریق تنظیم فرآیند گلدهی، تعداد دانه در چتر زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) را به‌طور میانگین ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد. افزایش تعداد دانه در باقلا (*Vicia faba* L.) با مصرف اسید سالیسیلیک گزارش شده است (Shekari *et al*., 2010).

وزن کپسول در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن کپسول در بوته تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک قرار گرفت (P<۰/۰۱، جدول ۳). اثر متقابل این صفت نشان داد که بیشترین وزن کپسول از تیمار پرایمینگ (۰/۴۱ گرم) در شرایط آبیاری در مرحله پر شدن دانه مشاهده شد (جدول ۴). کمترین وزن کپسول مربوط به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۰/۲۷ گرم) در شرایط دیم به‌دست آمد، به‌طوری که در این شرایط آبیاری بیشترین وزن کپسول متعلق به تیمار محلول‌پاشی (۰/۳۷ گرم) بود که نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک ۳۶/۴۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴).

وزن خشک بوته

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر صفت وزن خشک گیاه حاکی از آن بود که تمامی اثرات ساده و متقابل بر این صفت معنی‌دار بودند (P<۰/۰۱، جدول ۳). با توجه به نتایج گزارش شده در جدول ۴، بیشترین وزن خشک بوته متعلق به تیمار پرایمینگ (۷/۶۲ گرم) در شرایط دو بار آبیاری بود و کمترین وزن خشک بوته را تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۴/۵۰ گرم) در شرایط دیم به‌خود اختصاص داد. با توجه به این‌که در این آزمایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط دیم کاهش یافتند، در نتیجه وزن خشک گیاه هم کاهش پیدا کرد. کاربرد اسید سالیسیلیک تأثیر مثبت و معنی‌داری بر این صفت داشت، به‌گونه‌ای که با کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پرایمینگ و محلول‌پاشی در شرایط دیم، وزن خشک بوته به‌ترتیب ۲۴/۸۸ و ۱۱/۵۵ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک افزایش یافته است (جدول ۴). در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی بیشترین وزن خشک گیاه (۶/۵۷ گرم) متعلق به تیمار پرایمینگ بود که با تیمار محلول‌پاشی (۵/۳۴ گرم) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). بیات و همکاران (Bayat *et al*., 2011) به این مسئله اشاره کردند که اسید سالیسیلیک از راه حفظ سلامت ریشه‌ای در برابر اثرات مضر تنش خشکی میزان رشد آن را افزایش داد و باعث جذب بیشتر آب و مواد

غذایی شده که در نهایت منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود. ایشان همچنین به افزایش آنزیم روبیسکو و به‌دنبال آن بهبود فتوسنتز و افزایش سطح برگ در اثر مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط خشکی اشاره کردند.

گزارشاتی مبتنی بر تأثیر مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک بر ماده خشک تولیدی سیاهدانه (Rezaei Chiyaneh and Pirzad, 2014) و بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) توسط سایر محققین ارائه شده است (Pourakbar and Abedzadeh, 2015).

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد دانه سیاهدانه نیز حاکی از تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آن‌ها بود (P<۰/۰۱، جدول ۳). همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان عملکرد دانه (۱۳۳۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی در شرایط دو بار آبیاری به‌دست آمد و کمترین میزان عملکرد دانه از تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۸۱۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط دیم حاصل شد. مشخص شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک از طریق تأثیر مثبت بر فرآیند فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی، تلقیح گل‌ها، جلوگیری از سقط شدید گل‌ها و افزایش دوره پر شدن دانه‌ها موجب بهبود عملکرد دانه می‌شود (Sadeghi Pour, 2011). نتایج همچنین نشان داد که اسید سالیسیلیک توانست تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه در شرایط دیم ایجاد کند به‌طوری که کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی و پرایمینگ، باعث افزایش به‌ترتیب ۲۳/۰۸ و ۱۴/۳۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک شد (جدول ۴). افزایش عملکرد دانه در شرایط دوبار آبیاری و همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک را می‌توان به افزایش فتوسنتز و ماده‌سازی نسبت داد که در این شرایط مواد فتوسنتزی و مواد غذایی بیشتری از برگ به دانه انتقال یافته و باعث افزایش عملکرد دانه شده است. محققین اظهار داشتند که اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش اثر مثبت دارد و در واقع، از طریق توسعه واکنش‌های ضدتنشی، نظیر افزایش تجمع پرولین، باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع تنش می‌شود (Wen *et al*., 2005).

