دانشگاه شاهد
معاونت پژوهش و فناوری
مرکز چاپ و انتشارات

تغذیه گیاهان باغی

دوره سوم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹ (پیاپی ۵)
شاپای الکترونیکی:۴۰۸۴-۲۶۴۵
شاپای چاپی:۴۰۷۶ -۲۶۴۵

صاحب امتیاز: دانشگاه شاهد
مدیر مسئول: دکتر یاور شرفی
سردبیر: دکتر سیدجلال طباطبایی
مدیر اجرایی: مریم شعاری

اعضای هیأت تحریریه به ترتیب حروف الفبا:

مصباح بابالار	استاد	فیزیولوژی	دانشگاه تهران
عبدالامیر بستانی	دانشیار	علوم خاک	دانشگاه شاهد
صاحبعلی بلند نظر	استاد	علوم باغبانی	دانشگاه تبریز
طیبه رجبیان	دانشیار	فیزیولوژی	دانشگاه شاهد
حمیدرضا روستا	استاد	علوم باغبانی	دانشگاه رفسنجان
سید جلال طباطبایی	استاد	تغذیه گیاهی	دانشگاه شاهد
سعید عشقی	استاد	علوم باغبانی	دانشگاه شیراز
محمد جعفر ملکوتی	استاد	علوم خاک	دانشگاه تربیت مدرس

صفحه آرا: سیما عدالت نیا
طراح جلد: علی اصغر فتحی آوینی

آدرس دفتر مجله:
تهران، ابتدای آزاد راه تهران- قم، روبروی حرم مطهر حضرت امام‌خمینی (ره)، دانشگاه شاهد، معاونت پژوهش و فناوری، اداره انتشارات. صندوق‌پستی: ۱۸۱۵۵/۱۵۹ تلفن : ۵۱۲۱۵۱۲۹-۰۲۱ دورنگار: ۵۱۲۱۵۱۲۴- ۰۲۱
وب سایت: http://hpn.shahed.ac.ir
پست الکترونیکی: hpn@shahed.ac.ir

مندرجات

عنوان ..... صفحه

تأثیر برخی قارچ‌های همزیست و نانوذرات آهن بر پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تنش کادمیوم

*زهرا نوری آکندی، حسن مکاریان *، همت‌اله پیردشتی، محمدرضا عامریان، مهدی برادران فیروزآبادی، محمدعلی تاجیک قنبری* ۱

پاسخ مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی سیر خوراکی (*Allium sativum*) به تغذیه گوگرد، اسید هیومیک ورمی واش

*کامران قاسمی *، وحید اکبرپور، مهدی محمدی ازنی*..... ۲۳

بررسی تأثیر گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا بر برخی شاخص‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای فلاونوئید و کارتنوئید گل همیشه‌بهار

*زهرا خیری، محمد مقدم *، مهدی مرادی* ۳۷

تاثیر دورآبیاری و کودهای زیستی و غیر زیستی بر اجزای عملکرد و برخی ترکیبات بیوشیمیایی آویشن زراعی (*Thymus vulgaris* L.)

*فریده گشسبی، مصطفی حیدری *، سیدکاظم صباغ و حسن مکاریان*..... ۵۱

مطالعه غلظت نیترات در سبزی‌های برگی دشت ورامین و ارزیابی ریسک خطرپذیری آن برای انسان

*محسن سیلسپور ** ۶۹

تاثیر کودهای آلی و شیمیایی بر شاخص‌های رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) در تراکم‌های مختلف بوته

*سید جلال الدین جزایری *، سید محسن موسوی نیک، بابک بحرینی نژاد، سید احمد قنبری*..... ۸۷

تأثیر نیتروژن و تراکم بوته بر صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد کاسبرگ چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در شرایط آب و هوایی ایرانشهر

*سید غلامرضا موسوی *، حامد جوادی، محمد جواد ثقه‌الاسلامیو مجتبی صلواتی* ۱۰۵

کاربرد محلول پاشی بور بر روند گرده افشانی و تشکیل میوه در دو رقم زردآلو

*معصومه افتخاری و یاور شرفی ** ۱۲۱

پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) به کاربرد تلفیقی گوگرد و باکتری تیوباسیلوس (*Halothiobacillus neapolitanus*)

*علیرضا گیلانی *، حمید عباسدخت و احمد غلامی*..... ۱۳۳

اثر تراکم، کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی کاسنی (*Cichorium intybus*)

*رقیه امینیان *، علی مهرآبادی آرانی و سودابه مفاخری* ۱۴۷

تاثیر نانو ذرات و سولفات روی بر رشد و کیفیت گیاه اطلسی (*Petunia Hybrida var Parade*) در شرایط رطوبتی مختلف

*سکینه رنجبری، اسماعیل چمنی *، حسن ملکی لجایر، حمید عادل محمودآباد و یونس پوربیرامی هیر*..... ۱۶۳

تاثیر تیمار سیلیسیوم و متیل جاسمونات بر برخی صفات مورفولوژیکی و پارامترهای فتوسنتزی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

*مهدی محمدی ازنی، حسین مرادی *، کامران قاسمی و پوریا بی‌پروا*..... ۱۷۵

راهنمای تدوین مقاله برای دوفصلنامه تغذیه گیاهان باغی

ضمن تشکر از انتخاب نشریه تغذیه گیاهان باغی، جهت بررسی مقاله‌ی پژوهشی شما عزیزان، از نویسندگان محترم خواهشمندیم که موارد ذکر شده در آیین نامه را به دقت مطالعه و اعمال کنند. هرگونه عدم تطابق مقاله‌ی ارسالی با آیین نامه نشریه موجب برگرداندن مقاله به نویسنده جهت اصلاح مجدد و تاخیر در ورود به پروسه داوری می گردد.

با سپاس فراوان و آرزوی موفقیت
دفتر نشریه تغذیه گیاهان باغی

شیوهٔ نگارش مقاله در نشریه تغذیه گیاهان باغی :
به منظور بررسی مقالات و ورود به مرحله ی داوری، لازم است نویسندگان موارد زیر را به رعایت کنند:
نسخه اولیه ی هر مقاله به صورت تایپ شده با نرم فزار Word در ابعاد ۲۹× ۲۱ سانتیمتر (A4) و با حفظ ۲/۵ سانتیمتر حاشیه از هر طرف و فاصله خطوط ۱/۵ سانتیمتر تهیه و ارائه شود. نوع قلم متن اصلی مقاله ، بی نازنین و اندازه قلم ۱۲ انتخاب شود. در نگارش مقاله‌ها توصیه می‌شود که تا حد امکان از به کار بردن واژه‌های بیگانه پرهیز شده، نام‌ها و واژه‌های علمی، مکان‌ها، مواد و سایر اصطلاحات خارجی را در متن مقاله به فارسی نوشته و معادل انگلیسی آن در پرانتز و در جلو همان واژه نوشته شود. به‌کارگیری واژه‌های مصوب فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران در فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی توصیه می‌شود.
* نویسندگان محترم مقاله ی خود را به گونه ای تنظیم نمایند که بیشتر از ۱۵ و یا ۱۶ صفحه نباشد.

بخش‌های مختلف مقاله باید به صورت زیر تهیه شوند:
۱- شناسه مقاله
لازم است به همراه هر مقاله، یک صفحه در برگیرنده عنوان مقاله، نام و نام خانوادگی و مرتبه علمی نویسنده یا نویسندگان مقاله، نام و نشانی مؤسسه‌ای و یا دانشگاهی که نویسنده یا نویسندگان در آن جا اشتغال دارند (هیئت علمی و یا دانشجوی آن هستند) و نام محلی که پژوهش مورد نظر در آنجا صورت گرفته است همراه با شماره تلفن ثابت، تلفن همراه، نمابر و پست الکترونیکی ارسال گردد.
(تمام اطلاعات ذکرشده ی نویسندگان، قبل چکیده مبسوط بصورت انگلیسی هم آورده شوند).
۲- عنوان مقاله
عنوان مقاله باید منعکس کننده محتوای مقاله بوده، ساده و به راحتی قابل درک باشد. در عنوان مقاله تا حد ممکن از واژه‌های کلیدی استفاده نشود. عنوان مقاله نباید بیش از ۲۰ کلمه باشد.
۳- چکیده
چکیده مقاله باید در ۲۵۰ تا ۳۵۰ کلمه بیانگر مسئله، هدف، روش و نتایج تحقیق باشد. از آنجا که بیشتر خوانندگان فقط به چکیده مقاله دسترسی دارند، لازم است که این قسمت از مقاله با دقت کافی و روان نوشته شود. در پایان چکیده لازم است که بین سه تا پنج واژه‌های کلیدی (Keywords) آورده شود.
۴- مقدمه
در این بخش بایستی موضوع مورد پژوهش معرفی شده، فرضیه مورد نظر تعریف گردیده، به اهم کارهای پژوهشی انجام شده پیشین اشاره کرده، زمینه لزوم پژوهش مورد نظر تشریح شده و هدف بررسی مشخص گردد. اگر در این تحقیق روش جدیدی به کار برده شده است باید دلایل برتری آن نسبت به روش‌های دیگر ذکر گردد. هدف اصلی این بخش این است که اطلاعات کافی قبلی در خصوص موضوع مورد پژوهش داده شود که خواننده بتواند نتایج را درک کرده و آنها را نسبت به کارهای قبلی انجام شده بدون مطالعه منابع اصلی، مقایسه و ارزیابی نماید. از آوردن معادل لاتین واژه ها و یا سایر توضیحات در پاورقی خودداری شود. این موارد باید درون پرانتز ،در جلوی همان واژه و در متن نوشته شود.
۵- مواد و روش‌ها
در این قسمت باید شرح دقیق و کامل روش پژوهش مورد استفاده آورده شود. در صورتی که از روش‌های متداول منتشر شده استفاده می‌شود، از شرح آن ها خودداری گردد و فقط به ذکر منبع اکتفا شود. ولی اگر از روش جدیدی استفاده شده است، شرح کامل آن ضرورت دارد. در مورد تغییرات ایجاد شده در روش‌های متداول قبلی هم فقط به شرح تغییرات پرداخته شود. در این قسمت ابزارهای مورد استفاده، پروتکل‌های تجزیه‌ای مورد استفاده، باید دقیقاً معرفی شوند. لازم به ذکر است که در سراسر متن مقاله سطوح فاکتورهای مختلف، حروف به صورت Capital و اعداد به صورت اندیس پایین آورده شود به عنوان مثال سطوح مختلف گوگرد (S_1,S_2,S_3) .
۶- نتایج و بحث
نتایج حاصله از پژوهش می‌تواند به صورت جدول، شکل (نمودار)، نقشه، نگاره (مدل شماتیک) ارائه گردد. این موارد باید در بخش نتایج به طور کاملاً روشن و به راحتی قابل درک و بیانگر واقعی داده‌های حاصل از پژوهش باشند. ارقام ارائه شده در جداول و سایر موارد باید در این بخش مورد بحث و تفسیر قرار گیرند. داده های ارائه شده نباید به صورت جدول، منحنی یا متن نوشتاری تکرار گردد. عنوان باید تا حد ممکن کوتاه، واضح و بیانگر محتوای جدول مربوطه باشد. برای نوشتن عنوان جدول یا شکل باید پس از ذکر کلمه "جدول" یا "شکل"، شماره آن و سپس یک نقطه و بعد از آن عنوان جدول یا شکل، نوشته شود. جداول باید بصورت نیمه بسته با حداقل خطوط افقی و بدون خط عمودی تهیه شود. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به آن ستون باشد، برای بیان توضیح‌های اضافی در خصوص هر جدول می‌توان به ترتیب از علائم اختصاری *، **، *** و ... در متن جدول استفاده کرد و با نشان دادن آنها در زیر جدول و ارائه توضیح، اطلاعات لازم را در اختیار خواننده قرار داد. شکل‌های کامپیوتری، ترسیمی و عکس‌ها باید بطور کامل واضح و در صورت لزوم دارای واحد باشند و عنوان هر یک در زیر آن‌ها نوشته شود.
همچنین در این بخش، یافته‌های ارائه شده مورد تجزیه و تحلیل آماری و تفسیر قرار گرفته، توجه خواننده به موضوع اصلی تحقیق، فرضیه(های) مطرح شده در بخش مقدمه و نتایج بدست آمده از پژوهش و یا خلاءهای مشاهده شده در این روابط معطوف می‌گردد و در نهایت به زمینه‌هایی که نیاز به

پژوهش بیشتری دارند اشاره می‌شود. تا حد ممکن بایستی موارد اتفاق نظر و یا اختلاف نتایج این پژوهش یا پژوهش های دیگر در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته و سرانجام موارد کاربردهای عملی و تئوری پژوهش انجام شده و استنتاج اساسی از آن ارائه شود.

۶-۱. نحوه تنظیم جداول و شکل‌ها:

جداول:

*توصیه موکد می شود که نویسندگان محترم به هیچ وجه جداول و نمودارها را به صورت عکس در مقاله قرار ندهند بلکه اصل نمودار اکسل باید در کل مقاله به کار گرفته شود.

کل جداول مقاله باید به صورت چپ به راست (Left to Right) و به صورت نوشتار انگلیسی تنظیم شده باشد. عنوان تمامی جدول ها و کلیه توضیحات زیر جدول به دو زبان فارسی و انگلیسی تهیه و در بالای جدول نوشته شود، اما کلیه کلمات و اعداد داخل جدول فقط به زبان انگلیسی نوشته شوند برای تنظیم عنوان جدول ها، پس از ذکر کلمه جدول و شماره آن، خط تیره و بعد عنوان فارسی آورده شود و سپس در زیر عنوان فارسی، عنوان انگلیسی همانند عنوان فارسی ذکر شود .عنوان کلیه سطرها و ستون های جدول به همراه کلیه اعداد متن جدول و توضیحات زیر جدول فقط به زبان انگلیسی نوشته شوند .در تنظیم جدول ها، کلیه خطوط عمودی حذف شده و فقط خطوط افقی دو طرف عناوین و خط افقی انتهای جدول رسم شود.لازم به ذکر است که در جداول تمامی سطوح فاکتورهای مختلف همانند متن مقاله، حروف به صورت Capital و اعداد به صورت اندیس پایین آورده شود به عنوان مثال سطوح مختلف گوگرد (S_1,S_2,S_3) و در جدول مقایسه میانگین، حروف کوچک انگلیسی به صورت اندیس بالا درج گردد. مانند: 84.66^{abd}

شکل (و یا نمودار):

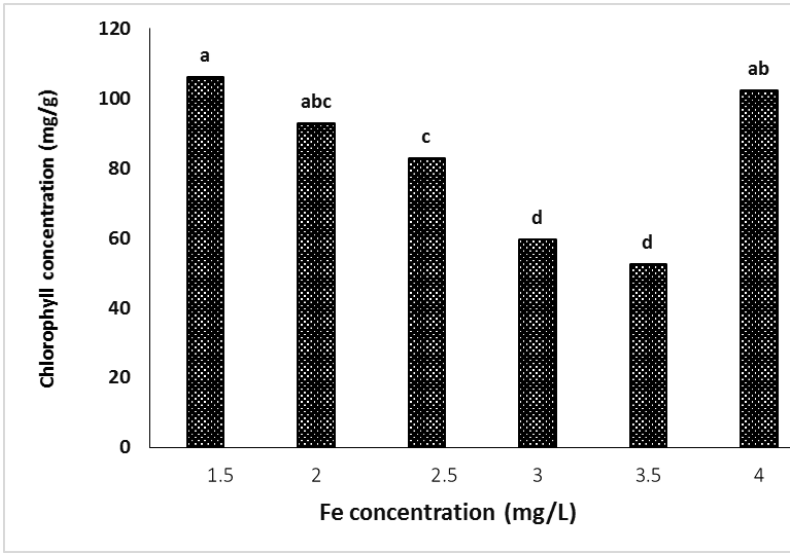
تمامی نمودارها، شکل ها و عکس ها با عنوان شکل ذکر شوند .عنوان تمامی شکل ها در زیر شکل و به دو زبان فارسی و انگلیسی نوشته شود، اما کلیه کلمات و اعداد داخل شکل ها و نیز توضیحات روی محورها فقط به زبان انگلیسی نوشته شوند .در تنظیم عنوان شکل ها، پس از ذکر کلمه شکل و شماره آن، خط تیره و بعد عنوان فارسی نوشته شود و سپس عنوان فارسی دقیقاً به انگلیسی ترجمه شده و در زیر عنوان فارسی ذکر شود .در ارایه نمودارها، ضمن نامگذاری محورهای نمودار فقط به زبان انگلیسی، واحدهای مربوطه نیز در داخل پرانتز به زبان انگلیسی نوشته شده و کلیه اعداد روی محورها نیز باید به انگلیسی درج شوند.همچنین رنگ اجزای نمودارها (ستون ها، خطوط و نقاط و ...) ترجیحا در تناژ مشکی و یا طوسی باشد.

در ضمن عناوین جدول‌ها در بالا و عناوین شکل‌ها در زیر با فرمت وسط‌چین نوشته شود. از کشیدن هر گونه خط عمودی در جدول خودداری شود. درجدول‌ها و شکل‌ها، واحدهای ویژگی‌های مورد مطالعه درسیستم بین‌المللی (SI) و درداخل پرانتز و به انگلیسی نوشته شود (واحدها فقط انگلیسی نوشته شود). واحدهای مورد قبول در انتهای دستورالعمل در قسمت شاخصهای اندازه گیری آمده است. به عنوان مثال جدول ۱ و شکل ۱ جهت راهنمائی آورده شده است.

جدول ۱. تاثیر مقادیر مختلف آهن بر شاخص کلروفیل، غلظت نیترات و فسفر در برگ

Table 1. Effect of different level of Fe on chlorophyll index, P and nitrate concentration in leaves

Fe Levels (mg/L)	Nitrate (mg/kg)	P concentration (mg/g)	Chlorophyll index
1.5	810.22^{d}	1.16^{a}	47.60^{bc}
2.0	890.23^{c}	1.33^{a}	49.98^{a}
2.5	910.00^{bc}	1.08^{a}	47.00^{bc}
3.0	923.31^{abc}	1.16^{a}	48.65^{ab}
3.5	966.17^{a}	1.16^{a}	47.22^{bc}



شکل۱. تاثیر مقادیر مختلف آهن محلول غذائی بر غلظت کلروفیل برگ

Figure 1. Effect of Fe concentration in the nutrient solution on chlorophyll

۷- پیشنهادها

بخش پیشنهادات در پایان مقاله آورده می‌شود که درآن بر اساس نتایج بدست آمده پیشنهاداتی ارائه شود.

۸- سپاسگزاری

نویسنده (گان) می‌توانند از اشخاص، سازمان ها، ارگان ها و یا هر فرد حقیقی یا حقوقی که امکانات اجرای پژوهش مانند تأمین بودجه، امکانات مزرعه ای، آزمایشگاهی و غیره را فراهم نموده اند و یا در اجرای آن کمک کرده اند تشکر و قدردانی نمایند. توصیه می شود این قسمت تا حد ممکن کوتاه و حداکثر تا ۵۰ کلمه باشد.

۹- منابع

منابع انگلیسی مورد استفاده بر اساس مجله Journal of Plants Nutrition می باشد و به شرح زیر تهیه شود:

۹-۱- نحوه ارائه منابع در متن مقاله – منابعی انگلیسی (لاتین و یا ترجمه شده) تنها مجاز به ارائه در این بخش هستند که به صورت کتاب، مقاله کامل یا مقاله کوتاه چاپ شده یا پذیرفته شده در مجلات مختلف و از طریق کتابخانه‌ها یا پایگاه های اطلاعاتی قابل دسترسی باشند. در متن مقاله باید بعد از نام خانوادگی نویسنده(گان) آن منبع، سال انتشار مقاله در داخل پرانتز آورده شود. در مورد مقالاتی که بیش از دو نویسنده دارند، فقط نام‌خانوادگی نویسنده اول همراه با کلمه "همکاران" (برای منابع فارسی) و یا حروف .et al (برای منابع خارجی) آورده شوند. به عنوان نمونه:

- (حسینی، ۱۳۸۱)

- (رضایی و همکاران، ۱۳۹۱)

- (Munes, 2000)

- (Munes and Jones, 2001)

- (Adams et al., 2010)

۹-۲- نحوه ارائه لیست منابع – با توجه به لزوم تک زبانه و انگلیسی بودن تمامی منابع مقالات جهت نمایه شدن در پایگاه های نمایه، لطفا نسبت به تنظیم منابع به زبان انگلیسی اقدام فرمایید. لازم است کلیه منابع انگلیسی که در متن به آنها اشاره شده و منابع لاتین به ترتیب حروف الفبا در لیست منابع آورده شود. در صورتی که از یک نویسنده بیش از یک مقاله مورد استفاده قرار گرفته باشد باید مقاله‌های آن نویسنده بر حسب تسلسل زمانی افزایشی شماره‌گذاری گردد. در صورتی که یک نویسنده مقاله‌هایی مستقل و مشترک با سایر نویسندگان داشته باشد، ابتدا مقاله‌های مستقل وی و سپس مقاله‌های مشترک او به ترتیب حروف الفبای نام‌خانوادگی نفرات بعدی و تسلسل انتشار، شماره‌گذاری می‌گردند. برای نوشتن منابع به شکل زیر عمل شود:

کتاب:

منابع فارسی به انگلیسی ترجمه و در مقاله درج شود:

طباطبائی، س.ج.، ۱۳۹۴. اصول تغذیه معدنی گیاهان. تبریز: انتشارات دانشگاه تبریز.

New, T. R. 1991. *Insects as predators.* Kensington, Australia: New South Wales University Press.

بخشی یا فصلی از کتاب:

Hsu, P. H. 1987. Aluminum hydroxides and oxyhydroxides. In *Minerals in soil environments, eds.* J. B. Nixon and S. Weed, 99-143. Madison, Wisconsin: SSSA.

مجله:

منابع از نوع مجله ای از زبان فارسی به انگلیسی ترجمه و در مقاله درج شود:

طالعی، د.، ۱۳۹۴. تغییرات پروتئینی تحت استرس شوری در گیاه خرفه. مجله علوم زراعی ایران، شماره ۱۸۳، صص ۲۱-۱۷.

طالعی، د.، و شرفی، ی.، ۱۳۸۹. ثاثیر آهن بر پروتئین و کلروز برگی درخت سیب، تغذیه گیاهان باغی، شماره ۱۲۰، صص ۲۵۰-۲۶۴

Tian, G., and G. O. Kolawole. 2004. Comparison of various plant residues as phosphate rock amendment on Savanna soils of West Africa. Journal of Plant Nutrition. 27: 571-583.

پایان نامه:

منابع فارسی به انگلیسی ترجمه و در مقاله درج شود:

موحدی، ر.، ۱۳۷۷. اثر سنگ فسفات بر رشد و نمو سیب زمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهد.

همایش، کنفرانس، سمینار، گردهمایی، سمپوزیوم

منابع فارسی به انگلیسی ترجمه و در مقاله درج شود:

سلیمی، س.، و ملازاده، م.، ۱۳۹۰. نقش منابع مختلف آهن در بروز کلروز سیب پا کوتاه. مجموعه مقالات اولین همایش ملی علوم باغبانی، اهواز، ۱ اردیبهشت، صص ۸-۱.

Bostani, E., and Hashemi, F., 2011. Knowledge of integrated pest management: A case study in the Zanjan province in Iran. Paper presented at the Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food (ISDA) June 6th, Montpellier, France.

سایت:

منابع سایتی از زبان فارسی به انگلیسی ترجمه و در مقاله درج شود:

مرکز آمار ایران.، ۱۳۹۱. چکیده نتایج طرح آمارگیری نیروی کار در سال ۱۳۹۰. قابل دسترسی در آدرس اینترنتی:
< http://library.sci.org.ir.DIGIB/getfile.aspx?filed=1999>

دستورالعمل تهیه چکیده مبسوط انگلیسی (Extended Abstract)

۱- ساختار

چکیده مبسوط در واقع یک مقاله کوتاه (Mini Paper) است و باید تمام بخش‌های اصلی یک مقاله را دارا باشد که عبارتند از: مقدمه (Introduction)، مواد و روشها (Materials and Methods)، نتایج و بحث (Discussion Results and)، و نتیجه‌گیری یا پیشنهادات (Conclusions). در صورتی که در متن چکیده مبسوط به منبعی ارجاع داده شود، در همان فهرست مراجع (References) ارائه شود. توجه شود که ذکر حداقل سه مرجع ضروری است. ضوابط مراجع در چکیده مبسوط، با ضوابط تهیه فهرست مراجع در مقاله اصلی یکسان است. با توجه به اینکه جداول و شکل ها فارسی و انگلیسی می باشند در متن چکیده مبسوط می توانید به شماره جدول یا شکل ارجاع دهید. چکیده مبسوط فاقد Abstract است و متن پس از عنوان و ارائه کلیدواژه‌ها، با Introduction شروع می‌شود.

۲- حجم

حجم چکیده مبسوط حداکثر ۲ صفحه A4 باشد که مطابق با دستورالعمل مجله تغذیه گیاهان باغی تنظیم شده است.

۳-۲- نوع، اندازه، و وضعیت فونت‌ها در قسمت‌های مختلف

برای تهیه متن چکیده مبسوط از سه نوع فونت استفاده می‌شود که عبارتند از Calibri، Cambria، و Times New Roman. از نویسندگان محترم تقاضا می‌شود قبل از استفاده از فایل MS Word الگو، از نصب بودن این فونت‌ها روی کامپیوتر خود اطمینان حاصل کنند.

نوع، اندازه، و وضعیت فونت‌ها در قسمت‌های مختلف مقاله در جدول زیر خلاصه شده است. لازم به ذکر است جدول زیر شامل تمام جزئیات نیست و توصیه می‌شود جهت اطمینان از رعایت تمام ضوابط، برای تهیه چکیده مبسوط می توانید به عنوان الگو، به آرشیو آخرین مقالات چاپ شده در سایت نشریه مراجعه نمائید.

جدول: نوع، اندازه، و وضعیت فونت‌ها در قسمت‌های مختلف چکیده مبسوط

ردیف	قسمت	نوع فونت	اندازه فونت	وضعیت فونت		
				معمولی	*Italic*	**Bold**
۱	عنوان مقاله	Calibri	۱۶			*
۲	اسامی نویسندگان	Cambria	۱۱	*		
۳	آدرس نویسندگان	Cambria	۱۰		*	
۴	اطلاعات پذیرش	Calibri	۱۰	*		
۵	کلیدواژه‌ها	Times New Roman	۱۰	*		
۶	عنوان بخش	Cambria	۱۱			*
۷	متن اصلی	Times New Roman	۱۰	*		
۸	عنوان زیربخش	Cambria	۱۱		*	
۹	معادلات	Times New Roman	۱۰			
۱۰	شرح شکل	Times New Roman	۹	*		
۱۱	شرح جدول	Times New Roman	۹	*		
۱۲	متن داخل جدول	Times New Roman	۸	*		
۱۳	پی‌نویس ایمیل نویسندگان	Calibri	۹	*		

سایر نکته‌ها:

۱- مقاله‌های کامل به مقاله هایی گفته می شود که حاصل یافته های پژوهشی بدیع بوده که پس از بررسی منتقدانه داوران و تصویب شورای دبیران به چاپ می رسد و به طور معمول نبایستی از ۱۵ صفحه تجاوز کند.

۲- اسامی علمی (جنس و گونه، گیاهان، جانوران) در تمام مقاله با حروف ایتالیک یا مورب تایپ شوند و نام مصنف برای اولین بار و در جلوی آن در داخل پرانتز نوشته شود

۳- مسئولیت کامل نظرهای ابراز شده در مقاله‌ها و نیز رعایت حقوق دیگر مؤلفان و پژوهشگران به عهده نویسنده(گان) مقاله می‌باشد.

۳- اتخاذ تصمیم نهایی درباره رد یا پذیرفتن و نیز هرگونه ویرایش لازم در مقاله‌ها برای شورای دبیران محفوظ است.

۴- مقاله‌های پذیرفته نشده به نگارنده(گان) آن برگشت داده نمی‌شود.

۶- به منظور بهبود کیفیت مقاله و رفع اشتباه‌های احتمالی، توصیه می‌شود که نگارندگان پیش از ارسال مقاله به این مجله، از همکاران ذیصلاح خود تقاضا نمایند که آن را مطالعه نموده و کاستی‌های احتمالی را برطرف کنند.

شاخص های اندازه‌گیری

طول : متر (m) ، میلی‌متر (mm) ، میکرومتر (µm) ، نانومتر (nm)

سطح : هکتار (ha) ، مترمربع (m^2)

حجم : مترمکعب (m^3) ، لیتر (L) ، میلی لیتر (ml)

جرم : کیلوگرم (kg) ، گرم (g) ، میلی‌گرم (mg) ، میکروگرم (µg) ، نانوگرم (ng)

عملکرد : کیلوگرم در هکتار (kg/ ha) ، لیتر در هکتار (L/ ha)

انرژی : ژول (J) ، ژول در مترمربع (J/m^2) ، وات در مترمربع (W/m^2)

فشار : مگاپاسکال (MPa)

دما : درجه سلسیوس ^{o}C

تعرق : میلی‌مول (آب) در مترمربع در ثانیه ($mmol/m^2/s$)

فتوسنتز : میکرومول (CO_2) در مترمربع در ثانیه ($\mu mol/m^2/s$)

غلظت : جامد در مایع مثل غلظت عناصر غذائی در آب میلی گرم در لیتر (mg/L) یا میلی مولار (mM) در واحد میلی مول در لیتر (mmol/L) ، مایع در مایع مثل اسید در آب نرمالیته یا مولاریته استفاده شود.

برای غلظت جامد در جامد مثل غلظت عناصر در گیاه یا خاک برای عناصر پر مصرف واحد میلی گرم در گرم (mg/g) و برای عناصر کم مصرف میلی گرم در کیلوگرم (mg/kg) استفاده شود. از واحدهای درصد یا پی پی ام استفاده نشود.

واحد هدایت الکتریکی (EC): از واحد دسی زیمنس (dS/m) یا مایکرو زیمنس استفاده شود.

واحد بیکربنات، کربنات: میلی اکی والانت درلیتر میباشد (meq/L)

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۲۲- ۱)
مقاله پژوهشی

تأثیر برخی قارچ‌های همزیست و نانوذرات آهن بر پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تنش کادمیوم

زهرا نوری آکندی [۱]، حسن مکاریان [۲*]، همت‌اله پیردشتی [۳]، محمدرضا عامریان [۴]، مهدی برادران فیروزآبادی [۵]، محمدعلی تاجیک قنبری [۶]

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
Noori11zahra@gmail.com
۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
h.makarian@shahroodut.ac.ir
۳- استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
h.pirdashti@sanru.ac.ir
۴- دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
amerianuk@yahoo.co.uk
۵- دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
m.baradaran.f@gmail.com
۶- دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
m.tajick@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۰ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۱**

چکیده

امروزه آلودگی خاک به انواع فلزات سنگین مانند کادمیوم یکی از مشکلات زیست محیطی است که با اثرات زیان‌آور بر گونه‌های جانوری و گیاهی خاک، علاوه بر کاهش عملکرد گیاه، با ورود به زنجیره غذایی سلامت انسان و دیگر موجودات زنده را به مخاطره می‌اندازد. یکی از روش‌های پاک‌سازی خاک‌های آلوده به عناصر سنگین روش گیاه پالایی یعنی کشت گیاهان بیش انباشتگر در این نوع خاک‌ها می‌باشد از طرفی همزیستی قارچ‌ها با ریشه‌ی گیاهان کارایی گیاهان همزیست را در پالایش خاک‌های آلوده افزایش می‌دهد. به این منظور آزمایشی جهت بررسی تأثیر کاربرد برخی قارچ های همزیست و نانوذرات آهن بر پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تنش کادمیوم، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح عنصر کادمیوم (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع کلرید کادمیوم)، تیمار همزیستی قارچی در چهار سطح (عدم تلقیح و تلقیح با قارچ‌های *Chaetomium subaffine* (SF)، *Trichoderma atroviride* (SN) و *Trichoderma longibrachiatum*) و محلول‌پاشی نانوذرات آهن در سه سطح (صفر، ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت کادمیوم خاک روند پاسخ ارتفاع بوته و قطر ساقه به صورت خطی و کاهشی (به ترتیب با ۶۹/۶ و ۵۶/۶ درصد نسبت به سطح شاهد) بود. در سطح صفر کادمیوم میزان سطح برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ *T. longibrachiatum*، ۱۸/۴ درصد نسبت به گیاهان شاهد (عدم تلقیح) افزایش یافت. در سطح ۲۵ کادمیوم نیز افزایش ۱۱/۴ درصدی در گیاهان تلقیح شده با قارچ *C. subaffine* (SF) مشاهده شد. بیشترین محتوای کلروفیل $a+b$ در تمامی غلظت‌های محلول‌پاشی نانوذرات آهن، در سطح ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم خاک به دست آمد. در مجموع، برهمکنش قارچ‌های همزیست و محلول‌پاشی نانوذرات آهن (به ویژه در غلظت ۰/۱۵ گرم در لیتر) اثر هم‌افزایی داشته و با تشدید اثرات مثبت یکدیگر باعث بهبود برخی از پارامترهای رشدی و غلظت کلروفیل در گیاه خرفه شد.

کلمات کلیدی: تنش، گیاه‌پالایی، فلزات سنگین، نانوذرات.

مقدمه

آلودگی خاک با فلزات سمی از جمله کادمیوم، سرب، روی، نیکل و مس در چندین دهه گذشته به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. این آلودگی بر اثر انتشار زباله‌های شهری و صنعتی تولید شده توسط انسان به یک چالش جهانی و نگرانی مهم زیست‌محیطی برای منابع آب، خاک و همچنین سلامت انسان تبدیل شده است (Sheoran et al., 2016). در بین فلزات سنگین، کادمیوم (Cd) یکی از سمی‌ترین عناصر است که هیچ گونه نقش زیستی ندارد و به دلیل قدرت تحرک بالا در خاک و توانایی ایجاد مسمومیت شدید در موجودات زنده، حتی در غلظت‌های پایین، بسیار حائز اهمیت است (آقابابایی و همکاران، ۱۳۹۲). کادمیوم در فضای آپوپلاسمی، روی سطح دیواره سلول یا غشاء پلاسمایی ریشه تجمع می‌یابد (Lukacov et al., 2013). این تجمع در نهایت با اختلال در جذب عناصر غذایی ریشه باعث کاهش قابل‌توجه رشد این اندام می‌شود. به دنبال کاهش انتقال مواد به برگ‌ها و در نتیجه کاهش سرعت تعرق، ساختار فضایی اندامک‌ها و رفتار آنزیم‌های کلیدی مسیرهای متابولیک دچار تغییر می‌شوند (Suzuki et al., 2017).

گیاه‌پالایی (Phytoremediation) یکی از مهم‌ترین روش‌ها و فناوری‌هایی است که طی دو دهه‌ی اخیر برای رفع مشکل آلودگی خاک از جمله فلزات سنگین در کشورهای مختلف گسترش یافت. در این فرایند از کشت گیاهان مناسب در جهت پاک‌سازی و جذب و خارج ساختن آلاینده‌ها از خاک استفاده می‌شود (شهقلی و همکاران، ۱۳۹۱). از طرفی مطالعات زیادی نشان داده‌اند که کاربرد ریزجانداران مفید از جمله قارچ‌ها می‌توانند به‌طور معنی‌داری سمیت فلزات سنگین را از طریق ایجاد پیوند فلزات با دیواره سلولی‌شان و در نتیجه غیرمتحرک شدن آن‌ها کاهش دهد، بنابراین جهت پاکسازی شیمیایی خاک از کارآیی مطلوبی برخوردارند (Akhtar et al., 2007). بسیاری از قارچ‌ها توانایی رشد در خاک‌های آلوده را به صورت همزیست با ریشه گیاه دارند. قارچ‌های همزیست سطح ریشه گیاهان، در بافت اپیدرمی پوست ریشه استقرار یافته و شبکه‌ی در هم تنیده‌ی ریسه‌ای تولید می‌نمایند، که محل اصلی تبادل مواد بین قارچ و گیاه همزیست است (Hrynkiewicz et al., 2012). مهم‌ترین سازوکار بازدارنده از ورود فلزات سنگین به داخل گیاه میزبان توسط این قارچ‌ها جذب آن‌ها به وسیله‌ی پوشش ریسه‌ای و کاهش دستیابی آپوپلاست، به دلیل آب گریز بودن پوشش قارچی، کلاته شدن توسط ترشحات قارچ و جذب آن‌ها توسط میسیلوم داخلی قارچ است. همچنین ثابت شده است که در هنگام مواجه قارچ‌های همزیست با عناصر فلزی فعالیت برخی آنتی‌اکسیدان‌ها افزایش یافته و از این طریق به حفاظت ریشه گیاهان کمک می‌کند (صدروی و قرچه، ۱۳۹۲). در این میان گونه‌های قارچ تریکودرما (*Trichoderma* spp.) نیز که به طور معمول در همه‌ی خاک‌ها و در اطراف و درون ریشه گیاهان حضور دارند و جزء متداول‌ترین قارچ‌های قابل کشت هستند از اهمیت خاصی برخوردارند، به‌طوری‌که امروزه به عنوان اصلاح‌کننده‌های خاک در سطح تجاری تولید می‌شوند (Sun et al., 2010). این قارچ‌ها با کنترل زیستی عوامل بیماریزای خاکزی، تولید هورمون‌های رشد، قابل حل‌کردن عناصر نامحلول، افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی، دفع مسمومیت و افزایش انتقال قند و اسید آمینه در ریشه گیاهان، ایجاد مقاومت القایی در برابر تنش‌های محیطی سبب افزایش رشد و نمو گیاهان می‌شوند (Mazhabi et al., 2011). در همین زمینه پژوهش ها بیانگر این است که تلقیح گیاه با گونه‌های تریکودرما می‌تواند شرایط را برای پالایش خاک‌هایی با آلودگی‌های متعدد، افزایش رشد و نمو گیاهان و بهبود حاصلخیزی خاک فراهم آورد (تقوی قاسمخیلی و همکاران، ۱۳۹۳). Wang و همکاران (2009)

گزارش کردند که گونه‌های قارچی تریکودرما، توانایی همزیستی غیربیماریزایی با گیاه را دارند و قادر به جذب عناصر سنگین هستند. تقوی قاسمخیلی و همکاران (۱۳۹۴) نیز نشان دادند حضور تریکودرما در گیاه گندم، تجمع کادمیوم در اندام هوایی و ضریب انتقال را به ترتیب ۳۰ و ۲۳ درصد کاهش داد. در تیمار عدم حضور تریکودرما، افزایش کادمیوم تا غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش فاکتور انتقال و غلظت‌های بالاتر افزایش آن را به همراه داشت.

فلزات سنگین قابلیت دسترسی و جذب آهن را نیز در آپوپلاست ریشه، جذب به درون سلول‌های ریشه و انتقال به بخش‌های هوایی را کاهش می‌دهند و سبب می‌شوند آهن کمتری در اختیار برگ‌ها قرار گیرد. در وضعیت کمبود آهن، جذب و تجمع فلزات سنگین در گیاه افزایش می‌یابد (تفویضی و همکاران، ۱۳۹۳). آهن یک جزء تشکیل دهنده آنزیم‌های انتقال‌دهنده الکترون است که در فتوسنتز و تنفس میتوکندری‌ها فعال بوده و بر مقادیر کلروفیل اثر می‌گذارد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۹۲). بنابراین وضعیت تغذیه‌ای آهن می‌تواند بر جذب اختصاصی و غیراختصاصی فلزات سنگین اثرگذار باشد. از طرفی نانو ذرات آهن با توجه به سطح ویژه بالا که منجر به تراکم بیشتر مکان‌های جذبی و ظرفیت بالای حذف فلزات سنگین می‌شوند، برای اهداف احیایی، جاذب قابل‌توجهی هستند (غفاری و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین ترکیبات نانو با توجه به خصوصیات مطلوب مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل‌پذیری مناسب، ثبات و تأثیر گذاری بالا و رهایش کنترل شده، سبب افزایش کارایی عناصر غذایی می‌شوند (Naderi et al., 2013). Konate و همکاران (2017) نشان دادند که تجمع کادمیوم، مهار رشد ریشه و تنش اکسیداتیو در گیاهچه‌های خیار و گندم با افزودن نانوذرات آهن به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. در آزمایش حیدری و همکاران (۱۳۹۴) نیز مشخص شد که در سطوح بالای تنش، محلول‌پاشی نانواکسیدآهن، سبب افزایش میزان رنگدانه‌ها، جذب عناصر کانی و در نهایت افزایش عملکرد دانه در گیاه کنجد گردید.

خرفه با نام علمی *Portulaca oleracea* L. گیاهی یکساله، چهار کربنه از خانواده Portulacaceae می‌باشد. این گیاه منبع غنی از اسیدهای چرب امگا ۳ (اسید- لینولنیک) و امگا ۶ (اسید- لینولئیک) بوده و مصرف این گیاه به دلیل فراوانی اسیدهای چرب غیراشباع به ویژه امگا ۳ و همچنین وجود آنتی‌اکسیدان‌ها در آن، باعث خنثی کردن رادیکال‌های آزاد و تقویت سیستم ایمنی بدن می‌گردد و درنتیجه از بیماری‌های قلبی عروقی، جلوگیری کرده و این گیاه را به یک سبزی بسیار عالی در رژیم غذایی انسان تبدیل می‌کند (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). علاوه بر این، خرفه از نقطه نظر فیزیولوژیک دارای قابلیت تحمل بسیار بالا در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین بوده و گیاه مناسبی برای کاشت و پالایش محیط و خاک از فلزات سنگین به‌شمار می‌رود (Tiwari et al, 2008). امروزه برای حل معضل اثرات سمی عناصر سنگین در خاک از روش‌های بیولوژیک مثل گیاه‌پالایی و همزیستی ریشه با ریزجاندران و پتانسیل نانوذرات استفاده می‌کنند اما تاکنون در زمینه کاربرد همزمان قارچ‌های همزیست و نانوذرات آهن پژوهشی صورت نگرفته است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی کارایی نانوذرات آهن و برخی قارچ‌های همزیست بر پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی خرفه تحت تنش کادمیوم در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

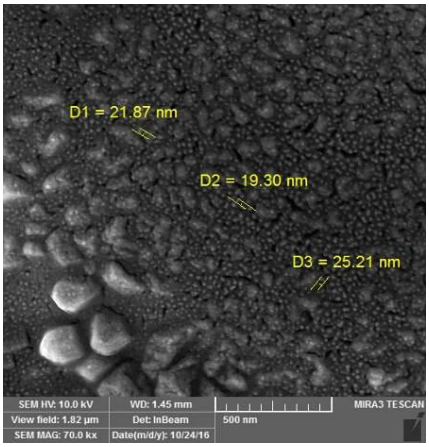
این پژوهش در سال ۱۳۹۷ در پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار

انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح عنصر کادمیوم (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع کلرید کادمیوم)، تیمار همزیستی قارچی در چهار سطح (عدم تلقیح و تلقیح با قارچ‌های *Chaetomium subaffine* (SF)، *Trichoderma atroviride* (SN) و *Trichoderma longibrachiatum*) و تیمار نانوذرات آهن در سه سطح (صفر، ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم در لیتر) بودند. قارچ‌های *Chaetomium subaffine* (SF) و *Trichoderma atroviride* (SN) از ریشه‌ی گیاهان اناریجه (*Froriepia subpinnata* L.) و علف چشمه (*Nasturtium officinale* L.) در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری جداسازی گردید (نوری آکندی و همکاران، ۱۳۹۸). این قارچ‌ها در محیط کشت PDA (عصاره سیب‌زمینی و دکستروز) کشت و سپس به مدت دو هفته در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه روی شیکر قرار گرفتند. پس از گذشت مدت زمان مذکور که رشد رویشی قارچ‌ها به حداکثر خود رسید، سوسپانسیونی با غلظت حدود 10^8 واحد کلونی ساز در میلی‌لیتر (CFU/ml) تهیه شد (یعقوبیان، ۱۳۹۴). نانوذرات آهن صفرظرفیتی پایدارشده با اسید آسکوربیک (AAS – ZVIN) در دمای محیط از طریق احیای کلرید آهن ($FeCl_3$) توسط سدیم بر هیدرات ($NaBH_4$) بر اساس رابطه ۱ سنتز شد (Huang et al, ؛ Savasari et al, 2015 ؛Zhang et al, 2011؛2014).

رابطه ۱

$$2FeCl_3 + 6NaBH_4 + 18H_2O \rightarrow 2Fe^0 6NaCl + 6B(OH)_3 + 21H_2$$

در ابتدا ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول، شامل مخلوط ۰/۱۶ مولار سدیم برهیدرات و ۰/۱ مولار سود (NaOH) در آب دی‌یونیزه آماده شد. سپس به‌طور جداگانه ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول (۳۰ میلی‌لیتر اتانول و ۷۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه) حاوی مخلوط ۰/۱ مولار اسید آسکوربیک و کلرید آهن ۰/۱ مولار تهیه و در مرحله بعد سدیم بورهیدرات حل شده با سود داخل بورت ریخته و به صورت قطره قطره (یک قطره در هر دو ثانیه) به محلول کلرید آهن اضافه گردید. در طول ساخت نانوذرات آهن صفرظرفیتی پایدارشده محلول به‌صورت یکنواخت و با سرعت ثابت توسط همزن برقی همزده و در پایان برای اطمینان کامل از شرایط احیا و اتمام واکنش، محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن برقی باقی ماند. به منظور تعیین اندازه نانوذرات آهن صفرظرفیتی پایدارشده نیز از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده گردید (شکل ۱) (کاشانی و همکاران، ۱۳۹۸).



شکل ۱. اندازه نانوذرات آهن صفرظرفیتی پایدارشده با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

Figure 1. Size of zero-capacity iron nanoparticles stabilized with scanning electron microscopy (SEM)

خاک مورد نظر برای آزمایش از عمق ۳۰ – ۰ سانتی‌متری خاک مزرعه پژوهشی دانشگاه برداشت و به نسبت پنج به یک با ماسه مخلوط و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس خاک به چهار قسمت مساوی تقسیم

و مقادیر مورد نظر کادمیوم (از منبع CdCl2. 5H2O) به آن اضافه شد تا غلظت کادمیوم در خاک آزمایش به مقادیر مورد نظر برسد. بذرهای خرفه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱±۲۸ درجه سانتی‌گراد جوانه‌دار و سپس به منظور تلقیح بذور با تیمارهای قارچی در سوسپانسیون‌های تهیه شده غوطه‌ور گردیده و به مدت یک ساعت روی شیکر با سرعت ۸۰ دور در دقیقه قرار داده شدند. قبل از کشت پنجاه میلی‌لیتر مایه تلقیح قارچی به خاک هر گلدان (با ابعادی به قطر ۲۰ در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) اضافه و سپس در هر گلدان ده بذر گیاه خرفه کاشته شد (یعقوبیان، ۱۳۹۴). بذور پس از سبز شدن تنک شده و به پنج بوته در گلدان کاهش یافت. گلدان‌ها در گلخانه و در شرایط نور طبیعی (در حدود ۲۵۰۰۰ لوکس) و دمای (۲ ± ۲۸) و رطوبت مطلوب (در حد ۶۵ الی ۷۵ درصد) برای گیاه قرار گرفته و به‌صورت روزانه آبیاری شدند. اولین محلول پاشی نانوذرات آهن در مرحله‌ی هشت برگی صورت گرفت که در دو مرحله به فاصله زمانی هفت روز یکبار انجام شد. ده روز پس از اتمام دوره‌ی محلول‌پاشی نمونه برداری انجام و صفات مورفولوژیک از جمله ارتفاع بوته با خط‌کش، قطر ساقه با کولیس دیجیتالی، سطح برگ با نرم‌افزار Digimizer و صفات فیزیولوژیک از جمله محتوای کلروفیل و کاروتنوئید، نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب برگ و شاخص سبزینگی برگ با کلروفیل‌متر (SPAD-502, Minolta, Japan) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ شش عدد پانچ از برگ‌های گیاه برداشته و در هشت میلی‌لیتر متانول غوطه‌ور شده در تاریکی و دمای اتاق قرار گرفتند. پس از گذشت ۲۴ ساعت میزان نور جذبی محلول در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytic jena- SPEKOL 1300) قرائت و ثبت شد. میزان کلروفیل a ، b و کاروتنوئید بر اساس رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ محاسبه شدند (Porra, 2002).