اسفینی‌فراهانی و همکاران (Esfini Farahani *et al*., 2012) گزارش کردند که غلظت ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک عملکرد دانه زیره سبز را به‌میزان ۱۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. همچنین بالجانی و شکاری (Baljani and Shekari, 2012) در گیاه گلرنگ دریافتند که در شرایط تنش خشکی، اسید سالیسیلیک با افزایش تراکم کلروفیل در واحد سطح برگ، حفظ منبع فتوسنتزکننده در طول دوره رشدی، دریافت انرژی تابشی خورشید و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت مقصد (دانه) توانست عملکرد دانه گیاه گلرنگ را افزایش دهد.

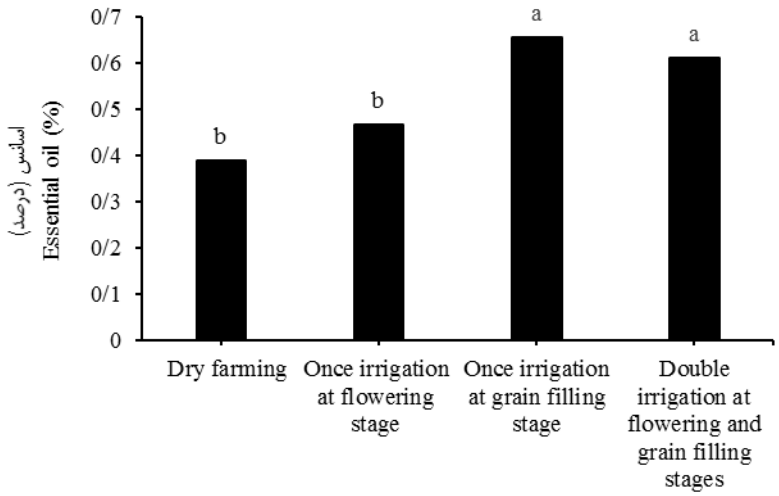
درصد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر درصد اسانس معنی‌دار بود (P<۰/۰۱)، ولی برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک بر این صفت اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان اسانس در تیمار آبیاری در مرحله پر شدن دانه بالاترین مقدار (۰/۶۵۵ درصد) را داشته که با تیمار دو بار آبیاری (۰/۶۱۱ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱). کمترین میزان اسانس مربوط به تیمار دیم (۰/۳۸۸ درصد) بود، که با تیمار آبیاری در مرحله گلدهی (۰/۴۶۶ درصد) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱). افزایش محتوای اسانس دانه تحت شرایط آبیاری در مرحله پر شدن دانه و دو بار آبیاری نسبت به تیمار دیم به‌ترتیب ۶۸/۸۱ و ۵۷/۴۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱).

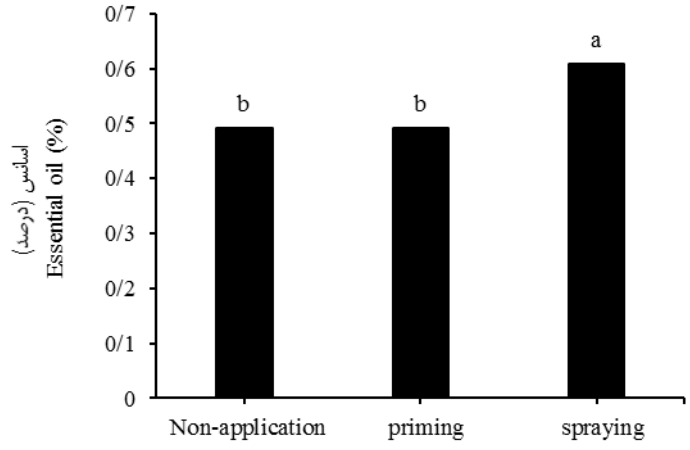
نکته‌ای که باید مورد اشاره قرار گیرد این است که همیشه با بالا رفتن میزان تنش، درصد اسانس نمی‌تواند افزایش یابد. چرا که در تنش‌های شدید، گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله پرولین، گلیسین‌ـبتائین و ترکیبات قندی همانند ساکاروز، فروکتوز و فروکتان می‌کند که بتواند پتانسیل آب سلولی را کاهش دهد (Rezaei Chiyaneh, 2012). گیاهان بسته به گونه گیاهی و ژنوتیپ به تنش خشکی واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند. بنابراین تنظیم و مدیریت آب در گیاهان دارویی و معطر از نظر تولید اسانس حائز اهمیت زیادی است. ربیی و همکاران (Rebey *et al*., 2012) در مطالعه اثر تنش خشکی (بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید) روی زیره سبز نشان دادند که گیاهان تحت تنش متوسط نسبت به دو تیمار بدون تنش (شاهد) و تنش شدید از اسانس بالاتری برخوردار بودند. در بررسی نوروزپور و رضوانی‌مقدم (Noroz Poor and Rezvani Moghadam, 2006) و رضاپور و همکاران (Rezapor *et al*., 2011) در سیاهدانه با افزایش تنش کم‌آبی، درصد اسانس به‌طور معنی‌دار کاهش یافت که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد.