رابطه ۲ $$C_a(\mu g/ml) = 16.72\,A_{665.2} - 9.16\,A_{652.4}$$

رابطه ۳ $$C_b(\mu g/ml) = 34.09\,A_{652.4} - 15.28\,A_{665.2}$$

رابطه ۴ $$Carotenoid(\mu g/ml) = (1000\,A_{470} - 1.63C_a - 104.96C_b)/221$$

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ یک برگ از برگ‌های انتهایی گیاه برداشت و بلافاصله توزین و به لوله‌های آزمایش حاوی آب مقطر منتقل و بعد از ۲۴ ساعت وزن آماس برگ‌ها تعیین شد. سپس نمونه‌های برگی در آون در دمای ۷۲ درجه و به مدت ۴۸ ساعت خشک و محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها با استفاده از رابطه ۵ به‌دست آمد (Schonfeld et al, 1988).

رابطه ۵ $$\%RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

که در این رابطه: FW (Fresh weight): وزن تر برگ، DW (Dry weight): وزن خشک برگ و TW (Turgid weight): وزن آماس برگ است.

به منظور اندازه‌گیری نشت الکترولیت نمونه‌ی برگی در لوله‌های آزمایش حاوی ده میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفت. پس از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر (CON 410) اندازه‌گیری شد (EL_1). به منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، لوله‌های آزمایش در دستگاه بن ماری با دمای ۹۰ درجه و به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند و مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها ثبت گردید (EL_2). سپس درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از رابطه ۶

محاسبه شد (Lutts et al, 1995).

رابطه ۶ $\text{نشت الکترونیک} = \frac{EL_1}{EL_2} \times 100$

که در این رابطه: EL_1 (Electrolyte leakage1): نشت الکترولیت اولیه و EL_2 (Electrolyte leakage2): نشت الکترولیت ثانویه است.

در نهایت داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ تجزیه و جهت کمی‌سازی روند تغییرات صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک از تجزیه رگرسیونی و برازش معادلات خطی (رابطه ۷) و دو تکه‌ای (رابطه ۸) پیشنهاد شده توسط سلطانی و همکاران (Soltani et al, 2006) استفاده شد.

رابطه ۷ $y = b_1 x + a$

رابطه ۸ $y = b_1 x + a \quad if \quad x \le x_0$

$$y = (b_1 x_0 + a) + b_2 (x - x_0) \quad if \quad x > x_0$$

که در آن، y مقدار پیش‌بینی شده برای صفات مورد نظر، a مقدار ثابت در غلظت صفر تیمار مورد نظر، x غلظت تیمار، x0 نقطه چرخش بین دو فاز معادله و b1 و b2 شیب تغییرات صفات (کاهشی یا افزایشی) به ترتیب در فاز یک و دو معادله هستند. رسم منحنی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد. برای صفاتی که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار شد از روش برش‌دهی (مجموع مربعات سطوح یک عامل در هر سطح عامل دیگر) برای تجزیه واریانس استفاده گردید. برای صفاتی که اثر متقابل بر روی آنها معنی‌دار نبود تنها به مقایسه میانگین سطوح فاکتوری که معنی‌دار بود، اکتفا شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که اثر ساده کادمیوم بر تمامی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر ساده قارچ بر ارتفاع بوته و محتوای نسبی آب برگ در سطح یک درصد و بر میزان قطر ساقه و سطح برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار بود اما بر میزان نشت الکترولیت تأثیر معنی‌داری نداشت. اثر ساده نانوذرات آهن بر ارتفاع بوته و نشت الکترولیت در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما اثر معنی‌داری بر پارامتر قطر ساقه، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ نداشت. بین کادمیوم و قارچ در پارامتر سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد برهمکنش معنی‌دار بود اما بین قارچ و نانوذرات آهن و کادمیوم و نانوذرات آهن در تمامی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد بررسی برهمکنش معنی‌داری مشاهده نشد. اثر متقابل سه گانه کادمیوم، قارچ و نانوذرات آهن بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی-دار بود (جدول ۱). برش‌دهی اثرات متقابل قارچ و نانوذرات آهن در هر سطح کادمیوم نشان داد که در سطح ۷۵ کادمیوم، برهمکنش قارچ و نانوذرات آهن بر پارامتر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود در حالی که در سطوح دیگر کادمیوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴).

آنالیز رگرسیون داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که روند پاسخ ارتفاع بوته به سطوح مختلف کادمیوم خاک و محلول‌پاشی نانوذرات آهن به صورت خطی و به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۳ و ۰/۹۸ بیان شد. با افزایش میزان کادمیوم خاک ارتفاع بوته با شیب ۰/۲۸ واحد و به میزان ۶۹/۶ درصد نسبت به سطح شاهد کاهش یافت (شکل ۲- الف). در مقایسه، ارتفاع بوته در گیاه خرفه تحت تأثیر محلول پاشی نانوذرات آهن افزایش یافت، میزان این افزایش نسبت به عدم محلول‌پاشی ۷/۸ درصد بود (شکل ۲- ب). روند پاسخ قطر ساقه به افزایش کادمیوم به صورت خطی و با ضریب تبیین ۰/۹۷۸ نشان داده شد به طوری که با افزایش کادمیوم خاک قطر ساقه (با شیب ۰/۰۳۹ واحد) به میزان ۵۶/۶ درصد نسبت به سطح شاهد

کاهش یافت (شکل ۵). کادمیوم بر تقسیم و رشد سلول‌های گیاهان اثر می‌گذارد و همچنین آلودگی خاک به عنصر کادمیوم موجب کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه گیاهان، کاهش انبساط سلولی و کاهش جذب آب توسط گیاهان شده و به دنبال آن کاهش تولید مواد فتوسنتزی، سبب کاهش ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه می‌شود (Liamas et al., 2000). این یافته‌ها با نتایج یعقوبیان و همکاران (۱۳۹۵) در گیاه بادرنجبویه، Aydinalp و Marinova (2009) در گیاه یونجه و فلاح و سلطانی نژاد (۱۳۹۵) در گیاه خرفه همخوانی داشت.

جدول ۱. میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک خرفه

Table 1. Mean squares effect of experimental treatments on morphological and physiological traits of purslane

Source of variation	df	Plan height	Shoot Diameter	Leaf area	Electrolyte leakage	Relative (RWC) water content
(A) Cadmium	3	3327.80 **	59.05 **	12270.69 **	551.24 **	1017.87 **
(B) Fungi	3	56.71 **	0.642 *	127.44 *	25.58 ns	188.89 **
(C) Iron nanoparticles	2	26.34 **	0.197 ns	17.003 ns	97.75 **	47.49 ns
A×B	9	7.52 ns	0.261 ns	91.71 *	9.46 ns	16.05 ns
A×C	6	2.92 ns	0.286 ns	23.53 ns	40.03 ns	44.34 ns
B×C	6	8.20 ns	0.281 ns	75.21 ns	15.18 ns	35.19 ns
A×B×C	18	5.60 ns	0.140 ns	65.38 ns	15.10 ns	63.43 *
Error	96	4.93	0.236	45.81	41.19	33.33
CV٪		12.20	13.98	17.16	13.45	9.76

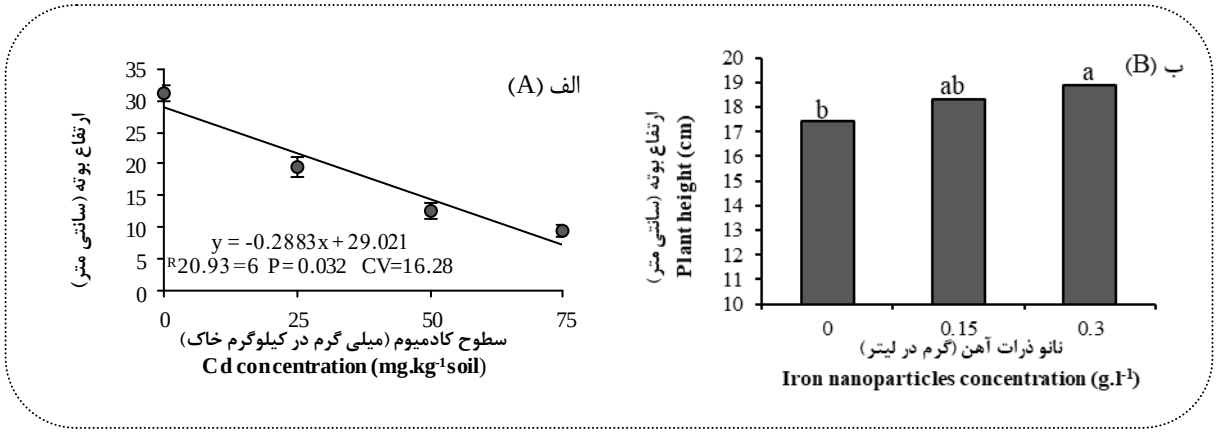
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار ومعنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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

بیشترین میزان ارتفاع بوته در گیاهان همزیست شده با قارچ‌های *T. atroviride* (SN) و *T. longibrachiatum* مشاهده شد اما تفاوت معنی‌داری بین گیاهان تلقیح شده با قارچ *Chaetomium subaffine* (SF) و شاهد وجود نداشت (شکل ۳). نتایج حاصل از آزمایش نشان داد همزیستی قارچی سبب افزایش میزان قطر ساقه در مقایسه با گیاهان شاهد (عدم تلقیح) شد. بیشترین میزان قطر ساقه با میزان ۸/۸ درصد افزایش نسبت به سطح شاهد به گیاهان تلقیح شده با قارچ *T. atroviride* (SN) تعلق داشت (شکل ۴). ریزجانداران خاک، از جمله قارچ‌های اندوفیت، با برقراری روابط همیاری و همزیستی در تعامل با گیاهان بوده و با انجام فعالیت‌هایی نظیر تولید انواع بیشماری از متابولیت‌ها، تجزیه ترکیبات مختلف آلی، تثبیت نیتروژن جوی، تولید مواد افزاینده رشد گیاه و افزایش قابلیت فراهمی عناصر غذایی معدنی برای گیاه به ویژه در شرایط تنش، سبب بهبود رشد گیاه می‌گردند (Oelmuller et al., 2009). Feng و همکاران (2002) نیز بیان کردند که قارچ‌های همزیست به صورت مستقیم همانند بهبود تغذیه

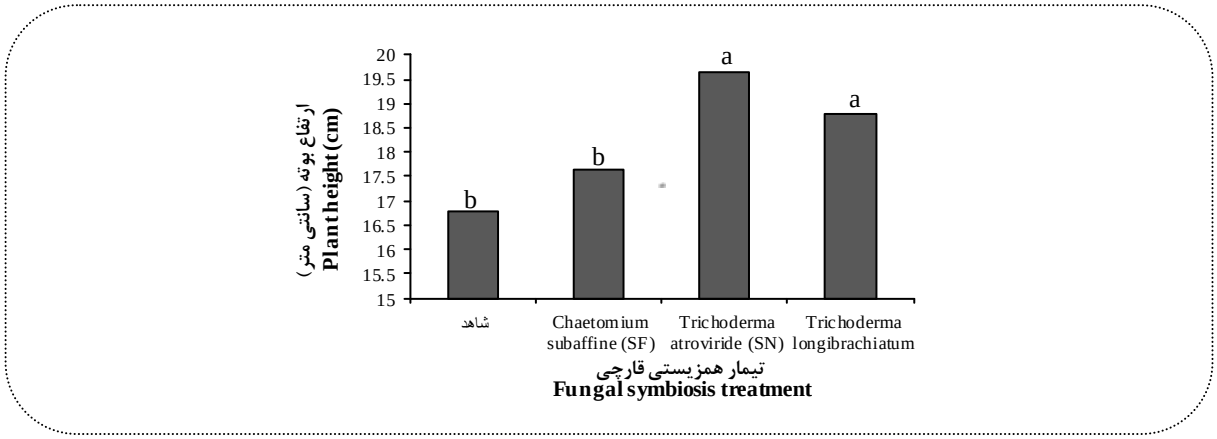
گیاهان از طریق جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش جذب آب توسط گیاه و غیرمستقیم همانند کاهش تنش‌های غیرزیستی افزایش رشد گیاه میزبان را سبب می‌شوند.

برهمکنش سطوح کادمیوم خاک و تیمار همزیستی قارچی در گیاه خرفه نشان داد (شکل ۶) که در مجموع میزان سطح برگ با افزایش تنش کادمیوم روند کاهشی داشت. در سطح صفر کادمیوم میزان سطح برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ *T. longibrachiatum*، ۱۸/۴ درصد نسبت به گیاهان شاهد (عدم تلقیح) افزایش یافت. در سطح ۲۵ کادمیوم نیز افزایش ۱۱/۴ درصدی در گیاهان تلقیح شده با قارچ *Chaetomium subaffine* (SF) مشاهده شد. بیشترین میزان سطح برگ در غلظت ۵۰ و ۷۵ کادمیوم خاک هم در گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های *T. atroviride* (SN) و *T. longibrachiatum* (به ترتیب با ۹/۸ و ۱۶/۶ درصد افزایش نسبت به گیاهان شاهد) بود. افزایش سطح برگ در گیاهان تلقیح شده احتمالاً به دلیل تحریک ریشه‌زایی و افزایش قدرت جذب مواد غذایی توسط گیاه در حضور قارچ باشد (محمدی کشکا و همکاران، ۱۳۹۵). اصلانی و همکاران (۱۳۹۰) افزایش معنی‌دار سطح برگ در گیاهان ریحان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی را به افزایش جذب عناصر غذایی نسبت دادند. Demir (2004) نیز عنوان کرد که همزیستی با قارچ *Glomus intraradices* در گیاه فلفل سبب افزایش نسبت سطح برگ و میزان آبگیری برگ‌ها شد.



شکل ۲. روند پاسخ ارتفاع بوته گیاه خرفه به سطوح مختلف کادمیوم خاک (الف) و نانوذرات آهن (ب)

Figure 2. Response of purslane plant height to different levels of soil cadmium (A) and iron nanoparticles (B)

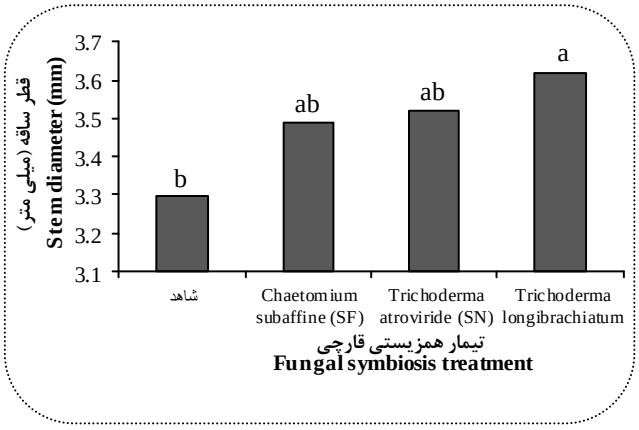


شکل ۳. اثر همزیستی قارچی بر ارتفاع بوته در گیاه خرفه.

Figure 3. Effect of fungal symbiosis on plant height in purslane

ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Columns with similar letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability

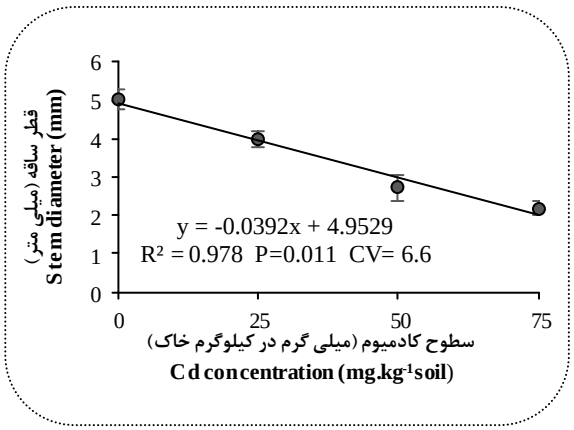


شکل ۴. اثر همزیستی قارچی بر قطر ساقه در گیاه خرفه

Figure 4. Effect of fungal symbiosis on stem diameter on purslane

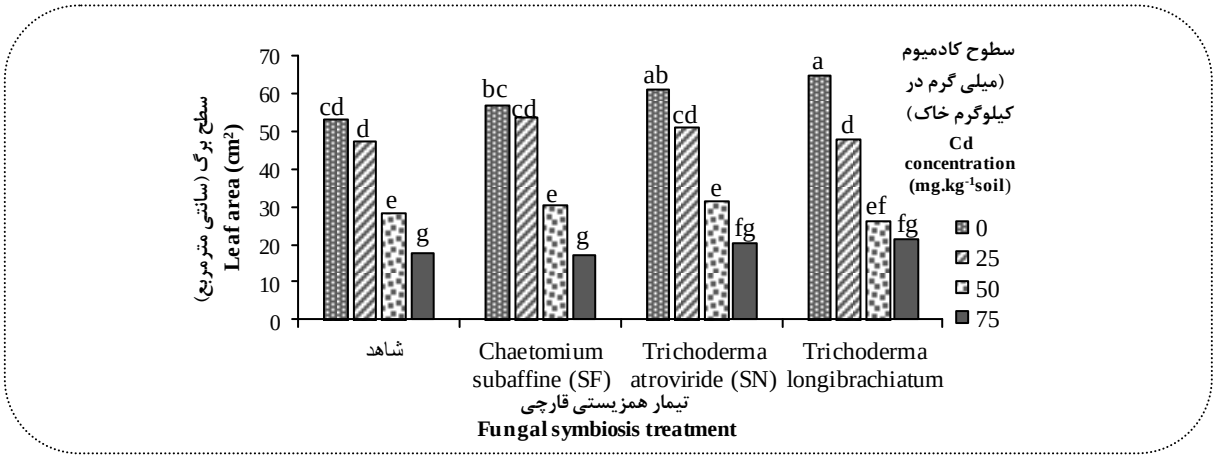
ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Columns with similar letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability.



شکل ۵. روند پاسخ قطرساقه گیاه خرفه به سطوح مختلف کادمیوم

Figure 5. Response of stem diameter of purslane to different levels of cadmium



شکل ۶. برهمکنش سطوح کادمیوم خاک و همزیستی قارچی بر میزان سطح برگ گیاه خرفه.

Figure 6. Interaction of soil cadmium levels and fungal symbiosis on leaf area of purslane

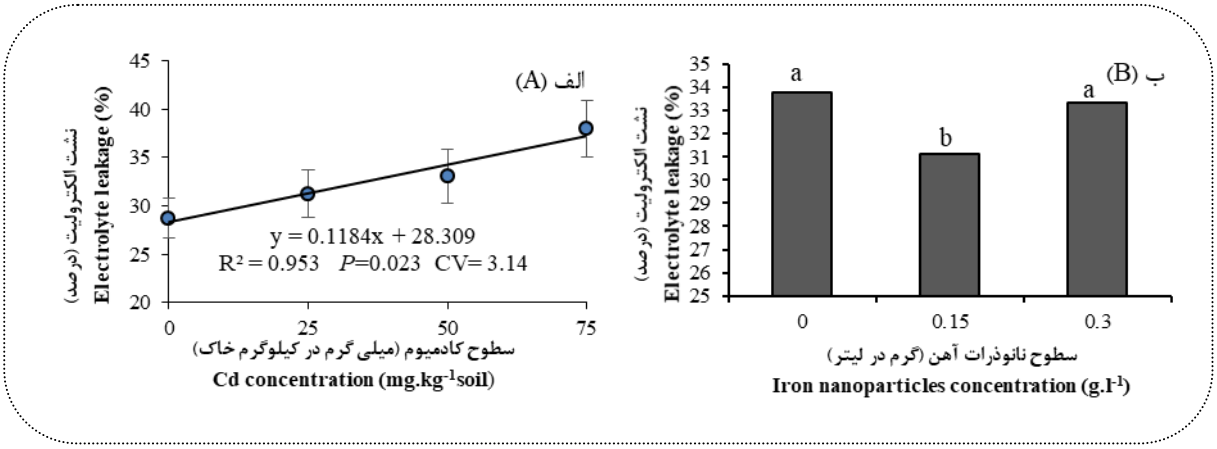
ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Columns with similar letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability.

پاسخ نشت الکترولیت به سطوح کادمیوم خاک به صورت خطی (با ضریب تبیین ۰/۹۵۳) بود. با افزایش غلظت کادمیوم خاک نشت الکترولیت با شیب ۰/۱۱۸ واحد و به میزان ۲۴/۴ درصد نسبت به سطح شاهد افزایش یافت (شکل ۷- الف). کادمیوم همانند فلزات سنگین دیگر با اثر بر پیوندهای محتوی نیتروژن و گوگرد پروتئین‌ها موجب تخریب کانال‌های غشایی و نشت یون‌ها می شود (رفیعی و همکارن، ۱۳۹۷). نتایج پوراکبر و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که با افزایش میزان کلرید کادمیوم میزان نشت یونی در گیاه ذرت افزایش پیدا کرد ولی این افزایش تنها در سطح ۱۰۰ میکرومولار معنی دار بود. دالوند گماری و افتخاری (۱۳۹۷) نیز بیان کردند که در غلظت ۶۰ میلی‌گرم درکیلوگرم کادمیوم نشت الکترولیت به میزان ۲۸ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافت. محلول‌پاشی

نانوذرات آهن در غلظت ۰/۱۵ گرم در لیتر سبب کاهش شش درصدی میزان نشت الکترولیت نسبت به سطح شاهد (عدم محلول‌پاشی) گردید. در سطح ۰/۳ گرم در لیتر میزان نشت الکترولیت نسبت به غلظت ۰/۱۵، ۵/۴ درصد افزایش اما نسبت به سطح شاهد کاهش یافت (شکل ۷- ب).

Zago و Oteiza (2001) اظهار داشته‌اند عنصر آهن از طریق افزایش فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان در تعدیل رادیکال‌های آزاد و اثرات تخریبی آن‌ها در سیستم‌های غشایی نقش مهمی را ایفا می‌کند، بنابراین به نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوذرات آهن با افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش،از طریق افزایش تولید آنزیم‌های حذف کننده رادیکال‌های آزاد، باعث گردید گیاه دیرتر با شرایط تنش مواجه شود و در نتیجه درصد نشت کمتری داشته باشد.



شکل ۷. روند پاسخ نشت الکترولیت گیاه خرفه به سطوح مختلف کادمیوم خاک (الف) و نانوذرات آهن (ب)

Figure 7. Electrolyte leakage response to different levels of soil cadmium (A) and iron nanoparticles (B) in purslane

ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Columns with similar letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability.

بر اساس یافته‌های حاصل از اثرات سه‌گانه تیمارهای آزمایشی (جدول ۲)، در غلظت‌های مختلف کادمیوم محتوای نسبی آب برگ در تمامی تیمارهای همزیستی قارچی نسبت به سطح شاهد (عدم تلقیح) بیشتر بود. همچنین در سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کادمیوم و تیمارهای قارچی، بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در غلظت‌های ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم در لیتر محلول‌پاشی نانوذرات آهن مشاهده شد. در سطح ۲۵ و ۵۰ کادمیوم، محتوای نسبی آب برگ در حضور قارچ *Trichoderma atroviride* (SN)، به ترتیب ۱۱/۳ و ۱۶ درصد نسبت به سطح شاهد (عدم تلقیح و عدم محلول‌پاشی) افزایش یافت. همچنین تلقیح قارچ *Chaetomium subaffine* (SF) سبب افزایش ۲۳/۸ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به گیاهان شاهد در غلظت ۷۵ کادمیوم گردید. سمیت کادمیوم سبب از بین رفتن تعادل آب سلول می‌شود، که به‌وسیله شاخص محتوای نسبی آب برگ مشخص می‌گردد. کادمیوم با کاهش طول ریشه، کاهش میزان انتقال مواد از ریشه به شاخساره، کاهش قابلیت تراوایی ریشه، کاهش اندازه و تعداد آوندهای چوبی، افزایش چوب‌پنبه‌ای‌شدن و لیگنینی شدن ریشه و جلوگیری از تولید ریشه‌های موئین موجب ایجاد اختلال در جذب آب و به‌هم‌ریختن تعادل آبی در گیاه می‌گردد (Barcelo and Poschenriedr, 1990). به‌نظرمی‌رسد که قارچ‌های همزیست احتمالاً از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل کردن سیستم ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریسه‌های قارچ، میزان آب بیشتری جذب کرده و باعث بهبود روابط آبی گیاهان در شرایط تنش می‌گردد. (Auge, 2015).

جدول ۲. تأثیر برهمکنش تنش کادمیوم، همزیستی قارچی و محلول پاشی نانوذرات آهن بر محتوای نسبی آب برگ گیاه خرفه

Table 2. Interaction effect of cadmium stress, fungal symbiosis and foliar spraying of iron nanoparticles on relative water content of leaves in purslane plant

Cd concentration (mg.kg-1soil)	Iron nanoparticles (g.l-1)	Fungal Symbiosis			
		Control	*Chaetomium subaffine* (SF)	*Trichoderma atroviride* (SN)	*Trichoderma longibrachiatum*
0	0	58.82 bc	65.63 abc	67.99 ab	56.70 c
	0.15	60.41 bc	67.55 abc	67.29 abc	74.42 a
	0.3	61.24 bc	65.56 abc	66.76 abc	67.83 ab
25	0	58.21 ab	62.06 ab	60.95 ab	58.09 ab
	0.15	57.42 b	62.92 ab	63.05 ab	62.42 ab
	0.3	60.50 ab	62.37 ab	65.60 a	58.64 ab
50	0	54.95 bc	59.80 abc	59.87 abc	59.77 abc
	0.15	51.73 c	63.03 ab	65.44 a	56.96 abc
	0.3	59.14 abc	57.48 abc	52.70 c	55.15 bc
75	0	48.87 bc	64.12 a	51.67 bc	52.58 bc
	0.15	56.18 ab	48.86 bc	53.57 ab	52.46 bc
	0.3	42.52 c	51.63 bc	50.01 bc	56.31 ab

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each cadmium level, the means with the same letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که اثر ساده کادمیوم بر محتوای کلروفیل *a*، *b*، *a+b*، کاروتنوئید و شاخص سبزینگی برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما بر نسبت کلروفیل *a/b* تأثیر معنی‌داری نداشت. اثر ساده قارچ بر محتوای کلروفیل *b*، *a+b*، *a/b* و شاخص سبزینگی برگ معنی‌دار بود اما محتوای کلروفیل *a* و کاروتنوئید به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نگرفت. اثر ساده نانوذرات آهن بر محتوای کلروفیل *b*، *a+b*، کاروتنوئید و شاخص سبزینگی برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما اثر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل *a* و نسبت کلروفیل *a/b* نداشت. بین کادمیوم و قارچ از نظر محتوای کلروفیل *b* در سطح احتمال پنج درصد و نسبت کلروفیل *a/b* در سطح احتمال یک درصد برهمکنش معنی‌داری مشاهده شد. برهمکنش کادمیوم و نانوذرات آهن نیز از نظر محتوای کلروفیل *a*، *a+b*، کاروتنوئید و شاخص سبزینگی برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بین قارچ و نانوذرات آهن بر محتوای کلروفیل *a*، *a+b* در سطح پنج درصد و بر میزان کاروتنوئید در سطح یک درصد برهمکنش معنی‌داری وجود داشت. اثر متقابل سه گانه کادمیوم، قارچ و نانوذرات آهن بر کلروفیل *a* و شاخص سبزینگی برگ در سطح احتمال پنج درصد و بر نسبت کلروفیل *a/b* و کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). برش‌دهی اثرات متقابل قارچ و نانوذرات آهن در هر سطح کادمیوم نشان داد که برهمکنش قارچ و نانوذرات آهن در سطح صفر و ۲۵ کادمیوم بر محتوای کلروفیل *a* و نسبت کلروفیل *a/b* و در سطح ۷۵ کادمیوم بر محتوای کاروتنوئید معنی‌دار بود، در حالی که در تمامی سطوح کادمیوم بر شاخص سبزینگی برگ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

جدول۳. میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی خرفه

Table 3. Mean squares of experimental treatments on the content of photosynthetic pigments of purslane

Source of variation	df	Chlorophyll				Carotenoid	SPAD
		a	*b*	*a+b*	*a/b*		
(A) Cadmium	3	6.86 **	1.53 **	3.67 **	0.286 ns	0.755 **	189.96 **
(B) Fungi	3	0.194 ns	0.653 **	0.325 **	1.90 **	0.020 ns	29.63 **
(C) Iron nanoparticles	2	0.473 ns	0.385 **	0.416 **	0.476 ns	0.322 **	65.35 **
A×B	9	0.262 ns	0.137 *	0.101 ns	0.917 **	0.061 ns	6.17 ns
A×C	6	0.628 **	0.1002 ns	0.277 **	0.545 ns	0.145 **	18.36 **
B×C	6	0.473 *	0.045 ns	0.171 *	0.485 ns	0.208 **	2.93 ns
A×B×C	18	0.456 *	0.039 ns	0.116 ns	0.728 **	0.091 **	9.87 *
Error	96	0.185	0.054	0.075	0.321	0.041	5.36
CV (%)		21.13	23.86	18.13	15.99	25.32	7.75

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار ومعنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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

جدول ۴. تجزیه واریانس برش‌دهی اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک خرفه

Table 4. Variance analysis of interaction effect slicing of experimental treatments on morphological and physiological traits of purslane

Cadmium Concentration	df	RWC	Chlorophyll *a*	Chlorophyll *a/b*	Carotenoid	SPAD
0	6	56.69 ns	0.799 *	1.52 *	0.0763 ns	2.619 ns
25	6	9.33 ns	0.716 *	0.467 *	0.0446 ns	1.122 ns
50	6	56.67 ns	0.243 ns	0.348 ns	0.0157 ns	4.871 ns
75	6	102.78 *	0.0822 ns	0.326 ns	0.204 **	23.94 ns

ns، * و **به ترتیب غیر معنی‌دار ومعنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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

میانگین اثرهای متقابل تیمارهای آزمایشی در جدول ۵ آورده شده است. بر اساس یافته ها، گیاهان تلقیح‌شده با قارچ محتوای کلروفیل *a* بیشتری در غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم خاک در مقایسه با گیاهان شاهد داشتند. محلول‌پاشی نانوذرات آهن نیز به ویژه در غلظت ۰/۱۵ گرم در لیتر سبب افزایش محتوای کلروفیل *a* در تمامی سطوح کادمیوم گردید. بیشترین محتوای کلروفیل *a* در غلظت ۲۵ کادمیوم (با ۱۸/۹ درصد افزایش نسبت به سطح عدم تلقیح و عدم محلول‌پاشی) در گیاهان تلقیح شده با قارچ *Chaetomium subaffine* (SF)، در غلظت ۵۰ کادمیوم (با ۲۴ درصد افزایش) در گیاهان تلقیح شده با قارچ *T. longibrachiatum* و در غلظت ۷۵ کادمیوم (با ۱۰ درصد افزایش) در گیاهان تلقیح شده با قارچ *T. atroviride* (SN) مشاهده شد.

جدول ۵. تأثیر برهمکنش تنش کادمیوم، همزیستی قارچی و محلول پاشی نانوذرات آهن بر میزان کلروفیل a گیاه خرفه

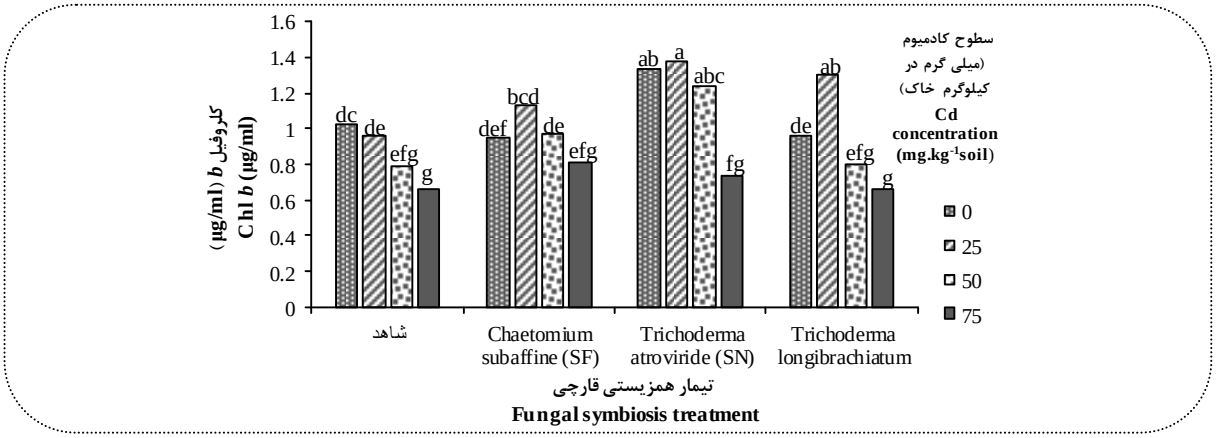
Table 5. Interaction effect of cadmium stress, fungal symbiosis and foliar spraying of iron nanoparticles on chlorophyll a content in purslane plant

Cd concentration (mg.kg-1soil)	Iron nanoparticles (g.l-1)	Fungal Symbiosis			
		Control	*Chaetomium subaffine* (SF)	*Trichoderma atroviride* (SN)	*Trichoderma longibrachiatum*
0	0	1.88 b–e	1.50 e	1.80 cde	1.92 b–e
	0.15	2.58 a–d	2.61 abc	3.12 a	1.97 b–e
	0.3	2.16 a–e	1.64 de	1.55 e	2.81 ab
25	0	2.70 abc	2.72 abc	1.87 d	2.69 abc
	0.15	2.33 bcd	3.33 a	2.79 ab	2.67 abc
	0.3	1.95 cd	2.45 bcd	3.06 ab	2.41 bcd
50	0	1.92 bc	1.82 bc	1.86 bc	2.01 abc
	0.15	1.63 bc	2.18 ab	1.70 bc	2.50 a
	0.3	1.50 c	1.50 c	2.10 ab	1.81 bc
75	0	1.69 ab	1.48 ab	1.65 ab	1.41 ab
	0.15	1.26 b	1.72 ab	1.57 ab	1.45 ab
	0.3	1.51 ab	1.54 ab	1.88 a	1.39 ab

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each cadimium level, the means with the same letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability

برهمکنش سطوح کادمیوم خاک و تیمار همزیستی قارچی در گیاه خرفه (شکل ۸) نشان داد که میزان کلروفیل *b* در گیاهان شاهد (عدم تلقیح) با افزایش سطوح کادمیوم به میزان ۳۶/۲ درصد کاهش یافت اما در تمامی گیاهان تلقیح شده میزان کلروفیل *b* تا سطح ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم خاک افزایش یافت. در غلظت‌های ۵۰ و ۷۵ کادمیوم میزان کلروفیل *b* در گیاهان تلقیح شده کاهش یافت اما این روند کاهشی به مراتب کمتر از گیاهان شاهد (عدم تلقیح) بود. همچنین نتایج نشان داد میزان کلروفیل *b* در گیاهان تلقیح شده در تمامی سطوح کادمیوم بیشتر از گیاهان شاهد (عدم تلقیح) بود و این نشان دهنده‌ی تأثیر مثبت همزیستی قارچی بر افزایش کلروفیل *b* به ویژه در شرایط تنش است. نتایج برهمکنش سطوح نانوذرات آهن و تیمار همزیستی قارچی در گیاه خرفه (شکل ۹) بیانگر اثر مثبت محلول‌پاشی نانوذرات بر مجموع کلروفیل *a+b* در گیاهان تلقیح شده نسبت به شاهد بود. بر این اساس، بیشترین محتوای کلروفیل *a* و *b* در گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های *Chaetomium subaffine* (SF) و *T. atroviride* (SN) در سطح ۰/۱۵ گرم در لیتر نانوذرات آهن (به ترتیب با ۱۶ و ۱۹ درصد افزایش نسب به سطح شاهد) مشاهده شد. محلول‌پاشی نانوذرات آهن در سطح صفر و ۲۵ کادمیوم سبب افزایش مجموع کلروفیل *a+b* گردید اما در سطوح ۵۰ و ۷۵ کادمیوم محتوای کلروفیل *a+b* کاهش یافت. در تمامی غلظت‌های محلول‌پاشی نانوذرات آهن بیشترین محتوی کلروفیل *a+b* در سطح ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم خاک مشاهده شد (شکل ۱۰).

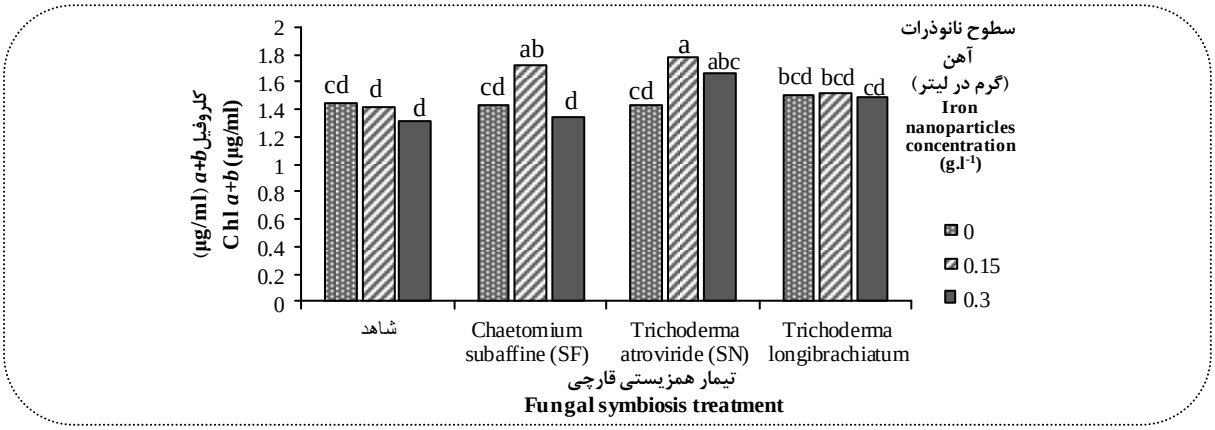


شکل ۸. برهمکنش سطوح کادمیوم خاک و تیمار همزیستی قارچی بر محتوای کلروفیل *b* گیاه خرفه.

Figure 8. Interaction of soil cadmium levels and fungal symbiosis on Chl *b* content of purslane

ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Columns with similar letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability

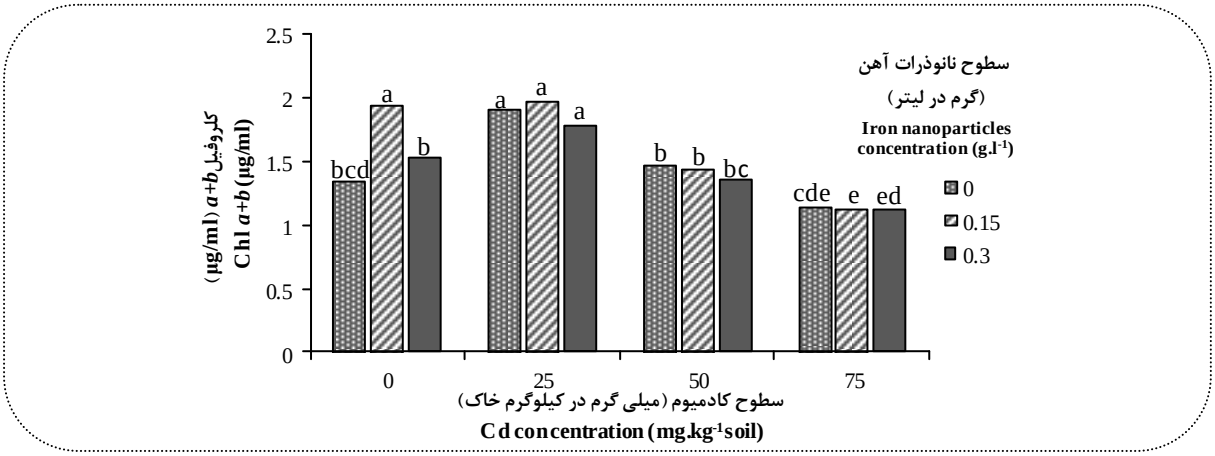


شکل ۹. برهمکنش سطوح نانوذرات آهن و تیمار همزیستی قارچی بر مجموع کلروفیل a+b گیاه خرفه

Figure 9. Interaction of iron nanoparticle and fungal symbiosis treatment on total chlorophyll a+b of purslane

ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Columns with similar letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability



شکل ۱۰. برهمکنش سطوح کادمیوم خاک و نانوذرات آهن بر مجموع کلروفیل *a+b* گیاه خرفه

Figure 10. Interaction of soil cadmium levels and iron nanoparticles on total chlorophyll *a+b* of purslane

ستون‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Columns with similar letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability.

هر چند با افزایش غلظت کادمیوم نسبت کلروفیل *a/b* چه در گیاهان تلقیح شده و چه در گیاهان شاهد از روند خاصی تبعیت نکرد اما در مجموع محلول‌پاشی نانوذرات آهن سبب افزایش نسبت کلروفیل *a/b* نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی گردید (جدول ۶). در مقایسه، محتوای کاروتنوئید در گیاهان تلقیح شده در تمامی سطوح کادمیوم خاک بیشتر از گیاهان شاهد (عدم تلقیح) بود. در سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کادمیوم بیشترین میزان کاروتنوئید در غلظت ۰/۱۵ گرم در لیتر نانوذرات آهن مشاهد شد. کاربرد ۰/۱۵ گرم در لیتر نانوذرات آهن در گیاهان تلقیح شده با قارچ *C. subaffine* (SF) بیشترین محتوای کاروتنوئید در غلظت ۵۰ کادمیوم را به همراه داشت (جدول ۷).

شاخص سبزینگی برگ با افزایش غلظت کادمیوم هم در گیاهان تلقیح شده و هم در گیاهان شاهد کاهش یافت اما به مراتب این کاهش در گیاهان تلقیح شده کمتر از شاهد (عدم تلقیح) بود (جدول ۸). در تمامی سطوح کادمیوم استفاده از نانوذرات آهن در گیاهان تلقیح شده سبب بهبود شاخص سبزینگی برگ گردید. در گیاهان تلقیح شده با قارچ *T. atroviride* (SN) میزان شاخص سبزینگی برگ در سطح ۲۵ کادمیوم در غلظت ۰/۱۵ نانوذرات آهن، ۸/۸ درصد و در سطح ۵۰ کادمیوم در غلظت ۰/۳ نانوذرات آهن، ۲۱/۱ درصد نسبت به شاهد (عدم تلقیح و محلول‌پاشی) بیشتر بود. بیشترین شاخص سبزینگی برگ نیز در سطح ۷۵ کادمیوم و در غلظت ۰/۱۵ نانوذرات آهن (با حدود ۳۶ درصد افزایش نسبت به سطح شاهد) در گیاهان تلقیح شده با قارچ *T. longibrachiatum* مشاهده شد.