نتایج همچنین نشان داد بیشترین میزان اسانس از تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (۰/۶۰۸ درصد) حاصل گردید که افزایش ۲۳/۸۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد را به دنبال داشت و حائز رتبه برتر در جدول مقایسه میانگین‌ها گردید (شکل ۲). نتایج حاکی از تأثیر مثبت محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در افزایش صفات کیفی از جمله مقدار اسانس در گیاه دارویی سیاهدانه است. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با خنثی کردن رادیکال‌های آزاد و فرم‌های فعال اکسیژن تولید شده در اثر تنش خشکی در

گیاهان، سبب افزایش مقدار اسانس در گیاه دارویی سیاهدانه می‌شود (Kabiri, 2011).



شکل ۱- مقایسه میانگین درصد اسانس تحت تأثیر آبیاری
Figure 1- Mean comparison of Essential oil percentage affected by irrigation



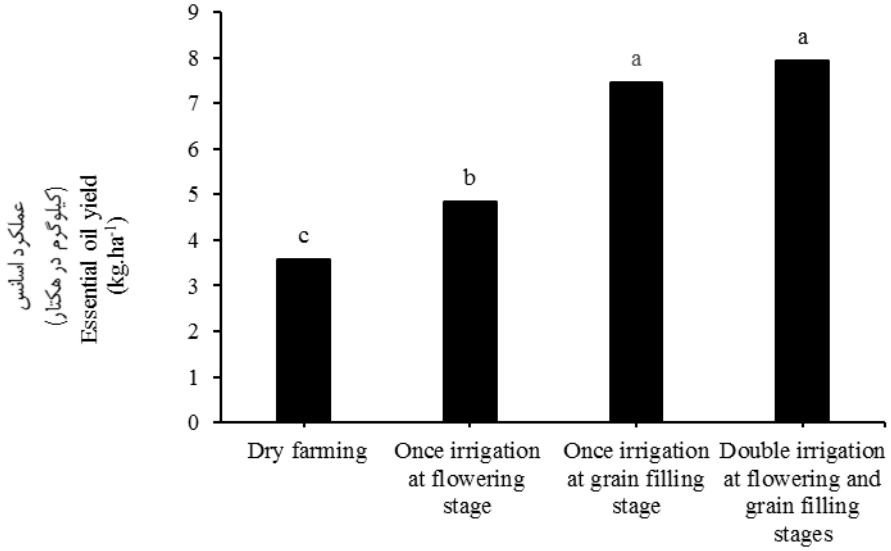
شکل ۲- مقایسه میانگین درصد اسانس تحت تأثیر اسید سالیسیلیک
Figure 2- Mean comparison of Essential oil percentage affected by salicylic acid

عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر اثرات ساده سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر عملکرد اسانس گیاه دارویی سیاهدانه معنی‌دار بود (P<۰/۰۱، جدول ۳)، ولی اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بر این صفت معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد اسانس در واحد سطح از تیمار دو بار آبیاری (۷/۹۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که با تیمار آبیاری در مرحله پر شدن دانه (۷/۴۶ کیلوگرم در هکتار) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳). کمترین میزان عملکرد اسانس را تیمار دیم (۳/۵۸ کیلوگرم در هکتار) به‌خود اختصاص داد، به‌طوری که تیمار آبیاری در مرحله گلدهی نسبت به تیمار دیم ۳۵/۴۷ درصد باعث افزایش عملکرد اسانس گردید (شکل ۳).

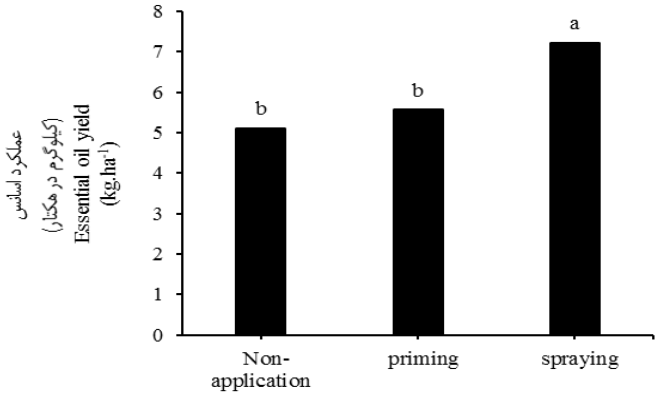
نتیجه آزمایشات قبلی انجام گرفته روی گیاهان دارویی حاکی از آن است که کاهش عملکرد اسانس در نتیجه کاهش رطوبت خاک ممکن است ناشی از اثر زیان‌بار تنش آبی بر رشد، پیکره رویشی و عملکرد گیاه باشد. با افزایش فواصل آبیاری، درصد و عملکرد دانه سیاهدانه کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش عملکرد اسانس می‌گردد (Noroz Poor and Rezvani Moghadam, 2006). گزارش شده، تنش کم‌آبی عملکرد را در گیاه شوید (*Anethum*

graveolens L.) کاهش داده است که نتیجه به‌دست آمده از این تحقیق را تأیید می‌کنند (Andlibi, 2009).



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد اسانس تحت تأثیر آبیاری
Figure 3- Mean comparison of Essential oil yield affected by irrigation

نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد اسانس (۷/۲۱ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به‌دست آمد (شکل ۴). کمترین میزان عمکرد اسانس را تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۵/۱ کیلوگرم در هکتار) به‌خود اختصاص داد که با تیمار پرایمینگ (۵/۵۶ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴). تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بیشترین عملکرد اسانس در واحد سطح را تولید کرد و نسبت به تیمارهای عدم مصرف و پرایمینگ اسید سالیسیلیک به‌ترتیب ۴۱/۳۷ و ۲۹/۶۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۴). فاطما و غریب (Fatma and Gharib, 2007) گزارش کردند که اسید سالیسیلیک با افزایش عملکرد پیکر رویشی و درصد اسانس ریحان منجر به افزایش عملکرد اسانس گردید.



شکل ٤- مقایسه میانگین عملکرد اسانس تحت تأثیر اسید سالیسیلیک
Figure 4- Mean comparison of Essential oil yield affected by salicylic acid

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد اسید سالیسیلیک باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی در تمام شرایط آبیاری گردید و کاربرد آن به‌ویژه به‌صورت محلول‌پاشی منجر به افزایش عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس گردید. بر اساس گزارشات موجود، کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط کمبود آب می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی منجر به بهبود فتوسنتز گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه و اسانس گردد. با توجه به این‌که بیشترین عملکرد دانه و اسانس از کاربرد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به‌دست آمد، لذا با توجه به معضل کم‌آبی در کشور می‌توان روش کاربرد محلول‌پاشی

اسید سالیسیلیک به همراه دوبار آبیاری را به‌عنوان راهکاری جهت کاهش اثرات تنش خشکی و تولید مطلوب در کشت سیاهدانه توصیه نمود.