جدول ۶. تأثیر برهمکنش تنش کادمیوم، همزیستی قارچی و محلول پاشی نانوذرات آهن بر نسبت کلروفیل a/b گیاه خرفه

Table 6. Interaction effect of cadmium stress, fungal Symbiosis and foliar spraying of iron nanoparticles on chlorophyll a/b content in purslane plant

Cd concentration (mg.kg-1soil)	Iron nanoparticles (g.l-1)	Fungal Symbiosis			
		Control	Chaetomium subaffine (SF)	Trichoderma atroviride (SN)	Trichoderma longibrachiatum
0	0	2.10 bc	1.92 bc	1.59 bc	2.44 b
	0.15	2.08 bc	2.45 b	2.19 bc	1.57 bc
	0.3	2.24 bc	1.78 bc	1.26 c	3.79 a
25	0	3.01 a	2.85 ab	1.48 e	2.11 cde
	0.15	2.33 bcd	2.02 de	1.86 de	2.002 de
	0.3	2.07 cde	2.70 abc	2.21 bcd	2.15 cd
50	0	2.15 b-e	2.38 bc	1.57 de	3.48 a
	0.15	2.33 bcd	1.85 b-e	1.47 e	2.55 b
	0.3	1.98 b-e	1.58 cde	1.63 cde	2.16 b-e
75	0	2.39 ab	2.23 ab	2.23 ab	1.97 b
	0.15	2.24 ab	1.75 b	2.006 b	2.38 ab
	0.3	2.28 ab	2.14 ab	3.15 a	2.59 ab

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each cadimium level, the means with the same letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability

جدول ۷. تأثیر برهمکنش تنش کادمیوم، همزیستی قارچی و محلول پاشی نانوذرات آهن بر محتوای کاروتنوئید (واحد) گیاه خرفه

Table 7. Interaction effect of cadmium stress, fungal Symbiosis and foliar spraying of iron nanoparticles on carotenoid content (unit) in purslane plant

Cd concentration (mg.kg-1soil)	Iron nanoparticles (g.l-1)	Fungal Symbiosis			
		Control	*Chaetomium subaffine* (SF)	*Trichoderma atroviride* (SN)	*Trichoderma longibrachiatum*
0	0	0.878 [a]	0.529 [ab]	0.581 [ab]	0.713 [a]
	0.15	0.272 [b]	0.529 [ab]	0.581 [ab]	0.669 [a]
	0.3	0.825 [a]	0.751 [a]	0.733 [a]	0.710 [a]
25	0	0.608 [b]	0.672 [ab]	0.616 [b]	0.909 [a]
	0.15	0.574 [b]	0.672 [ab]	0.827 [ab]	0.909 [a]
	0.3	0.774 [ab]	0.567 [b]	0.827 [ab]	0.685 [ab]
50	0	0.703 [b]	1.006 [ab]	0.895 [ab]	0.651 [b]
	0.15	0.621 [b]	1.259 [a]	0.822 [ab]	1.258 [a]
	0.3	0.943 [ab]	1.038 [ab]	1.048 [ab]	1.191 [a]
75	0	1.206 [a]	0.673 [f]	0.482 [f]	0.508 [f]
	0.15	0.805 [de]	1.088 [abc]	1.169 [a]	0.941 [a-e]
	0.3	0.861 [cde]	1.042 [a-d]	1.138 [ab]	0.891 [b-e]

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each cadimium level, the means with the same letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability

جدول ۸. تأثیر برهمکنش تنش کادمیوم، همزیستی قارچی و محلول پاشی نانوذرات آهن بر میزان شاخص سبزینگی برگ گیاه خرفه

Table 8. Interaction effect of cadmium stress, fungal Symbiosis and foliar spraying of iron nanoparticles on SPAD value in purslane plant

Cd concentration (mg.kg-1soil)	Iron nanoparticles (g.l-1)	Fungal symbiosis			
		Control	*Chaetomium subaffine* (SF)	*Trichoderma atroviride* (SN)	*Trichoderma longibrachiatum*
0	0	30.5 [a]	31 [a]	31.8 [a]	33.5 [a]
	0.15	32.9 [a]	32.3 [a]	32.06 [a]	32.9 [a]
	0.3	30. 4 [a]	32.9 [a]	32.3 [a]	32.7 [a]
25	0	30. 2 [bc]	31.8 [abc]	31.4 [abc]	32.4 [ab]
	0.15	30.4 [abc]	31.7 [abc]	33.1 [a]	31.7 [abc]
	0.3	29.4 [c]	30.03 [bc]	31.06 [abc]	29.8 [bc]
50	0	25.8 [ed]	25.4 [e]	29.7 [abc]	27.9 [cde]
	0.15	31.1 [abc]	30.9 [abc]	31.7 [ab]	30.8 [abc]
	0.3	29.1 [bcd]	29.5 [abc]	32.7 [a]	27.7 [cde]
75	0	21.1 [d]	23.4 [cd]	27.8 [abc]	24.9 [cd]
	0.15	26.3 [bcd]	27.03 [bc]	28.4 [abc]	32.9 [a]
	0.3	25.5 [bcd]	25.8 [bcd]	27.7 [abc]	31.06 [ab]

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each cadimium level, the means with the same letter (s) did not differ significantly based on the LSD test at the 5% level of probability

گزارش‌های زیادی مبنی برکاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در حضور کادمیوم وجود دارد. سلطانی و همکاران (۱۳۸۵) نشان دادند که کادمیوم به طور معنی‌داری سبب کاهش مقدار کلروفیل کل، کلروفیل *a* و *b* کلزا در غلظت‌های ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میکرومولار می‌شود. در سویا نیز کاهش میزان کلروفیل و نیز فتوسنتز در اثر افزایش غلظت کادمیوم گزارش شده است (Xue et al., 2013). کاظم علیلو و صدقیانی (۱۳۹۱) نیز عنوان کردند که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک از غلظت کلروفیل a و b در برگ‌های گیاه بنگدانه (*Hyoscyamus niger*) به طور معنی‌داری کاسته می‌شود. کادمیوم با آسیب به غشاهای تیلاکوئیدی کلروپلاست، ظرفیت فتوسنتزی گیاه را به شدت کاهش داده و باعث توقف رشد در گیاه می‌گردد. کاهش میزان ذخیره کلروفیل در برگ می‌تواند به دلیل مهار سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط کادمیوم از طریق بازدارندگی بر جذب عناصر غذایی ضروری نظیر آهن، منگنز و منیزیم باشد (Vassilev and Yordanov, 1997). Jianpeng و همکاران (2010) نیز مهار انتقال آهن نشاندار را در اندام‌های گیاهان تحت تیمار با کادمیوم گزارش کردند، علت این امر این است که کادمیوم با عناصر مغذی ضروری که در سنتز کلروفیل نقش اساسی دارند در رقابت بوده و با جایگزین شدن در فرایند جذب ریشه‌ای از طریق پروتئین‌های ناقل موجود در غشای سلولی، جای این فلزات را در ساختار مولکول کلروفیل اشغال کرده و مانع سنتز این رنگیزه می‌گردد و یا با جلوگیری از جذب نور، باعث از بین رفتن کلروفیل وکاهش فعالیت فتوسنتزی می‌شود. از طرفی کاروتنوئیدها در طی تنش‌های اکسیداتیو القا شده به عنوان یک سیستم حفاظتی عمل کرده و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند. کاهش رنگیزه‌های کاروتنوئیدی به دلیل نقش آن‌ها در سمیت‌زدایی کلروفیل و فرونشانی کلروفیل‌های برانگیخته و ممانعت از تشکیل رادیکال‌های فعال اکسیژن است که در نهایت باعث از هم پاشیدن ساختار کاروتنوئیدها می‌گردد (Sanitata and Gabbriella, 1990). کاهش محتوای کاروتنوئید با افزایش غلظت کادمیوم در مطالعات Shi و همکاران (2010) در گیاه گلرنگ، سلطانی و همکاران (۱۳۸۵) در گیاه کلزا و بارنده و همکاران (۱۳۹۵) در گیاه عدس نیز پیش‌تر گزارش شده است. در این آزمایش همزیستی قارچی موجب افزایش محتوای کلروفیل در گیاه خرفه گردیده است. در همین زمینه، Zarea و همکاران (2012) بیان کردند که بالا بودن میزان کلروفیل در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ اندوفیت می‌تواند به علت وجود رابطه مثبت بین غلظت فسفر و مقدار کلروفیل در گیاهان تلقیح شده باشد. همچنین در شرایط تنش، تلقیح قارچی با تأثیر بر سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی، گونه‌های فعال اکسیژن را جمع‌آوری و از تخریب کلروفیل جلوگیری خواهد کرد (Kapoor et al, 2008). خلیقی جمال آباد و خارا (۱۳۸۷) نشان دادند میزان کلروفیل هم در گیاهان میکوریزایی و هم غیرمیکوریزایی کاهش می‌یابد اما این کاهش در گیاهان میکوریزایی پایین تر از گیاهان غیرمیکوریزایی است. همچنین Demir (2004) بیان داشت که محتوای کلروفیل گیاهان فلفل همزیست با قارچ *G .intraradices* در مقایسه با گیاهان کنترل غیرمیکوریزایی بالاتر بود. در این آزمایش با محلول‌پاشی نانوذرات آهن محتوای کلروفیل گیاه افزایش یافت. در این زمینه پیوندی و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند کاربرد کلات آهن در غلظت کم و همه‌ی غلظت‌های نانو آهن موجب افزایش در غلظت کلروفیل *a* می‌شود. همچنین، کاربرد کود نانو آهن در همه غلظت‌ها در افزایش میزان کلروفیل *b* مؤثرتر از همه غلظت‌های کلات آهن بود. در تحقیقی دیگر نیز نشان داده شد که محلول‌پاشی آهن سبب افزایش میزان کلروفیل و کاروتنوئید در گیاه پنبه گردید (نوری حسینی، ۱۳۸۴). آهن در فرآیندهای اکسیداسیون و احیا نقش دارد و با تغییر ظرفیت سبب انتقال الکترون می‌شود که این نقش در متابولیسم گیاهی بسیار مهم است. وجود آهن در سنتز

پروتئین لازم است و ازآنجایی که نقش عمده آهن در سنتز پروتئین‌های همراه کلروفیل است کمبود آن ساختار کلروپلاست و میزان فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Briat et al., 2015).

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج نشان داد که تنش کادمیوم به ویژه غلظت ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سبب اختلال در رشد و کاهش پارامترهای مورفولوژیک در گیاه خرفه شد. میزان این کاهش در غلظت ۲۵ کادمیوم کمتر بود. همچنین افزایش غلظت کادمیوم سبب آسیب به سیستم فتوسنتزی و رنگیزه‌های کلروفیلی گردید که با نتایج سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد. از سوی دیگر، کاربرد قارچ‌های همزیست در سطوح مختلف کادمیوم بهبود رشد گیاه و سیستم فتوسنتزی را در پی داشت. محلول‌پاشی نانوذرات آهن به ویژه در غلظت ۰/۱۵ گرم در لیتر نیز در بهبود تحمل گیاه به تنش کادمیوم مؤثر بود. از سوی دیگر، برهمکنش قارچ‌های همزیست و محلول‌پاشی نانوذرات آهن اثر هم‌افزایی داشته و با تشدید اثرات مثبت یکدیگر باعث بهبود بیشتر برخی از پارامترهای رشدی و غلظت کلروفیل در گیاه خرفه شد. بنابراین، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با بکارگیری ارتباط‌های متقابل ریزجانداران ریزوسفر و نانوذرات آهن در گیاهان تحت تنش امکان بهبود رشد گیاه و افزایش میزان جذب و زدایش فلزات سنگین طی دو فرآیند گیاه‌پالایی و زیست‌پالایی وجود دارد. با این حال شناخت سازوکار دقیق این فرایند نیازمند انجام پژوهش‌های تکمیلی می‌باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت‌های مالی پژوهشکده‌ی ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری قدردانی می‌گردد.

منابع

اصلانی، ز.، حسنی، ا.، رسولی صدقیانی، م.، سفیدکون، ف.، و بارین، م.، ۱۳۹۰. تأثیر دو گونه قارچ آربوسکولار مایکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) بر رشد، مقادیر کلروفیل و جذب فسفر در ریحان (*Ocimum basilicum L.*) در شرایط تنش خشکی. *مجله گیاهان دارویی و معطر ایران*، شماره ۲۷ (۳) صص ۴۷۱-۴۸۶.

آقابابایی، ف.، رئیسی، ف.، و حسین پور، ع.، ۱۳۹۲. اثر کرم خاکی و قارچ میکوریزا بر زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیمی در خاک‌های آلوده شده به کادمیم در کشت آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*)، *نشریه آب و خاک، علوم و صنایع کشاورزی*، شماره ۲۷، صص ۹۴۹-۹۶۲.

بارنده، ف.، و کاووسی، ح.، ۱۳۹۵. اثر کلرید کادمیوم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای پرولین، میزان پروتئین‌های محلول و برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در گیاهچه عدس، *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، شماره ۵(۱۶)، صص ۱۳۳-۱۱۷.

پوراکبر، ل.، و اشرفی، ر.، ۱۳۹۰. اثر کادمیوم بر میزان تولید هیدروژن پراکسید و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در گیاه ذرت، *نشریه علوم دانشگاه تربیت مدرس*، شماره ۹، صص ۴۸۴-۴۷۳.

پیوندی، م.، کمالی جامکانی، ز.، و میرزا، م.، ۱۳۹۰. تأثیر نانو کلات آهن با کلات آهن بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان مرزه *Satureja hortensis*، *مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی- مولکولی*، شماره ۲(۵)، صص۳۲-۲۵.

تفویضی، م.، متشرعزاده، ب.، و ثواقبی غ.، ۱۳۹۳. بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و آلودگی سرب بر برخی صفات فیزیولوژی دو هیبرید ذرت علوفه‌ای در یک خاک آهکی. *نشریه علوم گیاهان زراعی ایران*، شماره ۴۵(۲)، صص ۲۲۶- ۲۱۳.

تقوی قاسمخیلی، ف.، پیردشتی، ه.، تاجیک قنبری، م.ع.، و بهمنیار، م.ع.، ۱۳۹۳. تأثیر قارچ تریکودرما هارزیانوم (*Trichoderma harzianum*) و کادمیوم بر شاخص تحمل و عملکرد جو (*Hordeum vulgare L.*)، *نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، شماره ۸ (۴)، صص ۴۸۲-۴۶۵.

تقوی قاسمخیلی، ف.، پیردشتی، ه.، تاجیک قنبری، م.ع.، و بهمنیار، م.ع.، ۱۳۹۴. بررسی تأثیر قارچ تریکودرما و نیترات کادمیوم بر قابلیت جذب، انتقال و تجمع کادمیوم در گندم (*Triticum aestivum L.*)، *نشریه تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی*، شماره ۲(۱)، صص ۱۶-۱.

حسین‌زاده، م.ه.، قلاوند، ا.، مشهدی اکبر بوجار، م.، مدرس ثانوی، س.ع.، و مختصی بیدگلی، ع.، ۱۳۹۸. تغییرات مورفولوژیکی، زراعی، محتوی اسانس و روغن گیاه خرفه (*Portulaca oleracea L.*) تحت تأثیر خشکی، مایکوریزا و کود آلی/ شیمیایی نیتروژن، *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، شماره ۱۲(۳)، صص ۸۶۴-۸۳۱.

حیدری، م.، گلیج، م.، قربانی، ه. و برادران‌فیروزآبادی، م.، ۱۳۹۴. تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی نانواکسید آهن بر عملکرد دانه، محتوای یونی و رنگدانه های نورساختی کنجد، *علوم گیاهان زراعی ایران*، شماره ۴۶(۴)، صص ۶۲۸-۶۱۹.

خلیقی جمال آباد، ا.، و خارا، ج.، ۱۳۸۷. تأثیر قارچ میکوریزای آربوسکولار *Glomus intraradices* بر روی تنش اکسیداتیو برخی پارامترهای رشدی و فیزیولوژی در گیاه گندم رقم آذر۲، *مجله زیست شناسی ایران*، شماره ۲۱(۵)، صص ۱۵-۱.

دالوندگماری ک.، و افتخاری س.ع.، ۱۳۹۷. تأثیرکادمیم بر صفات رویشی، شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تربچه نقلی (*Raphanus sativus L*)، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، شماره ۳۲ (۳)، صص ۵۲۹ - ۵۱۷.

رفیعی، م.، مداح حسینی، ش.، حمیدپور، م.، و محمدی میریک، ع.ا.، ۱۳۹۷. برهمکنش کلرید سدیم و کادمیوم بر برخی صفات فیزیولوژیک و محتوای سدیم و کادمیوم ریشه و اندام هوایی خرفه (*Portulaca oleracea*)، *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، شماره ۸ (۴)، صص ۶۰-۴۳.

سلطانی، ف.، قربانلی، م.، منوچهری کلانتری، خ.، ۱۳۸۵. اثر کادمیوم بر مقدار رنگیزه های فتوسنتزی، قندها و مالون دآلدئید در گیاه کلزا (*Brassica napus L.*)، *مجله زیست شناسی ایران*، شماره ۲، صص ۱۳۶-۱۴۵.

شهقلی، ح.، طلائی، ق.ح.، و خواجه، م.، ۱۳۹۱. برهمکنش ریزسازواره‌ها و کلات‌ها بر پالایش عناصر سنگین توسط گیاهان، *مجله ایمنی زیستی*، شماره ۵ (۲)، صص ۹۴-۷۵.

صدوری، م.، و قرچه، ن.، ۱۳۹۲. نقش قارچ‌های همزیست ریشه در احیای زمین‌های آلوده به مواد سمی، *دانش بیماری شناسی گیاهی*، شماره ۲(۲)، صص ۶۰-۴۵.

غفاری، ز.، داودی، م.ج.، و شهبازی، ک.، ۱۳۹۱. *اصلاح آب‌های آلوده به کادمیوم با استفاده از نانوذرات آهن صفر*. اولین کنفرانس ملی نانو فناوری و کاربردهای آن در کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی تهران، کرج. ۲۶-۲۷ اردیبهشت.

فلاح، س.، و سلطانی‌نژاد، ف.، ۱۳۹۵. برهمکنش کادمیم و سطوح مختلف نیتروژن آلی و معدنی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea*)، *مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ایی*، شماره ۷ (۲۶)، صص ۱۷۸-۱۶۳.

کاشانی، آ.، پیردشتی، ه.، بی پروا، پ.، و عمادی، س.م.، ۱۳۹۸. پاسخ صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کلزا (*Brassica napus* L.) به کاربرد نانوذرات آهن صفرظرفیتی پایدارشده تحت تنش شوری، *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، شماره ۸ (۲۹)، صص۱۱۳-۹۵.

کاظم علیلو، س.، رسولی صدقیانی، م.، ۱۳۹۱. اثر آلودگی کادمیومی خاک بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه بنگدانه (*Hyoscyamus niger* L.) در حضور و عدم حضور ریزجانداران محرک رشد گیاه، *نشریه آب و خاک*، شماره ۲۲ (۴)، صص ۳۰-۱۸.

کوچکی، ع.، و سرمدنیا، ع.، ترجمه. ۱۳۹۲. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه فردوسی مشهد).

محمدی کشکا، ف.، پیردشتی، ه.، یعقوبیان، ی.، و بهاری ساروی. س.ح.، ۱۳۹۵. تأثیر همزیستی قارچ‌های *Trichoderma virens* و *Piriformospora indica* به همراه باکتری *Enterobacter* sp. بر رشد رویشی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه فلفل (*Capsicum annuum* L)، *مجله اکوفیزیولوژی گیاهی*، شماره ۲۶، صص ۱۳۳-۱۲۱.

نوری آکندی، ز.، مکاریان، ح.، پیردشتی، ه.، عامریان، م.، برادران فیروزآبادی، م.، و تاجیک‌قنبری، م.، ۱۳۹۸. شناسایی برخی قارچ‌های اندوفیت در ریشه گیاهان علف چشمه (*Nasturtium officinale*) و اناریجه (*Froriepia subpinnata*). مجموعه خلاصه مقالات چهارمین کنگره قارچ‌شناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، ۴-۶ شهریور. صص ۱۱۲.

نوری حسینی، م.، ۱۳۸۴. اثرات محلول پاشی و مصرف خاکی عناصر آهن و روی بر عملکرد و اجزاء عملکرد پنبه. چکیده مقالات نهمین کنگره علوم خاک، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ایران، ۶ شهریور. صص ۹۸.

یعقوبیان، ی.، ۱۳۹۴. *اثر قارچ‌های Piriformospora indica و Trichoderma spp در تحمل به سمیت کادمیوم در گیاهان دارویی بادرنجبویه (Melissa officinalis L.) و خرفه (Portulaca oleracea L.)*. پایان نامه دکتری. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

یعقوبیان، ی.، سیادت، س.ع.ا.، مرادی‌تلاوت، م.ر.، و پیردشتی، ه.ا.، ۱۳۹۵. کمی‌سازی پاسخ رشد رویشی و مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis L.*) به غلظت کادمیوم در خاک، *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، شماره ۲۳(۲)، صص ۱۶۵- ۱۸۵.

Akhtar, K., Akhtar, M.W., and A.M. Khalid. 2007. Removal and recovery of uranium from aqueous solutions by Trichoderma harzianum. *Water Research*. 41:1366-1378.

Auge, R.M., H.D. Toler, and A.M. Saxton. 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza*. 25(1): 13-24.

Aydinalp, C., and S. Marinova. 2009. The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa (*Medicago sativa*) plant. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 15: 347-350.

Barcelo, L., and C. Poschenriedr. 1990. Plant water relations as affected by heavy metal stress: A reaview. *Journal of Plant Nutrition*. 13:1-37.

Briat, J. F., Dubos, C., and F. Gaymard. 2015. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. *Trends in Plant Science*. 20(1): 33-40.

Demir, S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*. 28: 85-90.

Feng, G., Li, X. L., Zhang, F. S., Tian, C.Y., and C. Tang. 2002. Improved tolerance of maize plant to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of solouble sugars in roots. *Mycorrhiza* 12: 185-190.

Gaiero, J.R., McCall, C.A., Thompson, K.A., Day, N.J., Best, A.S., and K.E. Dunfield. 2013. inside the root microbiome: bacterial root endophytes and plant growth promotion. *American Journal of Botany*. 100: 1738-1750.

Greger, M., and E. Ogren. 1991. Direct and indirect effects of Cd on photosynthesis in sugar beet (*Beta vulgaris*). *Physiologia Plantarum*. 83: 129-135.

Hrynkiewicz, K., Dabrowska, G., Baum, C., Niedojad, K., and P. Leinweber. 2012. Interactive and single effects of ectomycorrhiza formation and Bacillus cereus on metallothionein MT1 expression and phytoextraction of Cd and Zn by willows. *Water, Air and Soil Pollution*. 223(3):957–968.

Huang, S., Wang, L., Liu, L., Hou, Y., and L. Li. 2014. Nanotechnology in agriculture, livestock, and aquaculture in china. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35: 369–400.

Hussain, I., Ashraf, M.A., Rasheed, R., Asghar, A., Sajid, M.A., and M. Iqbal. 2015. Exogenous application of silicon at the boot stage decreases accumulation of cadmium in wheat (*Triticum aestivum* L.) grains. *Brazilian Journal of Botany*. 38(2): 223-234.

Jianpeng, F., Qinghua, S., Xiufeng, W., and W. Min. 2010. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium toxicity *Cucumis satvius L*. *Scientia Horticulturae*. 123:521-530.

Kapoor, R., Sharma, D., and A.K. Bhatnagar. 2008. Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. *Scientia Horticulture*. 116: 227-239.

Konate, A., He, X., Zhang, Z., Ma, Y., Zhang, P., Alugongo, G.M., and Y. Rui. 2017. Magnetic (Fe3O4) nanoparticles reduce heavy metals uptake and mitigate their toxicity in wheat seedling. *Sustainability*. 9 (790): 1-16.

Kristin, A., and H. Miranda. 2013. The root microbiotae-a fingerprint in the soil. *Plant Soil*. 370: 671-686.

Liamas, A., Ullrich, B., and A. Sanz. 2000. Cadmium effects on transmembrance electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice roots. *International Journal of Plant and Soil Science*. 219: 21-28.

Lukacov, Z., svubov, R., Kohanov, J., and A. Lux. 2013. Silicon mitigates the Cd toxicity in maize in relation to cadmium translocation, cell distribution, antioxidant enzymes stimulation and enhanced endodermal apoplasmic barrier development. *Plant Growth Regulation*. 70(1): 89-103.

Lutts, S., Kinet, J.M., and J. Bouharmont. 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*. 46: 1843–1852.

Mazhabi, M., Nemati, H., Rouhani, H., Tehranifar, A., Moghadam, E.M., Kaveh, H., and A. Rezaee. 2011. The effect of Trichoderma on polianthes qualitative and quantitative properties. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 21(3): 617-621.

Naderi, M., Danesh-Shahraki, A., and R. Naderi. 2013. The role of nanotechnology in improving the use efficiency of nutrients and chemical fertilizers. *Mon Nanotechnology*. 11 (12): 16 - 32.

Oelmuller, R., Sherameti, I., Tripathi, S., and A. Varma. 2009. Piriformospora, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. *Symbiosis*. 49: 1-17.

Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*. 73(1): 149-156.

Sanita, D.T., and R. Gabbrielli. 1999. Response to cadmium in higher plants- review. *Environmental and Experimental Botany*. 41:105-130.

Savasari, M., Emadi, M., Bahmanyar, M.A., And P. Biparva. 2015. Optimization of Cd (II) removal from aqueous solution by ascorbic acid-stabilized zero valent iron nanoparticles using response surface methodology. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 21: 1403-1409.

Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B., and D.W. Morhinweg. 1988. Water relation in winter wheat as drought resistance indicator. *Crop Science*. 28: 526-531.

Sheoran, V., Sheoran, A.S., and F. Navari-Izzo. 2016. Factors affecting phytoextraction: A review. *Pedosphere* 26(2): 148–166.

Shi, G., Liu, C., Cai, Q., Liu, Q., and C. Hou. 2010. Cadmium accumulation and tolerance of two safflower cultivars in relation to photosynthesis and antioxidative enzymes. *Bulletin of Environmental Contam Toxicology*. 85(3):256-63.

Soltani, A., Hammer, GL., Torabi, B., Robertson, M.J., and E. Zeinali. 2006. Modeling chickpea growth and development: phonological development. *Field Crops Research*. 99: 1-13.

Sun, Y.M., Horng, C.Y., Chang, F.L., Cheng, L.C., and W.X. Tian. 2010. Biosorption of lead, mercury and cadmium ions by Aspergillus tereuss immobilized in a natural matrix. *Polish Journal of Microbiology*. 59 (1): 37-44.

Suzuki, M., Takeda, S., Teraoka-Nishitani, N., Yamagata, A., Tanaka, T., and M. Sasaki. 2017. Cadmiuminduced malignant transformation of rat liver cells: Potential key role and regulatory mechanism of altered apolipoprotein expression in enhanced invasiveness. *Toxicology*. 382: 16-23.

Tiwari, K., Dwivedi, S., Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R., Singh, N., and S. Chakraborty. 2008. Phytoremediation efficiency of Portulaca tuberosa rox and Portulaca oleracea L. naturally growing in an industrial effluent irrigated area in Vadodra, Gujrat, India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 147(1-3): 15- 22.

Vassilev, A., and I. Yordanov. 1997. Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium - treated plants: A review. Plant Physiology. 23:114-133.

Wang B., Liu L., Gao Y., and J. Chen. 2009. Improved phytoremediation of oilseed rape (*Brassica napus*) by Trichoderma mutant constructed by restriction enzyme-mediated integration (REMI) in cadmium polluted soil. Chemosphere. 74: 1400–1403.

Xue, Z., Gao, C., Y, H., and L.T. Zhang. 2013. Effects of cadmium on growth, photosynthetic rate and chlorophyll content in leaves of soybean seedlings. *Biologia Plantarum*. 57: 587-59.

Zago, M.P., and P.I. Oteiza. 2001. The antioxidant properties of zinc: Interactions with iron and antioxidants. *Free Radical Biology and Medicin*. 31:266-274.

Zarea, M.J., Hajinia, S., Karimi, N., Mohammadi Goltapeh, E., Rejali, F., and A. Varma. 2012. Effect of Piriformospora indica and Azospirillum strains from saline or non-saline soil on mitigation of the effects of NaCl. *Soil Biology and Biochemistry*. 45: 139-146.

Zhang, M., He, F., Zhao, D., and X. Hao. 2011. Degradation of soil sorbed trichloroethylene by stabilized zero valent iron nanoparticles: Effects of sorption, surfactants, and natural organic matter. *Water Research*. 45: 2401-2414.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۳۶- ۲۳)
مقاله پژوهشی

پاسخ مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی سیر خوراکی (*Allium sativum*) به تغذیه گوگرد، اسید هیومیک و ورمی‌واش

کامران قاسمی [۱*]، وحید اکبرپور [۲]، مهدی محمدی ازنی [۳]

۱. نویسنده مسئول و استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
kamranghasemi63@gmail.com
۲. استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
v_akbarpour60@yahoo.com
۳. دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
mehdimohamadi917@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۷**

چکیده

با توجه به نقش ماده آلی خاک در افزایش باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل شامل دو عامل گوگرد (S_0: شاهد، S_1: سه لیتر در هکتار و S_2: شش لیتر در هکتار) و اصلاح‌کننده‌های آلی (شاهد C، اسید هیومیک H و ورمی‌واش V) اجرا شد. براساس نتایج این آزمایش بیشترین عملکرد کل بوته سیر در تیمار S_1V دیده شد هرچند اختلاف معنی‌داری با دو تیمار S_1C و S_2C نداشت. بیشترین وزن تک سیر در تیمار S_1C حاصل شد که بطور معنی‌داری از تمامی تیمارهای دیگر بیشتر بود. حداکثر طول سیر در تیمار S_2C مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با S_1V و S_1C نداشت. بیشترین نرخ فتوسنتز (A) در تیمار S_1C مشاهده شد که بطور معنی‌داری از تمامی تیمارهای مورد بررسی بیشتر بود. بیشترین میزان گوگرد در قسمت خوراکی سیر در تیمار S_1H دیده شد که نسبت به شاهد و تمامی تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری داشت. بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بخش خوراکی سیر در تیمار S_2C مشاهده شد. محتوای فنلی تنها در سه تیمار S_0V، S_1V و S_1C بطور معنی‌داری کمتر از شاهد بودند ولی بقیه تیمارها از نظر فنل کل با شاهد تفاوتی نداشتند. غلظت کافئیک اسید از ۱۱/۳۶ تا ۲۰/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم نوسان داشت که از بین اصلاح‌کننده‌های آلی تیمار شاهد و ورمی‌واش بدون اختلاف معنی‌دار با هم دارای بیشترین مقدار کافئیک اسید بودند.

کلمات کلیدی: آنتی‌اکسیدان، اصلاح‌کننده آلی، سیر خوراکی، کافئیک اسید.

مقدمه

یکی از مسائل اساسی در پرورش سیر خوراکی عدم دستیابی به تولید کمی و کیفی بالقوه است که یقینا یکی از دلایل آن بحث تغذیه بهینه می‌باشد. در راس عناصر مهم برای سیر خوراکی عنصر گوگرد است زیرا تمام گونه‌های خانواده آلیاسه از جمله سیر خوراکی، گوگرد دوست بوده و علاوه بر تجمع این عنصر به میزان زیاد، به تغذیه گوگردی نیز پاسخ می‌دهند. گوگرد عنصری برای اینکه اکسید شده و قابلیت جذب برای گیاه داشته باشد نیازمند حضور باکتری‌های تیوباسیلوس می‌باشد که جمعیت آنها نیز با میزان ماده آلی خاک همبستگی مثبت دارد (Sabbagh et al, 2016)، لذا افزودن ماده آلی موجب افزایش اکسیداسیون گوگرد شده و در نهایت گوگرد قابل‌دسترس گیاه افزایش می‌یابد (Wainwright et al, 1986). علاوه بر گوگرد عنصری، سایر ترکیبات دارای گوگرد نیز می‌توانند برای تغذیه گیاه سیر مفید باشند به‌طوری‌که کود سولفات آمونیوم به‌عنوان یک کود نیتروژنه مناسب برای گیاه سیر به‌ویژه در شرایط بیکربنات بالا مطرح شده است (Shojaee et al., 2019).

اسید هیومیک ترکیبی پلیمری، آلی و طبیعی است که در نتیجه تجزیه مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و مواد مشابه دیگر به وجود می‌آید و می‌تواند موجب افزایش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی گردد (Ghorbani et al, 2010). استفاده از اسید هیومیک می‌تواند افزایش رشد ریشه، برگ، ساقه و تحریک جوانه‌زنی گونه‌های مختلف گیاهان را در پی داشته باشد (Piccolo et al, 1993). هرچند این اثرات هیومیکی تحت تاثیر غلظت و نوع منبع مواد هیومیکی، گونه و سن گیاه و شرایط کاشت قرار می‌گیرد (Turan et al, 2010). افزایش معنی‌دار عملکرد با تیمار اسید هیومیک در بادمجان (Azarpour et al, 2012) و ارزن (Saruhan et al, 2011) گزارش شده است. نتایج پژوهش‌های کارکورت و همکاران (Karakurt et al, 2009) نشان داد که اسید هیومیک به دو صورت خاکی و محلول‌پاشی در کشت فلفل موجب افزایش قند کل و متوسط وزن میوه شد. طبق گزارش ارسلان و پهلیوان (Arslan and Pehlivan, 2008) اسید هیومیک به‌طور غیرمستقیم موجب افزایش دسترسی به مواد غذایی مانند نیتروژن، فسفر و گوگرد می‌شود. گزارش‌های زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد مواد هیومیکی بدلیل آنکه اصلاح‌کننده خاک هستند؛ روی تنفس، سنتز پروتئین و فعالیت آنزیمی در گیاهان عالی موثر بوده است (Nardi et al, 2007). اثر اسید هیومیک بر کاهش تنش شوری (Aydin et al, 2012)، خشکی (Rasaei et al, 2013) و سمیت فلزات سنگین (Haghighi et al, 2010) گزارش شده و همچنین مواد هیومیکی موجب بیان ژن‌های مختلف مسیرهای متابولیکی مرتبط با مکانیسم دفاعی می‌شوند.

ورمی‌واش شامل فضولات کرم به همراه درصدی از مواد آلی و غذایی بستر و لاشه کرم‌ها است (Atiyeh et al, 2000) که دارای اثرات اصلاح‌کنندگی خاک، تغذیه‌ای و حتی قارچ‌کشی نیز می‌باشد. استفاده از ورمی‌واش با افزایش عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه، ارتفاع گیاه و وزن خشک اندام هوایی گندم همراه بود (Rahmatpour et al, 2015). محلول‌پاشی چای کمپوست در گیاه بادرنجبویه به طور معنی‌داری منجر به افزایش ارتفاع بوته، تعداد گره، فاصله میانگره‌ها، سطح برگ، وزن خشک بوته و عملکرد اسانس نسبت به شاهد شد. ورمی‌واش به دلیل حضور تعدادی از ریزجانداران مفید، رشد گیاه و درصد و قدرت جوانه‌زنی دانه لوبیا و برنج را بهبود می‌بخشد (Prabhu, 2006). کاربرد ورمی‌واش به صورت برگ‌پاشی افزایش معنی‌داری بر عملکرد خشک گیاه فلفل داشت (George et al, 2007).

از آنجایی‌که گوگرد عنصری بسیار بااهمیت در رشد و متابولیسم گیاه سیر تلقی می‌گردد و ارتباط میزان ماده آلی خاک با قابلیت دسترسی گوگرد اثبات شده لذا در این پژوهش غلظت‌های مختلف گوگرد به همراه دو اصلاح‌کننده آلی خاک یعنی اسید هیومیک و ورمی‌واش

مورد بررسی قرار گرفت.

مواد وروش‌ها

گیاه سیر رقم مازند در تاریخ ۲۷ مهرماه در منطقه ازنی شهرستان کیاسر (عرض جغرافیایی ۳۶/۱۴ شمالی و طول جغرافیایی ۵۳/۲۵ شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۰۳۵ متر) کشت شد. آب مورد نیاز گیاهان از طریق بارش و کودآبیاری تامین گردید. خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میزان عناصر پرمصرف خاک مزرعه در جدول‌های ۱ و ۲ و میزان بارندگی طی دوره آزمایش در جدول ۳ آورده شده است. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول گوگرد (S) در سه سطح صفر (S_0)، ۳ (S_1) و ۶ (S_2) لیتر کود گوگرد در هکتار از منبع گوگرد مایع پارس کیمیا (حاوی ۲۰ درصد گوگرد) و فاکتور دوم کود آلی در سه سطح شاهد (C)، اسید هیومیک ۲۰ کیلوگرم در هکتار (H) و ورمی‌واش ۲۰ درصد (V) بصورت کودآبیاری در سه نوبت و به فاصله هفت روز در اردیبهشت ماه اعمال گردید. اسید هیومیک مورد استفاده به شکل پودری جامد بوده، حاوی ۹۵ درصد اسید هیومیک، محصول شرکت Diamond Grow آمریکا مشتق شده از زغال بتومینه بود (0-0-12+95%Humic Acid). همچنین ورمی‌واش تهیه شده ازکود حیوانی و ضایعات کشاورزی و کرم خاکی Eisenia fotida با مشخصات نهایی که در جدول ۴ آمده به غلظت ۲۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه

Table 1. Physiochemical analysis of the field soil

Sand %	Silt %	Clay %	Soil Texture	٪Organic C	٪Organic matter	pH	(ds.m-1) EC	TNV%
20	46	34	Silty clay loam	2.203	3.80	7.78	1.09	7

جدول ۲. عناصر غذایی موجود در خاک مزرعه

Table 2. Nutrient elements of field soil

N (%)	P (mg.kg-1)	K (mg.kg-1)	Mg (mg.kg-1)	Fe (mg.kg-1)	Mn (mg.kg-1)	Zn (mg.kg-1)	Cu (mg.kg-1)
0.22	17	730	196	5.4	10.62	0.76	0.89

جدول ۳. توزیع و میزان بارندگی طی دوره آزمایش

Table 3. Rainfall amount and distribution during experiment period

Total Sum	May 2017	April 2017	March 2017	February 2017	January 2017	December 2017	November 2017	month
252.41	88.21	50.92	13.9	13.36	111.8	24.71	49.51	Rainfall (mm)

جدول ۴. نتایج تجزیه شیمیایی ورمی‌واش مورد استفاده

Table 4. Chemical analysis of used vermiwash

pH	(ds.m-1) EC	Organic C %	Cu (mg.l-1)	Mn (mg.l-1)	Zn (mg.l-1)	Fe (mg.l-1)	Ca (mg.l-1)	Mg (mg.l-1)	K (mg.l-1)	P (mg.l-1)	N- NH4+ (%)
8.37	7.4	0.058	0.1	0.01	0.05	0.05	1.2	0.96	3.9	0.25	2.1

صفات مربوط به عملکرد و اجزای آن شامل عملکرد (تن در هکتار)، وزن تک سیر (گرم)، وزن سیرچه (گرم)، طول و عرض سیر (سانتی‌متر) و تعداد سیرچه در انتهای آزمایش مورد محاسبه قرار گرفت. پارامترهای فتوسنتزی شامل درصد رطوبت نسبی برگ (RH)، سرعت تعرق (E)، هدایت روزنه‌ای (gH_2O)، نرخ فتوسنتز (A) و کمبود فشار بخار آب (VPD)، تابش فعال فتوسنتزی بالای برگ (PARtop)، تابش فعال فتوسنتزی پایین برگ (PARbot) و تابش فعال فتوسنتزی محیط (PARamb) توسط دستگاه Portable Gas Exchange & Fluorescence System، (GFS- 3000, Walz, German) در یک روز آفتابی بین ساعت ۱۰:۴۵– ۱۲:۳۰ اندازه‌گیری شدند.

به منظور اندازه‌گیری عناصر غذایی، نمونه‌های بخش خوراکی سیر از هر تیمار در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شده و پودر گردید. سپس یک گرم از نمونه گیاهی آسیاب شده در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت سوزانده و به خاکستر تبدیل شد. خاکستر حاصل در ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال حل و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس عصاره حاصل صاف شد. این عصاره برای اندازه‌گیری عناصر فسفر و منیزیم، مورد استفاده قرار گرفت (Taullley and Semnani, 2002). مقدار نیتروژن گیاه نیز به روش میکرو-کجلدال و غلظت فسفر به روش آمونیوم مولیبدات وانادات در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شد (Westerman,1990). جهت اندازه‌گیری عناصر پتاسیم، کلسیم و گوگرد ابتدا ۰/۲ گرم از بافت گیاهی را وزن کرده و سپس ۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۷٪ غلیظ به آن اضافه شد. ترکیب بدست آمده یک ساعت در دمای اتاق نگه داشته سپس به مدت سه ساعت روی صفحه داغ با دمای ۹۰ درجه قرار داده شد. سپس بعد سرد شدن با آب یون‌زدایی شده به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. از عصاره حاصل با استفاده از روش نشر شعله‌ای با دستگاه Flame photometer کلسیم و پتاسیم اندازه‌گیری شد (Waling ,1989). گوگرد نیز از طریق قرائت در طول موج ۴۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر و رسم منحنی استاندارد بدست آمد (Ropme, 1999).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل از طریق بلوکه کردن رادیکال پایدار دی فنیل پیکریل هیدرازیل یا DPPH انجام شد. بطور خلاصه به مقدار و غلظت مشخصی از عصاره متانولی، محلول DPPH اضافه کرده و بعد از آماده شدن لوله‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در محیط تاریک قرار داده و در نهایت جذب ترکیب فوق‌الذکر در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد و نتایج به‌صورت درصد مهار در غلظت ۳/۲ میلی‌گرم در میلی‌لیتر عصاره بیان گردید (Ebrahimzadeh et al, 2010). اندازه‌گیری فنل کل به روش فولین سیوکالتیو انجام شد. به این منظور ابتدا ۲۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با۱۰۰ میکرولیتر فولین سیوکالتیو و ۱/۱۶ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شده و سپس ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم یک مولار به آن افزوده شد محلول فوق به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و حمام بخار ۴۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. در نهایت نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شدند (Slinkard et al, 1977). سنجش فلاونوئید کل به روش آلومینیوم کلراید انجام گرفت بدین صورت که ابتدا ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی تهیه شده با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد ، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم یک مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و نیم ساعت در تاریکی قرار داده شد. سپس جذب آن در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت گردید (Chang et al, 2002).

جهت اندازه‌گیری کافئیک اسید ابتدا عصاره متانولی تهیه شد. سپس نمونه‌ها پس از ورتکس کوتاهی، به‌مدت ۲۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک (Ultrasonic Cleaner) با بسامد ۴۰ کیلوهرتز قرار داده و پس از آن به‌مدت دو ساعت با شیکر تکان داده شد. آنگاه نمونه‌ها در دور rpm

۱۰۰۰۰ به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (مدل Sigma 3-30K) و فاز رویی آن‌ها جدا گردید. در نهایت تعیین مقدار کافئیک اسید براساس روش هو و کیتس (Hu and Kitts, 2000) و با استفاده از دستگاه HPLC (مدل KANUER) تعیین گردید.

بعد از جمع‌آوری داده‌های حاصل از آزمایش، آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

همانطورکه نتایج جدول شماره ۵ نشان می‌دهد اثر متقابل گوگرد و کود آلی بر تمام صفات مرتبط با عملکرد و اجزای عملکرد معنی‌دار شد. بیشترین ارتفاع بوته در تیمار گوگرد S_1V دیده شد لذا یک سایه‌سار مطلوب در این تیمار برای گیاه سیر توسعه می‌یابد و کمترین ارتفاع نیز در نمونه‌های شاهد مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین عملکرد کل بوته سیر در تیمار S_1V بود، هر چند اختلاف معنی‌داری با دو تیمار S_1C و S_2C نداشت (جدول ۵). بیشترین وزن تک سیر در تیمار S_1C حاصل شد که بطور معنی‌داری از تمامی تیمارهای دیگر بیشتر بود و کمترین وزن تک سیر در گیاهان شاهد دیده شد (جدول ۵). حداکثر اندازه طولی سیر در تیمار S_2C دیده شد که اختلاف معنی داری با S_1V و S_1C نداشت (جدول ۵). همچنین سه تیمار مذکور از نظر عرض سیر نیز اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۵). از نظر تعداد سیرچه تنها دو تیمار S_1C و S_2C دارای تعداد بیشتری سیرچه نسبت به شاهد بودند (جدول ۵).

از آنجایی‌که از نظر اکثر شاخص‌های مرتبط با عملکرد نظیر عملکرد کل بوته، وزن تک سیر، اندازه سیر و تعداد سیرچه تیمار S_1C دارای میزان بالایی بود لذا در مجموع میتوان گفت که از نظر عملکردی استفاده از گوگرد با غلظت متوسط و بدون اصلاح‌کننده‌های آلی بهترین تیمار بود. در خصوص چرایی تاثیرگذاری تیمار گوگرد دستکم می‌توان به دو مورد اساسی اشاره نمود. نقش اول مربوط به تاثیر گوگرد بر فتوسنتز است. با توجه به شکل ۱، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن سیر و شدت فتوسنتز (A) برقرار است لذا زمانی‌که غلظت متوسط گوگرد بکار رفت میزان فتوسنتز گیاه افزایش یافت و همین مسئله افزایش عملکرد سیر را در پی داشت. مشخص شده است که در تنش کمبود گوگرد تجزیه آنزیم روبیسکو رخ می‌دهد که مستقیما فتوسنتز را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Hawkesford and De Kok, 2006). نقش دوم گوگرد تاثیر غیرمستقیم آن بر افزایش جذب فسفر می‌باشد به طوریکه اثر منفرد تغذیه گوگرد بیانگر آن است که تیمار گوگرد موجب افزایش غلظت فسفر گردیده است (شکل ۴). عنصر فسفر، عنصری کلیدی در عملکرد سیر محسوب می‌شود و همبستگی مثبت بین فسفر و وزن سیر که در شکل ۲ ارائه شده است گویای همین مطلب می‌باشد. تاثیر سینرژیستی گوگرد بر جذب فسفر و ارتباط معنی‌دار مثبت بین گوگرد، فسفر و عملکرد سوخ سیر در پژوهش‌های دیگر نیز اعلام شده و گزارش شده است که تاثیر استفاده همزمان از هر دو عنصر فسفر و گوگرد در پرورش سیر بیشتر از اثر تنهای هر یک از آنها مفید بود (Chandel et al, 2012).

به هر شکل اصلاح‌کننده‌های آلی نتوانستند کمکی به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد سیر بکنند؛ این درحالی است که انتظار بر این بود که این مواد برهمکنش مثبت با گوگرد نشان دهند زیرا میزان گوگرد قابل دسترس خاک ارتباط مستقیمی با میزان کربن آلی دارد (Chandel et al, 2012). احتمالا تاثیر مثبت ماده آلی بدلیل افزایش اکسیداسیون گوگرد و در نتیجه افزایش گوگرد قابل‌دسترس گیاه باشد (Wainwright et al, 1986). به نظر می‌رسد بالا بودن نسبی ماده آلی خاک مزرعه مورد آزمایش (۳/۸۰ درصد) موجب شد که تاثیر اصلاح‌کننده‌های آلی در این

خصوص کمرنگ گردد. لذا می‌توان نتایج این بخش را بدین گونه خلاصه نمود که در خاکی با میزان ماده آلی مشابه شرایط این آزمایش، نیازی به اصلاح‌کننده‌های آلی نظیر اسید هیومیک و ورمی‌واش نمی‌باشد و تنها تغذیه گوگردی کافی خواهد بود. این مسئله که میزان بهینه ماده آلی خاک برای اکسیداسیون مطلوب گوگرد چقدر است قبلا گزارش نشده است لذا نتیجه این آزمایش می‌تواند در این خصوص راهگشا باشد.

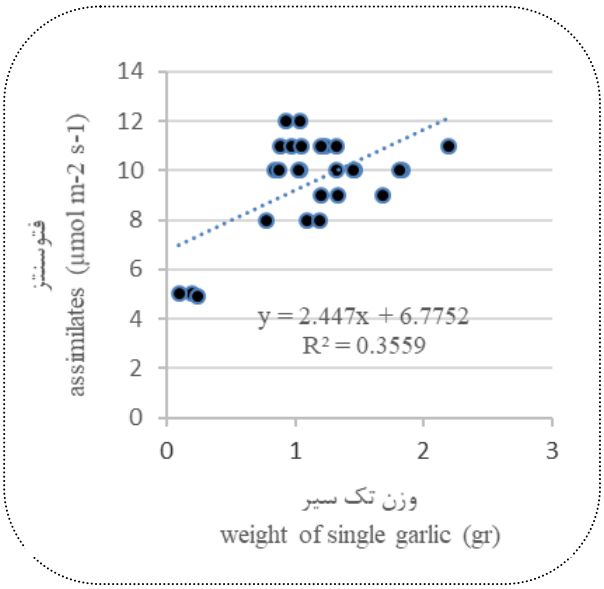
جدول ۵. مقایسه میانگین اثر گوگرد و اصلاح‌کننده‌های آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیر خوراکی

Table 5. Mean comparison of sulphur and organic amendments on yield and yield component of garlic

Treatment	Plant height (cm)**	Total garlic yield (t.ha-1)*	Garlic weight (g)**	Garlic length (cm)**	Garlic width (cm)**	clove number*	Clove length (cm)**	Clove width (cm)**	Clove weight (g)**
S_0C	83.33 e	24.1 bc	54.33 f	5.53 d	3.63 b	13 c	2.06 d	1.63 d	4.96 g
S_0V	90 cd	20.83 c	65 e	6.56 bc	5 ab	13 c	3.66 ab	2.5 bc	11.66 a
S_0H	105 b	22.91 bc	78.66 d	6.83 b	5.56 a	14 abc	3.36 bc	2.3 c	8 f
S_1C	90 cd	25 ab	107 a	6.9 ab	5.56 a	15 a	3.93 a	2.63 b	10.33 cd
S_1V	115 a	27.5 a	78.33 cd	6.9 ab	4.83 ab	13.66 bc	3.46 bc	2.6 b	10.66 bc
S_1H	90 cd	22.9 bc	77.66 d	6.33 c	4.83 ab	14 abc	3.16 c	2.4 bc	9 e
S_2C	88.33 ed	24.58 ab	98 b	7.33a	5.46 a	14.33 ab	3.66 ab	2.6 b	11 b
S_2V	95 c	23.75 bc	82.66 cd	6.66 bc	3.33 b	11.66d	3.66 ab	2.46 bc	10 d
S_2H	84.33 ed	23.75 bc	88 c	6.56 bc	4.43 ab	13.33 bc	3.26 c	2.96 a	10 d

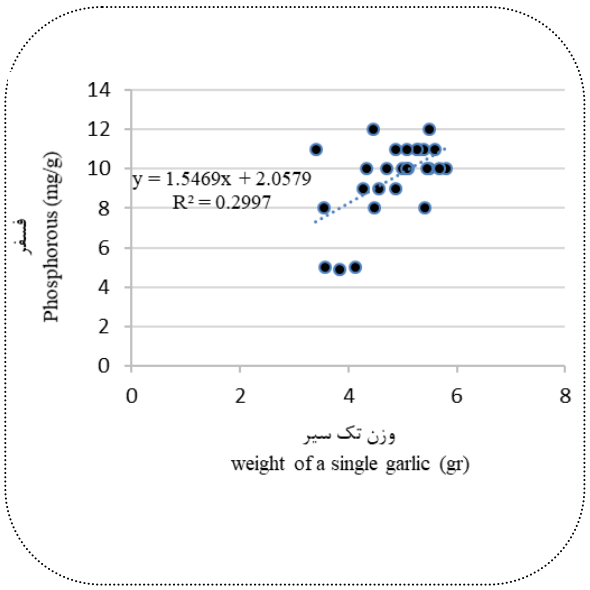
* و **: به‌ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪. اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.01) نمی‌باشند

* and ** indicate statistical significance at 5% and 1% level of confidence, respectively. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.01)



شکل ۱. همبستگی مثبت بین فتوسنتز و وزن تک سیر

Figure 1. Positive correlation between photosynthesis and weight of single cloves



شکل ۲. همبستگی مثبت بین فسفر و وزن تک سیر

Figure 2. Positive correlation between phosphorus and weight of single cloves

پارامترهای فتوسنتزی

بیشترین میزان رطوبت نسبی برگ در تیمار S_0H دیده شد که بطور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارهای مورد آزمایش بود (جدول ۶). بیشترین میزان تعرق (E) و هدایت روزنه‌ای (gH2O) در دو تیمار S_0H و S_1H دیده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۶). بیشترین نرخ فتوسنتز (A) در تیمار S_1C دیده شد که بطور معنی‌داری از تمامی تیمارهای مورد بررسی بیشتر بود (جدول ۶). کمترین میزان اختلاف فشار بخار آب (VPD) در تیمار S_0H دیده شد که بطور معنی‌داری از سایر تیمارهای مورد بررسی کمتر بود (جدول ۶).

حداکثر رطوبت نسبی برگ (RH) در تیمار S_0H دیده شد این درحالیست که در این تیمار میزان تعرق (E) و هدایت روزنه‌ای (gH_2O) نیز بسیار بالا بود و میزان VPD در کمترین میزان نسبت به سایر تیمارها بود. هم‌راستایی تعرق و هدایت روزنه‌ای منطقی و قابل‌قبول است. به نظرمی‌رسد تاثیر اسید هیومیک به عنوان یک ماده ضد تنش خشکی موجب افزایش دسترسی به آب و در نتیجه ایجاد RH بالا و VPD کم شده لذا موجب باز ماندن روزنه‌ها و افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق می‌گردد. اثر مثبت اسید هیومیک در کاهش تنش خشکی توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (Asli and Neumann, 2010 ؛ Rasaei et al, 2013).

بالا بودن نرخ فتوسنتز در تیمار S_1C بیانگر آن است که میزان فتوسنتز لزوما تحت تاثیر اختلاف فشار بخار آب، تعرق و هدایت روزنه‌ای نمی‌باشد و عوامل دیگری نظیر دسترسی به مواد غذایی نیز می‌تواند به عنوان مکانیسم غیرروزنه‌ای تنظیم‌کننده فتوسنتز بااهمیت باشد. به هر شکل همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان فتوسنتز و وزن سیر تولیدی بدست آمد (شکل ۱) که گویای نقش منبع فیزیولوژیکی قوی در ایجاد ساختارهای ذخیره‌ای نظیر سوخ سیر خوراکی می‌باشد.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر گوگرد و اصلاح‌کننده‌های آلی بر پارامترهای فتوسنتزی سیر خوراکی

Table 6. Mean comparison of sulphur and organic amendments on photosynthetic parameters of garlic

Treatment	RH (%)**	E (mmol m-2 s-1) **	gH2O (mmol m-2 s-1) **	A (µmol m-2 s-1)**	VPD (Pa/kPa) **	PARtop (µmol m-2 s-1) **	PARamb (µmol m-2 s-1) **	PARbot (µmol m-2 s-1) **
S_0C	52.62 ^{e}	3.38 ^{d}	219.85 ^{b}	0.17 ^{d}	15.43 ^{ab}	176.67 ^{c}	233 ^{e}	12.33 ^{c}
S_0V	56.63 ^{c}	3.58 ^{cd}	283.99 ^{b}	0.94 ^{c}	11.37 ^{d}	244.6 ^{b}	262.73 ^{bc}	18.8 ^{b}
S_0H	26.00 ^{a}	5.41 ^{ab}	381.45 ^{a}	1.01 ^{bc}	10.03 ^{e}	280.03 ^{ab}	322.2 ^{bc}	17.13 ^{b}
S_1C	52.82 ^{e}	3.84 ^{cd}	236.37 ^{b}	1.94 ^{a}	14.34 ^{bc}	134.13 ^{c}	300 ^{cde}	27.8 ^{a}
S_1V	54.11 ^{ed}	4.51 ^{bc}	252.31 ^{b}	1.22 ^{bc}	13.62 ^{c}	242.18b	291.7 ^{e}	26.06 ^{a}
S_1H	53.91 ^{ed}	5.91 ^{a}	416.17 ^{a}	1.39 ^{b}	11.48 ^{d}	290.3 ^{ab}	390.8 ^{ab}	21.36 ^{b}
S_2C	53.40 ^{ed}	3.84 ^{cd}	249.38 ^{b}	1.18 ^{bc}	13.63 ^{c}	319.83 ^{a}	439.73 ^{a}	27.9 ^{a}
S_2V	59.34 ^{b}	4.51 ^{bc}	250.36 ^{b}	1.06 ^{bc}	11.52 ^{d}	269.77 ^{b}	247.4 ^{e}	19.1 ^{b}
S_2H	55.93 ^{cd}	3.04 ^{d}	221.55 ^{b}	1.11 ^{bc}	15.98 ^{a}	243.57 ^{b}	251.47 ^{e}	29.76 ^{a}

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪. اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.01$) نمی‌باشند

** significance 1% level of confidence, respectively. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P<0.01$)

عناصر غذایی

اثر متقابل تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش بر مقدار عناصر پتاسیم، کلسیم و گوگرد سیر خوراکی از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۷). تنها تیماری که میزان پتاسیم بیشتری نسبت به شاهد نشان داد تیمار S_0V بود و بقیه تیمارهای مورد استفاده اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان ندادند (جدول ۷). این تیمار (S_0V) دارای بیشترین غلظت کلسیم سیر نیز بود؛ هرچند اختلاف آن با تیمارهای S_0H، S_1V و S_2H معنی‌دار نشد (جدول ۷). بیشترین میزان گوگرد در قسمت خوراکی سیر در تیمار S_1H دیده شد که نسبت به شاهد و تمامی تیمارهای مورد بررسی بطور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۷). تاثیر منفرد اصلاح‌کننده‌های آلی بر میزان نیتروژن و تاثیر منفرد تغذیه گوگرد بر جذب فسفر به‌طور مثبت و معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده گردید (به ترتیب شکل ۴ و ۵).

افزایش جذب نیتروژن با تیمار اسید هیومیک توسط محققان دیگر نیز گزارش شد. تحقیقات متعدد اثبات می‌کند که دسترسی به برخی مواد غذایی مانند نیتروژن، فسفر و گوگرد به خصوص اگر به مقدار کمی در خاک موجود باشند توسط مواد هیومیکی افزایش می‌یابد (Arslan and Pehlivan, 2008). براساس گزارشات متعدد افزایش جذب نیترات با تیمار مواد هیومیکی در ارتباط با رونویسی ژن کدکننده H+-ATPase در ذرت (Mha2) می‌باشد. در واقع با تجلی این ژن و ایجاد شیب الکتروشیمیایی+H در عرض غشاء پلاسمایی سلول‌های ریشه، جذب نیترات نیز بهبود می‌یابد (Quaggiotti et al, 2004). افزایش جذب فسفر با تغذیه گوگردی نیز بدلیل کاهش pH ناشی از اکسیداسیون گوگرد و در نتیجه حل‌پذیری بهتر فسفر در خاک می‌باشد (Akhavan and Fallah Nosrat Abad, 2013). مشخص شده است که کاهش بیان ژن مرتبط با سیتوکینین موجب القای فعالیت ناقل‌های با کارایی بالای سولفات در گیاه آرابیدوپسیس شدند و چنین ارتباط مشابهی بین سیتوکینین و فسفر نیز دیده شد (Hawkesford and De Kok, 2006).

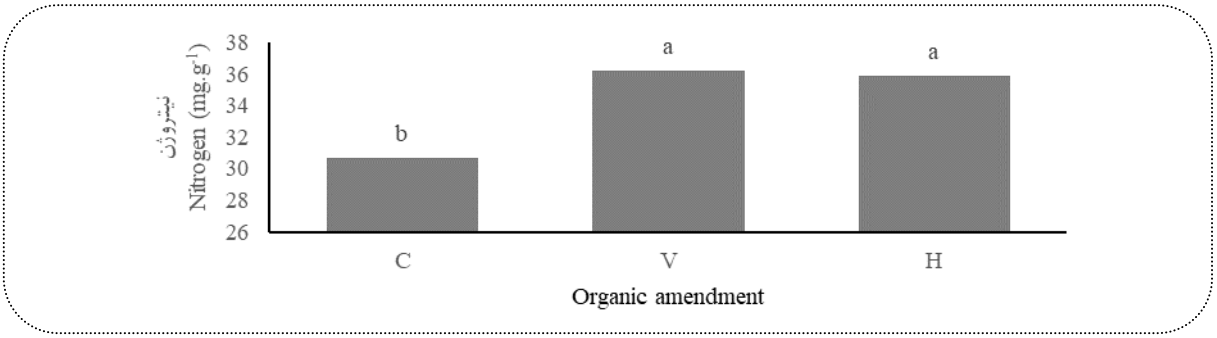
جدول ۷. مقایسه میانگین اثر گوگرد و اصلاح‌کننده‌های آلی بر غلظت عناصر غذایی در سیر خوراکی

Table 7. Mean comparison of sulphur and organic amendments on nutrient uptake of garlic

Treatment	Nitrogen (mg/g)ns	Phosphorous (mg/g) ns	Potassium (mg/g) *	Calcium (mg/g)**	Magnesium (mg/g) ns	Sulphur (mg/g) **
S_0C	31.6 ^{a}	3.8 ^{a}	12 ^{bcd}	3.2 ^{d}	1.9 ^{a}	11.285 ^{b}
S_0V	35.6 ^{a}	4.4 ^{a}	13.44 ^{a}	4 ^{a}	1.9 ^{a}	11.330 ^{b}
S_0H	36.6 ^{a}	4.4 ^{a}	11.56 ^{d}	3.77 ^{abc}	0.87 ^{a}	11.285 ^{b}
S_1C	30.6 ^{a}	5.2 ^{a}	11.7 ^{cd}	3.4 ^{cd}	2 ^{a}	11.276 ^{b}
S_1V	36.8 ^{a}	5.5 ^{a}	12.44 ^{abcd}	3.7 ^{abc}	1 ^{a}	11.297 ^{b}
S_1H	35.5 ^{a}	4.5 ^{a}	12.9 ^{abc}	3.5 ^{bcd}	1 ^{a}	11.440 ^{a}
S_2C	29.8 ^{a}	5 ^{a}	11.88 ^{bcd}	3.16 ^{d}	1.9 ^{a}	11.307 ^{b}
S_2V	36.2 ^{a}	5 ^{a}	11.8 ^{bcd}	3.16 ^{d}	0.8 ^{a}	11.296 ^{b}
S_2H	35.6 ^{a}	5 ^{a}	13.04 ^{ab}	3.9 ^{ab}	2 ^{a}	11.305 ^{b}

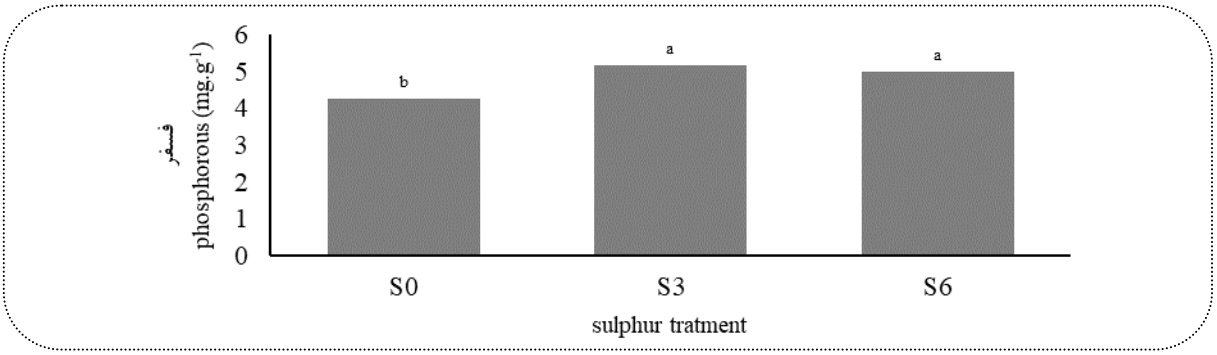
ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪. اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.01$) نمی‌باشند

ns, * and ** indicate statistical non-significant, significance at 5% and 1% level of confidence, respectively. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P<0.01$)



شکل ۳. تاثیر منفرد اصلاح‌کننده‌های آلی بر میزان نیتروژن بخش خوراکی سیر (C: شاهد، V: ورمی‌واش، H: اسید هیومیک)

Figure 3. Single effect of organic amendment on nitrogen content of edible part of garlic (C: Control, V: vermiwash, H: humic acid)



شکل ۴. تاثیر منفرد تغذیه گوگرد بر میزان فسفر بخش خوراکی سیر

(S_0: گوگرد صفر، S_3: گوگرد ۳ لیتر در هکتار، S_6: گوگرد ۶ لیتر در هکتار)

Figure 4. Single effect of Sulphur treatment on phosphorus content of edible part of garlic (S0: zero Sulphur, S3: Sulphur 3 l/ha, S6: Sulphur 6 l/ha)

براساس نتایج بدست آمده از آزمایش Chandel و همکاران (۲۰۱۲)، میزان گوگرد قابل دسترس خاک ارتباط مستقیمی با میزان کربن آلی دارد. آنها همچنین ارتباط معنی‌دار مثبت بین گوگرد، فسفر و عملکرد سوخ سیر را گزارش نمودند و تاثیر استفاده همزمان از هر دو عنصر فسفر و گوگرد در پرورش سیر را بیشتر از اثر تنهای هر یک از آنها اعلام کردند (Chandel et al, 2012). با این حال در آزمایش ما اصلاح‌کننده‌های آلی نتوانستند کمکی به افزایش جذب گوگرد کنند که احتمالا این مسئله ناشی از بالا بودن ماده آلی خاک مورد استفاده در مزرعه باشد. مسئله دیگر که جالب توجه است اینکه تنها در تیمار S_1H افزایش گوگرد در قسمت خوراکی سیر دیده شد و در سایر تیمارها چنین افزایشی دیده نشد. دلیل اینکه چرا تیمارهای تغذیه گوگرد به ویژه در غلظت‌های بالا نتوانستند منجر به افزایش میزان این عنصر در بخش خوراکی سیر شوند به سیستم توزیع و بازتوزیع این عنصر در گیاه سیر بر می‌گردد. عمده گوگرد از اپیدرم و کورتکس ریشه از طریق سیم‌پلاستی جابجا می‌شود و مهمترین لایه انتخابگر ریشه آندودرم می‌باشد که از طریق آن سولفات وارد آوند چوب شده و از طریق جریان تعرق به سمت بخش‌های هوایی می‌رود. بخش عمده احیای سولفات به ویژه در گیاهان علفی در قسمت هوایی و نه در ریشه رخ می‌دهد. گوگرد که در اوایل نمو برگ در ساختمان پروتئین وارد می‌شود دارای تحرک پایین است و معمولا در زمان پیری برگ است که بازتحرک دارد (Hawkesford and De Kok, 2006). لذا می‌توان اینگونه جمع‌بندی نمود که از آنجایی‌که مقصد اول گوگرد قسمت‌های هوایی گیاه است لذا کم بودن گوگرد در بخش سوخ به هیچ عنوان

بیانگر عدم جذب این عنصر نیست.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بخش خوراکی سیر براساس درصد مهار رادیکال‌های آزاد دی فنیل پیکریل هیدرازیل در تیمار S_2C دیده شد (جدول ۸). محتوای فنلی تنها در سه تیمار S_0V، S_1V و S_1C بطور معنی‌داری کمتر از شاهد بودند ولی بقیه تیمارها از نظر فنل کل با شاهد تفاوتی نداشتند (جدول ۸). بیشترین میزان فلاونوئید کل در سیر خوراکی نیز در تیمار S_0V دیده شد که بطور معنی‌داری از تمامی تیمارهای مورد بررسی بیشتر بود (جدول ۸).

اندازه‌گیری کافئیک اسید با رجوع به منحنی استاندارد زیر و بوسیله کروماتوگرافی مایع با فشار بالا انجام گرفت. هرچند اثر متقابل گوگرد و اصلاح‌کننده‌های آلی معنی‌دار نشد ولی تاثیر منفرد اصلاح‌کننده‌های آلی بر غلظت کافئیک اسید معنی‌دار بود بطوریکه حداکثر مقدار کافئیک اسید با عدد ۲۰/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک در تیمار شاهد بدست آمد که اختلاف آن با تیمار ورمی‌واش معنی‌دار نبود ولی نسبت به اسید هیومیک برتری داشت (شکل ۵).

$$R^2 = 0.9998,\ y = 282044x - 2720$$

از آنجایی‌که تیمار S_2C دارای میزان بالای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بوده و در عین حال فنل بالایی نیز در این تیمار دیده شد لذا بخش زیادی از خواص آنتی‌اکسیدانی در این تیمار را میتوان به فنل‌ها نسبت داد. گوگرد در ترکیبات مختلف آنتی‌اکسیدانی نظیر سیستئین (cysteine)، متیونین (methionine)، تائورین (taurine)، گلوتاتیون (glutathione)، لیپوئیک اسید (lipoic acid)، مرکاپتوپروپیونیل گلایسین (mercaptopropionyl-glycine)، ان استیل سیستئین (N-acetylcysteine) و سه ترکیب گوگرددار آلی عمده در عصاره سیر یعنی دی آلیل سولفید (diallylsulfide)، دی آلیل دی سولفید (diallyldisulfide) و دی آلیل تری سولفید (diallyltrisulfide) حضور دارد که از این میان فرم احیاشده لیپوئیک اسید یعنی دی هیدرولیپوئیک اسید (dihydrolipoic acid) دارای خواص آنتی‌اکسیدانی موثرتری شناخته شده است (Atmaca .2004).

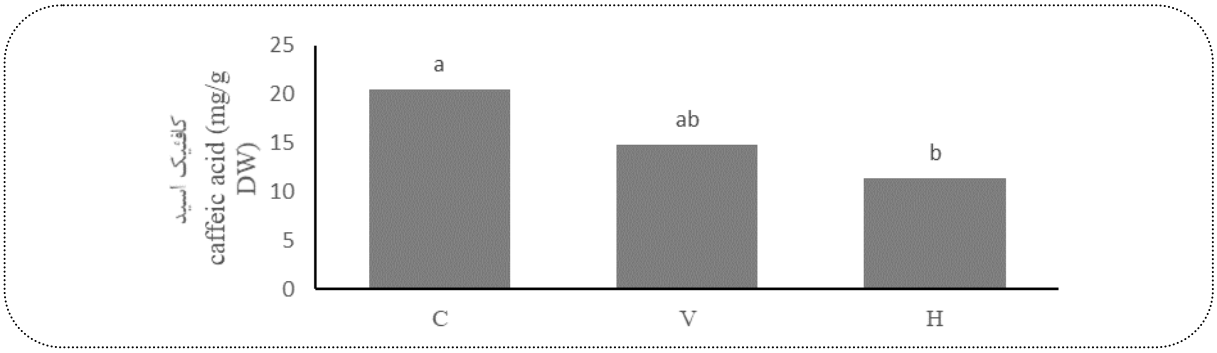
بالا بودن میزان فلاونوئیدها در تیمار S_0V نیز می‌تواند از تاثیرات استفاده از ورمی‌واش به تنهایی تلقی گردد هرچند تیمار ورمی‌واش به همراه گوگرد تاثیر چندانی بر میزان فلاونوئیدها نداشت. گزارش شده است که تنش تغذیه‌ای به‌ویژه کمبود نیتروژن موجب افزایش بیوسنتز فلاونوئیدها می‌گردد (Lillo et al, 2008) ولی از آنجایی‌که ورمی‌واش دارای مقادیر بالایی (۰/۲۲ درصد) نیتروژن است لذا نتایج این پژوهش بدلیل دسترسی بالای نیتروژن در تیمار S_0V در تضاد می‌باشد. به هر حال به‌نظر می‌رسد که دو عنصر پتاسیم و کلسیم که طبق جدول شماره ۷ در تیمار S_0V دارای غلظت بالایی بوده‌اند در افزایش فلاونوئید سیر خوراکی نقش‌آفرین باشند.

کافئیک اسید به‌عنوان مهمترین ماده فنولی موجود در سیر خوراکی به میزان ۱۱/۳۶ تا ۲۰/۴۶ نوسان داشت که در فاکتور اصلاح‌کننده‌های آلی تیمار شاهد و ورمی‌واش بدون اختلاف معنی‌دار با هم دارای بیشترین مقدار کافئیک اسید بود. به نظر می‌رسد که افزایش مفرط مواد آلی دستکم در مورد کافئیک اسید سودمند نبوده و حتی می‌تواند موجب کاهش این ماده گردد؛ کمااینکه با اعمال تیمار اسید هیومیک از میزان کافئیک اسید بطور معنی‌داری نسبت به شاهد کاسته شد. به نظر می‌رسد که بالا بودن ماده آلی خاک با کاهش تنش‌های موجود در محیط ریشه و ریزوسفر نیاز گیاه به آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند کافئیک اسید را کاهش داده لذا غلظت آن در سیر خوراکی افت می‌نماید. Beato و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که دو ترکیب فنولی اسید کافئیک و اسید فرولیک به ترتیب با مقادیر ۲/۹ و ۲/۶ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک مهمترین ترکیبات فنلی در کولتیوارهای مختلف سیر در اسپانیا را تشکیل می‌دهند.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر گوگرد و اصلاح‌کننده‌های آلی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی سیر خوراکی
Table 8. Mean comparison of sulphur and organic amendments antioxidant activity of garlic

Treatment	Antioxidant activity (% of DPPH radicals inhibited) **	Total phenol (mg gallic acid equivalent/g extract) *	Total flavonoids (mg quercetin equivalent/g extract) **
S_0C	48.24 bc	5.99 ab	63.2 de
S_0V	48 bc	4.6 c	215.1 a
S_0H	12.24 d	6.81 a	160.9 bc
S_1C	44.62 bc	4.6 c	185.9 b
S_1V	41.85 c	4.75 c	62.1d e
S_1H	41 c	5.3 bc	37.03 e
S_2C	62.5 a	6.59 a	140.2 e
S_2V	47.2 bc	5.87 ab	72.8 d
S_2H	51.7 b	6.19 ab	144 c

* و **: به‌ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪. اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.01$) نمی‌باشند
* and ** indicate statistical significance at 5% and 1% level of confidence, respectively. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P<0.01$)



شکل ۵. تاثیر تیمار اصلاح‌کننده‌های آلی بر میزان اسید کافئیک بخش خوراکی سیر
Figure 5. Effect of organic amendment on caffeic acid in edible part of garlic (C: Control, V: vermiwash, H: humic acid)

پیشنهادات

ازآنجایی‌که تیمار S_1C در بیشتر شاخص‌های مرتبط با عملکرد وضعیت مناسبی داشت لذا در مجموع میتوان گفت که در این آزمایش استفاده از گوگرد با غلظت متوسط و بدون اصلاح‌کننده‌های آلی موجب افزایش عملکرد سیر خوراکی شد. برای تعمیم نتایج این پژوهش به سایر مزارع باید در نظر داشت که خاک مورد استفاده در این آزمایش حاوی درصد بالایی ماده آلی (۳/۸۰ درصد) بوده است؛ بنابراین در خاک‌هایی با این مقدار ماده آلی نیازی به اصلاح‌کننده‌های آلی جهت بهبود جذب گوگرد نبوده و تغذیه گوگردی به‌تنهایی کافی است. همانطور که نتایج نشان داد افزایش جذب نیتروژن و فسفر با تیمار اسید هیومیک و ورمی‌واش نیز قابل تامل بوده و می‌توانند از دیدگاه تغذیه‌ای بسیار بااهمیت باشد. همچنین مشخص شد که با افزایش زیاد ماده آلی خاک احتمالا تنش‌های خاکی کاهش یافته و در نتیجه از میزان برخی مواد مرتبط با آنتی‌اکسیدان‌ها نظیر کافئیک اسید کاسته شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در قالب طرح پژوهشی به شماره کد ۰۱-۱۳۹۷-۰۷ انجام شد.

لذا نگارندگان بر خود لازم می‌دانند بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از این معاونت بعمل آورند.

منابع

Akhavan, Z. and A.R. Fallah Nosrat Abad. 2013. The effect of sulfur and Thiobacillus inoculant on soil pH, dry matter weight and phosphorus absorption by Canola. J. of Soil Management and Sustainable, 3(1): 1-13.

Arslan, G. and E. Pehlivan. 2008. Uptake of Cr3+ from aqueous solution by lignite-based humic acids. *Bioresource Technology*, 99: 7597-605.

Asli, S. and P.M. Neumann. 2010. Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development. *Plant Soil*, 336: 313-322.

Atiyeh, R.M., S. Subler, C.A. Edwards., G. Bachman., J.D. Metzger and W. Shuster. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticulture container media and soil. *Pedobiologia*44, 579-590.

Atmaca, G. 2004. Antioxidant effects of sulfur-containing amino acids. Yonsei Med J. 2004 Oct 31;45(5):776-88.

Aydin, A., C. Kant and M. Turan. 2012. Humic acid application alleviate salinity stress of bean (Phaseolus vulgaris L.) plants decreasing membrane Leakage. *African Journal of Agricultural Research*, 7(7): 1104-1109.

Azarpour, E., M.K. Motamed., M. Moraditochaee and H.R. Bozorgi. 2012. Effects of bio, mineral nitrogen fertilizer management, under humic acid foliar spraying on fruit yield and several traits of eggplant (Solanum melongena). *African Journal of Agricultural Research*, 7(7): 1104-1109.

Beato, V.M., F. Orgaz., F. Mansilla and A. Montaño. 2011. Changes in phenolic compounds in garlic (Allium sativum L.) owing to the cultivar and location of growth. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66(3): 218-223.

Chandel, B.S., P.K. Thakur., J. Ali and H. Singh. 2012. Soil sulphur status and response of garlic to sulphur in relation to phosphorus. Ann. Pl. Soil Res. 14(2): 156-158.

Chang, C., M. Yang., H. Wen and J. Chern. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food Drug Anal*, 10: 178-182

Ebrahimzadeh, MA., S.F. Nabavi., S.M Nabavi and B. Eslami. 2010. Antihemolytic and antioxidant activities of Allium paradoxum. *Central European Journal of Biology*. 5: 338-345.

George, S., R.S. Giraddi and R.H Patil. 2007. UtiLty of vermiwash for the management of Thrips and Mites on chilL (Capsicum annuum L.) amended with soil organics. *Karnataka Journal of Agricultural Science*. 20: 657-659.

Ghorbani, S., H.R. Khazaee., M. Kafi and M. Banayan aval. 2010. Effect of humic acid application in irrigation water on yield and yield components of maize (Zea mays L.) *Journal of Agricultural Ecology*, 2: 118-111.

Haghighi, M., M. Kafi., P. Fang and L. Gui-Xiao. 2010. Humic acid decreased hazardous of cadmium toxicity on on lettuce (Lactuca sativa). *Vegetabe Crops Research Bulletin*, 72: 49-69.

Hawkesford, M.J. and L.J. De Kok. 2006. Managing sulphur metabolism in plants. *Plant, Cell and Environment*, 29: 382–395.

Hu, C. and D.D. Kitts. 2000. Studies on antioxidant activity of Echinacea root extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(5): 1466-1472.

Karakurt, Y., H. Unlu and H. Padem. 2009. The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of papper. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 59(3): 233-273.

Lillo, C., U. Slea and P. Ruoff. 2008. Nutrient depletion as a key factor for manipulating gene expression and product formation in different branches of the flavonoid pathway. *Plant, Cell and Environment* .31, 587–601

Nardi, S., A. Muscolo., S. Vaccaro., S. Baiano., R. Spaccini and A. Piccolo. 2007. Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and krebs cycle in maize seedlings. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 3138-3146.

Piccolo, A., G. Celano and G. Pietramellara. 1993. Effects of fractions of coalderived humic substances on seed germination and growth of seedlings (Lactuca sativa and Lycopersicum esculentum). *Biology and Fertility of Soils*, 16: 11-15.

Prabhu, M.J. 2006. Coconut leaf vermiwash stimulates crop yield. The Hindu Newspaper, 28th December, In: Science and Technology Section.

Quaggiotti, S., B. Ruperti., D. Pizzeghello., O. Francioso., V. Tugnoli and S. Nardi. 2004. Effect of low molecular size humic substances on the expression of genes involved in nitrate transport and reduction in maize (Zea mays). *Journal of Experimental Botany*, 55: 803-13.

Rahmatpour, S., H. Ali khvani and S.H. Mer Sead Hassani. 2015. Effect of Vermicelli spray on wheat growth and yield index and zinc, iron and phosphorus in wheat grain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44 (2): 211-203.

Rasaei, B., M.E. Ghobadi., M. Ghobadi and A. Najaphy. 2013. Reducing effects of drought stress by application of humic acid, mycorrhiza and rhizobium on chickpea *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(16): 1775-1778.

Ropme, 1999. Manual of Oceanographic Observation and Pollutant Analysis Methods (MOOPAM), 3rd edition. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment.

Sabbagh, H., M. Khorrami Vafa., S. Jalali Hnarmand and A. Beheshti Alagha. 2016. Effect of Thiobacillus, Sulfur and Fertilizer on the Concentration of Some Mineral Ingredients in Garlic Flour. The 2nd National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture. (in Persian with English abstract).

Saruhan, V., A. Kusvuran and S. Babat. 2011. The effect of different humic acid fertilization on yield components performances of common millet (*Panicum miliaceum*). *Scientific Research and Essays*, 6(3): 663-669.

Slinkard, K. and V.L. Singleton. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *Amrican Journal of Enology and Viticulture*. 28: 49-55.

Shojaee, M., H. Roosta., M. Roozban and H. Soufi. 2019. Evaluation of the growth characteristics and changes in the concentration of some nutrient elements of garlic affected by different nitrogen sources and alkalinity in hydroponic culture. *Horticultural Plant Nutrition* 2(1): 33-50.

Taullley, H. and A. Semnani. 2002. Methods for the analysis of soils, plants, waters and fertilizers. Compilation h L Tendon Shahid Chamran University Press. First Edition. 219 pages.

Turan, M.A., N. Taban., J. Turkmen and S. Taban. 2010. Selenium concentration of garlic bulbs grown in different parts of turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 22(8): 6563-6568.

Wainwright, M., W. Nevell and S.J. Grayston. 1986. Effects of organic matter on sulphur oxidation in soil and influence of Sulphur oxidation on soil nitrification. *Plant and Soil* 96, 369-376.

Waling, I., W. Van Vark, V.J.G. Houba and Van der Lee, J.J. 1989. Soil and Plant Analysis. Part 7, plant analysis procedures. Wageningen Agricultural University, Wageningen

Westerman, R.E.L.1990. Soil Testing and Plant Analysis. SSSA, Mandison Wisconzin, USA..

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۵۰- ۳۷)
مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا بر برخی شاخص‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای فلاونوئید و کارتنوئید گل همیشه‌بهار

زهرا خیری [۱]، محمد مقدم [۲*]، مهدی مرادی [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
zahrakheyri1364@gmail.com
۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
m.moghadam@um.ac.ir
۳- مربی گروه تولیدات گیاهی، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت جام، تربت جام، ایران.
moradi.ob@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۹**

چکیده

بررسی نیاز کودی و جایگزین کردن کودهای زیستی (قارچ‌های مایکوریزا) بجای کودهای شیمیایی جزء مسائل بسیار ارزشمند در کشاورزی پایدار و حفظ سلامت جامعه می‌باشد. قارچ‌های مایکوریزا به وسیله تلقیح مایکوریزایی موجب تغییر در متابولیسم گیاه میزبان می‌شوند و این تغییر در متابولیسم، سبب تولید ترکیبات دفاعی در گیاه می‌گردد. علاوه بر آن، این قارچ‌ها باعث بهبود وضعیت تغذیه‌ای و آبی گیاه و در نهایت بهبود رشد گیاه می‌گردند. به‌منظور بررسی و مقایسه تأثیر نه گونه قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات رشدی، محتوای نسبی آب برگ، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، فلاونوئید و کاروتنوئید گیاه دارویی همیشه‌بهار، پژوهشی گلدانی بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۷ انجام پذیرفت. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده، قطر ساقه، وزن خشک گل، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل *a*، *b*، کارتنوئید و کلروفیل کل)، محتوای نسبی آب برگ، میزان فلاونوئید و کاروتنوئید گل بودند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر قارچ‌های مایکوریزا بر کلیه صفات مورد مطالعه در این تحقیق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. از میان نه گونه قارچ مایکوریزای مورد بررسی در این تحقیق کاربرد قارچ *Glomus mosseae* بیشترین تأثیر را بر بهبود اکثر شاخص‌های رشدی گیاه همیشه‌بهار از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌فرعی و شاخه گل‌دهنده و وزن خشک گل گذاشت. همچنین این قارچ تأثیر مثبتی بر بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت؛ به‌طوری که میزان کلروفیل کل در تلقیح با آن نسبت به تیمار شاهد ۶۸ درصد افزایش یافت. بیشترین محتوای نسبی آب برگ و کاروتنوئید گل نیز در تلقیح با این قارچ مشاهده گردید. پس از آن قارچ‌های *G. etanicatum* و *G. geosporum* بیشترین تاثیر را بر بهبود اکثر صفات مورد بررسی داشتند. بنابراین از میان گونه‌های مایکوریزای مورد بررسی در این تحقیق *G. mosseae*، *G. etanicatum* و *G. geosporum* بیشترین تأثیر را در افزایش رشد و تولید مطلوب متابولیت‌های ثانویه در گیاه دارویی همیشه‌بهار داشتند به‌طوری‌که می‌توان آنها را به عنوان جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی در کشاورزی ارگانیک در تولید این گیاه توصیه نمود.

کلمات کلیدی: گلوموس اتانیکاتوم، کلروفیل کل، گلوموس موسه‌آ، وزن خشک گل.

مقدمه

همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) گیاهی یک ساله و متعلق به تیره کاسنی (Asteraceae) و یکی از گیاهان دارویی شناخته شده می‌باشد که امروزه از آن در داروسازی و صنایع آرایشی و بهداشتی استفاده فراوانی می‌شود (Arora et al., 2013). همیشه‌بهار طیف گسترده‌ای از متابولیت‌های ثانویه مانند کاروتنوئیدها، فنولیک اسیدها، فلاونوئیدها، استروئیدها، ترپنوئیدها، موسیلاژها و ساپونین‌ها را دارا می‌باشد که در قسمت‌های مختلف گیاه وجود دارد (Lim, 2012). محتوای بالای فلاونوئیدها و کاروتنوئیدهای بالای آن، همیشه‌بهار را یک منبع غنی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانتی ساخته است (Raal et al., 2009). این گیاه چندین فعالیت بیولوژیکی از جمله فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانتی، سیتوتوکسیک (سم‌زدا)، محافظت‌کننده و ضدالتهابی دارد (Fonseca et al., 2010).

کشاورزی پایدار پیش از آن که ریشه در کشاورزی داشته باشد، برخاسته از یک مکتب فلسفی و فکری بوده که ریشه در ارزش‌هایی دارد که بیانگر آگاهی نوینی از واقعیت بوم‌شناختی، اجتماعی و توانایی انجام عملیات کشاورزی انسان‌ها بوده است. جایگزین شدن کودهای شیمیایی با کودهای آلی موجب پایداری بیشتر در کشاورزی خواهد شد (مهدوی دامغانی و همکاران، ۱۳۸۷). طبق نتایج، استفاده از کودهای آلی و بیولوژیک می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد (سعیدنژاد و همکاران، ۱۳۹۱).

قارچ‌های مایکوریزا به عنوان کود بیولوژیک شناخته شده و درصورت مصرف، در ناحیه ریشه گیاهان تشکیل کلونی داده و به کمک هیف‌های خارجی خود به جذب عناصر از خاک کمک کرده و بدین طریق موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه میزبان می‌شوند. این قارچ‌ها قادر به برقراری همزیستی با ریشه اغلب گیاهان خشکی‌زی می‌باشند. همزیستی گیاه و قارچ‌های همزیست خاکزی مانند مایکوریزا، راهکاری مفید در جهت افزایش مواد آلی خاک، تقویت جوامع میکروبی، افزایش کارایی مصرف نهاده‌های کشاورزی به‌خصوص آب آبیاری و درنهایت بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان محسوب می‌شود (اقحوانی شجری و همکاران، ۱۳۹۴). Hazzoumi et al. (2015) بیان داشتند علت سودمندی قارچ‌های مایکوریزا در این می‌باشد که تلقیح مایکوریزایی موجب تغییر متابولیسم گیاه میزبان شده و این تغییر در متابولیسم، سبب تولید ترکیبات دفاعی در گیاه می‌شود. همچنین قارچ‌های مایکوریزا با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و آبی گیاه از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش سطح جذب توسط گسترش ریشه‌های خود در خاک و تحریک تبادلات گازی از طریق افزایش ظرفیت مقصد، سبب بهبود رشد گیاه می‌گردند که علت آن می‌تواند ناشی از بهبود وضعیت تغذیه‌ای و روابط آبی گیاه توسط آن قارچ باشد.

مقدسان و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی نشان دادند کاربرد میکوریزا سبب افزایش پارامترهای رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب در گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی در گیاه دارویی همیشه‌بهار گردید. همچنین در پژوهشی همزیستی آویشن باغی با میکوریزا موجب افزایش تعداد شاخ و برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ و وزن خشک ساقه این گیاه شد (Dolatabadi et al., 2012). ارتفاع و زیست‌توده کل گیاه دارویی نعناع نیز در حضور همزیستی میکوریزا افزایش یافت (Cabello et al., 2005; Freitas et al., 2004). همزیستی میکوریزا برای افزایش تحمل به تنش‌های غیرزنده باعث تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاه می‌گردد (Gianninazzi et al., 2010). در پژوهشی که بر روی گیاهان دارویی شوید و زیره انجام شد، مشاهده گردید که کاربرد میکوریزا به طور قابل توجهی میزان اسانس این گیاهان را در مقایسه با شاهد بهبود بخشید (Kapoor et al., 2004). Karagiannidis et al. (2012) نیز اثرات قارچ میکوریزا گونه *G. lamellosum*

را روی پنج گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia officinalis*)، اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*)، مرزنجوش (*Origanum dictamnus*) از خانواده نعنائیان، شمعدانی (*Geranium dissectum*) از خانواده شمعدانی و سانتولینا (*Santolina chamaecyparissus*) از خانواده کاسنی بررسی نمودند، نتایج بیانگر آن بود که گیاهان مایکوریزایی به طور معنی‌داری رشد، تولید اسانس و همچنین جذب عناصر غذایی بیشتری نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی داشتند.

با توجه به اهداف کشاورزی پایدار و اینکه همیشه‌بهار یکی از گیاهان دارویی مهم در صنایع مختلف از جمله داروسازی است که کاربردهای زیادی دارا است، بنابراین بررسی نیاز کودی و جایگزین کردن کودهای زیستی (قارچ‌های مایکوریزا) با کودهای شیمیایی این گیاه جزء مسائل بسیار ارزشمند در تولید این گیاه و تلاشی در جهت ارتقاء سلامت جامعه می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر انواع گونه‌های قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات رشدی، محتوای نسبی آب برگ، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، درصد کلونیزاسیون (تلقیح ریشه با قارچ مایکوریزا) و متابولیت‌های ثانویه (فلاونوئید و کارتنوئید) گل گیاه دارویی همیشه‌بهار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی اثرات تلقیح نه گونه قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات رشدی، محتوای نسبی آب برگ، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، درصدکلونیزاسیون و میزان فلاونوئید و کارتنوئید گل گیاه دارویی همیشه‌بهار به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و در مجموع در ۳۰ گلدان اجرا گردید. تیمارهای این آزمایش شامل تلقیح گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا از جنس گلوموس شامل:

- *Glomus claroideu*
- *Glomus mosseae*
- *Glomus intraradicese*
- *Glomus fasciculatum*
- *Glomus caledonium*
- *Glomus gigaspora*
- *Glomus etanicatum*
- *Glomus geosporum*
- *Glomus versiform*

و تیمار عدم تلقیح قارچ بودند.

مایه تلقیح که شامل اندام‌های رویشی و اسپورهای قارچ‌های مایکوریزا بود از شرکت زیست‌فناور توران مایکوپرسیکا در شاهرود تهیه و قبل از کاشت نشاءها با بستر کشت بطور یکنواخت مخلوط گردید. در تمام نه گونه قارچ مایکوریزای مورد استفاده در این پژوهش بطور میانگین ۸۵ تا ۱۰۰ اسپور در هر گرم خاک وجود داشت و مقدار مصرف هر گونه قارچ مایکوریزا در تیمارهای آزمایشی ۲۰۰ گرم بستر حاوی قارچ برای هر گلدان ۵ کیلوگرمی بود. برای پرکردن گلدان‌ها از نسبت مساوی ماسه و خاک زراعی و خاک برگ استفاده گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است. به‌منظور انجام این تحقیق، بذور همیشه‌بهار در سینی کشت حاوی نسبت مساوی کوکوپیت و پرلیت کشت شدند. سپس تعداد سه نشاء در مرحله چهار برگی به هر گلدان انتقال داده شد. رشد این گیاهان در گلخانه در دمای ۲ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲ ± ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب انجام گرفت. میانگین رطوبت نسبی گلخانه ۶۰ تا ۸۵ درصد بود. آبیاری این گیاهان در روزهای اول به منظور تثبیت گیاه در خاک هر روز صورت گرفت و پس از آن با توجه به نیاز گیاهان انجام گردید. مبارزه با آفات و وجین علف‌های‌هرز در طول دوره آزمایش بصورت یکنواخت در بین تیمارها انجام پذیرفت.

حدود ۳ ماه بعد از اعمال تیمارها و در مرحله گلدهی نمونه‌گیری از گیاهان انجام شد و صفات مورد نظر شامل

ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده، قطر ساقه، وزن خشک گل، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل *a*، *b*، کارتنوئید و کلروفیل کل)، محتوای نسبی آب برگ و میزان فلاونوئید و کاروتنوئید گل اندازه‌گیری شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Physical and chemical characteristics of soil

Texture	Clay (%)	Loam (%)	Sand (%)	OM (%)	OC (%)	EC (ds/m)	pH (%)	CEC (meq/100 gr soil)
Sandy loam	6.3	19.3	74.4	1.39	0.81	3.27	7.79	7.9

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (ادامه)

Table 1. Physical and chemical characteristics of soil (continue)

N (%)	P (P2O5) (mg/kg)	K (K2O) (mg/kg)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Cl (meq/l)	Na (meq/l)
0.07	51	184	17.4	4.8	11	20

خصوصیات رشدی

خصوصیات رشدی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه-فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده، قطر ساقه در مرحله گلدهی گیاهان اندازه‌گیری شد. جهت تعیین این صفات میانگین ۳ بوته برای هر تکرار ثبت گردید. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته از خط‌کش و برای اندازه‌گیری قطر ساقه از کولیس دیجیتالی استفاده گردید.

برای اندازه‌گیری وزن خشک گل، گل‌ها در طول دوره آزمایش، طی ۱۸ مرحله (تقریباً ۸۰ روز) و در هفته ۲ مرتبه همراه با ۳/۵ سانتی‌متر دُمگل چیده و پس از آن داخل پاکت‌های مجزا به آزمایشگاه انتقال داده شدند، نمونه‌ها در سایه و دمای آزمایشگاه خشک و برای تعیین وزن خشک گل‌ها، نمونه‌ها تا رسیدن به وزن ثابت درون آون با دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس توزین انجام گرفت. وزن خشک آن‌ها با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد و مجموع تمام کپه‌های گل برداشت شده در طول فصل رشد از هر گلدان به عنوان میزان تولید گل خشک هر گلدان در نظر گرفته شد.

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان کارتنوئید گل

برای اندازه‌گیری کلروفیل *a*، *b*، کلروفیل کل برگ و کارتنوئید برگ و گل، ۰/۰۶ گرم (۶۰ میلی‌گرم) نمونه گیاهی (برگ یا گل) تازه کاملاً توسعه‌یافته را جدا کرده و آن را در هاون چینی با ۳ میلی‌لیتر متانول ۹۹٪ برای استخراج رنگ‌دانه‌ها ساییده، سپس به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه انجام گردید. پس از آن عصاره استخراج شده را برداشته و با استفاده از اسپکتروفتومتر میزان جذب نور در طول‌موج‌های ۶۵۳، ۴۷۰ و ۶۶۶ نانومتر قرائت گردید. در نهایت مقدار کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از روابط زیر به‌دست آمد (Lutts et al., 1996).

$$CHLa = 15.65\ A666 - 7.34\ A653$$

$$CHLb = 27.05\ A653 - 11.21\ A666$$

$$Cx + c = 1000\ A470 - 2.860\ CHLa - 12.92\ CHLb$$

$$CHLt = CHLa + CHLb$$

که در آن کلروفیل کل : CHLt، کارتنوئید کل : Cx+c، کلروفیل *b* :CHLb، کلروفیل *a* :CHLa می‌باشند.

محتوای نسبی آب برگ

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)[۱] که شاخصی جهت بررسی میزان آب گیاه است؛ ابتدا وزن تر نمونه‌های برگ (FW) گرفته شد و سپس نمونه‌ها به

۱. Relative Water Content

مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق، داخل آب مقطر به حالت غوطه‌ور قرار داده شد و پس از این زمان، وزن آماس نمونه‌ها (TW) قرائت گردید. سپس نمونه‌ها ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد از این زمان وزن خشک (DW) آنها به دست آمد (Sanchez et al., 1998) و در فرمول زیر قرار گرفت:

$$RWC\% = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100$$

درصد کلونیزاسیون

ریشه‌ها به مدت یک ساعت در بشر محتوی KOH ۱۰ درصد در حمام آب گرم قرار داده شد. سپس با آب مقطر شسته و بافت ریشه‌ها با محلول HCL یک درصد، اسیدی گردید. آنگاه ریشه‌ها با محلول ۰/۰۵ درصد تریپان‌بلو در لاکتوگلیسیرول (۸۷/۶ میلی‌لیتر اسید لاکتیک+ ۶/۴ میلی‌لیتر گلیسرین + ۶ میلی‌لیتر آب مقطر + ۰/۰۵ گرم تریپان‌بلو) به مدت ۵ دقیقه رنگ‌آمیزی گردید. ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده در محلول رنگ‌بر لاکتوگلیسیرول رنگ‌بری گردید. در این روش اندام‌های قارچی به رنگ آبی مشاهده گردیدند و درصد کلونیزاسیون، پس از رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با استفاده از روش تلاقی خطوط شبکه[1] تعیین گردید (Dalpe, 1993).