References

1. Alizadeh, M., Balouchi, H. R., and Movahhedi Dehnavi, M. 2014. Effect of zinc sulfate and salicylic acid foliar application on morphological characteristics and yield of safflower under drought stress. Journal of Oil Plant Production 1 (2): 41-52. (in Persian with English abstract).
2. Andlibi, B. 2009. Changes in the amount and composition of essential oil in Iran (*Anethum graveolens* L.) during growth and development under limited irrigation conditions. Ph.D. in Agriculture, Faculty of Agriculture, Tabriz University. (in Persian).
3. Anjum, S., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., and Wang, L. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. Africa Agriculture Journal 6 (9): 2026-2032.
4. Baljani, R., and Shekari, F. 2012. Effects of priming by salicylic acid on yield and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorus* L.) plants under end season drought stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 22 (1): 103-87. (in Persian with English abstract).
5. Bayat, H., Mardani, H., Arouie, H., and Salahvarzi, Y. 2011. Effect of salicylic acid on morphological and physiological characteristics and cucumber seedlings (*Cucumis sativus cv. Super Dominus*) under drought stress. Journal of Plant Production 18 (3): 73-63. (in Persian with English abstract).
6. Clevenger, J. F. 1928. Apparatus for determination of essential oil. Journal of the American Pharmacists Association 17: 346-349.
7. EL-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation 45: 215-225.
8. Esfini Farahani, M., Paknejad, F., Bakhtiari Moghtab, M., Alavi, S., and Hassibi, A. R. 2012. Effect of different application methods and rates of salicylic acid on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Agronomy and Plant Breeding 8: 69-77. (in Persian).
9. Elizabeth Abreu, M., and Munne-Bosch, S. 2008. Salicylic acid may be involved in the regulation of droughtinduced leaf senescence in perennials: A case study in field-grown *Salvia officinalis* L. plants. Environmental and Experimental Botany 64: 105-112.
10. Farjamfar, S., Rokhzadi, A., Mohammadi, H., and Ghale Shakhati, S. 2014. Effect of cut irrigation tension and foliar application of salicylic acid on growth, yield and yield components of three safflower cultivars. Crop Physiology Journal, Islamic Azad University, Ahwaz Branch 23 (6): 112-99. (in Persian).
11. Fatma, A. E., and Gharib, L. 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activites and oil content of basil and majoram. International Journal of Agriculture and Biology 4: 485-492.
12. Ghaderi, N., Talayi, A., Ebadi, A., and Lesani, H. 2010. Effect of drought stress and reirrigation on some physiological properties of grape varieties sahany, Farokhi and white currants. Journal of Horticultural Science 41 (2): 179-188. (in Persian with English abstract).
13. Harris, D., and Mottaram, A. 2004. Practical hydration of seed of tropical crops: on-farm seed priming. In "seed science and technology: Trends and Advances.
14. Hayat, Q., Hayata, S. H., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment. Environmental and Experimental Botany 68: 14-25.
15. Hussein, M. M., Balbaa, L. K., and Gaballah, M. S. 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 3: 321-328.
16. Kabiri, R. 2011. Effect of salicylic acid on the reduction of drought-induced oxidative stress in hydroponic culture of black cumin. Faculty of Agriculture Shahid Beheshti University of Kerman. Master's thesis. (in Persian).
17. Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M., and Azizi, G. 2004. The effects of water stress and defoliation on some of quantitative traits of *Zataria multiflora*, *Ziziphora clinopodioides*, *Thymus vulgaris* and *Teucrium polium*. Iranian Journal of Field Crops Research 2 (1): 89-105. (in Persian with English abstract).
18. Khosarvi Pour, B., Syahpoush, A. R., and Mehmadi Karbalaii, Z. 2015. Importance of cultivation of medicinal plants and their production in agriculture. The first national conference on medicinal herbs and herbal medicines. Tehran. Center for Sustainable Development Science and Technology of Farzin. (in Persian).
19. Madah, S., Falahyan, F., Sabakhporand, F., and chalpyan, H. 2006. Effect of salicylic acid on yield and yield components and instruction of chickpea plant. Journal Plant Science 2 (1): 61-70. (in Persian).
20. Majnoon Hosseini, N., and Davazdah-Emami, S. 2007. Crops and the production of medicinal plants and spices. Tehran University Publications 116p. (in Persian).
21. Medrano, H., Escolana, J. M., Bota, J., Gulias, J., and Flexas, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C_3 plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. Annals of Botany 89: 895-905.
22. Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M., and Dietz, K. J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Physiology and Biochemistry of Plant 132: 272- 281.

23. Moradi Marjaneh, E., and Goldani, M. 2011. Evaluation of different salicylic acid levels on some growth characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under limited irrigation. Environmental Stresses in Crop Sciences 4 (1): 33-45. (in Persian).
24. Noroz Poor, Gh., and Rezvani Moghadam, P. 2005. Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 3 (2): 305-314. (in Persian).
25. Noroz Poor, Gh., and Rezvani Moghadam, P. 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essences percentage of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Horticulture and Plant Research 73: 133-138. (in Persian with English abstract).
26. Pak Mehr, A., Rastgoo, M., Shekari, F., Saba, J., Vazayefi, M., and Zangani, A. 2011. Effect of salicylic acid priming on yield and yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit at reproductive stage. Iranian Journal of Pulses Research 2 (1): 53-64. (in Persian with English abstract).
27. Pourakbar, L., and Abedzadeh, M. 2015. Investigating the effects of magnetic field and salicylic acid on *Melissa officinalis* (*Lamiaceae*) under UV-B stress. Nova Biologica Reperta 1 (2): 40-56. (in Persian with English abstract).
28. Ramrodi, M., and Khamar, A. R. 2013. Interaction effects of salicylic acid spraying and different irrigation levels on some quantity and quality traits, and osmotic regulators in basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology 1 (1): 19-32. (in Persian).
29. Rebey, B. I., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., and Marzouk, B. 2012. Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Industrial Crops and Products 36: 238-245.
30. Rezaei Chiyaneh, E. 2012. Effect of different irrigation treatments on the accumulation of essential oils, its compounds and some ecophysiological traits in fennel. Ph.D. in Agriculture, Agricultural University, Tabriz University. (in Persian).
31. Rezaei Chiyaneh, E., and Pirzad, A. R. 2014. Effect of salicylic acid on yield, component yield and essential oil of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. Iranian Journal of Agricultural Research 12 (3): 427-437. (in Persian).
32. Rezapor, A. R., Heidari, M., Galavi, M., and Ramrodi, M. 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (3): 384-396. (in Persian with English abstract).
33. Sadeghi Pour, A. 2011. Study of biochemical and physiological reactions of beans affected by water stress and treatment with salicylic acid. Master thesis. Islamic Azad University, Rey campus, Iran. (in Persian).
34. Sadeghzadeh-Ahari, D., Hassandokht, M. R., Kashi, A. K., Amri, A., and Alizadeh, K. H. 2010. Genetic variability of some agronomic traits in the Iranian fenugreek landraces under drought stress and non-stress conditions. African Journal of Plant Science 4: 12-20. (in Persian).
35. Sepehri, A., Abasi, R., and Karami, A. 2014. Effect of drought stress and salicylic acid on yield and yield components of bean genotypes. Journal of Crops Improvement 17 (2): 503-516. (in Persian).
36. Shekari, F., Pakmehr, A., Rastgoo, M., Saba, J., Vazayefi, M., and Zangani, E. 2010. Salicylic acid priming effects on some morphological traits of cowpea cultivar (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit at podding stage. Journal of Agricultural Sciences 4 (1): 26-10. (in Persian).
37. Shibamoto, K., Mochizuki, M., and Kusuhara, M. 2010. Aroma therapy in antiaging medicine. Anti-Aging Medicine 7 (6): 55-9.
38. Shirzad, S., Hossein, A., and Daliry Moghadam, R. 2011. Influence of drought stress and interaction with salicylic acid on medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seedling growth. Botany Research Journal 4: 35-40. (in Persian).
39. Umebese, C. E., Olatimilehin, T. O., and Ogunsusi, T. A. 2009. Salicylic acid protects nitrate reductase activity, growth and proline in amaranth and tomato plants during water deficit. American Journal of Agricultural Biological Sciences 4 (3): 224-229.
40. Wen, P. F., Chen, J. Y., Wan, S. B., Kong, W. F., Zhang, P., Wang, W., Zhan, J., Pan, Q. H., and Hung, W. D. 2005. Salicylic acid activates phenylalanine ammonia-lyase in grape berry in response to high temperature stress 55 (1): 1-10.
41. Yavas, I., and Unay, A. 2016. Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. The Journal of Animal and Plant Sciences 26 (4): 1012-101.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 125-137

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۳۷-۱۲۵

Effect of Application Methods of Salicylic Acid on Morphological Characteristics, Grain Yield and Essential Oil of Black Cumin (*Nigella Sativa* L.) under Water Stress Conditions