فلاونوئید کل گل[2]

۱ میلی‌گرم از عصاره با ۴ سی‌سی آب مقطر مخلوط و سپس ۳۰۰ میکرولیتر نیتریت سدیم ۵ درصد به آن اضافه گردید. پس از ۵ دقیقه از اضافه کردن نیتریت سدیم ۵ درصد، ۶۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد اضافه و پس از گذشت ۶ دقیقه از زمان اضافه کردن کلرید آلومینیوم، ۴ سی‌سی سود ۰/۵ نرمال اضافه شد و در نهایت میزان جذب نور در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت گردید (Zhishen et al., 1999). برای رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های مختلف کوئرستین استفاده شد و در فرمول زیر قرار گرفت:

$$y=930.45x-5.483$$

تجزیه و تحلیل داده‌های آماری

داده‌ها توسط نرم افزار Minitab نسخه ۱۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون بنفرونی[3] در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. درنهایت نمودارها نیز با نرم افزار Excel 2016 رسم شدند.

نتایج و بحث

خصوصیات رشدی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد کاربرد گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا بر شاخص‌های رشدی گیاه همیشه‌بهار شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده، قطر ساقه و وزن خشک گل تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۲). به‌طوریکه بیشترین ارتفاع بوته مربوط به گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. etanicatum* بود که نسبت به گیاهان شاهد ۱۷ درصد افزایش نشان داد، اگرچه این قارچ در این صفت با قارچ‌های *G. mosseae*، *G. geosporum* و *G. intraradicese* اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کمترین ارتفاع بوته نیز مربوط به قارچ *G. caledonium* بود که نسبت به گیاهان شاهد ۱۶ درصد کاهش داشت. بیشترین تعداد شاخه‌فرعی در تیمار گیاهان با قارچ *G. mosseae* مشاهد شد که نسبت به تیمار شاهد ۶۹ درصد افزایش داشت و کمترین آن در قارچ *G. gigaspora* مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۳ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق بیشترین تعداد شاخه گل‌دهنده را گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. mosseae* و پس از آن *G. etanicatum* دارا بودند که

۱. Grid line intersect method

۲. Total flavonoids

۳. Bonnferroni

نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۱۵ و ۷۵ درصد افزایش داشتند و کمترین تعداد شاخه گل‌دهنده را گیاهان شاهد داشتند که به لحاظ آماری با گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. gigaspora* تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. همچنین بیشترین قطر ساقه در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. claroidium* و *G. geosporum* مشاهده گردید که به ترتیب ۸۵ و ۷۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان دادند و کمترین قطر ساقه در قارچ *G. gigaspora* بدست آمد که نسبت به گیاهان شاهد ۱۶ درصد کاهش یافته بود (جدول ۳).

نتایج نشانگر آن بود که بیشترین میزان وزن خشک گل در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. mosseae* و پس از آن قارچ‌های *G. etanicatum* و *G. geosporum* حاصل شد که نسبت به گیاهان شاهد به‌ترتیب ۴۶، ۷۹ و ۴۵ درصد افزایش نشان دادند و کمترین میزان آن در قارچ‌های *G. gigaspora* و *G. fasciculatum* مشاهده گردید که به‌ترتیب ۴۸ و ۴۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داشتند (جدول ۳ و شکل ۱).

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر قارچ‌های مایکوریزا بر ویژگی‌های رشدی گیاه همیشه‌بهار

Table 3. Analysis of variance (mean of squares) effect of mycorrhiza fungi on growth characteristic of *Calendula officinalis* L.

		MS				
S.O.V	df	Plant height	No. of branches	No. of flowering branches	Stem diameter	Production of flower dry weight
Mycorrhiza	9	4.38**	4.59**	6.82**	1.55**	2.73**
Error	20	0.97	0.97	0.53	0.27	0.34
CV (%)		6.96	14.63	11.64	16.90	22.57

.**: are significant at 1 percent probability levels

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر قارچ‌های مایکوریزا بر صفات رشدی گیاه همیشه‌بهار

Table 3. Mean comparisons of mycorrhiza fungi effect on growth characteristics of *Calendula officinalis* L.

Mycorrhiza	Plant height (cm)	No. of branches	No. of flowering branches	Stem diameter (mm)	Production of flower dry weight (g/pot)
Control	2.42^{bc}	2.25^{bc}	4.15^{d}	5.16^{b}	13.90^{ab}
G. mosseae	4.34^{a}	2.72^{abc}	8.99^{a}	8.77^{a}	14.86^{a}
G. intraradicese	2.45^{bc}	3.11^{abc}	5.63^{bcd}	6.98^{ab}	14.83^{a}
G. fasciculatum	1.40^{c}	2.75^{abc}	4.88^{cd}	5.88^{ab}	13.62^{ab}
G. caledonium	2.36^{bc}	3.21^{abc}	5.49^{bcd}	6.33^{ab}	11.66^{b}
G. claroidium	2.36^{bc}	4.17^{a}	7.10^{abc}	7.55^{ab}	14.16^{ab}
G. versiform	2.36^{bc}	3.62^{ab}	6.99^{abc}	7.44^{ab}	13.55^{ab}
G. geosporum	3.51^{ab}	3.96^{a}	7.10^{abc}	7.10^{ab}	14.83^{a}
G. etanicatum	3.53^{ab}	2.86^{abc}	7.33^{ab}	7.49^{ab}	16.24^{a}
G. gigaspora	1.25^{c}	1.89^{c}	4.66^{d}	4.66^{b}	13.48^{ab}

Within each column, means with similar letters, are not significantly different (P≤0.05) based on Bonferroni test.

شکل ۱. اثر قارچ‌های مایکوریزا بر ویژگی‌های رشدی گیاه همیشه‌بهار (سمت چپ تصویر : نمونه های شاهد)

Figure 1. Effect of mycorrhiza fungi on growth characteristic of *Calendula officinalis* L. (Control treatments: in the left)

کاربرد قارچ مایکوریزا سبب افزایش بیوماس نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) (Mahmoudzadeh et al., 2016)، زوفا (*Hyssopus officinalis*) (Shabahang et al., 2014)، آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) (عظیمی و همکاران،۱۳۹۲)، شوید (*Anethum graveolens*) (Hashemzadeh et al., 2014) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) (ایران خواه و همکاران، ۱۳۹۵)گردید، که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. همچنین، با نتایج تحقیقات Rapparini et al. (2008) در مورد گیاه درمنه (*Artemisia annua*) و Sensoy et al. (2007) در فلفل (*Capsicum annuum* L.) که گزارش نمودند کاربرد قارچ‌های مایکوریزا سبب بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان می‌شود نیز مطابقت داشت.

در گیاه دارویی پونه نیز از میان گونه‌های مایکوریزا، *G. mosseae* بیشترین تأثیر را بر ارتفاع و عملکرد این گیاه داشت (Kaosaad et al., 2006). در پژوهش Sasanelli et al. (2008) نیز همزیستی آویشن باغی با میکوریزا موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی و تعداد شاخه‌های فرعی این گیاه گردید. در تحقیقات قبلی مشخص شده است که میکوریزا با فراهم نمودن بیشتر میزان فسفر، منگنز و آهن در اندام هوایی گیاه دارویی آویشن باغی موجب افزایش تعداد شاخ و برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ و وزن خشک ساقه این گیاه گردید (Dolatabadi et al., 2012). به نظر می‌رسد تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین و سیتوکنین در گیاهان آویشن باغی تلقیح شده با میکوریزا موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه شده است (Dolatabadi et al., 2012).

تحقیقات نشان می‌دهد در بین میکروارگانیسم‌هایی که توانایی بهبود رشد گیاهان را دارند، قارچ‌های مایکوریزا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. قارچ مایکوریزا سبب افزایش جذب نیتروژن می‌شود که نقش اساسی در ساختمان کلروفیل دارد و از طرفی مهم‌ترین عنصر در سنتز پروتئین‌هاست و افزایش میزان آن در شرایط مطلوب تا حد مشخص موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد. با افزایش پروتئین‌ها گیاه به توسعه رویشی مثل افزایش تعداد شاخه-فرعی، ارتفاع و قطر ساقه می‌پردازد که افزایش این صفات، افزایش مواد فتوسنتزی را به عهده دارد (Chaudhary et al., 2000). این قارچ‌ها از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش

مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌گردند (Sharma, 2002).

تلقیح با قارچ در فراهمی و متابولیسم عناصر مورد نیاز گیاه نقش بسزایی دارد و سبب افزایش میزان این عناصر در گیاهان تلقیح شده می‌گردد. در واقع تلقیح گیاه با میکوریزا موجب بهبود وضعیت تغذیه‌ای در بافت برگ شده، در نتیجه میزان آب برگ و انتقال عناصر غذایی به گیاه افزایش می‌یابد (Hammer et al., 2011). این وضعیت به افزایش انتقال اسیمیلات به مخزن منجر گشته و از شدت خشکی بر تولید محصول کاسته و در نهایت رشد و تولید را افزایش می‌دهد (Colla et al., 2008).

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر قارچ‌های مایکوریزا بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ، درصد کلونیزاسیون، فلاونوئید و کارتنوئید گل همیشه‌بهار

Table 4. Analysis of variance (mean of squares) effect of mycorrhiza fungi on photosynthetic pigments, relative water content, clonization percentage, flavonoids and carotenoids of *Calendula officinalis* L.

		MS							
S.O.V	df	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Leaf carotenoids	Total chlorophyll	RWC	Clonization percentage	Flower flavenoids	Flower carotenoids
Mycorrhiza	9	3.29**	0.52**	0.12**	4.43**	41.03**	457.42**	0.000002**	2703.3**
Error	20	0.02	0.05	0.002	0.07	0.48	8.40	0.00000	157.1
CV (%)		2.89	8.45	2.57	3.47	1.18	4.61	2.22	19.12

**: are significant at 1 percent probability levels.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر قارچ‌های مایکوریزا بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ، درصد کلونیزاسیون، فلاونوئید و کارتنوئید گل همیشه‌بهار

Table 5. Mean comparisons of mycorrhiza fungi effect on photosynthetic pigments, relative water content, clonization percentage, flavonoids and carotenoids of *Calendula officinalis* L.

Mycorrhiza	Chlorophyll a (µg/g FW)	Chlorophyll b (µg/g FW)	Leaf carotenoids (µg/g FW)	Total chlorophyll (µg/g FW)	RWC (%)	Clonization percentage (%)	Flower flavonoids (µg/g FW)	Flower carotenoids (µg/g FW)
Control	3.8e	2.1c	2.1^{a}	5.9^{d}	52.6^{f}	33.0e	0.0366^{cd}	0.58bcd
G. mosseae	6.3a	3.6a	1.4^{f}	9.9^{a}	65.8^{a}	71.0ab	0.0366^{cd}	1.03a
G. intraradicese	6.2a	2.6bc	1.7^{bcd}	8.8^{b}	60.9^{b}	77.7a	0.0374^{bc}	0.88abc
G. fasciculatum	5.7b	2.3bc	1.7^{bcd}	7.9^{c}	58.4^{cd}	64.0bc	0.0369^{bcd}	0.48d
G. caledonium	3.2f	2.9b	1.6^{de}	6.1^{d}	58.6^{c}	61.0cd	0.0364^{d}	0.55cd
G. claroidium	5.5bc	2.6bc	1.8^{bc}	8.1^{bc}	61.1^{b}	65.0bc	0.0372^{bc}	0.35d
G. versiform	6.2a	2.6bc	1.7^{cde}	8.8^{b}	61.4^{b}	67.7bc	0.0369^{bcd}	0.31d
G. geosporum	4.9d	2.4bc	1.5^{e}	7.3^{c}	55.4^{e}	70.7ab	0.0377^{b}	1.07a
G. etanicatum	5.2cd	2.4bc	1.7^{bcd}	7.6^{c}	56.4^{de}	65.0bc	0.0393^{a}	0.94ab
G. gigaspora	5.7b	2.3bc	1.8^{b}	8.0^{bc}	57.2^{cde}	53.0d	0.0367^{cd}	0.32d

Within each column, means with similar letters, are not significantly different (P≤0.05) based on Bonferroni test.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر قارچ‌های مایکوریزا بر تمامی رنگیزه‌های فتوسنتزی درسطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین میزان

کلروفیل a در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. mosseae* مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد ۶۶ درصد افزایش داشت، اگرچه از نظر آماری با گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های *G. intraradicese* و *G. versiform* تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین میزان کلروفیل a در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. caledonium* مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۵ درصد کاهش داشت. بیشترین میزان کلروفیل b نیز در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. mosseae* دیده شد که نسبت به تیمار شاهد ۷۱ درصد افزایش نشان داد و کمترین میزان آن در گیاهان شاهد مشاهده شد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین کاروتنوئید برگ در گیاهان شاهد و کمترین میزان آن در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. mosseae* بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۳۳ درصد کاهش داشت و در نهایت بیشترین میزان کلروفیل کل برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. mosseae* مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد ۶۸ درصد بهبود یافته بود (جدول ۵).

بهبود در رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط قارچ‌های میکوریزا، پیش از این توسط Moraes et al. (2004) در گیاه دارویی *Podophyllum peltatum* L.، مورد بررسی قرار گرفت که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق همخوانی دارد. همچنین در گیاه فلفل (*Piper nigrum*) تلقیح شده با *G. intraradicese* میزان کلروفیل a و b به طور معنی‌داری نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی افزایش یافت (Demir, 2005). در واقع یکی از مهم‌ترین نقش‌های میکوریزا افزایش محتوای کلروفیل می‌باشد (Gogoi and Sint, 2011). قارچ‌های مایکوریزا سطح جذب نیتروژن، آهن و منیزیم گیاه را افزایش داده و از آنجایی که این عناصر نقش اساسی در ساختار کلروفیل دارند باعث می‌گردد رنگیزه‌های فتوسنتزی به طور معنی‌داری افزایش یابند (Chaudhary et al., 2007; Krishna et al., 2005). علاوه بر آن قارچ‌های مایکوریزا نقش مهمی در جذب فسفر توسط گیاه داشته و از این طریق می‌توانند موجب بهبود فتوسنتز و در نتیجه باعث افزایش محتوا و سازماندهی کلروپلاست‌های برگی گردند (Selvaraj and Chellappan, 2006). با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق مشاهده می‌گردد که تمامی گونه‌های قارچ مایکوریزای مورد استفاده در این مطالعه به غیر از قارچ *G. caledonium* توانستند باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه دارویی همیشه‌بهار گردند. Tang et al. (2009) افزایش در میزان کلروفیل گیاه میکوریزایی شده را به افزایش جذب نیتروژن توسط سیستم میکوریزایی نسبت دادند. در همین راستا SanchezBlanco et al. (2004) بیان کردند گیاهان رزماری (*Rosmarinus officinalis*) میکوریزایی تحت شرایط تنش خشکی، محتوای کلروفیل بالاتری را نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی دارا بودند.

محتوای نسبی آب برگ

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. mosseae* و کمترین آن در شاهد بود. نتایج حاکی از آن است که قارچ *G. mosseae* توانست محتوای نسبی آب برگ همیشه‌بهار را ۲۵ درصد نسبت به گیاهان شاهد بهبود بخشد (جدول ۵). به نظر می‌رسد میکوریزا احتمالاً از طریق تغییر در مورفولوژی و طویل کردن سیستم ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریسه‌های قارچ، میزان آب بیشتری را جذب کرده و باعث بهبود روابط آبی گیاه می‌گردد (Auge, 2015). گزارش‌های مشابهی نیز از محققین در رابطه با افزایش محتوای نسبی آب برگ در نتیجه همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریزا وجود دارد (Hammer et al., 2011).

همزیستی گیاهان با قارچ‌های مایکوریزا سبب تنظیم اسمزی بهتر و بهبود رابطه آبی در گیاهان می‌گردد. قارچ

مایکوریزا باعث افزایش میزان جذب آب در گیاه نسبت به تیمارهای بدون قارچ گشته و افزایش جذب آب سبب تورژسانس در سلول‌ها می‌گردد که خود یک عامل محرک طویل شدن سلول‌ها می‌باشد. مایکوریزا سبب گسترش سیستم هیف در اطراف ریشه و متعاقباً افزایش تماس ریشه با خاک گشته و در نتیجه توانایی جذب آب در آنها بیشتر می‌گردد. علاوه بر این، قارچ موجب افزایش جذب عناصر غذایی از خاک و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی می‌گردد که عامل افزایش رشد ریشه و اندام هوایی و عملکرد ماده خشک آنها می‌باشد (Wu et al., 2009).

درصد کلونیزاسیون

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد کاربرد گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا بر درصد کلونیزاسیون گیاه همیشه‌بهار تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۴). بیشترین درصد کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا با ریشه گیاه همیشه‌بهار در گونه *G. intraradicese* مشاهده گردید که از نظر آماری با گونه‌های *G. mosseae* و *G. geosporum* اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین درصد کلونیزاسیون را گیاهان شاهد و پس از آن از میان گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا *G. gigaspora* نشان داد (جدول ۵).

فلاونوئید گل

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر قارچ‌های مایکوریزا بر فلاونوئید گل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج حاکی از آن بود که بیشترین مقدار فلاونوئید گل مربوط به گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. etanicatum* و پس از آن قارچ *G. geosporum* بود و کمترین آن در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. caledonium* مشاهده گردید که از نظر آماری با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد. با توجه به نتایج می‌توان چنین اظهار نمود که قارچ‌های *G. etanicatum* و *G. geosporum* توانستند به ترتیب ۷/۲۹ و ۳/۲ درصد فلاونوئید گل همیشه‌بهار که مهم‌ترین متابولیت ثانویه در این گیاه دارویی محسوب می‌شود را افزایش دهند (جدول ۵). Tabrizi et al. (2015) در پژوهشی بر روی گیاه دارویی همیشه‌بهار نشان دادند که در تمام غلظت‌های فلز سنگین، گیاهان مایکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی به طور معنی‌داری، میزان فلاونوئید بیشتری را تولید کردند. با توجه به نقش میکوریزا در تدارک مطلوب عناصر غذایی و افزایش قابلیت جذب ماکرومولکول‌هایی مانند کربن و نیتروژن، به نظر می‌رسد قارچ مایکوریزا با تأثیر مثبت، بر مسیرهای متابولیکی اولیه گیاه، به صورت غیرمستقیم بر تولید متابولیت‌های ثانویه مانند فلاونوئیدها تأثیرگذار باشد (دژابون، ۱۳۹۰).

کاروتنوئید گل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا بر کاروتنوئید گل همیشه‌بهار در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیشترین میزان کاروتنوئید گل همیشه‌بهار در گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های *G. geosporum* و *G. mosseae* مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۸۴/۴ و ۷۷/۵ درصد افزایش نشان داد و پس از آن قارچ *G. etanicatum* قرار داشت که نسبت به تیمار شاهد ۶۲ درصد افزایش داشت. کمترین کاروتنوئید گل نیز در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. versiform* مشاهده گردید که نسبت به گیاهان شاهد ۴۶/۵ درصد کاهش نشان داد و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های *G. gigaspora*، *G. claroidium* و *G. fasciculatum* نشان نداد (جدول ۵). آنچه مسلم است همزیستی مایکوریزا با افزایش تحمل به تنش‌های غیرزنده باعث تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاه می‌گردد (Gianninazzi et al., 2010).

تلقیح با قارچ مایکوریزا سبب افزایش عملکرد

بیولوژیک، میزان و عملکرد اسانس گیاه گشنیز شد (Kapoor et al., 2001). البته با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌های این تحقیق می‌توان چنین اذعان داشت که تنها تعدادی از گونه‌های قارچ‌های مایکوریزای مورد استفاده در این تحقیق بر میزان کاروتنوئید گل تأثیر مثبت داشتند و توانستند آن را افزایش دهند. براساس گزارشات محققین، اثر مفید قارچ‌های مایکوریزا بر جذب مواد معدنی و محتوای متابولیت‌های ثانویه نه تنها به گونه قارچ میکوریزا، بلکه به ژنوتیپ گیاه و رژیم کودی نیز وابسته می‌باشد (Chaudhary et al., 2008; Perner et al., 2008).

Kapoor et al. (2002) گزارش کردند که دو گونه قارچ میکوریزا *G. fasiculatum* و *G .macrocarpum* موجب افزایش رشد و میزان اسانس شوید، زنیان و رازیانه شدند. به نظر می‌رسد میکوریزا از طریق زیست‌فراهمی عناصر، برقراری تعادل سطوح و مواد غذایی خاک و بهبود تغذیه معدنی گیاه، تأثیر مثبتی بر مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه دارد و از این طریق در میزان مواد مؤثره تولیدی تأثیرگذار است و احتمال دارد از طریق فراهمی و تعادل عناصر غذایی موجود، واکنش‌های آنزیمی و عوامل دخیل در هدایت این مسیرهای بیوسنتزی در گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Kapoor et al., 2002).

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه می‌توان چنین اظهار نمود؛ میان اکثر گونه‌های قارچ مایکوریزای مورد استفاده در این تحقیق با ریشه گیاه همیشه‌بهار، همزیستی بالایی صورت گرفته، به‌طوری که صفات اندازه‌گیری شده در اغلب گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های مایکوریزا نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری یافت که علت آن را می‌توان ناشی از بهبود روابط آبی گیاه و احتمالاً جذب بهتر مواد غذایی توسط قارچ‌های مایکوریزا دانست. هرچند گونه‌های *G. gigaspora* و *G. caledonium* تأثیر مثبتی بر خصوصیات رشدی و محتوای نسبی آب برگ، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، فلاونوئید و کارتنوئید گل در گیاهان تلقیح شده با این قارچ‌ها نشان ندادند. در واقع این قارچ‌ها در مقایسه با سایر گونه‌ها نتوانستند با ریشه گیاه همیشه‌بهار کلونیزاسیون خوبی برقرار کرده و در نتیجه تأثیر خوبی بر بهبود رشد و عملکرد گیاه دارویی همیشه‌بهار داشته باشند. باتوجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق گونه‌های *G. mosseae*، *G. etanicatum* و *G. geosporum* می‌توانند بهترین شرایط را برای رشد و تولید مطلوب گیاه دارویی همیشه‌بهار فراهم نموده و به عنوان کود بیولوژیک جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی گردند. در پایان پیشنهاد می‌گردد با توجه به پتانسیل بالای این سه گونه قارچ مایکوریزا، در توانایی بهبود اکثر پارامترهای رشدی و متابولیت‌های ثانویه گیاه دارویی همیشه‌بهار، تاثیر آنها به صورت ترکیبی نیز در این گیاه مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

اقحوانی شجری، م.، رضوانی مقدم ،پ.، قربانی، ر. و نصیری محلاتی م.، ۱۳۹۴. اثرات کاربرد کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum*). *علوم باغبانی* جلد ۲۹، شماره ۴، صص ۵۰۰-۴۸۶.

ایران‌خواه، س.، گنجعلی، ع.، لاهوتی، م . و مشرقی، م.، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر باکتری Pseudomonas putida و قارچ Glomus intraradices بر برخی صفات مورفولوژی و بیوشیمیایی گیاه شنبلیله. *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۳۰، شماره ۱، صص ۱۲۱-۱۱۲.

دژابون، ف.، ۱۳۹۰. ارزیابی کاربرد نهاده‌های آلی و روش‌های خشک کردن در تولید گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی علوم باغبانی. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

سعیدنژاد، ا.ح.، خزاعی، ح .ر. و رضوانی مقدم، پ.،۱۳۹۱. مطالعه اثر کاربرد مواد آلی، کودهای بیولوژیک و کود شیمیایی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor*). *فصلنامه پژوهشهای زراعی ایران*، جلد ۱۰، شماره ۳، صص ۵۱۰-۵۰۳.

عظیمی، ر.، جنگجو، م. و اصغری ح.ر.، ۱۳۹۲. تاثیر تلقیح قارچ میکوریزا بر استقرار اولیه و خصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی آویشن باغی در شرایط عرصه طبیعی. *نشریه پژوهشهای زراعی ایران* ، جلد۱۱، شماره ۴، صص۶۷۶-۶۶۶.

مقدسان، ش.، صفی‌پور افشار، ا. و نعمت‌پور، ف.، ۱۳۹۴. نقش میکوریزا در تحمل به خشکی همیشه‌بهار. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، جلد ۹، شماره۴(۳۶)، صص ۵۳۲-۵۲۱.

مهدوی دامغانی، ع.، محمودی، ح . و لیاقتی، ه.، ۱۳۸۷. *درآمدی بر کشاورزی ارگانیک (زیستی)*. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه مشهد).

هاشم‌زاده، ف.، میرشکاری، ب.، یارنیا، م.، رحیم زاده خویی، ف. و تاری نژاد، ع.ر،۱۳۹۳. نقش کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژنه و فسفره بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد همزیستی مایکوریزا در شوید. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، جلد ۸، شماره ۳(۳۱)، صص ۲۷۰-۲۵۷.

Arora, D., Rani, A., and A. Sharma. 2013. A review on phytochemistry and ethnopharmacological aspects of genus Calendula. *Pharmacognosy Reviews*. 7: 179-187.

Auge, R.M., Toler, H.D., and A.M. Saxton. 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza*. 25(1): 13-24.

Cabello, M., Irrazabal, G., Bucsinszky, A. M., Saparrat, M., and S. Schalamuk. 2005. Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*, and a rock-phosphate-solubilizing fungus, *Penicillium thomii*, on *Mentha piperita* growth in a soilless medium. *Journal of Basic Microbiology*. 45:182-189.

Ceccarelli, N., Curadi, M., Martelloni, L., Sbrana, C., Picciarelli, P., and M. Giovannetti. 2010. Mycorrhizal colonization impacts on phenolic content and antioxidant properties of artichoke leaves and flower heads two years after field transplant. *Plant and Soil*. 335: 311-323.

Chaudhary, V., Kapoor, R., and A.K. Bhatnagar. 2007. Effect of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. Mycorrhiza. 17: 581-587.

Chaudhary, V., Kapoor, R., and A.K. Bhatnagar. 2008. Effectiveness of two arbuscular mycorrhizal fungi on concentrations of essential oil and artemisinin in three accessions of *Artemisia annual* L. Applied Soil Ecology. 40: 174-181.

Chowdhury, A., and A. Khan. 2000. Chemical analysis of the essential oil from *Tagetes minuta*. *Journal of Agricultural and Marine Sciences*. 5(1): 25-27.

Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Tullio, M., Carlos, M.R., and R. Elvira. 2008. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. *Biology and Fertility of Soils*. 44: 501-509.

Dalpe, Y. 1993. Vesicular-Arbuscular mycorrhiza. In Soil sampling and methods of analysis. eds. M.R. Carter, 287-301. Lewis Publishers.

Demir, S. 2005. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*. 28(2-4): 85-90.

Dolatabadi, H., Mohammadi Goltapeh, E., Moieni, A., and A. Varma. 2012. Evaluation of different densities of auxin and endophytic fungi (Piriformospora indica and Sebacina vermifera) on *Mentha piperita* and *Thymus vulgaris* growth. *Journal of Biotechnology*. 11(7): 1644-1650.

Duck, J.A. 2000. HandBook of Medicinal Herbs. CRC Press. USA. pp: 102.

Einhellig, F.A. 1986. Mechanism and modes of action of allelochemicals. In The science of allelopathy. eds. A.R. Putnam and C.S. Tang, 75 - 99. John Wiley and Sons, New York.

Fonseca, Y.M., Vicentini, F.T.M.C., Catini, C.D., and M.J.V. Fonseca. 2010. Determination of rutin and narcissin in marigold extract and topical formulations by liquid chromatography: applicability in skin penetration studies. Quim Nova. 33: 1320-1324.

Freitas, M.S., Martins, M.A., and I.C. Vieira. 2004. Production and quality of essential oils of *Mentha arvensis* in response to inoculation with mycorrhizal fungi. *Brazilian Agricultural Research*. 39: 887-894.

Gianninazzi, S., Gollette, A., Binet, M.N., Tuinen, D., and D. Redecke. 2010. Key role of arbuscular mycorrhiza in ecosystem services. *Mycorrhiza*. 20: 519-530.

Gogoi, P., and R.K. Singh. 2011. Different effect of some arbuscular mycorrhizal fungi on growth of *Piper longum* L. (Piperaceae). *Indian Journal of Sciences and Technology*. 4(2): 119-125.

Hammer, E.C., Nasr, H., Pallon, J., Olsson, P.A., and H. Wallander. 2011. Elemental composition of arbuscular mycorrhizal fungi at high salinity. *Mycorrhiza*. 21: 117-129.

Harborne, J.B. 1980. Plant Phenolics. In: Bell EA and Charlwood BV. (Eds.). Secondary Plant Products. Springer Verlag, Berlin: 329-402.

Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Elharchli, E., and KH. Amrani Joutei. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and water stress on ultrastructural change of glandular hairs and essential oil compositions in *Ocimum gratissimum*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2: 1-10.

Kaosaad, T., Vierheilig, H., Nell, M., Zitterl-Eglseer, K., and J. Novak. 2006. Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). *Mycorrhiza*. 16: 443-446.

Kapoor, R., Giri, B., and G. Mukerji. 2001. Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum* L) to enhance the concentration and quality of essential oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82(4): 339-342.

Kapoor, R., Giri, B., and K.G. Mukerji. 2002. Glomus macrocarpum: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in Dill (*Anethum graveolens* L.) and Carum (*Trachyspermum ammi* Sprague). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 18(5): 459-463.

Kapoor, R., Giri, B., and K.G. Mukerji. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*. 93: 307-11.

Kapoor, R., Chaudhary, V., and A.K. Bhatnagar. 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. *Mycorrhiza*. 17(7): 581-587.

Krishna, H., Singh, S.K., Sharma, R.R., Khawale, R.N., Grover, M., and V.B. Patel. 2005. Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculated during ex vitro acclimatization. *Scientia Horticulture*. 106: 554-567.

Lim, T.K. 2012. Edible Medicinal and Non-medicinal Plants. Springer.

Lutts, S., Kinet, J.M., and J. Bouharmont. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*. 78(3): 389-398.

Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadaghiani, M.H., Asgari Lajayer, H., and A. Hasani. 2016. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on nutrient uptake and some morphological factors in peppermint (*Mentha piperita*). *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 6(1): 161-176.

Moraes, R.M., Andrade, Z.D., Bedir, E., Dayan, F.E., Lata, H., Khan, I., and A.M.S. Pereira. 2004. Arbuscular mycorrhiza improves acclimatization and increases lignin content of micropropagated mayapple (*Podophyllum peltatum* L.). *Plant Science*. 166: 23-29.

Karagiannidis, N., Thomidis, T., and E.P. Filotheou. 2012. Effects of *Glomus lamellosum* on growth, essential oil production and nutrients uptake in selected medicinal plants. *Journal of Agricultural Science*. 4(3): 137-144.

Perner, H., Rohn, S., Drimel, G.N., Batt, D., Schwarz, L., Kroh, W., and E. George. 2008. Effect of nitrogen species supply and mycorrhizal colonization on organosulfur and phenolic compounds in Orions. *Agriculture and Food Chemistry*. 56: 3538-3545.

Raal, A., Kirsipuu, K., Must, R., and Tenno, S. 2009. Content of total carotenoids in *Calendula officinalis* L. From different countries cultivated in Estonia. *Natural Product Communcation*. 4: 35-38.

Rahmatzadeh, S., and S.K. Kazemitabar. 2013. Biochemical and antioxidant changes in regenerated periwinkle plantlets due to mycorrhizal colonization during acclimatization. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5(14): 1535-1540.

Rapparini, F., Liusia, J., and J. Penuelas. 2008. Effect of arbuscular mycorrhiza colonization on terpen emission and content of *Artemisia annua* L. *Plant Biology*. 10(1):108-122.

Sánchez, F.J., Manzanares, M., de Andres, E.F., Tenorio, J.L., and L. Ayerbe. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*. 59(3): 225-235.

Sanchez-Blanco, M.I., Ferrandez, T., Morales, M., Morata, A., and J.J. Alarcon. 2004. Variations in water status, gas exchange and growth in *Rosmarinus officinalis* plant infected with *Glomus* desert cola under drought condition. *Journal of Plant Physiology*. 161: 673-682.

Sasanelli, N., D'Addabbo, T., Takacs, T., and A. Attila. 2008. Remove from marked records influence of arbuscular mycorrhizal fungi on nematicidal properties of leaf aqueous extracts of *Ruta graveolens* and *Thymus vulgaris*. *Giornate Fitopatologiche*. 14(1): 311-316.

Selvaraj, T., and Chellappan, P. 2006. Arbuscular mycorrhizae: a diverse personality. *Journal of Central European Agriculture*. 7(2): 349-358.

Sensoy, S., Demir, S., Turkmen, O., Erdinc, C., and O. Savur. 2007. Responses of some different pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi. *Scientia Horticulturae*. 113: 92-95.

Shabahang, J., Khorramdel, S., Siahmargue, A., Gheshm, R., and L. Jafari. 2014. Evaluation of integrated management of organic manure application and mycorrhiza inoculation on growth criteria, qualitative and essential oil yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under Mashhad climatic conditions. *Journal of Agroecology*. 6(2): 353-363.

Sharma, A.K. 2002. *Biofertilizers for Sustainable Agriculture*. Agrbis India, pp.407.

Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F. and Y. Huang. 2009. Influence of arbuscular mycorrhizae on the root system of maize plants under salt stress. *Canadian Journal Microbiol*. 55: 879-886.

Tabrizi, L., Mohammadi, S., Delshad, M., and B. MoteshareZadeh. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on yield and phytoremediation performance of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under heavy metals stress. *International Journal of Phytoremediation*. 17(12): 1244-1252.

Tang, M., Chen, H., Huang, G.C., and Z.Q. Tian. 2009. Am fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays* L. seedlings under diesel stress. *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 936- 940.

Wu, Q.S., Zou, Y.N., Xia, R.X., and M.Y. Wangi. 2009. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. *Soil, Environmental and Atmospheric Sciences*. 55(10): 436-442.

Zhishen, J., mencheng T., and W. Jianming. 1999. The determination of flavonoid content in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. 64: 555-559.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۶۸- ۵۱)
مقاله پژوهشی

تاثیر دورآبیاری و کودهای زیستی و غیر زیستی بر اجزای‌عملکرد و برخی ترکیبات بیوشیمیایی آویشن زراعی(*Thymus vulgaris* L.)

فریده گشسبی [۱]، مصطفی حیدری [*۲]، سیدکاظم صباغ [۳] و حسن مکاریان [۴]

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی، گروه زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود ،شاهرود، ایران.
faridehgoshasbi@gmail.com
۲- نویسنده مسئول و دانشیارگروه زراعت دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
haydari2005@gmail.com
۳- دانشیارگروه زیست شناسی دانشگاه‌یزد، یزد، ایران.
sksabbagh@yazd.ac.ir
۴- دانشیارگروه زراعت دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
h.makarian@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱**

چکیده

خشکی و کم آبی به عنوان مهم‌ترین مشکل توسعه کشاورزی در ایران یکی از بازدارنده‌های اصلی در تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌رود. لذا انتخاب گونه‌های مناسب در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار حائز اهمیت است. گونه‌های مختلف گیاهی از نظر مقاومت به خشکی و کم آبی دامنه وسیعی را نشان می‌دهند که به دلیل سازگاری‌های فیزیولوژیکی، ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی آن‌ها می‌باشد. از آنجا که رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت بهبود کمیت و کیفیت ماده مؤثره می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد که تغذیه سالم گیاهان از طریق کاربرد کودهای بیولوژیک دارای بیشترین تطابق با اهداف تولید گیاهان دارویی باشد و منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی آن‌ها شود.به منظور بررسی اثر دورآبیاری و نقش تغذیه بر اجزای‌عملکرد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه دارویی آویش زراعی، از سه سطح آبیاری ۷= شاهد (w_1)، ۱۲= دورآبیاری ملایم (w_2) و ۱۷= دورآبیاری شدید (w_3) بر حسب روز به‌عنوان عامل اصلی و همچنین تعدادی کود بیولوژیک (قارچ گلوموس، باکتری‌های آزسپریلیوم و سودوموناس و کود شیمیایی NPK) به عنوان عوامل فرعی استفاده شد. آزمایش به صورت اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در یک مزرعه زراعی انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده بیش‌ترین میزان عملکرد سرشاخه‌های گل‌دار و فنل کل به ترتیب در تیمارآبی شاهد (w_1)، تیمار آبی w_3 و تیمارکودی NPK مشاهده گردید. همچنین بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیکی و تعداد شاخه‌های جانبی در تیمارآبی شاهد (w_1) و تیمارکودی قارچ- ریشه، بیش‌ترین میزان پروتئین در تیمار آبی شاهد (w_1) و تیمار کودی آزوسپریلیوم، بیش‌ترین میزان کربوهیدرات محلول در تیمارآبی w_2 و تیمار کودی سودوموناس بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته در تیمار آبی شاهد (w_1) بیش‌ترین میزان پرولین و درصد اسانس در تیمار آبی w_3 مشاهده شد. از لحاظ تیمار کودی بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته، میزان پرولین و درصد اسانس به ترتیب درتیمارهای کودی سودوموناس، NPK و قارچ- ریشه به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق چنین نتیجه‌گیری می‌شود که تیمارهای کودی با کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی از طریق افزایش تعدادی از شاخص‌های بیوشیمیایی باعث افزایش میزان اجزای عملکرد و پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه تحت تنش شوند که در نهایت می‌توانند علاوه بر کمیت، کیفیت فراورده‌های گیاهان دارویی را تحت تأثیر مثبت قرار دهد. به‌طورکلی براساس نتایج حاصله از این آزمایش می‌توان چنین بیان کرد که در شرایط تنش آبیاری استفاده از کودهای زیستی به ویژه قارچ- ریشه می‌تواند تا حدزیادی از بروز اثرات سوء تغذیه‌ای در این گیاه بکاهد. البته با توجه به عدم وجود رابطه اختصاصی بین گونه قارچ-ریشه و آویشن، استفاده از گونه‌های دیگر قارچ-ریشه نیز توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: سودوموناس، آزوسپریلیوم، قارچ-ریشه، کربوهیدرات ، ترکیبات فنلی.

مقدمه

آویشن زراعی معطر (*Thymus vulgaris* L. Lamiaceae) ازگیاهان دارویی با ارزش و متداول در طب سنتی است. به علت داشتن ترکیب اصلی تیمول در صنایع غذایی، دارویی، بهداشتی و آرایشی استفاده می‌شود. در بین گونه‌های مختلف آویشن، آویشن زراعی در بسیاری از نقاط دنیا از جمله ایران کشت و تولید می‌شود (امیدبیگی و محمودی سورستانی، ۱۳۸۹). تحقیقات انجام شده درمورد اسانس این گیاه نشان می‌دهد که بالاترین عملکرد اسانس در مراحل گلدهی و در سرشاخه‌های گلدار آن می‌باشد (Lee et al., 2005; Stahl-Biskup and Saez, 2003). تنش خشکی از جمله تنش‌های محیطی مهم است که با ایجاد اختلال در عمل روزنه‌ها و سیستم فتوسنتزی، تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و کاهش سطح برگ موجب ریزش گل و میوه گیاهان و در نهایت کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Abdul Jaleel et al.,2007; Jaleel et al., 2008). افزایش سنتز قندهای محلول در شرایط خشکی، می‌تواند به عنوان تنظیم کننده اسمزی نقش مهمی در بقای گیاهان در این شرایط داشته باشد (Behra et al., 2002; DeCarvalho, 2005). تنش ناشی از کمبود آب می‌تواند باعث کاهش ارتفاع، تعداد و سطح برگ، وزن خشک، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش میزان کلروفیل و کاهش رشد ریشه در گیاهان دارویی شود. بنابراین، مقابله با آثار مخرب تنش خشکی به شیوه‌های مختلف مانند کاربرد کودهای زیستی دارای اهمیت است (Taherkhanchi et al., 2013). کودهای بیولوژیک متشکل از باکتری‌ها و همچنین قارچ-های مفیدی هستند که هر یک به منظور خاصی همانند تثبیت نیتروژن و رها سازی یون‌های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این باکتری‌ها معمولاً در اطراف ریشه مستقر شده و گیاه را در جذب عناصر یاری می‌کنند. در حال حاضر مشخص شده است که این باکتری‌ها بیش از یک نقش را در بهبود شرایط رشدی گیاهان دارند. یعنی علاوه بر کمک به جذب عنصر خاص باعث جذب سایر عناصر غذایی، کاهش بیماری ها و بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند (Wu et al., 2005). همزیستی قارچ- ریشه با ریشه گیاهان می‌تواند در بهبود صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیکی آن‌ها موثر باشد. قارچ- ریشه‌ها علاوه بر تاثیر در بهبود رشد گیاه، جذب عناصر غذایی را نیز افزایش می دهند. از مهمترین عناصری که توسط قارچ- ریشه‌ها به طور فعال و در سطح وسیع جذب می‌شود، عنصر فسفر است(Bolan, 1991). قارچ-های همزیست مواد کربوهیدراتی را عمدتاً به شکل ساکارز از گیاه دریافت و عناصر غذایی (عمدتاً فسفر) را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Marulanda and Barea, 2009) ، به این ترتیب که عناصر غذایی از غشای آربوسکول از طریق حامل‌های غشایی که با شیب پروتون عمل می‌کنند به صورت فعال در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و مواد کربوهیدراتی موجود در آوند آبکش گیاه ابتدا توسط قارچ به گلوگز و فروکتوز تبدیل شده و سپس توسط حامل‌ها جذب می‌گردد (Smith al et., 2010) درآزمایشی بر روی گیاه دارویی بشقابی (*Scutellaria integrifolia*) مشخص شد که تلقیح ریشه این گیاه با قارچ-ریشه نه تنها در افزایش رشد و تکثیر گیاه، خصوصاً رشد ریشه مؤثر بوده، بلکه توانایی گیاه را برای رشد در خاک‌های دچار کمبود فسفر افزایش داده است (Joshee et al., 2007). تلقیح گیاه نعناع با قارچ-ریشه، به طور قابل توجهی توانسته است ارتفاع بوته و عملکردبیولوژیکی گیاه را افزایش دهد (Gupta et al., 2002). در تحقیقی که بر روی اثر باکتری آزسپریلیوم بر صفات فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی گیاه ریحان تحت دورآبیاری صورت گرفت، مشخص شد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌داری در ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه و ساقه، وزن تر ساقه و ریشه می‌شود. همچنین اثر سطوح تنش خشکی بر میزان نسبی آب برگ، نشت یونی معنی‌دار بوده است (انتشاری و همکاران، ۱۳۹۰). در بررسی دیگر بر روی گیاه دارویی گشنیز گزارش شد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره آن‌ها

کاهش یافته تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد گیاه شود، که این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش شده است (انجیلی و همکاران، ۱۳۹۷). اخیراً باکتری همزیست آزوسپریلیوم به دلیل توان تثبیت ازت مولکولی و تبدیل آن به فرم نیترات و نیتریت قابل جذب به‌صورت همزیستی با گیاهان و همچنین تولید هورمون های محرک رشد به عنوان یک کود بیولوژیک در کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است (روستا، ۱۳۷۱). آزوسپریلیوم علاوه بر قابلیت تثبیت نیتروژن با تولید مواد محرک رشد، سبب بهبود رشد ریشه و متعاقب آن افزایش سرعت جذب آب و عناصر غذایی گردیده و از این طریق در افزایش عملکرد تأثیرگذار بوده است (Tilak et al., 2005). در یک بررسی، تأثیر باکتری آزوسپریلیوم بر روند رشدی گیاه ریحان، مشخص شد که کاربرد این کود، اثر معنی داری بر تعداد شاخه جانبی، وزن تر و خشک اندام‌های گیاه، تعداد گل و میزان نسبی آب برگ داشته و همچنین آزوسپریلیوم باعث افزایش ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد گردید. تأثیر مفید آزوسپریلیوم بر توسعه سیستم تارهای کشنده در گیاهان مختلف (Bianciotto et al., 2001) و همچنین در افزایش ارتفاع بوته و وزن تر و خشک اندام‌های گیاه دارویی مریم گلی به اثبات رسیده است (Youssef et al., 2004). نتایج سایر تحقیقات نشان داده است که استفاده از باکتری آزوسپریلیوم در قالب یک کود بیولوژیک در طول مرحله زایشی به خصوص مرحله گلدهی، موجب افزایش فعالیت آنزیم نیتروژناز در ریشه گیاهان تلقیح شده می‌شود و در نتیجه باعث افزایش جذب نیتروژن گیاه شده که این افزایش جذب منجر به افزایش تعداد گل و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه شده است (Ratti et al., 2001). در کل درحوزه گیاه‌پزشکی باکتری‌های سودوموناس‌ها از عوامل بسیار خطرناک بیماریزا می‌باشند ولی گونه‌های غیر بیماریزایی نیز در طبیعت وجود دارند که می‌توانند به عنوان باکتری‌های تقویت‌کننده رشد نظیر سیدروفورها (تثبیت کننده آهن) درکشاورزی مورداستفاده قرارگیرند. این باکتری‌ها باید از خاک جداسازی و تست بیماری‌زایی شوند و اگر بیماری‌زا نبودند به عنوان تقویت‌کننده رشد یا Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) مورد استفاده قرارگیرند. شواهد بسیاری مبنی بر توانایی باکتری‌های ریزوسفری سودوموناس در تولید و ترشح مواد تنظیم‌کننده رشد از جمله اکسین، سیتوکنین و جیبرلین همچنین تأثیر آن‌ها برریخت‌شناسی، تغذیه و رشد گیاهان وجود دارد. امروزه محققین سنتز باکتریایی هورمون اکسین و تنظیم تولید اتیلن در گیاهچه‌های جوان را مهم‌ترین مکانیسم باکتری‌های ریزوسفری در تحریک رشد گیاهان دانسته‌اند (Glick et al., 1998). طی تحقیقی تأثیر تلقیح باکتری‌های ریزوسفری سودوموناس بر رشد، کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی مریم گلی صورت گرفت، نتایج نشان داد که وزن خشک ریشه و شاخساره گیاه در نتیجه تلقیح باکتری سودوموناس افزایش یافته است و تأثیر معنی داری بر رشد ریشه، برگ و افزایش محتوای و عملکرد اسانس گیاه مریم گلی داشته است (Oussalah et al., 2006). با توجه به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک و پیامدهای مصرف کودهای شیمیایی به لحاظ زیست محیطی، استفاده از کودهای زیستی جهت دستیابی به کشاورزی پایدار، حاصلخیزی و حفظ رطوبت خاک اهمیت زیادی دارد. این آزمایش به منظور بررسی تعیین مناسب‌ترین میزان مصرف کودهای زیستی و شیمیایی و تاثیر آن‌ها بر عملکرد سرشاخه‌های گلدار، درصد اسانس و برخی ترکیبات بیوشیمیایی در گیاه دارویی آویشن زراعی در واکنش به دورآبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

داده‌های هواشناسی و آنالیز خاک

داده‌های هوا شناسی از ایستگاه هواشناسی یزد تهیه شد. همچنین تجزیه شیمیایی خاک مزرعه توسط آزمایشگاه خصوصی تجزیه آب ،خاک،گیاه و کود شرکت کویرجنوب یزد صورت گرفت و نتایج آن بترتیب در جداول ۱و۲ ارائه شده است.

جدول۱. داده‌های اقلیمی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد آزمایش
Table1.climatic data of the nearest meteorological station to the test area

Station	Average annual temperature (°C)	Average minimum annual temperature (°C)	Average maximum annual temperature (°C)	Average annual relative humidity (٪)	Average minimum annual relative (٪) humidity	Average maximum annual relative (٪) humidity	Total annual rainfall (mm)	annual evaporation (mm)	Number of sunny hours
Yazd	21.6	14.4	28.4	22.6	11.9	33.3	23.6	3046.2	3569.9

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش
Table 2. The results of the soil chemical analysis used in the experiment

Soil Texture	EC (ds/m)	pH	Sand(%)	Clay(%)	Loam (٪)	CO(%)	K (mg/kg)	P (mg/kg)	N(٪)
Sandy loam	2.05	7.66	75	10	15	0.339	190.8	14.8	0.029

این آزمایش به‌صورت اسپیلت پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه زراعی عسگریه شهر یزد اجرا گردید.

تیمارهای آب و کودی

تیمارهای آزمایش شامل دورآبیاری در سه سطح شاهد، آبیاری با دور ۷ روز = w_1، ۱۲ روز = w_2 و ۱۷روز = w_3 به عنوان عامل اصلی و تغذیه شامل: تیمار شاهد (بدون مصرف کود) = B_1، گونه قارچ- ریشه *Glomus intraradis* = B_2 تهیه شده از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان واقع در استان البرز (کرج)، باکتری‌های آزسپریلیوم (*Azospirillum brasilense*) = B_3 و سودوموناس (*Pseudomonas fluorescens*) = B_4 که تهیه شده از شرکت دانش بنیان تمیشه واقع در استان گلستان تهیه شد و کود شیمیایی (۲۰،۲۰،۲۰) *NPK* = B_5 شامل سه عنصر نیتروژن،فسفر و پتاسیم به‌صورت آماده از فروشگاه کشاورزی تهیه شده است، به عنوان فاکتور فرعی لحاظ شد. در این آزمایش بذر آویشن زراعی از شرکت گیاه ایران (اصفهان) تهیه گردید. در اسفندماه ۱۳۹۵ ابتدا بذرها در گلدان‌های کشت کوچک (جیفی پات) جهت تهیه نشاء کشت شدند. در اوایل اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۶، نهال‌های تولیدی به زمین زراعی در قالب کرت‌های بلوک بندی شده با اندازه‌های مشخص منتقل گردیدند.

از کود زیستی قارچ- ریشه به صورت اینوکلوم ماسه که حاوی اسپورها و هیف قارچ بودند بنا به دستور شرکت تولید کننده (۴۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده شد. معمولاً از اسپور این قارچ‌ها در بستر ماسه استفاده می‌شود. گیاه ذرت به‌عنوان تحریک کننده قارچ برای تولید اسپور مایه‌زنی می‌شود و با یک شوک کم‌آبی و قطع طوقه ذرت، قارچ- ریشه یا میکوریز دچار استرس شده و تولید اسپور می‌کند که به عنوان مایه اینوکلوم به خاک زراعی اضافه می‌شود. معمولاً به نسبت۳۰-۵ درصد می‌توان با خاک بستر مخلوط کرد. از باکتری سودوموناس و آزوسپوریلیوم، به صورت غوطه‌ور کردن ریشه در مایه تلقیح (سلول‌های باکتری همراه با تثبیت کننده) استفاده شد، بدین منظور در ابتدا مقدار ۲۰۰ گرم از گرانول حاوی باکتری تثبیت شده در ۱۰ لیتر آب حل شده و سپس ریشه‌ها به مدت ۱۵-۵ دقیقه در

داخل محلول غوطه‌ور شده سپس کشت انجام شد. کود شیمیایی NPK به‌صورت گرانولی و حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتاراستفاده شد.

آماده سازی بستر کشت

جهت انجام این طرح تحقیقاتی، کرت‌های فرعی به طول ۳ متر و عرض ۲متر آماده شد که فاصله بین هرکدام از ۴ردیف کاشت، ۷۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود. تراکم براساس سه بوته در متر مربع بود. زمانی که نشاءها حدود ۱۱-۱۰ برگی بودند به زمین اصلی منتقل گردیدند. بعد از نشاء کاری اولین آبیاری در مزرعه به صورت غرقابی انجام شد. زمانی که گیاهان استقرار کامل پیدا کردند اعمال تیمار کم‌آبی با روش آبیاری قطره‌ای و تنظیم دور آبیاری و براساس نقشه طرح انجام گرفت که حجم آب آبیاری در هر بار برای تمامی تیمارها یکسان بود (با قرار دادان کنتور از حجم آب یکسان استفاده شد) و انتخاب دور آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و اقلیم منطقه صورت گرفت. اعمال دورآبیاری تا زمان حداکثر گلدهی بوته ادامه یافت و برداشت سه ماه پس ازتاریخ کاشت، در اواخر تیر ماه و در مرحله گلدهی کامل یعنی زمانی‌که تقریباً ۹۰ درصد بوته‌ها به گل رفته بودند، صورت گرفت.

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

در مرحله گلدهی کامل جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیکی و نیز عملکرد سرشاخه‌های گلدار، بوته‌ها همزمان و به طور تصادفی و با رعایت اثرات حاشیه انتخاب و به آرامی از گیاه جدا و پس از خشک شدن با با ترازوی دقیق پارامترهای مورد نظر اندازه‌گیری شدند.

همچنین ارتفاع بوته و نیز تعداد شاخه‌های جانبی در سه بوته انتخابی در هر کرت صورت گرفت. در مرحله گلدهی همچنین، درصد اسانس گل‌ها با استفاده از دستگاه کلونجر به دست آمد. همچنین در این مرحله میزان پرولین موجود در برگ‌ها با استفاده از روش (Bates et al., 1973)، میزان کربوهیدرات محلول با استفاده از روش (Aoac, 1995)، درصد پروتئین برگ به روش بیوره و مقادیر فنل با استفاده از روش (Seevers and Daly, 1970) اندازه‌گیری شد.

تهیه عصاره‌گیاهی

جهت عصاره‌گیری مقدار ۰/۲ گرم بافت گیاهی را در هاون چینی سرد با محلول عصاره (۱۶۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم با pH= ۶/۸ ، ۲۰ میکرولیتر EDTA۰/۱ مولار و ۳۸۰ میکرولیتر آب مقطر) هموژن شد. سپس به مدت ۲۵ دقیقه در ۱۴۰۰۰ rpm در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شدند. پس از سانتریفیوژ از فاز بالایی عصاره برای اندازه‌گیری فعالیت فنل استفاده شد.

اندازه گیری فنل کل

برای اندازه‌گیری فنل کل در عصاره برگ از معرف فولین به شرح زیر استفاده شد. بدین منظور در ابتدا ۰/۵میلی لیتر از عصاره گیاهی (تیمارهای شاهد و کودی) به دست آمده با ۷ میلی لیتر آب مقطر استریل در یک لوله آزمایش مخلوط و یکنواخت گردید. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر ازمعرف فولین به لوله اضافه و محتویات لوله با هم مخلوط شدند. پس از سه دقیقه ۲۰۰ میکرولیترمحلول کربنات-سدیم اشباع به لوله اضافه و حجم مخلوط با آب مقطر استریل به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از یک ساعت مقدار جذب رنگ در طول موج ۷۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) خوانده شد (Seevers and Daly, 1970).

اندازه‌گیری پروتئین

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین از روش بیوره استفاده شد (Zelong& Junhui, 2017). جهت تهیه محلول بیوره در ابتدا ۱/۵گرم سولفات مس ($CuSO_{4.5}H_2O$) و ۰/۶ گرم سدیم پتاسیم تارتارات در ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شده و سپس به آن ۳۰۰ میلی‌لیتر هیدروکسیدسدیم ۱۰٪ اضافه گردید، حجم محلول تهیه شده با آب مقطر استریل به یک لیتر رسانده شد. محلول آماده شده در ظرف پلاستیکی و در جای تاریک نگهداری

شد. برای اینکه محلول برای مدت زیادی نگهداری شود، یک گرم محلول یدیدپتاسیم به آن اضافه شد، تا مانع احیای مس گردد. برای اندازه‌گیری میزان پروتئین هر نمونه، از پنج میلی‌لیترمحلول بیوره استفاده و محلول واکنش سریعاً تکان داده شد. پس از دو دقیقه و قبل از یک ساعت جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر خوانده شد و غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلبومن گاوی محاسبه و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید. ضمناً بلانک دستگاه حاوی ۰/۵ میلی‌لیتر آب مقطر بعلاوه ۲/۵ میلی‌لیتر محلول بیوره می‌باشد.

تجزیه وتحلیل داده‌ها

در نهایت داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS ver9.4 مورد تجزیه آماری قرار گرفت و جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد سرشاخه‌های گل‌دار و عملکرد بیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل تیمار دورآبیاری و تغذیه بر عملکرد بیولوژیکی و عمکلرد سرشاخه‌های گل‌دار معنادار گردید (جدول ۳). همانطور که در (شکل ۱) مشاهده می‌شود، بیش‌ترین عملکرد سرشاخه‌های گل‌دار در تیمار آبی شاهد w_1 (۷روز یک بار آبیاری) و تیمار کودی NPK با میانگین ۳۰/۲ کیلوگرم بر هکتار و کم‌ترین میزان آن مربوط به تیمار آبی w_3 (۱۷روز یک بار آبیاری) و تیمار کودی قارچ- ریشه با میانگین ۱۱/۷ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. نتایج پژوهشی نشان داد که تنش خشکی در حد ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، عملکرد گل گیاه دارویی بابونه را نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱۸/۱ درصد کاهش داشته است (آرزمجو و همکاران، ۱۳۸۸). بروز تنش خشکی موجب کاهش سطح برگ‌ها می‌شود، در نتیجه جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، تولید ماده خشک گیاه دارویی بادرشبو کاهش یافت (خاتمی و همکاران، ۱۳۹۷). مصرف کودهای زیستی سبب افزایش عملکرد گل گیاه دارویی بابونه شده است (Sanchez; Govin et al., 2005 فلاحی و همکاران، ۱۳۸۸). در پژوهش دیگری مشخص گردید که بیش‌ترین عملکرد گل بابونه آلمانی در تلقیح با کود زیستی حاصل شد (خاتمی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق تشابه نسبی بین داده‌های حاصل و نتایج مطالعات مشابه مشاهده می‌شود. تجمع مواد آلی توسط باکتری‌ها در خاک باعث افزایش توسعه ریشه و دسترسی بیش‌تر به عناصر غذایی شده است، به طوریکه این شرایط موجب افزایش عملکرد می‌گردد (خاتمی و همکاران، ۱۳۹۷).

اما در مورد عملکرد بیولوژیکی همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیکی با ۴۰۶/۱۶ کیلوگرم بر هکتار در تیمارآبی شاهد (w_1) و تیمار کودی قارچ- ریشه و کم‌ترین آن با میانگین ۱۶۳/۵ کیلوگرم بر هکتار از تیمارآبی w_3 (۱۷روز آبیاری) و تیمار کودی آزوسپریلیوم به دست آمد. در تحقیقی کاربرد کود زیستی آزوسپیریلوم و ازتوباکتر، سبب افزایش ارتفاع بوته و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه مریم گلی در چین‌های اول و دوم طی دو فصل گردید با توجه به مطالبی که در ارتباط با این باکتری در بالا ذکر شد شرایط بسیار مرطوب مثل شالیزارها بسیار درعملکردرشدی و تثبیت نیتروژن به وسیله این گونه باکتری مهم می‌باشد. در این تحقیق با توجه به تنش‌های آبی و وجود شرایط اب و هوایی خشک استان مورد مطالعه این نتایج دور از انتظار نبود (Yousse et al., 2004) محققان طی آزمایشی بر روی گیاه دارویی سیاهدانه گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش بیوماس گیاهی، ارتفاع بوته و عملکرد اسانس گردید (رضایی چیانه و دباغ محمدی نسب، ۱۳۹۳).

جدول۳. تجزیه واریانس تأثیر دور آبیاری و کودهای زیستی و غیر زیستی بر اجزای عملکرد در گیاه آویشن زراعی

Table 3- Analysis of variance of effect of irrigation interval, bio and non -bio-fertilizers on yield components in Thyme (*Thymus vulgaris* L.)

		Mean Square			
Source of Variance	df	Height(cm)	Number of lateral branches	Flowering branches yield(kg/ha)	Biological yield(kg/ha)
(R)Repetition	2	5.45ns	18.02ns	4.37ns	715.97ns
(A) (irrigation interval)	2	83.19*	7029.44**	333.05**	72153.49**
Error a (R*A)	4	9.05	5.42	3.27	782.06
Fertilizers(B)	4	9.68*	2223.52**	38.12**	14796.67**
irrigation interval ×Fertilizers	8	2.66ns	756.75**	43.30**	13829.33**
Error (Error b)	24	3.381	6.76	1.32	164.13
C.V. (%)		9.6	2.05	6.37	5.35

ns، *،** به ترتیب نبود اختلاف معنادار، اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, **: non-significantly difference and significantly differences at 5 and 1% of probability levels, respectively

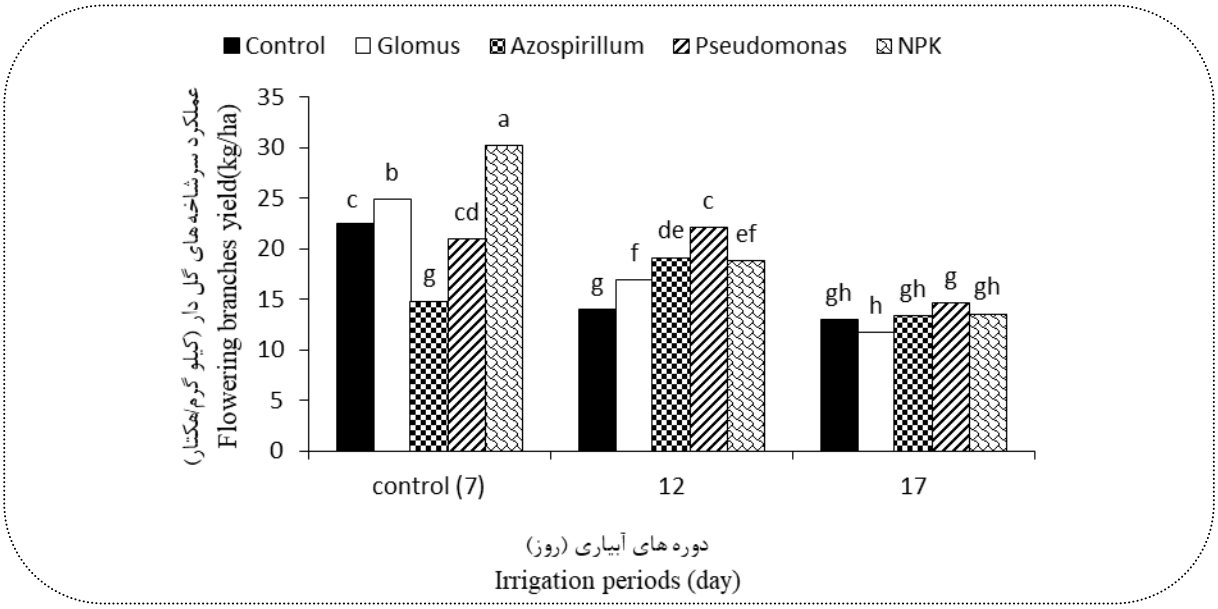
جدول۴. تجزیه واریانس تاثیر دورآبیاری و کودهای زیستی و غیر زیستی بر برخی ترکیبات بیوشیمیایی آویشن زراعی

Table 4- Analysis of variance of effect of irrigation interval, bio and non -bio-fertilizers some of biochemical compounds in Thyme(*Thymus vulgaris* L.)

		Mean Square				
Source of Variance	df	Essential oil(%)	Total Phenol(mg/g leaf fresh weight)	Soluble carbohydrates (µg/g leaf fresh weight	Protein(mg/g leaf fresh weight	Proline(mg/g leaf fresh weight)
(R)Repetition	2	0.00024ns	40.28ns	1419.96ns	0.052*	0.062ns
(irrigation interval) (A)	2	0.050**	2749.95**	2234979.37**	5.054**	0.36**
Error a(R*A)	4	0.000038	24.42	1656.34	0.016	0.009
Fertilizers(B)	4	0.0038**	276.18**	2969979.85**	11.11**	2.80**
irrigation interval ×Fertilizers	8	2884243.93ns	93.62*	2884243.93**	0.87**	0.031ns
Error(Error b)	24	0.000081	47.87	3985.55	0.013	0.028
C.V. (%)		3.03	3.92	1.73	2.38	15.83

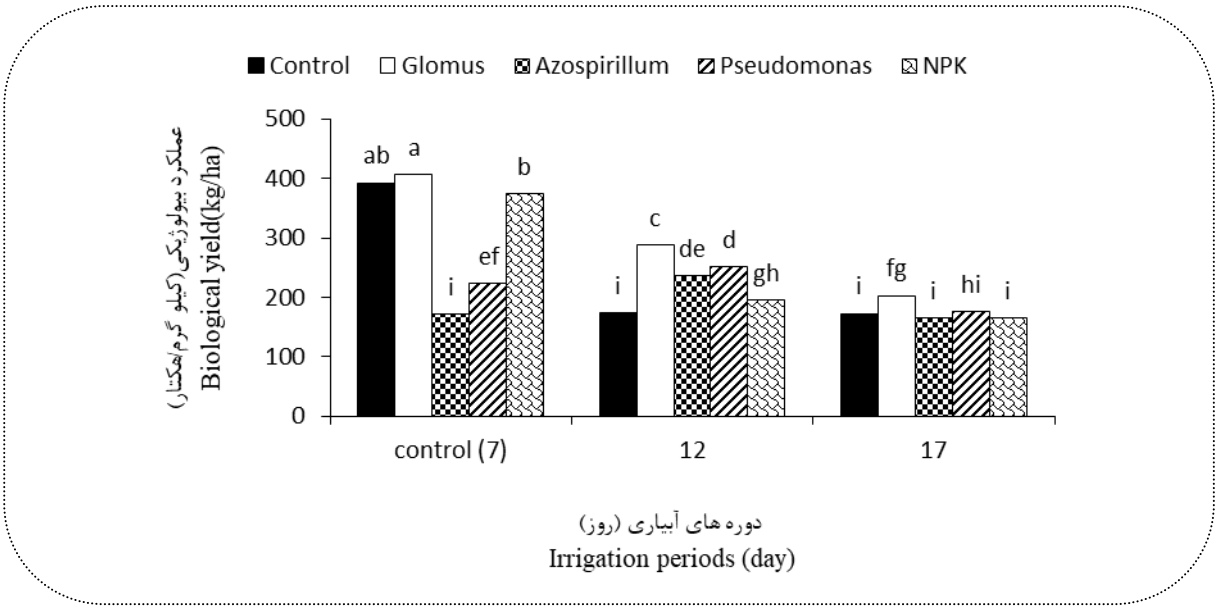
ns، *،**به ترتیب نبود اختلاف معنادار، اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, **: non-significantly difference and significantly differences at 5 and 1% of probability levels, respectively



شکل۱ . مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری وکوددهی بر میزان عملکرد سرشاخه‌های گل‌دار در گیاه آویشن باغی

Figure1. Mean comparison of interaction of irrigation periods and fertilization on flowering branches yield in *Thymus vulgaris*



شکل۲ . مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری وکوددهی بر میزان عملکرد بیولوژیکی در گیاه آویشن باغی

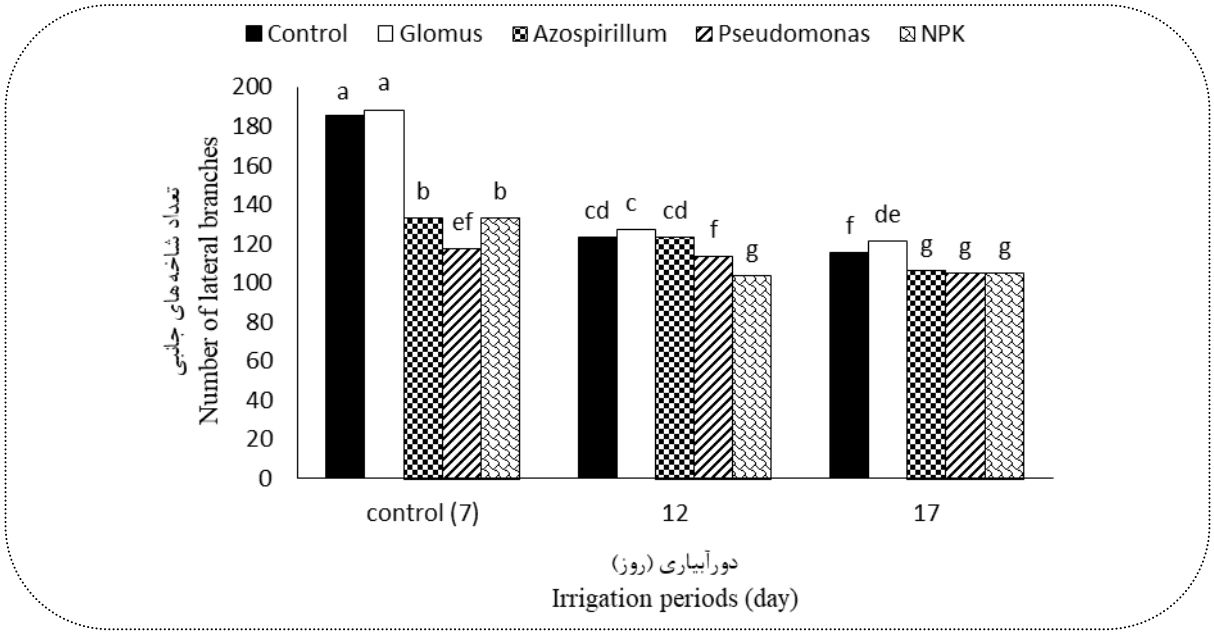
Figure2. Mean comparison of interaction of irrigation periods and fertilization on biological yield in *Thymus vulgaris*

ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی

نتایج تجزیه آماری داده‌ها در نشان داد که اثر متقابل دورآبیاری و تغذیه تنها بر تعداد شاخه‌های جانبی معنادار و تأثیری بر ارتفاع بوته نداشت (جدول ۳). اما در این بین اثرات اصلی دورآبیاری و تغذیه بر ارتفاع بوته معنادار شدند. مقایسه میانگین‌های داده‌ها در جدول ۵ نشان داد با بالا رفتن دورآبیاری از w_1 به w_3 از ارتفاع بوته‌های کاسته شد به‌طوریکه بیش‌ترین ارتفاع بوته با میانگین ۲۱/۸۶سانتی‌متر در تیمار آبی شاهد (w_1) و کم‌ترین آن با میانگین ۱۷/۶۱سانتی‌متر در تیمار آبی۱۷ روز آبیاری (w3)

مشاهده شد (جدول۵). همچنین تیمار کودی سودوموناس بیش‌ترین میزان ارتفاع (۲۰/۴۷ سانتی متر) و تیمار کودی آزوسپریلیوم کم‌ترین میزان ارتفاع بوته (۱۷/۹۷ سانتی‌متر) را نشان دادند (جدول۶). علت کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی،کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلولی نسبت به شرایط بدون تنش می‌باشد (Cabuslay and Alejar, 2002). مطالعات مختلف نشان داده که معمولاً تنش خشکی منجر به کاهش ارتفاع بوته می‌شود از جمله می‌توان به مطالعات انجام شده در گیاه شنبلیله (Alhad et al., 1999; Riasat et al., 2005)، ریحان (Khalid, 2006 ; بزازی و همکاران، ۱۳۹۲)، مریم گلی، بومادران، اسفرزه، همیشه بهار، بابونه (بزازی و همکاران، ۱۳۹۲)، گل مکزیکی (امیدبیگی و محمودی سورستانی، ۱۳۸۹) و بادرشبو (بزازی و همکاران، ۱۳۹۲) اشاره کرد.

همانطورکه در (شکل۳) مشاهده می‌شود تعداد شاخه‌های جانبی آویشن تحت تأثیر هر دو فاکتور دور آبیاری و تیمار کودی قرار گرفت به‌طوریکه بیش‌ترین تعداد شاخه‌های جانبی (۱۸۸/۳۳) در تیمار آبی شاهد (w_1) و تیمار کودی قارچ- ریشه و کم‌ترین آن به تعداد ۱۰۳/۳۳ در تیمار آبی ۱۲ روز یک بار (w_2) و تیمار کودی NPK به دست آمد. محققان اذعان داشتند که تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن خشک اندام رویشی آویشن را کاهش می‌دهد (بابایی و همکارن، ۱۳۸۹). نتیجه یک بررسی نشان داد که با افزایش تنش خشکی، تعداد ساقه جانبی گیاه مرزه کاهش یافت و تلقیح با قارچ مایکوریزا، شاخص‌های رشد رویشی گیاه مرزه را در شرایط تنش خشکی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده به طور معناداری افزایش داد و استفاده از مایکوریزا نسبت به شاهد (بدون قارچ- ریشه) مثبت ارزیابی شد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل۳ . مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و کوددهی بر تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه آویشن باغی

Figure 3. Mean comparison of interaction of irrigation periods and fertilization on number of lateral branches in *Thymus vulgaris*

جدول۵. مقایسه میانگین تأثیر دورآبیاری بر ارتفاع، درصد اسانسو پرولین در گیاه آویشن زراعی

Table5- Means comparison of effect of irrigation interval on height, essential oil percentage and proline in Thyme (*Thymus vulgaris* L.)

Trait			
Proline (mg/g leaf fresh weight)	(%) Essential oil	Height (cm)	Treatment
0.90 c	0.22 c	21.86 a	Control (each 7 day)
1.05 b	0.32 b	17.98 b	Each 12 day
1.22 a	0.33 a	17.61 b	Each 17 day

میانگین دارای حروف یکسان در هر ستون، در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند.

Similar letters in each column shows non- significant difference at 5% level.

.جدول۶. مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و غیرزیستی بر ارتفاع، درصد اسانس و پرولین در گیاه آویشن زراعی

Table 6- Means comparison of effect of bio and non -bio-fertilizers on height, essential oil percentage and proline in Thyme (*Thymus vulgaris* L.)

Trait			
Proline (mg/g leaf fresh weight	(%) Essential oil	Height (cm)	Treatment)
0.59 c	0.27 d	19.77 ab	Control
0.99 b	0.32 a	18.27 bc	Mycorrhizal (Glomus) (40kg/ha)
0.45 c	0.30 b	17.97 c	brasilense Azospirillum (20kg/ha)
1.55 a	0.29 c	20.47 a	fluorescens Pseudomonas (20kg/ha)
1.70 a	0.28 d	19.27 abc	NPK(200kg/ha)

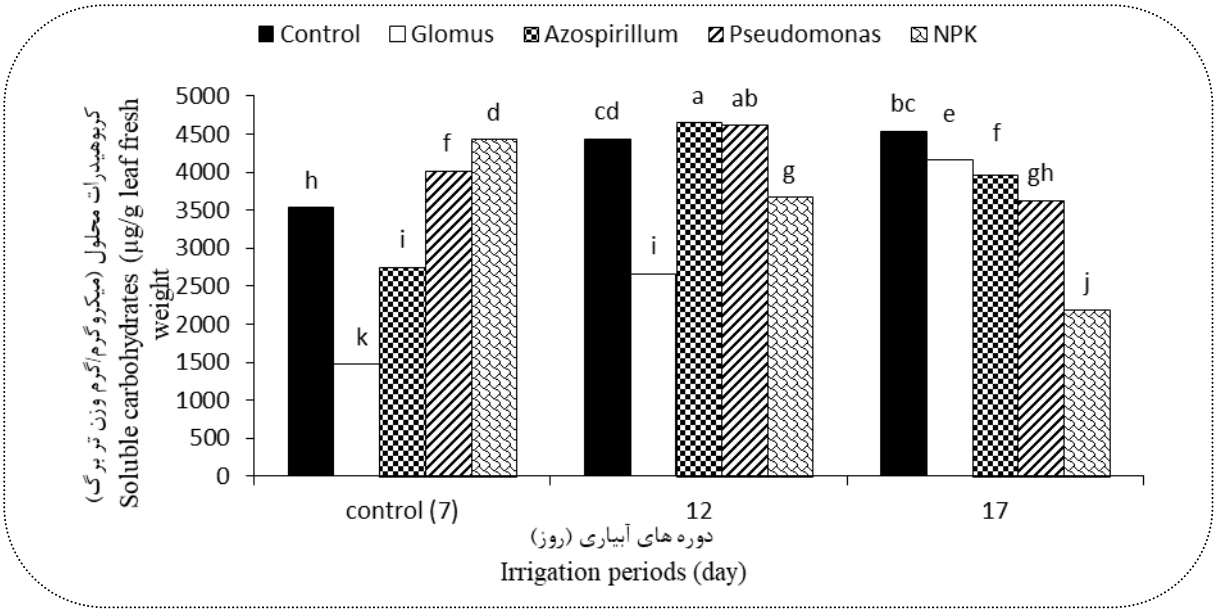
میانگین دارای حروف یکسان در هر ستون، در سطح احتمال ۵درصد، اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند.

Similar letters in each column shows non- significant difference at 5% level.

کربوهیدرات محلول و پرولین

نتایج تجزیه واریانس در (جدول۴) نشان داد که اثر متقابل تیمار دورآبیاری و تغذیه بر میزان کربوهیدرات محلول بافت برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنادار گردید. در شکل ۴ مشاهده می‌شود که بیش‌ترین میزان کربوهیدرات برگ به میزان ۴۶۴۹/۵ میکروگرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمارآبی ۱۲روز آبیاری (w_2) و تیمار کودی آزوسپریلیوم و کم‌ترین آن به میزان ۱۴۶۷/۸۸ میکروگرم برگرم وزن تر مربوط به تیمارآبی شاهد (w_1) و تیمار کودی قارچ-ریشه می‌باشد. افزایش قندهای محلول در پاسخ به تنش خشکی می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز و هیدرولیز نشاسته به قندهای ساده و کند شدن انتقال قندها از برگ به سایر مراکز رشد گیاه مرتبط باشد (Zhang et al., 2010). در هر صورت افزایش قندهای

محلول با مقاومت به خشکی در گیاهان مرتبط است زیرا از یک سو با کاهش پتانسیل اسمزی سلول به تداوم جذب آب و حفظ تورژسانس کمک می‌کند و از سویی دیگر با تشکیل پیوند هیدروژنی با دنباله‌های قطبی و پلی پپتیدها و گروه‌های فسفات لیپید از پروتئین‌ها و غشاهای سلولی حفاظت می‌کنند (Crowe et al., 1992). نتایج بررسی اثر ریزجانداران حل کننده فسفات و کود شیمیایی سوپرفسفات در گیاه جو نشان داد در نتیجه کاربرد کود زیستی فسفر میزان کربوهیدرات‌ها با کاربرد کود شیمیایی فسفر افزایش یافت (خاتمی و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج پژوهشی نشان داد که مصرف ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و زیستی فسفره سبب افزایش کربوهیدرات محلول در گیاه ذرت و برگ‌های گیاه خلر می‌گردد (رضایی چیانه و دباغ محمدی نسب، ۱۳۹۳).



شکل۴ . مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و کوددهی بر میزان کربوهیدرات محلول در گیاه آویشن باغی

Figure4. Mean comparison of interaction of irrigation periods and fertilization on soluble carbohydrates in *Thymus vulgaris*

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها اثرات اصلی دورآبیاری و تیمار تغذیه تأثیر معناداری بر میزان پرولین داشتند و اثر متقابل آن‌ها از تأثیر معناداری برخودار نبود (جدول۴). بیش‌ترین میزان پرولین به مقدار ۱/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمارآبی هر ۱۷ روز آبیاری (w_3) و کم‌ترین آن به میزان ۰/۹۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار آبی شاهد (w_1) به دست آمد (جدول۵). همچنین تیمار کودی NPK بیش‌ترین میزان پرولین (۱/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) را نشان داد که با تیمار کودی سودوموناس تفاوت معنادار نداشت و تیمار کودی آزوسپریلیوم کم‌ترین میزان پرولین (۰/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) را دارا بود که با تیمار کودی شاهد تفاوت معنادار نداشت (جدول۶). در بررسی واکنش گیاه دارویی آویشن به تنش خشکی مشاهده شده است که اسید آمینه پرولین تحت تأثیر تنش خشکی افزایش می‌یابد (بابایی و همکاران، ۱۳۸۹). در واقع تجمع پرولین در اثر تنش خشکی یک واکنش عمومی است که به علت ساخت پرولین در بافت‌ها (Schonfeld et al., 1988)، ممانعت از فعالیت اکسیداتیو پرولین و جلوگیری از شرکت پرولین در ساخت پروتئین‌ها می‌باشد (Pedrol et al., 2000). مصرف کودهای بیولوژیک در شرایط تنش‌های محیطی مانند خشکی نه تنها سبب افزایش مقاومت گیاهان به تنش

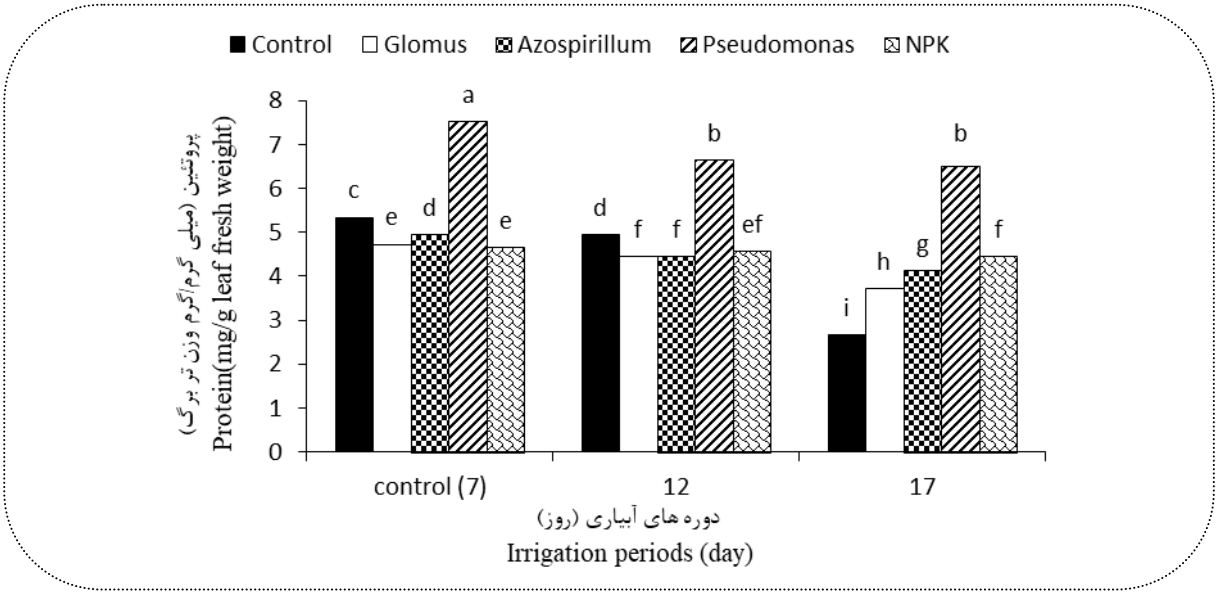
می‌شود، بلکه موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب و ساختمان گرانول‌های خاک، افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در کلوئیدهای خاک و جبران میکروارگانیسم‌های از دست رفته خاک می‌گردد (Gilik et al., 2001). باکتری‌های همزیست از طریق اجتناب از خشکی، گیاهان را در مقابل تنش حفظ می‌کنند و این کار را با افزایش جذب عناصر فسفر و سایر عناصر ضروری برای رشد و نمو گیاه انجام می‌دهند (Gilik et al., 2001). معمولاً گیاهان تلقیح شده با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون تلقیح، قادرند از شرایط تنش خشکی به طور موقت فرار کنند و کم‌تر دچار آسیب شوند و در نتیجه میزان پرولین و قندهای محلول نسبت به گیاهان بدون تلقیح افزایش کمتری نشان می‌دهد (Ruiz-Lozano, 2003). نتایج بررسی تأثیر تنش خشکی و کودهای زیستی و شیمیایی روی گیاه بزرک بیانگر آن است که بیش‌ترین غلظت پرولین در تیمار تنش رطوبتی شدید و تیمارهای کود شیمیایی (نیتروژن + فسفر) و مخلوط کودهای زیستی- آزوتوبارور ۱ و بارور ۲ و کم‌ترین آن در تیمار عدم کاربرد کود در شرایط بدون تنش مشاهده شد (خاتمی و همکاران، ۱۳۹۷).

درصد اسانس گل و میزان پروتئین کل برگ

نتایج حاصل از تعیین میزان پروتئین نشان داد که دورآبیاری و تغذیه تأثیر معناداری در سطح احتمال ۱ درصد بر درصد اسانس داشته اما اثر متقابل آن‌ها بر این صفت معنادار نبود (جدول۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین درصد اسانس (۰/۳۳درصد) در تیمارآبی ۱۷ روز آبیاری (w_3) و کم‌ترین آن (۰/۲۲۹درصد) در تیمار کم آبی شاهد (۷ روز آبیاری، w_1) مشاهده شد (جدول۵). همچنین تیمار کودی قارچ-ریشه بیش‌ترین درصد اسانس (۰/۳۲درصد) و تیمار کودی شاهد کم‌ترین درصد اسانس (۰/۲۷درصد) را نشان داد که با تیمار کودی NPK تفاوت معنادار نداشت (جدول۶). تصور بر این است که در شرایط تنش خشکی و کم آبی تولید مواد مؤثره به دلیل جلوگیری از اکسیداسیون درون سلولی افزایش می‌یابد. در ریحان نیز گزارش شد که با کاهش رطوبت خاک، درصد اسانس افزایش می‌یابد (وشوایی و همکاران، ۱۳۹۴). محققان در طی مطالعه کاربرد کودهای بیولوژیک (باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات) بر روی گیاه مرزنجوش، افزایش در شاخص‌های رشدی و میزان اسانس در این گیاه را گزارش کردند (Fatma et al., 2006). محققان پس از بررسی اثر قارچ- ریشه بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی نعناع گزارش کردند که کلونیزاسیون ریشه تحت تأثیر تلقیح با این قارچ بهبود یافت و درنتیجه خصوصیات رشدی، عملکرد ماده خشک و محتوی اسانس گیاه از افزایش قابل توجهی در مقایسه با شاهد برخوردار شدند (Gupta et al, 2002).

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نشان داد که اثر متقابل دورآبیاری و تغذیه بر میزان پروتئین کل در سطح احتمال ۱درصد معنادار می‌باشد (جدول۴). همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین میزان پروتئین کل برگ به میزان ۷/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمارآبی ۷ روز آبیاری (w_1) و تیمار کودی سودوموناس و کم‌ترین آن به میزان ۲/۶۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمارآبی (۱۷روز آبیاری، w_3) و تیمار کودی شاهد به دست آمد. محققان عامل کاهش میزان پروتئین‌های محلول در گیاه ذرت تیمار شده با خشکی را افت شدید فرآیند فتوسنتز و متعاقب آن کاهش پیش ماده‌های تولید کننده پروتئین و در نهایت کاهش سنتز پروتئین ها بیان نمودند (خاتمی و همکاران، ۱۳۹۷). برخی محققان رکود سنتز پروتئین ها را به کاهش تعداد پلی زومهای اتصالی به غشاء نسبت داده‌اند. احتمالاً کاهش mRNA ،تخریب و یا غیر فعال شدن ریبوزوم‌ها و کاهش سطح غشای سلولی سبب کاهش تعداد پلیزوم‌ها می‌شود (Dhindsa and Clenland, 1975). محققان دیگری گزارش کردند که تنش خشکی، بیان ژن‌های کد کننده پروتئازهای درون سلولی را القا کرده و سبب تجزیه پروتئین‌ها و تحرک

مجدد نیتروژن و متعاقب آن سنتز مواد محلول سازگاز می‌گردد (Feller, 2004). از این رو به نظر می‌رسد که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی با کاهش سنتز و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین مرتبط باشد که این موضوع با یافته‌های ما مطابقت دارد. دلیل بالا بودن پروتئین با کاربرد کودهای زیستی را می‌توان به جذب سریعتر نیتروژن و افزایش غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی ذکر کرد (Marschner, 1995). همچنین کاربرد کودهای زیستی موجب تثبیت نیتروژن می‌گردد که این عنصر ماده اولیه تشکیل دهنده پروتئین می‌باشد.



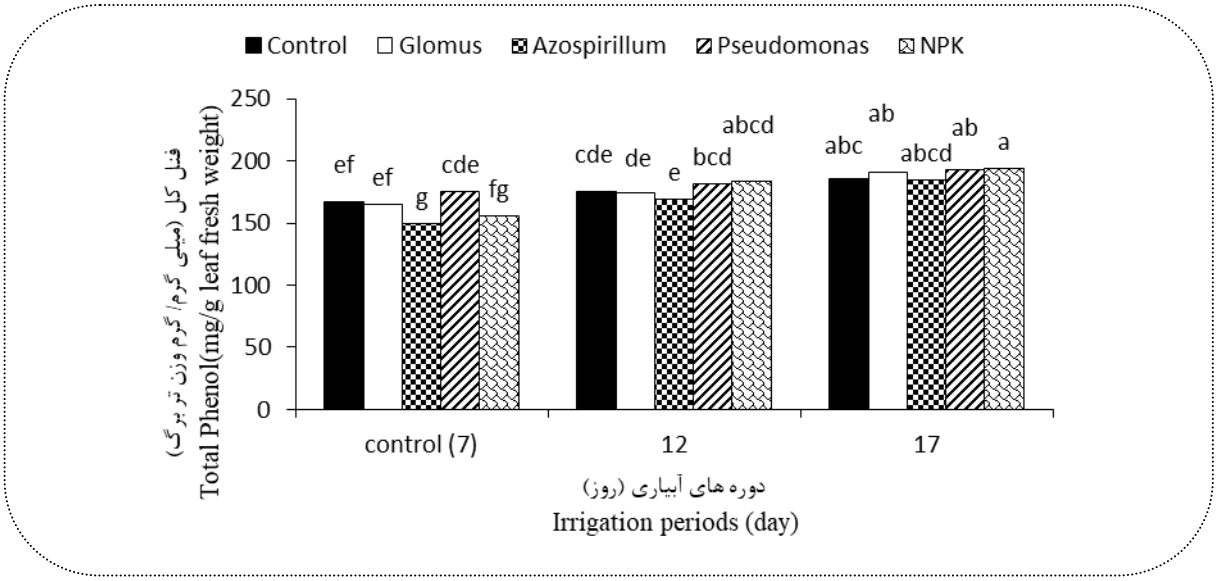
شکل۵ . مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و کود دهی بر میزان پروتئین در گیاه آویشن باغی

Figure5. Mean comparison of interaction of irrigation periods and fertilization on total protein in *Thymus vulgaris*

فنل کل

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل دورآبیاری و تغذیه بر میزان فنل کل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است (جدول۴). همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین میزان فنل کل به مقدار ۱۹۳/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمارآبی ۱۷ روز آبیاری (w_3) و تیمار کودی NPK و کم‌ترین آن به مقدار ۱۴۸/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمارآبی شاهد (۷ روز آبیاری، w_1) و تیمار کودی آزوسپریلیوم به دست آمد. افزایش میزان ترکیب‌های فنلی بر اثر افزایش تنش خشکی ارتباط مستقیم با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها دارد (Kim et al., 1997). تحقیقاتی که روی سیب زمینی انجام شد، نشان داد شد که ژن تولیدکننده فنل در گیاه در شرایط تنش خشکی، بیان و میزان این ترکیب را افزایش می‌دهد (Andre et al., 2009). در تحقیقاتی مشابه روی گیاه Red Pine که با قارچ *Sphaeropsis sapinea* پوشیده شده بود، مشاهده شد که میزان ترکیب‌های فنلی در تنش آبی افزایش پیدا کرد. در سایر تنش‌های زیستی و غیرزیستی نیز این افزایش مشاهده شده است. برای مثال، در دو رقم از فلفل (*Capsicum annuum L.*) در تنش سرما میزان این ترکیب در گیاه افزایش پیدا کرد (Koc et al., 2010). در گیاه کتان با افزایش تنش خشکی مقدار این رنگیزه محافظ نیز افزایش می‌یابد که این افزایش احتمالاً به دلایل ذکر شده در بالاست. بررسی گیاه آرابیدوپسیس نیز نتیجه مشابهی را نشان داد (Jung, 2004). افزایش میزان فنل در تیمار کود NPK ممکن است به دلیل فراهمی بیشتر نیتروژن در این سیستم تغذیه‌ای باشد. در تحقیقی، افزایش در میزان نیتروژن و

فسفر سبب افزایش ترکیبات فنلی در گیاه (*Athrixia phylicoides* L.) شد. همچنین ،افزایش میزان نیتروژن، سبب افزایش عملکرد و ترکیبات فنلی در مقایسه با سطح صفر نیتروژن شده است (Fhatuwani et al., 1985).



شکل۶ . مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و کود دهی بر میزان فنل کل در گیاه آویشن باغی

Figure6. Mean comparison of interaction of irrigation periods and fertilization on total phenol in *Thymus vulgaris*

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

به‌طور کلی براساس نتایج حاصله از این آزمایش می توان چنین بیان کرد که در شرایط تنش‌آبیاری استفاده از کودهای زیستی به ویژه قارچ- ریشه می‌تواند تا حدزیادی از بروز اثرات سوء تغذیه‌ای در این گیاه بکاهد. همچنین با توجه به نتایج این تحقیق چنین استنباط می‌شود که تجمع میزان پرولین و کربوهیدرات در اندام‌های هوایی آویشن، در مواجهه با دورآبیاری از جمله مکانیسم‌های مقاومت به خشکی در این گیاه محسوب می‌شود. تجمع سریع مواد آلی تنظیم کننده فشار اسمزی نظیر پرولین و کربوهیدرات منجر به کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌های گیاهی شده و از این طریق سبب بالا بردن جذب آب در گیاه می‌شود. همچنین هم‌سو بودن افزایش اجزای عملکرد در گیاه آویشن زراعی با کاربرد کودهای زیستی به ویژه قارچ- ریشه در شرایط تنش مؤید تأثیرات مثبت این کود از طریق بهبود صفات فیزیولوژیک در گیاه می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد در صورتی‌که دورآبیاری منجر به کاهش فاحش در عملکرد اقتصادی این گیاه نشود، می‌توان با کاربرد کودهای زیستی حاوی اسپورهای میکوریز از تنش‌های این گیاه کاست..