H. Azadvari[1], M. Naeemi[2*], A. Gholizadeh[3], A. Nakhzari Moghaddam[4]

Received: 03-09-2019
Accepted: 14-12-2019

Introduction

Black cumin (*Nigella sativa* L.) is an annual plant from the buttercup family that has been used in food industry and cosmetic products in addition to its medicinal value. It is well known that abiotic stresses especially drought stress are very restrictive factors for agricultural production around the world. Drought stress affects a vast range of morphological, physiological and biochemical characteristics of plants. Due to the decrease and shortage of agricultural water resources, researchers have conducted various researches to find materials that increase the efficiency of water use and maintenance in plants. One of these compounds is salicylic acid, and this material is naturally present in most plants and affects many physiological activities of the cell. Due to the decrease and shortage of agricultural water resources, researchers have conducted various researches to find materials that increase the efficiency of water use and maintenance in plants. One of these compounds is salicylic acid, and this material is naturally present in most plants and affects many physiological activities of the cell. Salicylic acid is a naturally occurring plant hormone that controls plant growth and induces water deficit tolerance in plants. One of these compounds is salicylic acid, and this material is naturally present in most plants and affects many physiological activities of the cell. Salicylic acid is a naturally occurring plant hormone that controls plant growth and induces water deficit tolerance in plants.

Materials and Methods

This study was conducted based on randomized complete design with factorial arrangement of treatment and three replications at research field of Gonbad Kavous University, Iran in 2018 winter and spring. Different irrigation regimes at four levels including no irrigation (dry farming), once irrigation at flowering stage, once irrigation at grain filling stage and twice irrigation at flowering and grain filling stages as well as salicylic acid factor at three levels including no application (control), seed priming (with 0.5 mM concentration), foliar spraying (with 0.5 mM concentration) were studied. After application of the treatments, the necessary sampling was done and the traits such as plant height, number of lateral branches, number of follicle per plant, number of seeds per follicle, weight of follicle per plant, plant dry weight, essential oil content, essential oil yield and, finally, grain yield in the plant were evaluated. Statistical calculations were performed using SAS 9.1 software. The mean of studied traits was also compared by using the least significant difference between the protected LSD at 5% probability level. The required graphs were also drawn using Excel software.

Results and Discussion

The results showed that simple effects of irrigation and salicylic acid on all traits were significant. The effects of irrigation and salicylic acid on all studied traits were also significant, except essential oil percentage and essential oil yield. The use of salicylic acid increased morphological traits. Also, the effects of irrigation and salicylic acid on all studied traits were significant, except essential oil percentage and essential oil yield. The use of salicylic acid increased morphological traits. The highest amount of essential oil and essential oil yield in irrigation levels were related to the irrigation at filling stage (0.65%) and twice irrigation at flowering and grain filling stages (7.93 kg ha^{-1}), respectively. Salicylic acid treatment was the most essential oil and essential oil yield for salting. The highest grain yield (1330 kg ha^{-1}) was obtained in foliar spraying application of salicylic acid under twice irrigated conditions and the lowest grain yield (817 kg ha^{-1}) was obtained in non-application of salicylic acid at dry farming conditions.

1- MSc in Agroecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavoos
2- Ph.D. in crop ecology, Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavoos
3- Ph.D. Soil Science, Chemistry and Soil Fertility and Plant Nutrition, Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Natural Resources, University of Gonbad Kavoos
4- Ph.D. in crop ecology, Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty Members, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavoos
(*- Corresponding Author Email: Naeemi_701@yahoo.com)

Conclusions

Salicylic acid is able to reduce the negative effects of drought stress on black cumin plant. In general, the results showed that by using salicylic acid in the form of foliar application and twice irrigation, optimal yield of black cumin was achieved.

Keywords: Drought stress, Essential oil, Grain yield, Priming, Spraying

Contents

Freezing Tolerance of Garlic Ecotypes (*Allium sativum* L.) under Controlled Conditions 13
S. Pazireh, A. Nezami, M. Kafi, M. Goldani

Evaluation the Effects of Priming and Seed size on Biomass yield, Water Use Efficiency and some Ecophysiological Characteristics of Onion (*Allium cepa* L.) 29
M. Izadkhah shishvan, M. Tajbakhsh shishvan

Effect of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and Black Seed (*Nigella sativa* L.) Additive Intercropping on Yield and Yield Components 46
K. Abdollahpour, A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, S. Khorramdel

The Effect of Nodulation Inducers on Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Yield and Nodulation under Optimal and Salinity Conditions 59
R. Mardani, K. Poustini, A. R. Abbasi, A. A. Pourbabaei

Investigating the Application of Phosphorus and Spraying of Micronutrients on Forage and Seed Yield in Alfalfa Ecotypes 70
M. Torabi, M. Heidarisoltanabadi

Effect of Tillage Systems and Residue Management on Soil Water Conservation, Yield and Yield Components of Wheat 83
M. Bannayan Aval, K. Hajmohammadnia Ghalibaf, F. Yaghoubi, Z. Rashidi, N. Valaie

The Effect of Withholding Irrigation and Foliar Application of Zn and Mn on Yield and Eco-physiological Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.) 99
G. Khodabin, Z. Tahmasebi-Sarvestani, A. H. Shirani Rad, S. A. M. Modarres-Sanavy, E. Bakhshandeh

Effects of Supplemental Irrigation and Biofertilizers on Yield, Chlorophyll Content, Rate and Period of Grain Filling of Rainfed Wheat 109
F. Yaghini, R. Seyed Sharifi, H. Narimani

Effect of Zeolite Amended Cattle Manure Compost and Mycorrhiza Fungi Inoculation on Growth and Yield of Triticale (X *Tritico-secale Wittmack*) 123
M. Makvandi, A. Bakhshandeh, A. Khodaei Joghan, A. Moshatati, M. R. Moradi Telavat

Effect of Application Methods of Salicylic Acid on Morphological Characteristics, Grain Yield and Essential Oil of Black Cumin (*Nigella Sativa* L.) under Water Stress Conditions 136
H. Azadvari, M. Naeemi, A. Gholizadeh, A. Nakhzari Moghaddam

Iranian Journal of Field Crops Research

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

Vol. 18 **No. 1** **2020**

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@ferdowsi.um.ac.ir

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

Ferdowsi University of Mashhad

Iranian Journal of Field Crops Research

Vol.18 No.1

2020

ISSN:2008-1472

Contents

Freezing Tolerance of Garlic Ecotypes (*Allium sativum* L.) under Controlled Conditions 13
S. Pazireh, A. Nezami, M. Kafi, M. Goldani

Evaluation the Effects of Priming and Seed size on Biomass yield, Water Use Efficiency and some Ecophysiological Characteristics of Onion (*Allium cepa* L.) 29
M. Izadkhah shishvan, M. Tajbakhsh shishvan

Effect of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and Black Seed (*Nigella sativa* L.) Additive Intercropping on Yield and Yield Components 46
K. Abdollahpour, A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, S. Khorramdel

The Effect of Nodulation Inducers on Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Yield and Nodulation under Optimal and Salinity Conditions 59
R. Mardani, K. Poustini, A. R. Abbasi, A. A. Pourbabaei

Investigating the Application of Phosphorus and Spraying of Micronutrients on Forage and Seed Yield in Alfalfa Ecotypes 70
M. Torabi, M. Heidarisoltanabadi

Effect of Tillage Systems and Residue Management on Soil Water Conservation, Yield and Yield Components of Wheat 83
M. Bannayan Aval, K. Hajmohammadnia Ghalibaf, F. Yaghoubi, Z. Rashidi, N. Valaie

The Effect of Withholding Irrigation and Foliar Application of Zn and Mn on Yield and Eco-physiological Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.) 99
G. Khodabin, Z. Tahmasebi-Sarvestani, A. H. Shirani Rad, S. A. M. Modarres-Sanavy, E. Bakhshandeh

Effects of Supplemental Irrigation and Biofertilizers on Yield, Chlorophyll Content, Rate and Period of Grain Filling of Rainfed Wheat 109
F. Yaghini, R. Seyed Sharifi, H. Narimani

Effect of Zeolite Amended Cattle Manure Compost and Mycorrhiza Fungi Inoculation on Growth and Yield of Triticale (X *Tritico-secale Wittmack*) 123
M. Makvandi, A. Bakhshandeh, A. Khodaei Joghan, A. Moshatati, M. R. Moradi Telavat

Effect of Application Methods of Salicylic Acid on Morphological Characteristics, Grain Yield and Essential Oil of Black Cumin (*Nigella Sativa* L.) under Water Stress Conditions 136
H. Azadvari, M. Naeemi, A. Gholizadeh, A. Nakhzari Moghaddam