منابع

آرزمجو، ا.، حیدری، م.، و قنبری، ا.، ۱۳۸۸. بررسی تنش خشکی و سه نوع کود بر عملکرد گل، پارامترهای فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.)، *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، شماره ۴، صص ۴۸۲-۴۹۴

انتشاری، ش.، حاجی باقری ،س.، و رضوی زاده، ر .، ۱۳۹۰. نقش قارچ قارچ- ریشه و سالیسیلیک اسید در القای مقاومت *Ocimum basilicum* به شوری ،*آفریقایی بیوتکنولوژی*، شماره ۱۱، صص ۲۲۲۳-۲۲۳۵

انجیلی، م.، اسماعیل پور، ب.، فاطمی، ح.، و جلیل وند، پ.، ۱۳۹۷. تأثیر قارچ میکوریزا بـر رشـد و عملکـرد فلفـل دلمـه‌ای (*Capsicum annum* L.) تحت شرایط تنش خشکی ، *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، شماره ۱، صص ۱۲۳-۱۳۹

امیدبیگی، ر.، و محمودی سورستانی ، م.، ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی بر برخی صفات مرفولوژی، میزان و عملکرد اسـانس گیـاه گل مکزیکی (*Agastache foeniculum Pursh Kuntze*)، *علوم باغبانی ایران*، شماره ۲، صص ۱۵۳-۱۶۱

بابایی، ک.، امینی دهقی، م.، مدرس ثانوی، س ع م.، وجباری، ر.، ۱۳۸۹. اثر تـنش خشـکی بـر صـفات مورفولوژیـک، میـزان پرولین و درصد تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris* L.)، *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، شماره ۲، صص ۲۳۹-۲۵۱

باغبانی آرانی، ا.، مدرس ثانوی ،س ع م.، مشهدی اکبر بوجار، م .، و مختصی بید گلی، ع .، ۱۳۹۶. واکنش برخی شاخص های رشد و عملکرد شنبلیله (*Trigonella foenum- graecum* L.) به زئولیت و کود نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی، *اکوفیزیولـوژی گیاهان زراعی*، شماره ۴، صص ۶۹۷-۷۲۰

بزازی، ن.، خدامباشی، م.، و محمدی، ش.، ۱۳۹۲. تاثیر تنش خشکی بر خصوصـیات مورفولوژیـک و اجـزای عملکـرد گیـاه دارویی شنبلیله، *تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، شماره ۸، صص ۱۱-۲۳

خـاتمی، م.، رمـرودی، م.، و گلـوی، م.، ۱۳۹۷. تـأثیر تـنش خشـکی و کودهـای زیسـتی و شـیمیایی فسـفره بـر ویژگیهـای مورفولوژیک، عملکرد گل و اسانس گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.)، *علوم گیاهان زراعی ایـران*، شـماره ۴، صص ۱۷۵-۱۸۴

رحیمی، ع.، جهانبین، ش.، صالحی، ا.، و فرجی، ه.، ۱۳۹۵. اثر قارچ-ریشه بر خصوصیات مورفولوژیک، مقدار ترکیبات فنلی و فلورسانس کلروفیل گیاه دارویی گاوزبان(*Borago officinails* L.) تحت خشـکی ، *فیزیولـوژی محیطـی گیـاهی*، شـماره ۴۲، صص ۴۶-۵۵

رضایی چیانه، ا.، و دباغ محمدی نسب ،ع.، ۱۳۹۳. ارزیابی کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفـی زنیان (*Carum copticum* L.) درکشت مخلوط نواری با شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.)، *بوم‌شناسـی کشـاورزی*، شماره ۳، صص ۵۸۲-۵۹۴

روستا، ر.، ۱۳۷۱. *فرآوانی و فعالیت آزوسپریلیوم در برخی خاک‌های ایران*، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

فلاحی، ج.، کوچکی، ع ر. و رضوانی مقدم، پ.، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویـی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*)، *پژوهش‌های زراعی ایران*،۱،صص ۱۲۵-۱۳۷

وشوایی، ر.، گلوی ،م.، رمرودی، م.، و فاخری، ب.، ۱۳۹۴. اثرات تنش خشکی و تلقیح کودهای زیستی بر رشـد، عملکـرد و ترکیبات اسانس آویشن (*Thymus vulgaris* L.)، *بوم‌شناسی کشاورزی*، شماره ۲، صص ۲۳۷-۲۵۳

Abdul- Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2007(a). Pseudomonas fluorescens enhances biomas yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 60: 7-11.

Amzad Hossain, M., and Shah, M.D. 2015. A study on the total phenols content and antioxidant activity of essential oil and different solvent extracts of endemic plant *Merremia Borneensis*. *Arabian Journal of Chemistry* 8:66-71.

André, C.M., Schafleitner, R., Legay, S., Lefèvre, I., Aliaga, C.A.A., Nomberto, G., Hoffmann, L., Hausman, J.F., Larondelle, Y., and Evers, D. 2009. Gene expression changes related to the production of phenolic compounds in potato tubers grown under drought stress. *Phytochemistry* 70(9), 1107-1116.

Aoac. 1995. *Official method of analysis* (16th ed). Arlington,UA,USA:AOAC.

Bates I, S., Waldren R. P., and Teare I, D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.

Behra, R.K., Mishra, P.C., and Choudhury, N.K. 2002. High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. *Journal of Plant Physiology* 159: 967-973.

Bianciotto, V ,.Andreotti, S., Balestrini, R., Bonfante, P., and Perotto, S. 2001. Extracellular polysaccharides are involved in the attachment of *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium leguminosarum* to arbuscular mycorrhizal structures. *European journal of Histochemistry* 39-50.

Bolan, N. 1991. A critical review on the role of *mycorrhizal* fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134:189-207.

Cabuslay, G. S., Ito, O., and Alejar, A. A. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. *Plant Science* 163: 815-827.

Crowe, J. H., Hoekstra, F. A., and Crowe, L. M. 1992. Anhydrobiosis. *Annual Review of Plant Biology* 54: 579-599.

De Carvalho, I.M. 2005. Effects of water stress on the proximate composition and mineral contents of seeds of two Lupins (*Lupinus Albus, Lupinus Mutabilis*). *Journal of Food Quality* 28(4): 325-332.

Dhindsa, R.S., and Clenland, R.E., 1975. Water stress and protein synthesis. *Plant Physiology* 55: 782-785.

Fatma, E.M., El-Zamik, I., Tomader, T., El-Hadidy, H.I., Abd El-Fattah, L., and Seham Salem, H. 2006. Efficiency of biofertilizers, organic and in organic amendments application on growth and essential oil of marjoram (*Majorana hortensis* L.) plants grown in sandy and calcareous. Zagazig University and Soil Fertility and Microbiology Department, Desert Research Center, Cairo, Egypt.

Feller, U. 2004. Proteolysis. In: Plant Cell Death Processes. Ed. Elsevier 107-123.

Fhatuwani, N M. 1985. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition on total polyphenol content of Bush tea (*Athrixia phylicoides* L.) leaves in shaded nursery environment. Hortscience 42 (2): 334 – 8.

Glick, BR., Penrose, MD., and Li, J. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentration by plant growth-promoting bacteria. *J. of Theoretical Biology* 190: 63 - 8.

Gilik, B.R., Penrose, D., and Wenbo, M., 2001. Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advances* 19:135- 138.

Gong, Y., Toivonen, P. M., Lau, O. L., and Wiersma, A. P. 2001. Antioxidant system level in "Braeburn" apple is related in its browning disorder. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 42: 259-264.

Gupta, M., Prasad, A., Ram, M., and Kumar, S., 2002. Effect of the vesicular–arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus Glomus fasciculatum on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology* 81:77-79.

Jaleel, C.A., Gopi, R., and Panneerselvam, R. 2008. Growth and photosynthetic pigments responses of two varieties of *Catharanthus roseus* to triadimefon treatment. *Comptes Rendus Biol* 331: 272-277.

Joshee, N., Mentreddy, S., and Yadav, AK. 2007. Mycorrhizal fungi and growth and development of micropropagated Scutellaria integrifolia plants. *Industrial Crops and Products* 25:169-177.

Jung, S. 2004. Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of Arabidopsis thaliana subjected to drought. *Plant Science* 166(2): 466- 459.

Khalid, K. A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum spp*.). International Agrophysics20: 289-296.

Kim, B.J., Kim, J.H., Kim, H.P., and Heo, M.Y. 1997. Biological screening of 100 plant extracts for cosmetic use (II): Antioxidative activity and free radical scavenging activity. *International Journal of Cosmetic Science* 19(6): 299-307.

Koc, E., İslek, C., and Üstun, A.S. 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Gazi University. *Journal of Science* 23: 1-6.

Lee, S.J., Umano, K., Shibamoto, T., and Lee, K.G., 2005. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum L*.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chemistry* 91:131-137.

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. Ltd, London.

Oussalah, M., Caillet, S., Saucier, L., and Lacroix, M., 2006. Antimicrobial effects of selected plant essential oils on the growth of a *Pseudomonas putida* strain isolated from meat. *Meat Science* 73: 236-244.

Marulanda, A., and G.M, Barea. 2009. Stimulation of plant growth and drought to clearance by native micro-organisms from dry environments: mechanisms related to bacterial effectiveness. *Journal of Plant Growth Regulator* 28: 115- 124.

Pedrol, N., Ramos, P., and Riegosa, M. J., 2000. Phenotypic plasticity and acclimation to water deficits in velvet-grass: a long-term greenhouse experiment. Changes in leaf morphology, photosynthesis and stress-induced metabolites. *Plant Physiology* 157: 383-393.

Ratti, N., Kumar, S., Verma, H., and Gautam. S. 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to Cymbopogon martinii var. motia by *rhizobacteria*, AMF and *Azospirillum* inoculation. Microbiological *Research* 156: 145-149.

Ruiz-Lozano, J.M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic strees, new perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza* 13: 309-17.

Sanchez Govin, E., Rodriguez Gonzales, H., Carballo Guerra, C., and Milanes Figueredo, M., 2005. Influencia de los abonos orgánicos y biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *Calendula officinalis* L., *Matricaria recutita* L. Rev. Cub. *De PlantsMed* 10: 1. 1-5.

Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B. F., and Mornhinweg, D.W. 1988. Water relation in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science* 28:526-531.

Seevers, P.M., and Daly, J.M. 1970.Studies on wheat stem rust resistance controlled at the Sr6 locus. II. Peroxidase activities. *Phytopathology* 60(11), 1642-1647.

Smith, S.E., and D.G.M, Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd Ed. Academic, London 141 pp.

Tilak, K. V. B., N, Ranganayaki., K, K. Pal., R, De., R, K. Saxena., C, S. Nautiyal., S, Mitral., A. K, Tripathi., and B. N, Johri. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science* 89: 136-150.

Totten, P.A., Lara, J.C., and Lory, S. 1990. The rpoN gene product of *Pseudomonas aeruginosa* is required for expression of diverse genes, including the flagellin gene. *Journal of Bacteriology* 172:389-396.

Wu, S., Cao, Z., Li, Z., Cheung, K., and Wong, M. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma* 125:155-166.

Youssef, A., Edris, A., and Gomaa, A. 2004. A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormones producing microorganisms on growth and essential oil composition of *Salvia officinalis* L. Plants. *Annals of Agricultural Science-Cairo* 49:299-312.

Zelong, L., and Junhui, P. 2017. A practical method for extending the biuret assay to protein determination of corn-based products. *Food Chemistry* 289-293

Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou,Y. H., Yu, J. Q., and Xia, X. J. 2010. Photoprotective roles of anthocyanins in Begonia semperflorens. *Plant Science* 179(3):202-208.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۸۶- ۶۹)
مقاله پژوهشی

مطالعه غلظت نیترات در سبزی‌های برگی دشت ورامین و ارزیابی ریسک خطرپذیری آن برای انسان

محسن سیلسپور [*۱]

۱- نویسنده مسئول و استادیار پژوهش بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران.
mseilsep@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰۲ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۰**

چکیده

محتوای نیترات یکی از مهمترین فاکتورها برای تعیین کیفیت سبزی‌ها است که رعایت حد مجاز آن برای سلامت محصول و انسان مهم است. در همین راستا، طی یک مطالعه مزرعه‌ای یک‌ساله در سال ۱۳۹۳، غلظت نیترات در ۱۲ سبزی مهم برگی شامل کاهو، اسفناج، کرفس، کلم، نعناع، شوید، شاهی، شنبلیله، تره، گشنیز، جعفری و مرزه مناطق عمده تولید سبزی‌های برگی دشت ورامین اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت نیترات در سبزی‌های برگی مطالعه شده ۱۴۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر بود که در بین سبزی‌های برگی، کاهو با میانگین ۳۹۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه، بیشترین میزان تجمع نیترات و شنبلیله با میانگین ۶۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه کم‌ترین میزان تجمع نیترات را داشت. میانگین غلظت نیترات نمونه‌های هر سبزی با آزمون T-test با حداکثر غلظت مجاز نیترات برای هر سبزی مقایسه آماری شد. در تمامی نمونه‌های کاهو، اسفناج و کرفس مورد مطالعه، غلظت نیترات به‌طور معنی‌داری، فراتر از حداکثر مجاز بود، درحالی که در تمامی نمونه‌های شنبلیله و گشنیز، غلظت نیترات به‌طور معنی‌داری کم‌تر از حداکثر مجاز بود. با در نظر گرفتن حداکثر مجاز مقدار جذب روزانه نیترات برای انسان (۳/۸۶ میلی‌گرم در روز به ازای کیلوگرم وزن بدن) و میانگین میزان نیترات در سبزی‌های مورد مطالعه، حداکثر مجاز مصرف روزانه هر یک از گونه‌های مختلف سبزی‌های برگی محاسبه شد. نتایج نشان داد که تنها با مصرف روزانه ۷۶ گرم کاهو یا ۹۴ گرم اسفناج توسط یک فرد ۸۰ کیلوگرمی، حداکثر مجاز نیترات وارد بدن مصرف کننده می‌شود و مصرف بیشتر از این مقدار موجب افزایش ریسک خطر برای سلامتی می‌گردد.

کلمات کلیدی: اسفناج، حداکثر مجاز مصرف، کاهو، کرفس.

مقدمه

نیتروژن محدودکننده‌ترین عامل رشد گیاه و عنصر غذایی کلیدی در دستیابی به عملکرد مطلوب در بیشتر محصولات زراعی، به‌ویژه در مناطق خشک است (سیلسپور و ممیزی، ۱۳۸۴). این عنصر در ساختمان اسیدهای آمینه، بازهای پورینی، آلکالوئیدها و کلروفیل وجود دارد. این عنصر به دو شکل آمونیم و نیترات جذب گیاه می‌شود. گیاهان عمدتاً یون نیترات را جهت جذب ترجیح می‌دهند (Dordas and Sioulas, 2008). عموما آلودگی نیتراتی بر اثر استفاده بی‌رویه و غیرعلمی نیتروژن به‌وجود می‌آید (Yeganeh and Bazargan, 2016; Noguero and Lacombe, 2016; Weitzberg and Lundberg, 2013). هم‌چنین نتایج تحقیقات نشان داده است که غالباً تجمع نیترات در سبزی‌ها وابسته به مقدار و نوع مواد غذایی موجود در خاک بوده و ارتباط نزدیکی با مقدار و زمان مصرف کودهای شیمیایی دارد، به گونه‌ای که مقدار کودهای شیمیایی به‌کار برده شده، به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تجمع نیترات شناخته شده است (Fewtrell, 2004).

سبزی‌های برگی، در بسیاری از کشورهای جهان به دلیل ارزش غذایی فراوانی که دارند، از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشند (Menard et al., 2008)، به گونه‌ای که مصرف روزانه ۴۴۰ گرم انواع میوه و سبزی توسط سازمان بهداشت جهانی برای جلوگیری از بیماری‌های غیرواگیردار مانند بیماری‌های قلبی- عروقی پیشنهاد شده است (FAO/WHO, 2003). با این وصف، طبق تحقیقات صورت‌گرفته، حدود ۸۰ درصد از نیتراتی که وارد بدن انسان می‌شود، از طریق سبزی‌ها و میوه‌ها است (کیانی و قیطاسی، ۱۳۹۴) و به دلیل اثرات سوء نیترات بر سلامتی انسان، امروزه توجه زیادی به تجمع این یون در سبزی‌ها شده است (Chen et al., 2004) نیترات اغلب منبع اصلی نیتروژن قابل دسترس بیشتر گیاهان مخصوصاً سبزی‌ها است و یکی از فاکتورهای مهم و مؤثر به منظور تشخیص میزان سلامت سبزی‌های برگی، عدم تجمع نیترات در آنها است (فلاح مرتضایی نژاد لیالستانی و همکاران، ۱۳۹۱)

اگر چه نیترات به تنهایی یک ماده سمی برای انسان محسوب نمی‌شود، اما پس از ورود به بدن، به نیتریت تبدیل می‌شود (کیانی و قیطاسی، ۱۳۹۴). نیتریت (NO_2^-) می‌تواند با آمین‌ها ترکیب شده و تشکیل نیتروزآمین را دهد که یک ماده سرطان‌زا برای بدن محسوب می‌شود (طباطبائی و همکاران، ۱۳۸۲). تجمع نیترات در سبزی‌ها تحت تاثیر عوامل محیطی و ژنتیکی است. در این میان، عدم رعایت اصول صحیح مدیریت زراعی ممکن است منجر به آلودگی خاک‌های زراعی، آب آبیاری و نهایتاً محصولات کشاورزی به نیترات گردد (Kladivko et al., 2004).

امروزه به‌دلیل افزایش کاربرد کودهای نیتروژن‌دار، غلظت نیترات در سبزی‌ها و آب‌های آشامیدنی به شدت افزایش یافته است (Santamaria, 2006). نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن با هدف تسریع رشد رویشی، موجب افزایش غلظت نیترات در سبزی‌ها، به‌ویژه سبزی‌های برگی شده است (طباطبائی و همکاران، ۱۳۸۲). با وجود نقش کودهای نیتروژنی به عنوان ابزاری برای نیل به بیشینه تولید در واحد سطح، مدیریت مصرف کود باید به‌نحوی باشد که موجب انباشتگی مواد آلاینده نظیر نیترات در اندام‌های مصرفی محصولات نشود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴). تحت شرایطی که مقدار زیادی کود نیتروژنی مصرف شود، ظرفیت احیای نیترات کاهش می‌یابد و در نهایت مقادیر مازاد نیترات به برگ‌ها انتقال می‌یابد (Malakouti et al., 2013) و در این بین، بعضی از گیاهان مانند اسفناج (*Spinacea oleracea* L.) بزرگترین پاسخ به کودهای نیتروژنی داشته و می‌توانند مقادیر زیادی نیترات را در خود تجمع نمایند (Merusi et al., 2010).

نتایج پژوهش‌های صورت گرفته نشان داده است که بین غلظت نیترات در محیط و مقدار تجمع نیترات گیاهی رابطه مستقیمی وجود دارد و مهم ترین عامل محیطی مؤثر بر تجمع نیترات مقدار یون نیترات قابل دسترس گیاهی است (Darnell and Stutte, 2001). محققان نشان دادند با افزایش کاربرد کود اوره، میزان باقیمانده نیترات در گیاهان روند افزایشی نشان داده است (جلینی و دوستی، ۱۳۹۰.، ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴). محققان در بررسی غلظت نیترات در گیاهانی از قبیل کلم، اسفناج و شلغم نشان دادند که در غلظت‌های زیاد یون نیترات، مقدار تجمع نیترات تحت تأثیر مقدار نیترات خارجی بوده است و نقش عوامل ژنتیکی در تجمع نیترات در غلظت‌های کم نیترات محسوس و قابل اغماض است (Chen et al., 2004).

هم‌چنین، محققان مشاهده کردند که بین غلظت نیترات در محلول غذایی و غلظت آن در اندام هوایی سبزی‌ها از جمله کاهو و اسفناج رابطه مستقیمی وجود دارد. به‌طوری‌که با گذشت زمان، تجمع بیشتر نیترات گیاهی صورت می‌گیرد (قشلاقی و همکاران، ۱۳۹۳). اطلاع از وضعیت غلظت نیترات در محصولات کشاورزی، به‌ویژه محصولات سبزی و صیفی برای حفظ سلامتی جامعه مصرف‌کننده ضروری است. در مورد وضعیت غلظت نیترات در محصولات سبزی و صیفی، به‌ویژه سبزی‌های برگی تولیدی مزارع جنوب شرق استان تهران اطلاعات جامعی در دست نیست. این پژوهش با هدف مطالعه غلظت نیترات سبزی‌های برگی تولیدی دشت ورامین و ارزیابی ریسک خطر برای مصرف کننده اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی غلظت نیترات در سبزی‌های برگی دشت ورامین (شهرستان‌های ورامین، پیشوا، پاکدشت)، این پژوهش در سال ۱۳۹۳ در اراضی کشاورزی دشت ورامین که قطب تولید محصولات سبزی و صیفی استان تهران است، به اجرا درآمد. تحقیقات میدانی موید این مطلب بود که در هیچ یک از مزارع مورد مطالعه، کوددهی بر اساس آزمون خاک صورت نگرفته بود و کلیه کودهای مصرفی شامل منابع حاوی نیتروژن به صورت سنتی و بر مبنای تجربیات شخصی زارع انجام شده بود. منبع کود نیتروژن مصرفی نیز کود اوره با ۳۸ درصد نیتروژن خالص بود. دامنه استفاده از کود اوره در مزارع از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. سبزی‌های برگی مورد مطالعه شامل ۱۲ گونه سبزی مختلف به شرح زیر بود:

- مرزه (*Satureja hortensis*)
- جعفری (*Petroselinum crispum*)
- گشنیز (*Coriandrum sativum*)
- شنبلیله (*Trigonella foenum*)
- تره (*Allium porrum*)
- شاهی (*Lepidium sativum*)
- شوید (*Anethum graveolens*)
- نعناع (*Moluccella laevis*)
- کلم (*Brassera oleracea*)
- کرفس (*Apium graveolens*)
- اسفناج (*Spinacea oleracea L.*)
- و کاهو (*Lactuca sativa L.*).

نمونه‌برداری برای هر محصول از ۳۰ مزرعه مختلف انجام شد. در هر مزرعه، نمونه‌گیری از هر گیاه به صورت مرکب با سه تکرار از اندام مصرفی گیاه در زمان صبح انجام شد. نمونه‌های گیاه بعد از برداشت، به منظور جلوگیری از کاهش وزن و از دست دادن آب بافت، داخل یخدان‌های قابل حمل قرار گرفته و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند و در آزمایشگاه، ۱۰۰ گرم از نمونه تازه سبزی (Wf) داخل آون به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه را مجددا وزن کرده (Wd) و با استفاده از رابطه۱، درصد ماده خشک نمونه محاسبه شد.

$$\text{درصد ماده خشک} = \frac{wf - wd}{wf} * 100$$

از هر نمونه خشک، ۰/۲ گرم توزین و ۵۰ میلی‌لیتر

اسید استیک ۲ درصد به آنها اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در شیکر دورانی تکان داده شد و محلول حاصله از کاغذ صافی عبور داده شد. سپس میزان ۱۰ میلی لیتر از عصاره و ۱۰ میلی لیتر از سری محلول‌های استاندارد را پیپت کرده و به لوله آزمایش درب دار منتقل شد سپس، میزان ۰/۵ گرم از پودر مخلوط (۳۷ گرم اسید سیتریک $C_6H_8O_7.H_2O$ و ۵ گرم سولفات منگنز مونوهیدرات و ۲ گرم سولفانیل‌آمید $C_6H_8N_2O_2$ و یک گرم ان – ۱- نفتیل اتیلن دی آمین دی هیدروکلراید $C_{12}H_{16}Cl_2N_2$ و یک گرم پودر روی را جداگانه با هاون چینی کوبیده و اضافه کرده و مدت ۳۰ ثانیه به شدت به هم زده شد و محلول رنگی ایجاد شده بلافاصله صاف شد. برای اندازه‌گیری غلظت نیترات توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، دستگاه بر روی طول موج ۵۴۰ نانومتر تنظیم شد و نمونه‌ها یک‌بار بدون معرف نیترات و بار دوم پس از اضافه نمودن معرف نیترات اندازه‌گیری شدند. سپس اختلاف این دو عدد را به‌دست آورده و آن را در معادله‌ای که از منحنی استاندارد عبور نور از محلول نیترات پتاسیم در غلظت‌های مختلف به‌دست آمده بود، قرار داده و به این ترتیب، میزان نیترات هر یک از نمونه‌ها تعیین گردید. سپس با استفاده از اعداد درصد ماده خشک هر نمونه، اعداد قرائت شده به میزان نیترات در ماده تر تبدیل گردید (امامی، ۱۳۷۵).

میانگین غلظت نیترات در هر سبزی برگی (در سطح ۳۰ مزرعه)، با مقدار حداکثر مجاز نیترات (استاندارد ملی شماره ۱۶۵۹۶) با استفاده از آزمون آماری T-test مورد مقایسه آماری قرار گرفت. با توجه به رهنمود سازمان بهداشت جهانی (Human Health Fact Sheet, 2005) که حد مجاز مصرف روزانه نیترات برای انسان را کم‌تر ۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن مشخص کرده است، حداکثر مجاز جذب روزانه مجاز نیترات یک فرد ۸۰ کیلوگرمی محاسبه شد و با توجه به حداکثر مجاز جذب روزانه نیترات و متوسط غلظت نیترات در سبزی‌های برگی مورد مطالعه، حداکثر مقدار مصرف مجاز روزانه سبزی‌های برگی برای یک فرد بالغ به وزن ۸۰ کیلوگرم برای پیشگیری از مصرف بیش از حد نیترات و ریسک خطر آن محاسبه شد.

نتایج

برای هر یک از سبزی‌های برگی، میانگین غلظت نیترات، انحراف معیار، حداکثر و حداقل غلظت نیترات محاسبه شد. سپس میانگین غلظت نیترات هر سبزی با حداکثر مجاز غلظت نیترات مقایسه آماری گردید و ذیلا نتایج آن ارائه گردید (جدول ۱).

کاهو

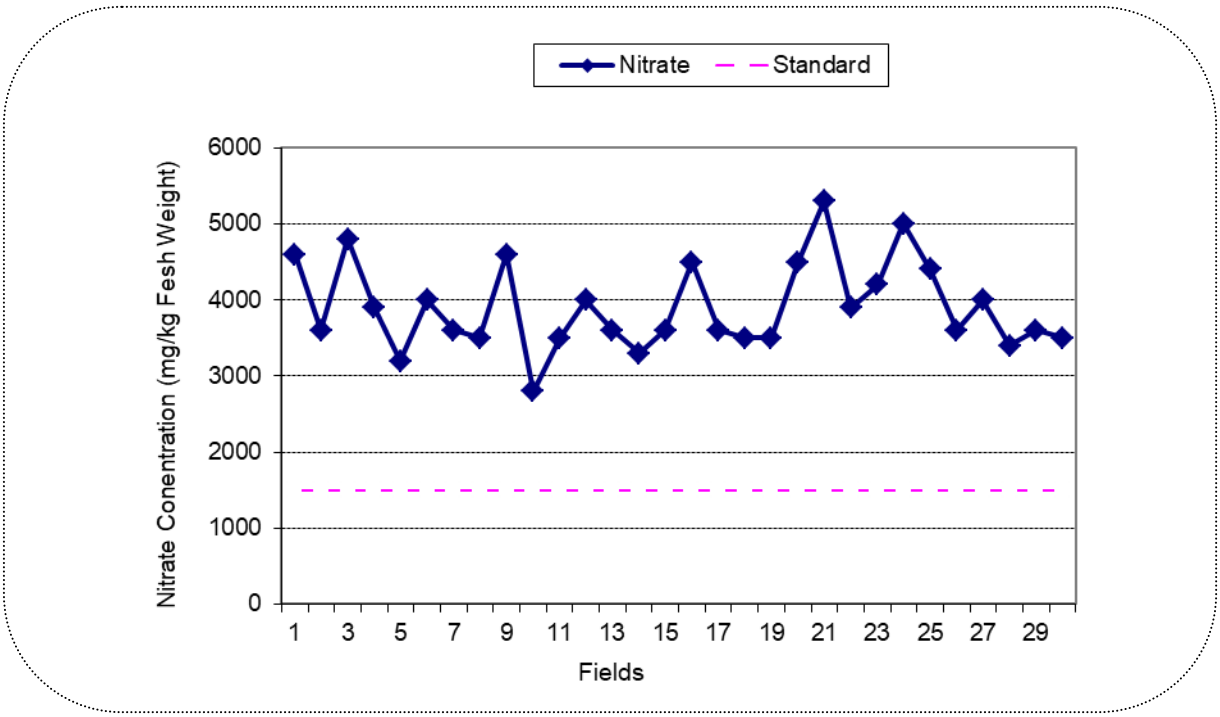
حداکثر میزان نیترات اندازه گیری شده در کاهو ۵۳۰۰ و حداقل آن ۲۸۰۰ میلی گرم در کیلوگرم با میانگین ۳۹۰۹ بود. به طوری‌که ملاحظه می‌شود، میانگین نیترات در مزارع کاهو نسبت به میزان استاندارد ملی ایران (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲) برای کاهو (۱۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم)، ۱۶۰ درصد بیشتر بود (جدول ۱). سایر محققان نیز حداکثر مجاز میزان نیترات در کاهو را ۳۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم اعلام نموده‌اند (Wiera et al., 2007). با در نظر گرفتن این استاندارد نیز، میزان نیترات در کاهو به طور میانگین، ۳۰ درصد بیشتر از حد مجاز بود. نتایج آزمون آماری (T-test) نشان داد که به احتمال ۹۹ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین نیترات نمونه‌های کاهوی اخذ شده از مزارع و حداکثر مجاز نیترات کاهو (۱۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) وجود دارد. همان‌گونه که مشخص است در تمامی نمونه‌های اخذ شده، میزان نیترات کاهو از حد مجاز استاندارد ملی ایران فراتر بوده است (شکل ۱).

جدول۱- میانگین غلظت نیترات و سایر داده‌های آماری سبزی‌های مورد مطالعه

Table1- Mean of nitrate concentration and other statistical data of vegetables

Vegetable	Mean of nitrate concentration (mg.kg-1 in Fresh Weight)	Standard Deviation	Maximum nitrate concentration (mg.kg-1 in Fresh Weight)	Minimum nitrate concentration (mg.kg-1 in Fresh Weight)	Standard value for nitrate* (mg.kg-1 in Fresh Weight)	Sample above standard (%)
Lettuce	3909	581	5300	2800	1500	100
Spinach	3173	1024	6500	2100	2000	100
Celery	1393	425	2100	600	400	100
Cabbage	775	201	1290	390	500	90
Pepper	1008	268	1500	110	1000	40
Dill	778	180	1250	445	1000	3.3
Cress	1481	315	2000	700	1000	90
Fenugreek	641	154	890	369	1000	0
Leek	807	173	1250	500	1000	10
Coriander	736	111	1000	550	1000	0
Parsley	1465	305	2250	950	1000	93.3
Savory	1340	395	2250	700	1000	80

*Iranian National Standard No.16596



شکل۱- تغییرات مقدار نیترات موجود در کاهو در مزارع مختلف

Figure 1- Variation of nitrate concentration in lettuce in different fields

اسفناج

در اسفناج، حداکثر میزان نیترات ملاحضه شده ۶۵۰۰ و حداقل آن ۲۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم با میانگین ۳۱۷۳ بود (جدول ۱). میانگین غلظت نیترات نسبت به میزان استاندارد ملی ایران (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲) برای اسفناج که ۲۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم است، ۵۷

درصد بیشتر بود. سایر محققین نیز، حداکثر مجاز میزان نیترات در اسفناج را ۲۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام نموده‌اند (Wiera et al., 2007). نتایج آزمون آماری (آزمون T) نشان داد که به احتمال ۹۹ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین نیترات نمونه‌ها و حداکثر مجاز نیترات در اسفناج (۲۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) وجود دارد. همان‌گونه مشخص است، در تمامی مزارع مورد مطالعه میزان نیترات از حد مجاز فراتر بوده است (شکل ۲).

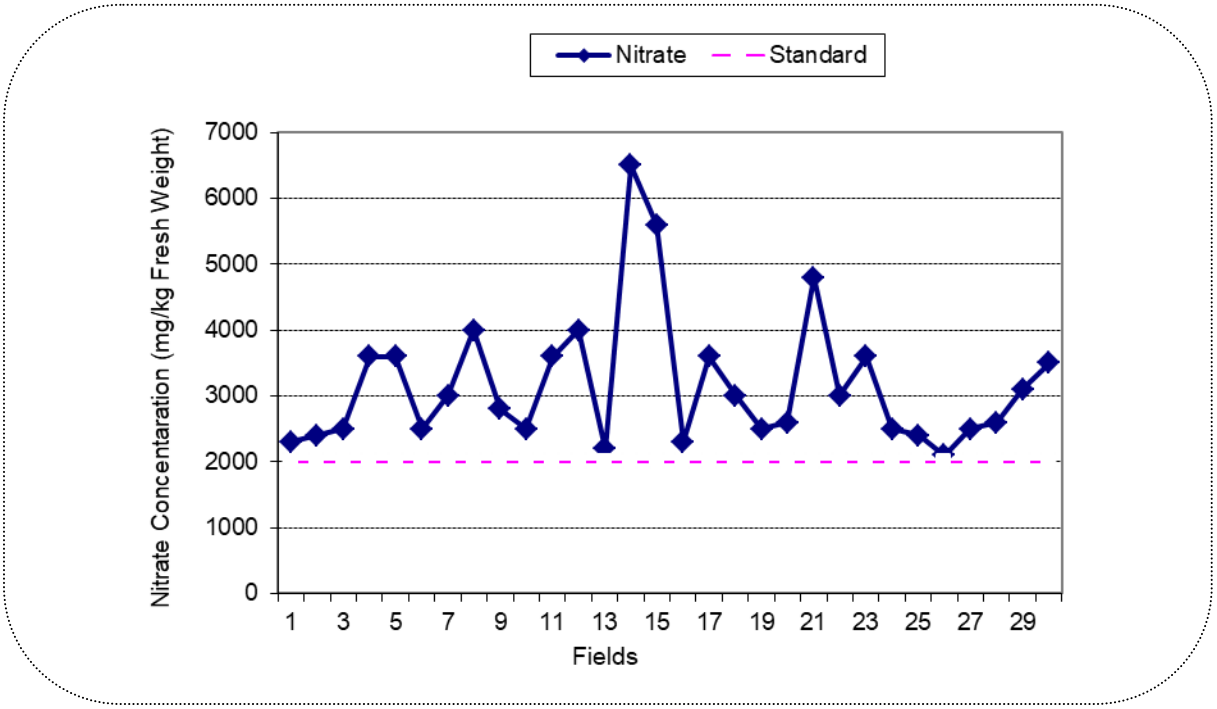
کرفس

در کرفس حداکثر میزان نیترات ملاحضه شده ۲۱۰۰ و حداقل آن ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۱۳۹۳ بود (جدول ۱). استاندارد ملی ایران (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲) برای کرفس ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است. با در نظر گرفتن این استاندارد، میانگین میزان نیترات در نمونه‌های برداشت شده ۲۴۸ درصد بیشتر از حداکثر مجاز میزان نیترات اعلام شده توسط سازمان ملی استاندارد بود.

نتایج آزمون آماری (آزمون T) نشان داد که به احتمال ۹۹ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین نیترات نمونه‌های کرفس و مقدار استاندارد نیترات وجود دارد. شکل ۳ تغییرات نیترات موجود در کرفس را در مقایسه با میزان استاندارد نشان می‌دهد.

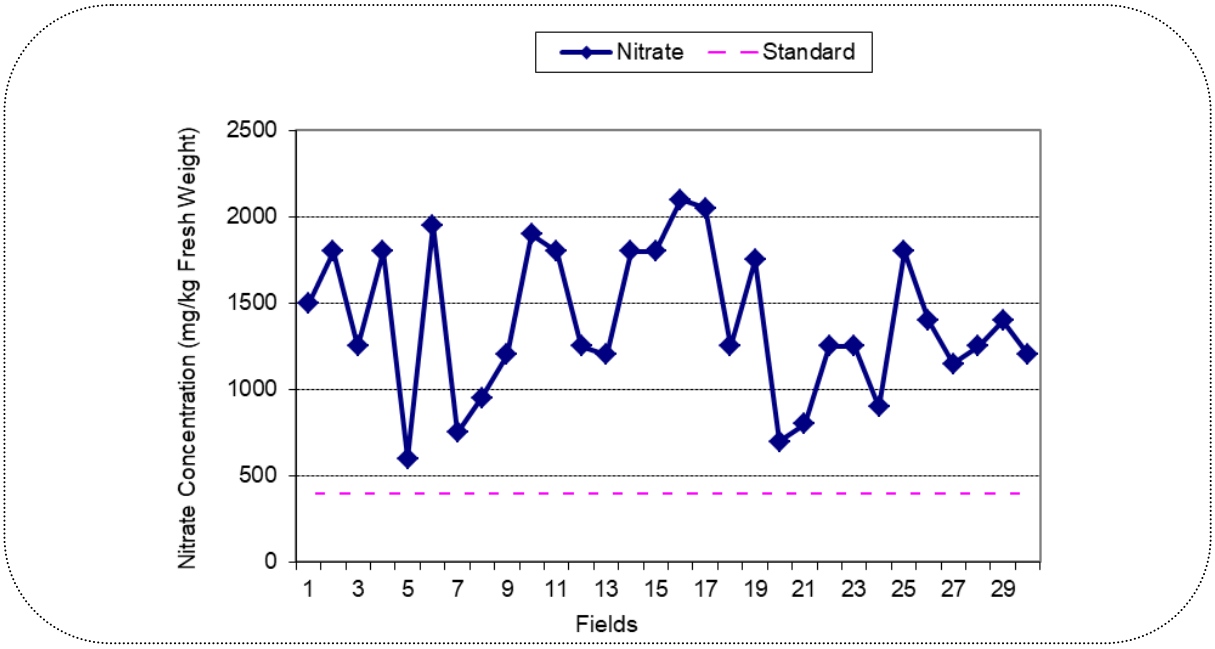
کلم

در کلم، حداکثر میزان نیترات اندازه گیری شده ۱۲۹۰ و حداقل آن ۳۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۷۷۵ بود (جدول ۱). میانگین غلظت نیترات نسبت به میزان استاندارد آن (۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم وزن تازه) (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲)، ۵۵ درصد بیشتر بود. نتایج آزمون آماری (آزمون T) نشان داد که به احتمال ۹۹ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین نیترات نمونه‌ها و مقدار استاندارد نیترات کلم وجود دارد. در ۹۰ درصد مزارع مورد مطالعه، میزان نیترات از حد مجاز فراتر بود (شکل ۴).



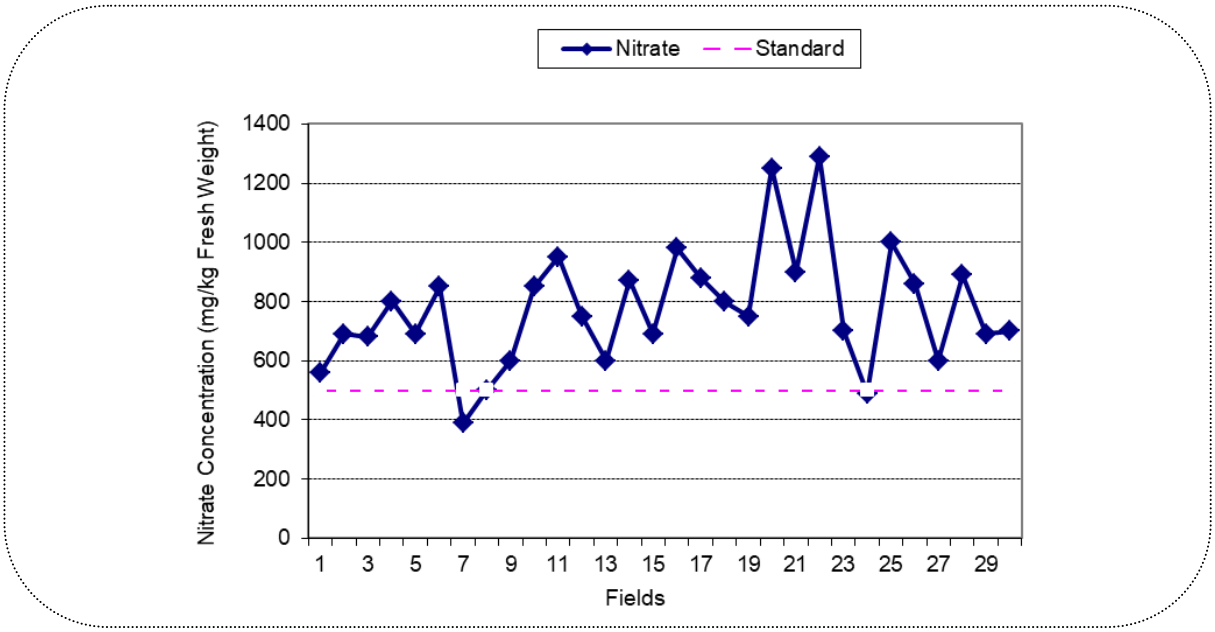
شکل۲- تغییرات مقدار نیترات موجود در اسفناج در مزارع مختلف

Figure 2- Variation of nitrate concentration in spinach in different fields



شکل۳- تغییرات مقدار نیترات موجود در کرفس در مزارع مختلف

Figure 3- Variation of nitrate concentration in celery in different fields



شکل۴- تغییرات مقدار نیترات موجود در کلم در مزارع مختلف

Figure 4- Variation of nitrate concentration in cabbage in different fields

نعناع

در نعناع، حداکثر میزان نیترات اندازه‌گیری شده، ۱۵۰۰ و حداقل آن ۱۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۱۰۰۸ بود (جدول ۱). میزان میانگین نیترات نمونه‌های نعناع، از میزان استاندارد اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه، WHO, 1978) کمتر و تقریبا معادل حداکثر مجاز نیترات سازمان ملی استاندارد (۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲) بود. نتایج آزمون آماری (آزمون T) نشان داد که به احتمال ۹۹ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری

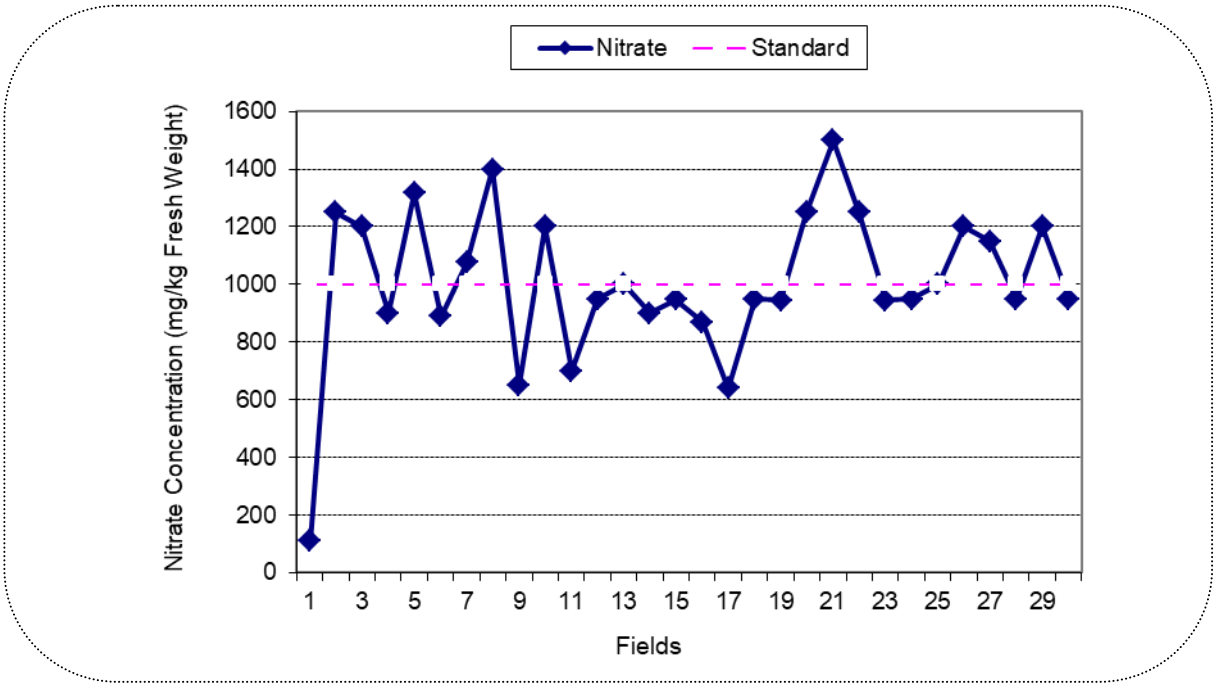
بین میانگین نیترات نمونه‌ها و مقدار استاندارد نیترات (۱۰۰۰) وجود ندارد. در ۴۰ درصد مزارع مورد مطالعه، غلظت نیترات نعناع بیش از حداکثر مجاز بود (شکل ۵).

شوید

در شوید، حداکثر میزان نیترات اندازه گیری شده ۱۲۵۰ و حداقل آن ۴۴۵ میلی گرم در کیلوگرم با میانگین ۷۷۸ بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که میانگین غلظت نیترات نمونه‌های شوید از میزان حداکثر مجاز اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه)(WHO, 1978) کمتر است. سازمان ملی استاندارد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲) نیز حداکثر میزان مجاز نیترات را در سبزیجات برگی ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم گزارش نموده است. با این وصف میانگین نیترات در شوید، کمتر از حداکثر مجاز اعلام شده بود. نتایج آزمون آماری (آزمون T) نشان داد که به احتمال ۹۹ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین نیترات نمونه‌های شوید و مقدار استاندارد نیترات وجود ندارد. شکل ۶ تغییرات نیترات موجود در نمونه‌های شوید را در مقایسه با میزان استاندارد نشان می‌دهد.

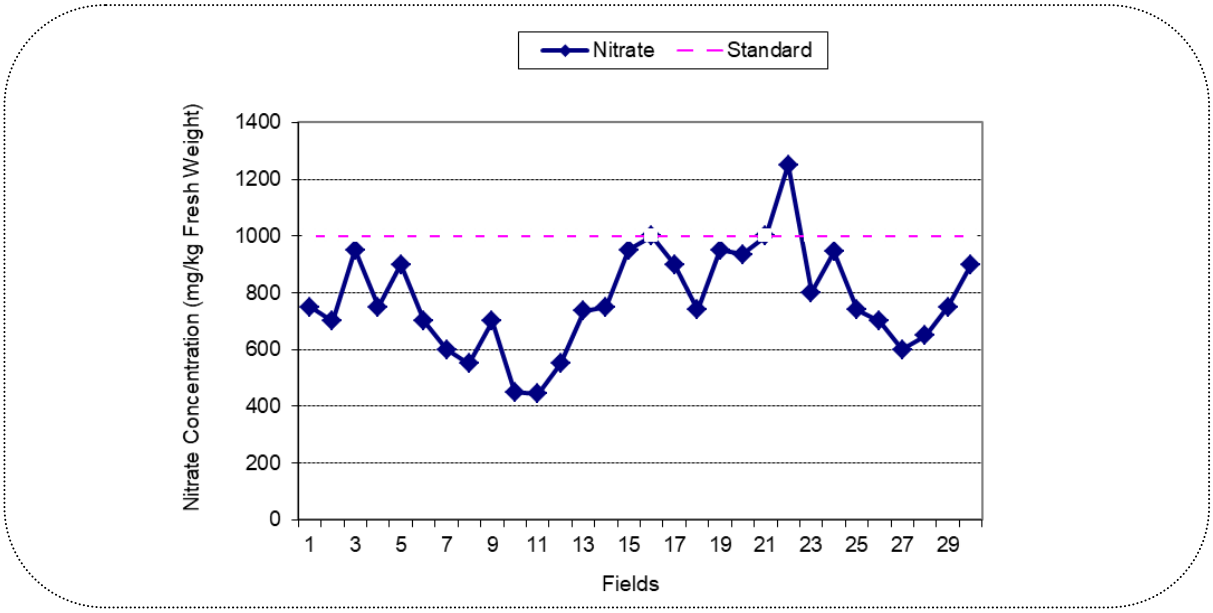
شاهی

همان‌گونه که از نتایج جدول ۱ مشخص است، حداکثر میزان نیترات اندازه گیری شده در شاهی ۲۰۰۰ و حداقل آن ۷۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۱۴۸۱ بوده است. میانگین غلظت نیترات در نمونه‌های شاهی از میزان استاندارد اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۳۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم وزن تازه) (WHO, 1978) کمتر بود. سازمان ملی استاندارد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲) نیز حداکثر میزان مجاز نیترات را در شاهی، ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم گزارش نموده است. با این وصف، میانگین نیترات در نمونه‌های شاهی، ۴۸ درصد بیشتر از حداکثر مجاز نیترات بود. نتایج آزمون آماری (آزمون T) نشان داد که به احتمال ۹۹ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین نیترات نمونه‌های شاهی و مقدار استاندارد نیترات وجود دارد. تغییرات نیترات موجود در شاهی در مقایسه با میزان استاندارد در شکل ۷ نشان داده شده است.



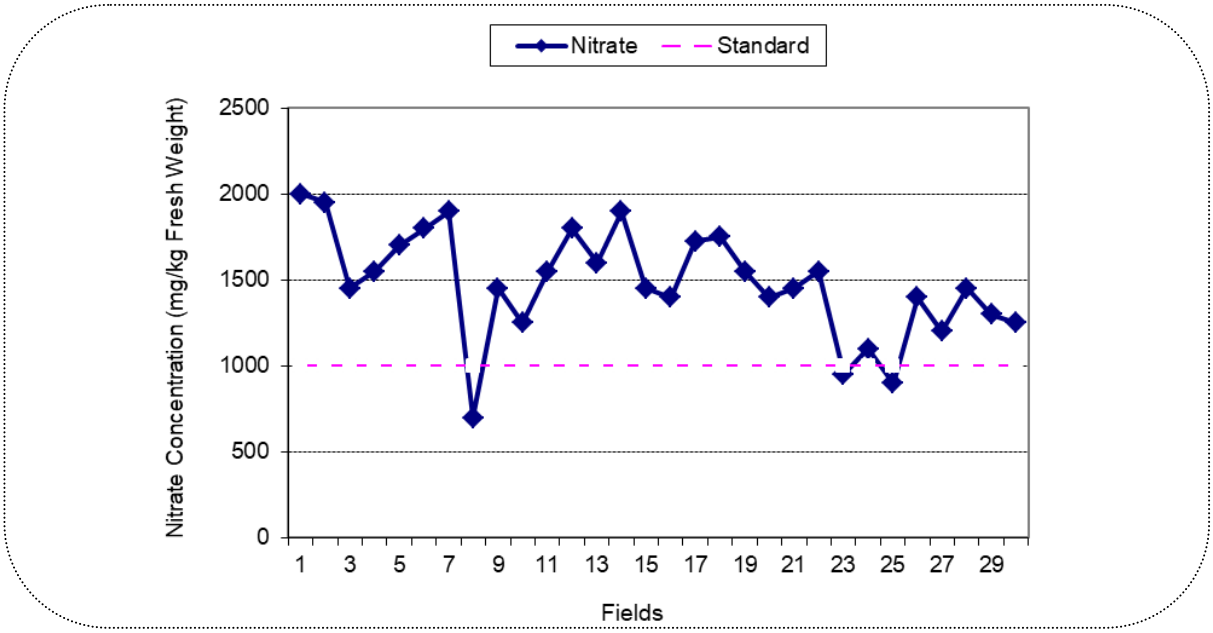
شکل۵- تغییرات مقدار نیترات موجود در نعناع در مزارع مختلف

Figure 5- Variation of nitrate concentration in mint in different fields



شکل۶- تغییرات مقدار نیترات موجود در شوید در مزارع مختلف

Figure 6- Variation of nitrate concentration in dill in different fields



شکل۷- تغییرات غلظت نیترات موجود در شاهی در مزارع مختلف

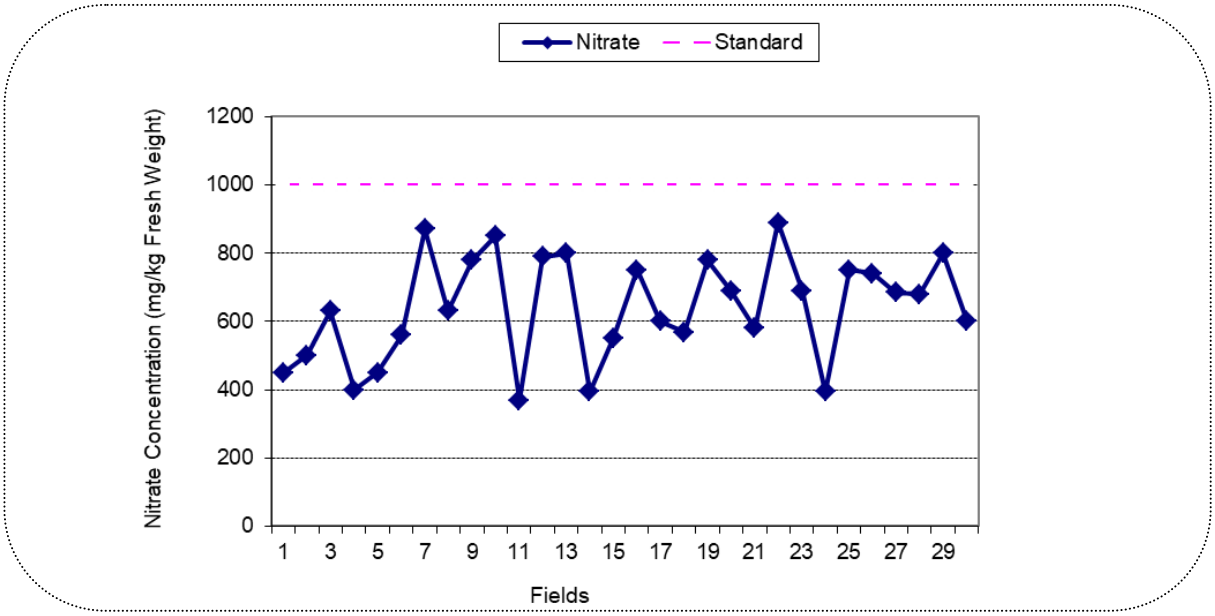
Figure 7- Variation of nitrate concentration in cress in different fields

شنبلیله

حداکثر میزان نیترات اندازه‌گیری شده در شنبلیله ۸۹۰ و حداقل آن ۳۶۹ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۶۴۱ بود (جدول ۱). میانگین غلظت نیترات نمونه‌های شنبلیله از میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه) (WHO, 1978) کمتر بود. سازمان ملی استاندارد نیز حداکثر میزان غلظت مجاز در شنبلیله را ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش نموده است (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲). با این وصف، میانگین نیترات در شنبلیله با در نظر گرفتن این استاندارد نیز کمتر از حداکثر مجاز بود. تغییرات غلظت نیترات موجود در نمونه‌های شنبلیله در مقایسه با میزان استاندارد نیترات در شکل ۸ نشان داده شده است. در هیچ یک از نمونه‌های شنبلیله، غلظت نیترات فراتر از میزان استاندارد نبود.

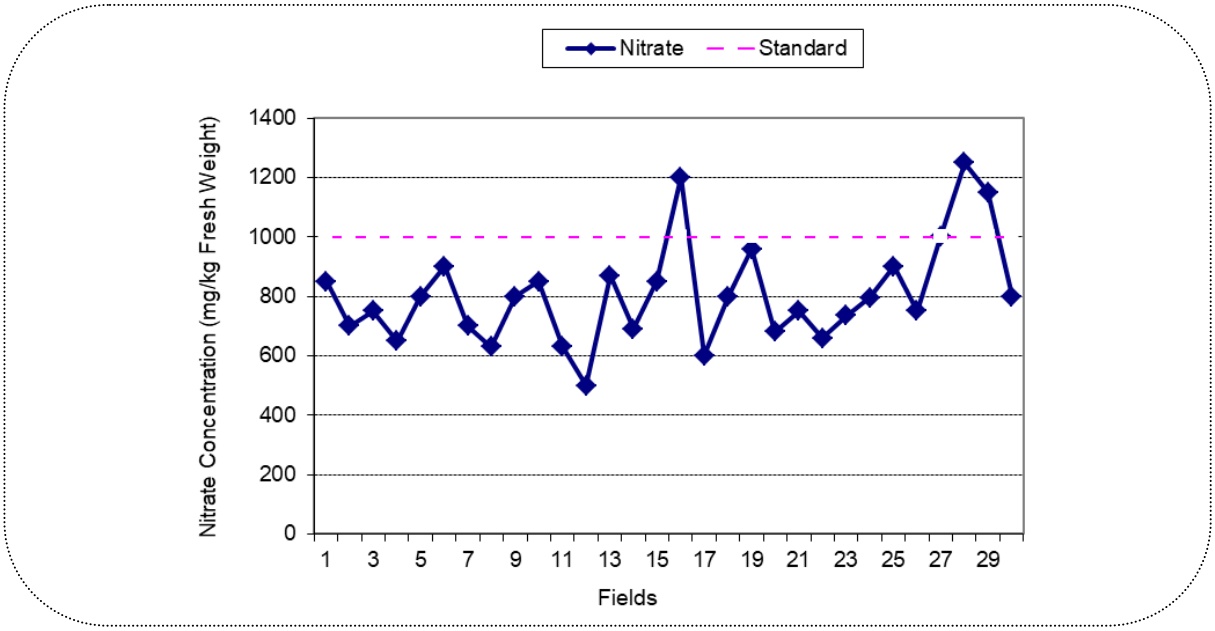
تره

حداکثر میزان نیترات اندازه‌گیری شده در تـره، ۱۲۵۰ و حداقل آن ۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم با میانگین ۸۰۷ بـود (جدول۱). میانگین غلظت نیترات نسبت به استاندارد اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهـانی (۳۰۰۰ میلـی‌گـرم در کیلوگرم وزن تازه)(WHO, 1978) کمتر بود. سازمان ملی استاندارد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲) نیز حـداکثر میزان مجاز نیترات را در تره ۱۰۰۰ میلی‌گـرم در کیلـوگرم گزارش نموده است. با این وصف، میانگین نیترات در تـره با در نظر گرفتن این استاندارد نیز کمتـر از حـداکثر مجـاز بود. تغییرات نیترات موجـود در تـره در مقایسـه بـا میـزان استاندارد در شکل ۹ نشان داده شده است. در ۱۰ درصـد نمونه‌های مورد مطالعـه، غلظـت نیتـرات بـیش از حـداکثر مجاز بوده است.



شکل۸- تغییرات غلظت نیترات موجود در شنبلیله در مزارع مختلف

Figure 8- Variation of nitrate concentration in fenugreek different fields

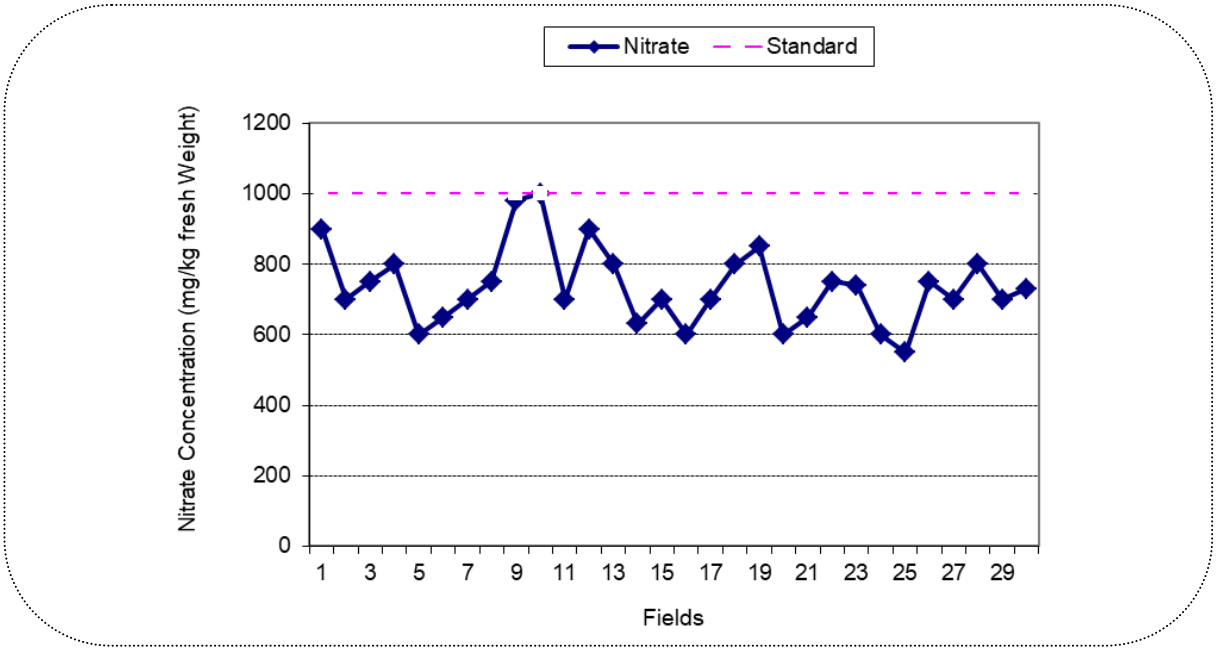


شکل۹- تغییرات غلظت نیترات موجود در تره در مزارع مختلف

Figure 9- Variation of nitrate concentration in leek in different fields

گشنیز

حداکثر میزان نیترات اندازه گیری شده در گشنیز ۱۰۰۰ و حداقل آن ۵۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۷۳۶ بود (جدول ۱). میانگین نیترات از میزان اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه)(WHO, 1978) کمتر بود. سازمان ملی استاندارد (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲) نیز حداکثر میزان مجاز نیترات را در گشنیز، ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم گزارش نموده است. با این وصف میانگین نیترات در گشنیز با در نظر گرفتن این استاندارد نیز به طور معنی‌داری کمتر از حداکثر مجاز می‌باشد. تغییرات نیترات موجود در گشنیز در مقایسه با میزان استاندارد در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- تغییرات غلظت نیترات موجود در گشنیز در مزارع مختلف

Figure10- Variation of nitrate concentration in coriander in different fields

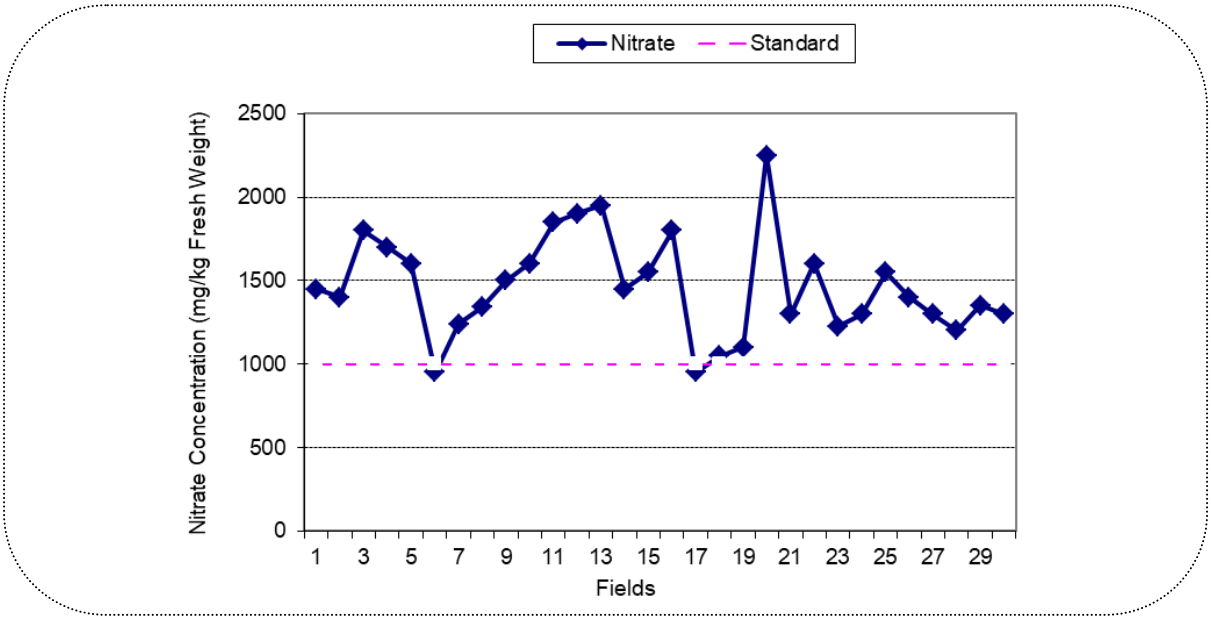
جعفری

حداکثر میزان نیترات اندازه گیری شده در جعفری، ۲۲۵۰ و حداقل آن ۹۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۱۴۶۵ بوده است(جدول ۱). میانگین نیترات از میزان استاندارد اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۳۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم وزن تازه)(WHO,1978) کمتر بود. سازمان ملی استاندارد نیز حداکثر میزان مجاز نیترات را در جعفری ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش نموده است (سازمان ملی استاندارد ایران ۱۳۹۲). با این وصف، میانگین نیترات در جعفری با در نظر گرفتن این استاندارد، ۳۱ درصد بیشتر از حداکثر مجاز می‌باشد. نتایج آزمونT نشان داد که به احتمال ۹۹ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین نیترات نمونه‌ها و غلظت استاندارد نیترات وجود دارد. شکل ۱۱ تغییرات نیترات موجود در جعفری را در مقایسه با میزان استاندارد نشان می‌دهد.

مرزه

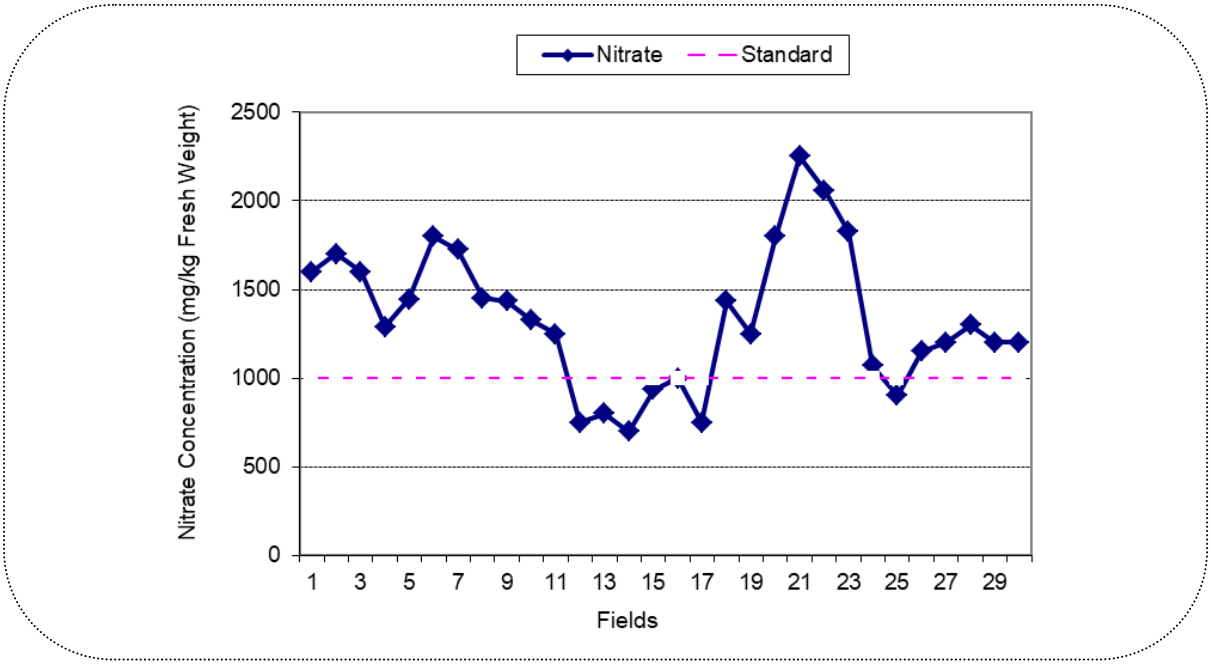
حداکثر میزان نیترات اندازه گیری شده در مرزه، ۲۲۵۰ و حداقل آن ۷۰۰ میلی گرم در کیلوگرم با میانگین ۱۳۴۰ بوده است (جدول ۱). میانگین نیترات از میزان استاندارد اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۳۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم وزن تازه)(WHO, 1978) کمتر بود. سازمان ملی استاندارد نیز حداکثر میزان مجاز نیترات را در مرزه ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش نموده است (سازمان

ملی استاندارد ایران ۱۳۹۲). با این وصف، میانگین نیترات در نمونه‌های مرزه با در نظر گرفتن این استاندارد، ۳۴ درصد بیشتر از حداکثر مجاز است. نتایج آزمون آماری (T-test) نشان داد که به احتمال ۹۹ درصد، تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین نیترات نمونه‌ها و غلظت استاندارد نیترات وجود دارد. شکل ۱۲ تغییرات نیترات موجود در مرزه را در مقایسه با میزان استاندارد نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- تغییرات غلظت نیترات موجود در جعفری در مزارع مختلف

Figure11- Variation of nitrate concentration in parsley in different fields



شکل ۱۲- تغییرات غلظت نیترات موجود در مرزه در مزارع مختلف

Figure12- Variation of nitrate concentration in savory in different fields

تعیین حداکثر مجاز مصرف سبزی‌ها

با توجه به رهنمود سازمان بهداشت جهانی (Human Health Fact Sheet, 2005) که حد مجاز مصرف روزانه نیترات برای انسان را کم‌تر ۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن مشخص کرده است، یک فرد ۸۰ کیلوگرمی در هر روز نباید بیش از ۲۹۶ میلی‌گرم نیترات مصرف کند. بنابراین، با توجه به حداکثر مجاز جذب روزانه نیترات و متوسط غلظت نیترات در سبزی‌های برگی مورد مطالعه، حداکثر مقدار مصرف مجاز روزانه سبزی‌های برگی برای یک فرد بالغ به وزن ۸۰ کیلوگرم برای پیشگیری از مصرف بیش از حد نیترات و ریسک خطر آن محاسبه شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که تنها با مصرف ۷۶ گرم کاهو در روز، حداکثر میزان مجاز جذب نیترات در بدن یک فرد ۸۰ کیلوگرمی تامین می‌شود و مصرف بیشتر از این مقدار کاهو، موجب افزایش ریسک خطر برای مصرف‌کننده می‌گردد.

جدول ۲- محاسبه حداکثر مقدار مجاز مصرف روزانه سبزی‌های برگی برای یک فرد ۸۰ کیلوگرمی

Table2- Calculation of maximum permitted level for daily consumption of leafy vegetables for a person with 80 kg weight*

Leafy vegetable	Mean of nitrate concentration (mg.kg-1)	Maximum daily consumption (g)
Lettuce	3909	76
Spinach	3173	94
Celery	1393	215
Cabbage	775	387
Pepper	1008	297
Dill	778	385
Cress	1481	202
Fenugreek	641	468
Leek	807	371
Coriander	736	407
Parsley	1465	204
Savory	3909	223
Mean	1458	187

*Human Health Fact Sheet, 2005

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که سبزی‌های برگی مطالعه شده حاوی مقادیر متفاوت نیترات می‌باشند که در مواردی بیش از حداکثر مجاز توصیه شده و در مواردی کم‌تر از حداکثر مجاز توصیه شده می‌باشد. این موضوع به گونه سبزی برگی و محتوای نیترات محیط کشت در نتیجه مدیریت متفاوت مصرف کودهای حاوی نیتروژن بستگی دارد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاهو و اسفناج به ترتیب با ۳۹۰۹ و ۳۱۷۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر، بیشترین غلظت نیترات و شنبلیله با ۶۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر کمترین غلظت نیترات را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با نتایج سایر محققان مطابقت دارد. نتایج تحقیقات در خصوص بررسی میزان نیترات در سبزی‌های میدان مادر میوه و تره بار تهران نشان می‌دهد که کاهو بیشترین غلظت نیترات به میزان ۱۱۲۳ را به خود اختصاص داده است (پورمقیم و همکاران، ۱۳۸۹). نتایج تحقیقات در بلژیک روی ۱۹ نوع سبزی و میوه در دو فصل تابستان و زمستان نشان داد که

در بین سبزیجات مورد بررسی، کاهو بیشترین تجمع نیترات به میزان ۳۱۹۹ میلی گرم در کیلوگرم وزن تازه را داشته است (Dejon and Stekbaut, 1995). همچنین، اندازه‌گیری میزان نیترات در ۱۴ نوع سبزی و میوه کشت شده در مزارع اسلوونی بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۲ نشان داد که کاهو بالاترین غلظت نیترات را به میزان ۱۰۷۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه در بین سبزیجات مورد بررسی دارد (Susin et al., 2006).

محققین تجمع نیترات در سبزی‌ها را تحت تاثیر عوامل محیطی و ژنتیکی مانند مدیریت متفاوت زراعی (مقدار، نوع، دفعات کوددهی، سیستم آبیاری)، شرایط اقلیمی (مقدار و شدت تابش نور) و رقم، جنس و گونه گیاه می‌دانند (Kladivko et al., 2004). در این میان، عدم رعایت اصول صحیح مدیریت زراعی ممکن است منجر به آلودگی خاک‌های زراعی، آب آبیاری و نهایتاً سبزی‌های تولیدی گردد. در بسیاری از تحقیقات پیشین، در اکثر مزارع سبزی‌کاری، مقدار مصرف کودهای نیتروژنی را بیشتر از مقدار توصیه کودی گزارش کرده‌اند (Chung et al., 2003). محققین همچنین در بررسی مقدار تجمع نیترات در سبزی و صیفی‌جات شهر کرمانشاه، به این نتیجه رسیدند که تفاوت در میزان تجمع نیترات در محصولات مختلف، ناشی از عواملی مانند نوع گونه سبزی و محتوای نیترات خاک بوده است (پیرصاحب و همکاران، ۱۳۹۱). هم‌چنین مشخص شده است که بین غلظت نیترات در محیط و مقدار تجمع نیترات در محصولات رابطه مستقیمی وجود دارد و مهم ترین عامل محیطی مؤثر بر تجمع نیترات در محصول، مقدار یون نیترات قابل دسترس گیاه است (Darnell and Stutte, 2001).

از طرف دیگر، محققان نشان دادند که با افزایش میزان آب مصرفی و کاربرد کود اوره، میزان باقیمانده نیترات در گیاهان به ترتیب روند کاهشی و افزایشی نشان داده است (جلینی و دوستی، ۱۳۹۰). محققان در بررسی غلظت نیترات در گیاهانی از قبیل کلم، اسفناج و شلغم نشان دادند که در غلظت‌های زیاد یون نیترات، مقدار تجمع نیترات تحت تأثیر مقدار نیترات خارجی بوده است و نقش عوامل ژنتیکی در تجمع نیترات در غلظت‌های کم نیترات محسوس و قابل اغماض است (Chen et al., 2004). در بررسی نیترات سبزیجات برگی در منطقه برآن اصفهان نیز نتایج نشان داد که کلیه سبزی‌های برگی به استثنای اسفناج، دارای غلظت فراتر از حد معمول نیترات در گیاه بودند (رحمانی، ۱۳۸۵). طی تحقیق دیگری، غلظت نیترات در سبزی‌های دو شهرستان خرم آباد و پلدختر مطالعه شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر نوع سبزی‌ها بر میزان نیترات تجمع یافته در دو منطقه خرم‌آباد و پلدختر به همراه تیمار شاهد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین غلظت نیترات در سبزی‌های مورد مطالعه در شهرستان خرم‌آباد مربوط به تره با میانگین ۸۴۰۸ و در شهرستان پلدختر، مربوط ریحان با میانگین ۹۰۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (حسنی مقدم و همکاران، ۱۳۹۸). سازمان بهداشت جهانی حداکثر جذب روزانه نیترات را به ازای هر کیلوگرم وزن ۳/۶۵ میلی‌گرم مشخص نموده است (WHO,1978). بنابراین این عدد برای یک فرد ۷۵ کیلوگرمی، ۲۷۴ میلی‌گرم نیترات در روز است. چنان‌چه فردی از سبزیجات برگی در رژیم غذایی خود استفاده نماید، با توجه به متوسط نیترات در این گروه (۱۴۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) نباید بیشتر از ۱۸۷ گرم مصرف نماید، چرا که با مصرف این مقدار سبزی برگی، مقدار مجاز نیترات در بدن فرد تامین شده و در صورت مصرف بیشتر سبب بروز اختلالات و اثرات مضر ناشی از نیترات در بدن می‌گردد. قابل ذکر است که این موضوع برای کودکان از اهمیت بیشتری برخوردار است. به عنوان مثال، مقدار مصرف سبزی برای یک کودک ۲۵ کیلوگرمی، به ۶۲ گرم در روز کاهش می‌یابد که خود بیان‌گر تاثیر و اهمیت بیشتر مصرف سبزی در رژیم غذایی کودکان نسبت به بزرگسالان است.

نتایج نشان می‌دهد که با توجه به غلظت بالای نیترات

در کاهو و با در نظر گرفتن حداکثر مجاز مقدار جذب روزانه نیترات، تنها با مصرف روزانه ۷۶ گرم کاهو، حداکثر مجاز نیترات وارد بدن مصرف‌کننده می‌شود و در خصوص اسفناج نیز حداکثر مجاز مصرف روزانه ۹۴ گرم است. این اعداد در مورد کلم ۳۸۷ و در مورد شنبلیله ۴۶۸ گرم می‌باشد. سبحان اردکانی و همکاران (۱۳۸۴)، حداکثر مجاز مصرف روزانه کاهو را ۹۰۴ گرم، برای اسفناج ۱۰۳ گرم، برای کلم، ۶۵۸ گرم و برای شنبلیله ۴۴۰ گرم در منطقه اصفهان گزارش کرده‌اند. نتیجه به دست آمده از این پژوهش با نتایج سایر محققان مطابقت داشت. نتایج یک تحقیق در خصوص ارزیابی وضعیت نیترات در یکی از شهرهای آذربایجان شرقی در خصوص ۷۴ نوع سبزی مختلف نشان داد که گشنیز بیشترین مقدار نیترات را به میزان ۸۱۴ میلی گرم در کیلوگرم داراست و جذب روزانه نیترات در مردم این شهر، ۱۶۴ میلی گرم در فرد بالغ بود که بیشتر از استاندارد جذب روزانه طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی می‌باشد (Taghipour et al., 2020). بنابراین باید نهایت تلاش را اعمال نمود تا غلظت و جذب روزانه نیترات در سبزی‌ها، مخصوصاً برای افرادی که در رژیم غذایی آنها مصرف سبزی زیاد است، به حداقل مقدار ممکن کاهش داده شود.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که برخی از سبزی‌های برگی مطالعه شده حاوی مقادیر بالایی از نیترات بودند که بیش از حداکثر مجاز توصیه شده استاندارد ملی ایران بود. این موضوع به گونه سبزی برگی و مدیریت مصرف کودهای حاوی نیتروژن باز می گشت. میانگین غلظت نیترات در سبزی‌های برگی مورد مطالعه ۱۴۵۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر بود. بنابراین چنان‌چه فردی ۱۸۷ گرم از سبزی‌های برگی در رژیم غذایی خود استفاده نماید، با توجه به متوسط نیترات در این گروه، مقدار مجاز نیترات در بدن فرد تامین شده و در صورت مصرف بیشتر سبب بروز اختلالات و اثرات مضر ناشی از نیترات در بدن می‌گردد. قابل ذکر است که این موضوع برای کودکان از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنابراین به نظر می‌رسد می‌بایست در مزارع تولید سبزیجات برگی نسبت به مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن تجدید نظر نمود و نسبت به بهینه‌سازی مصرف این نوع کود اقدام نمود. در این راستا مصرف کودهای حاوی نیتروژن بر اساس آزمون خاک و موجودی نیترات خاک توصیه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله، بخش از نتایج پروژه تحقیقاتی با عنوان "بررسی وضعیت نیترات در محصولات عمده سبزی و صیفی دشت ورامین" است که گزارش نهایی آن به شماره ۴۴۶۴۵ درتاریخ ۱۳۹۳/۱/۱۶ در مرکز اطلاعات و اسناد علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ثبت شده است. نگارنده بدین وسیله مراتب تشکر خود را از سارمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (www.areeo.ac.ir) و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران (Tehran.areeo.ac.ir) اعلام می دارد.

.

منابع

امامی، آ.، ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه شیمیایی گیاه (جلد اول)، وزارت جهاد کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. *نشریه شماره ۹۸۲*

پورمقیم، م.، خوش نیت، خ.، صادقی مکی، ا.، کمیلی فنود، ر.، گلستان، ب.، و پیرعلی، م.، ۱۳۸۹. تعیین میزان نیترات در کاهو،گوجه فرنگی و سیب زمینی عرضه شده در میدان تره بار تهران به روش HPLC. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*. سال پنجم، شماره۱

پیرصاحب، م.، رحیمیان، س.، و پاسدار خشکناب، ی.، ۱۳۹۱. مقدار نیترات و نیتریت در سبزی‌جات و صیفی‌جات مصرفی شهر کرمانشاه. *مجله دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه*، دوره ۱۶، شماره ۱

جلینی، م.، و دوستی، ف.، ۱۳۹۰. بررسی میزان تجمع نیترات در محصول سیب‌زمینی و گوجه فرنگی. *فصلنامه علمی محیط زیست*. شماره ۵۰.

حسنی مقدم، ا.، بازدار، ع.، و شعبان، م.، ۱۳۹۸. بررسی میزان نیترات در برخی از سبزی‌های کشت شده در شهرستان های پلدختر و خرم آباد در استان لرستان. مجله سلامت و محیط زیست، *فصلنامه ی علمی پژوهشی. انجمن علمی بهداشت محیط ایران*. دوره دوازدهم، شماره اول، ۱۱۲-۱۰۱

رحمانی، ح. ر.، ۱۳۸۵. بررسی وضعیت نیترات در خاک، آب و گیاه در اراضی سبزی‌کاری منطقه براآن اصفهان. *مجله علوم محیطی*. شماره ۱۱

سازمان ملی استاندارد ایران.، ۱۳۹۲. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، *مرز بیشینه مانده نیترات در محصولات کشاورزی* . (چاپ اول)، شماره ۹۶۱۶۵

سبحان اردکانی. س.، شایسته. ک.، افیونی. م.، و محبوبی صوفیانی، ن.، ۱۳۸۴. غلظت نیترات در برخی از فراورده های گیاهی اصفهان.*مجله محیط شناسی* شماره ۳۷.

سیلسپور م.،و ممیزی م. ر.، ۱۳۸۴. مدیریت مصرف نیتروژن در محصولات سبزی و صیفی. *نشر مرز دانش*. چاپ اول. ۳۸ صفحه.

طباطبائی، س.ج .، ملکوتی، م. ج.، و بای بوردی. ا.، ۱۳۸۲. اثر طیف نورهای مختلف روی غلظت نیترات و رشد و نمو کاهو در روش آبکشت. *مجله علوم خاک و آب* .

عامریان، م.، علی محمدیان، ل.، و ملک حسینی، ا.، ۱۳۹۶. ارزیابی دلایل بی‌توجهی و غفلت کشاورزان از عوارض سوء مصرف کودهای شیمیایی (به‌ویژه کود ازته) به‌روش بحث متمرکز گروهی. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*. جلد نوزدهم. شماره ۴، ۴۶-۳۵

فلاح مرتضایی نژاد لیالستانی، م.، پیوست، غ.، الفتی.، ج و سماک محمدی، ب.، ۱۳۹۱. *اثر کود رایج و آلی (کمپوست زباله شهری) بر رشد، عملکرد و کیفیت گیاه اسفناج (Spinacia oleracea L)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

قشلاقی، ز.، خراسانی، ر.، و حق نیا، غ. ح.، ۱۳۹۲. *اثر نیترات و زمان برداشت بر عملکرد و غلظت عناصر آهن، روی و مس در گیاه کاهو بااستفاده از کشت هیدروپونیک*، ششمین همایش یافته های پژوهشی کشاورزی، سنندج، دانشگاه کردستان

کیانی، ش.، و قیطاسی، م.، ۱۳۹۴. بررسی تجمع میزان نیترات و نیتریت در سبزی های عرضه شده در بازار شهرکرد. *مجله بهداشت مواد غذایی*. شماره ۲۰

ملکوتی، م. ج.، نوری، ا.، سماوات س.، و بصیرت، م.، ۱۳۸۴. علل تجمع نیترات در سبزی‌های میو ه‌ای (خیار، گوجه فرنگی و روش‌های کنترل آن. *نشریه فنی شماره ۴۱۴* ، انتشارات سنا، وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران،ایران

Chen, B. M., Wang, Z. H., Li, S. X., Wang, G. X., Song, H. X., and X. N. Wang. 2004. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Science*. 167(3): 635-643.

Chung, S. Y., Kim, J. S., Kim, M., Hong, M. K., Lee, J. O., Kim, C. M., and I. S. Song. 2003. Survey of nitrate and nitrite contents of vegetables grown in Korea. *Food Additives & Contaminants*, 20(7): 621-628.

Darnell, R. L., and G. W. Stutte. 2001. Nitrite concentration effects on NO3-N uptake and reduction, growth, and fruit yield in strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 126(5): 560-563.

Dejon, C. W and W. Stekbaut. 1995. Nitrate in food commodities vegetable origin and the total diet in Belgium, University of Ghent, FLTBW;

Dordas, C. A., and C. Sioulas. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions.*Industrial Crops and Products*. 27(1), pp.75-85.

FAO/WHO. 2003. Food and Agriculture Organisation of the United Nations/World Health Organization. Nitrate (and potential endogenous formation of N-nitroso compounds). Geneva: World Health Organisation. WHO Food Additive series 50.

Fewtrell, L., 2004. Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease: a discussion. *Environmental health perspectives*. 112(14): 1371–1374

Human Health Fact Sheet. 2005. EVS Chicago, Illinois. Argonne National Laboratory (Abstract)

Kladivko, E. J., Frankenberger, J. R., Jaynes, D. B., Meek, D. W., Jenkinson, B. J., and N. R. Fausey. 2004. Nitrate leaching to subsurface drains as affected by drain spacing and changes in crop production system. *Journal of Environmental Quality*. 33(5): 1803-1813.

Malakouti, M. J., Ladan S. H., and S. J. Tabatabaee. 2013. Nitrate in leafy vegetables: Toxicity and safety measures. In: Umar S. H., Anjum N. A., and Khan N. A. (Ed.), Content in the edible parts of vegetables: Origin, safety, toxicity limits and the prevalence of cancer in Iran. International Publishing House Pvt. Ltd. New Delhi, India. pp. 93-122.

Menard, C., Heraud, F., Volatier, J. L., and J. C. Leblanc. 2008. Assessment of dietary exposure of nitrate and nitrite in France. *Food Additives and Contaminants*.25(8):971-988.

Menard, C., Merusi, C., Corradini, C., Cavazza, A., Borromei, C., and P. Salvadeo. 2010. Determination of nitrates, nitrites and oxalates in food products by capillary electrophoresis with pH-dependent electroosmotic flow reversal. *Food chemistry*, 120(2), 615-620.

Noguero, M., and B. Lacombe. 2016. Transporters Involved in Root Nitrate Uptake and Sensing by Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 7, pp. 1-7.

Santamaria., P. 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation.*Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86(1): 10-17.

Susin, J., Kmecl, V and A. Gregorcic. 2006. A survey of nitrate and nitrite content of fruit and vegetables grown in Slovenia during 1996-2002., *Food Additives and Contaminants* 23(4):385-390.

Taghipour, H., Hemmati, S., Faramarzi, E., Somi, M. H., Dastgiri, S. and P. Nowrouze. 2019. Determination of nitrate concentration in consumed vegetables and estimation of that's dietary intake in Shabestar and Khameneh City, northwest of Iran: Azar Cohort study. *Progress in Nutrition*. 21, 336-340.

Weitzberg, E., and J. O. Lundberg. 2013. Novel aspects of dietary nitrate and human health. *Nutrition*, Vol. 33, pp. 129-159.

WHO. 1978. Nitrates, Nitrites and N-Nitrozo Compounds. Geneva, Environmental Health Criteria 5.

Wiera, S., C.Zotnowski and K. Przekwas. 2007. Effects of various fertilization systems on the dynamics of nitrate concentration in potato tubers after harvest and during storage. *Polish Journal of Natural Sciences*,Vol 22(1): 15-22

Yeganeh, M., and K. Bazargan. 2016. Human health risks arising from nitrate in potatoes consumed in Iran and calculation nitrate critical value using risk assessment study. *Human and Ecological Risk Assessment*, Vol. 22 (3), pp. 817-824.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۱۰۴- ۸۷)
مقاله پژوهشی

تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر شاخص‌های رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) در تراکم‌های مختلف بوته

سید جلال‌الدین جزایری [۱*]، سید محسن موسوی نیک [۲]، بابک بحرینی‌نژاد [۳]، سید احمد قنبری [۴]

۱- نویسنده مسئول و دانش آموخته دکتری زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران.
Jazayeri88@yahoo.com
۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل ، ایران.
Mohsen_372001@yahoo.com
۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران.
b_bahreininejad@yahoo.com
۴- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران.
ghanbari@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۸**

چکیده

به منظور ارزیابی و بررسی اثرات تیمارهای کودی و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی گوار، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی اصفهان در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. سطوح کودی (عامل اول) شامل: کود شیمیایی (در دو سطح، ۶۰، ۷۰ و ۷۰ و دیگری ۹۰، ۱۰۰، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، فسفر و پتاس)، کود حیوانی (۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و ورمی‌کمپوست (۳۰۰ و ۶۰۰ کیلو گرم در هکتار) و تراکم (عامل دوم) شامل: سطوح ۶۰، ۷۵ و ۹۰ بوته در متر مربع می‌باشد. شاخص‌های اندازه‌گیری شده، LAI، CGR و RGR بودند. بر اساس نتایج ارتفاع گیاه، تعداد شاخه جانبی، تعداد نیام، طول نیام و عملکرد دانه در تیمارهای کودی و تراکم بوته معنی‌دار شدند ولی برهمکنش کود و تراکم در تعداد نیام معنی‌دار شد. میانگین‌ها بترتیب برتری کود شیمیایی، کود حیوانی و ورمی‌کمپوست را نشان می‌دهد و تراکم ۶۰، ۷۵ و ۹۰ بوته در متر مربع نیز بترتیب غالبیت داشتند. بیشترین شاخه جانبی (۶/۱۳ عدد)، نیام در بوته (۴۶/۳۲ عدد)، وزن هزار دانه (۳۳/۵۵ گرم) و عملکرد دانه (۳۶۴۶/۳ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۶۰ بوته مشاهده گردید. در بیشتر اجزاء عملکرد ارجحیت با کود شیمیایی ولی در برخی صفات، ورمی‌کمپوست در سطح آماری بقیه کودها بود. لذا جهت کشت این گیاه در شرایط مشابه می‌توان تراکم ۶۰ بوته و جهت کسب نتیجه بهتر و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی، ترکیبی از کودهای شیمیایی و ورمی‌کمپوست را توصیه نمود.

کلمات کلیدی: شاخص سطح برگ، کود حیوانی، ورمی‌کمپوست، وزن هزار دانه.

مقدمه

گوار (*Cyamopsis tetragonoloba L.*) یک لگوم یک ساله است که می‌تواند تنش شوری و خشکی را به خوبی تحمل کند و به عنوان یک محصول جایگزین با پتانسیل بالقوه در دشت‌های کم آب کشت شود (Grover et al., 2016). زمینی که در آن گوار کشت شده باشد، به علت همزیستی ریشه‌های گوار با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن پس از اینکه شخم زده می‌شود و در این زمین کشت صورت گیرد، بازده محصول افزایش می‌یابد. زیرا قابلیت دسترسی نیتروژن توسط ریشه گیاه در خاک بهبود می‌یابد (Undersander et al., 1997). صمغ گوار از نظر درمانی به عنوان کاهنده قند خون، ضد میکروب، مهار کننده اشتها استفاده می‌شود. صمغ گوار به عنوان یک ملین برای درمان اسهال، سندروم روده تحریک پذیر (IBS)، و همچنین چاقی و دیابت، برای کاهش کلسترول و برای جلوگیری از سخت شدن شریان‌ها (آترواسکلروز) استفاده می‌شود. در غذاها و نوشیدنی‌ها، از صمغ گوار به عنوان پایدار کننده و حجم‌دهنده، معلق کننده و عامل اتصال استفاده می‌شود. در صنایع داروسازی از صمغ گوار به عنوان یک عامل اتصال در قرص و حجم دهنده در لوسیون و کرم استفاده می‌شود (NIAM, 2014).

مدیریت کوددهی برای رفع کمبود عناصر غذایی به ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک می‌تواند نقش اساسی در کشت موفقیت آمیز گیاهان دارویی داشته باشد (Chatterjee, 2002). در این ارتباط می‌توان به مدیریت صحیح نیتروژن که مهمترین عنصر در تغذیه گیاهان است (Salvagiotti et al., 2009)، اشاره کرد که به دلیل نقش کلیدی آن در بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاهان و نیز اثرات این عنصر بر اکوسیستم‌های زراعی، یکی از مباحث مهم در سیستم‌های زراعی است (Guarda et al., 2004). علاوه بر این، نیتروژن جزء اولیه تشکیل دهنده ترکیب‌های آلی همانند اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک به شمار می‌رود (El-Sayed et al., 2000). در دهه‌های اخیر، تولید در کشاورزی متکی به مصرف نهاده‌های شیمیایی به منظور کسب عملکرد بالا بوده که علاوه بر ایجاد مشکلات عمده و آلودگی محیط زیست، این مواد مانع بزرگی در دستیابی به تولید پایدار می‌باشند. از دیدگاه کشاورزی پایدار، خاک نه تنها یک بستر فیزیکی و شیمیایی به شمار می‌رود، بلکه همانند یک پیکره زنده است که با مدیریت موجودات زنده آن، می‌توان تنوع زیستی آن را حفظ کرده و افزایش داد. به همین منظور برای برخورداری از یک سیستم کشاورزی پایدار، استفاده از نهاده‌هایی که علاوه بر تأمین نیازهای گیاه و کاهش مخاطرات زیست محیطی، جنبه‌های اکولوژیکی سیستم را بهبود بخشند، ضروری به نظر می‌رسد (Kizilkaya, 2008).

یکی از ارکان سیستم کشاورزی پایدار استفاده از کودهای آلی به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی است که از میان کودهای آلی می‌توان به کود ورمی کمپوست اشاره کرد. ورمی کمپوست نوعی کود آلی است که حاصل فعالیت بیولوژیک نوعی کرم خاکی با نام علمی "*Eisenia foetida*" می‌باشد که در اثر عبور مداوم و آرام مواد آلی درحال پوسیدگی از دستگاه گوارش کرم خاکی و دفع این مواد از بدن کرم حاصل می‌گردد. ورمی کمپوست در خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیر بسزایی دارد. این کود علاوه بر عناصر پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم که در فعالیت‌های حیاتی گیاه نقش اساسی دارند حاوی عناصر ریزمغذی مانند آهن، مس، روی و منگنز نیز می‌باشد (Orozco et al., 1996). کود دامی باعث افزایش خلل و فرج خاک و موجب رشد و گسترش بیشتر ریشه گیاهان در خاک شده و جذب آب و عناصر غذایی در گیاه را بهبود می‌بخشد و بر اثر تغذیه مناسب گیاه، رشد و فتوسنتز آن افزایش می‌یابد، در نتیجه عملکرد کمّی و کیفی گیاهان را بالا می‌برد (Blaise et al., 2005). گزارش‌ها حکایت دارد که کاربرد کودهای آلی نسبت به

کودهای شیمیایی حائز اهمیت بیشتری بوده، زیرا کودهای شیمیایی فقط یک یا چند عنصر مورد نیاز را برای رشد گیاه فراهم می‌کنند، در حالی که کود آلی ضمن در دسترس قرار دادن بسیاری از عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و ایجاد محیطی مناسب برای رشد بهتر و کیفیت بالاتر گیاهان می‌شود. مزیت کودهای آلی، چرخه تجدید پذیر سریع آنها در اکوسیستم است که پایداری هرچه بیشتر محیط و سلامت سایر جانداران و مصرف کنندگان را محقق می‌سازد. (ترکمنی و علیخانی، ۱۳۸۷).

برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع و نهاده‌ها، دانستن مقدار مصرف بذر از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. بنابراین تعیین تراکم بهینه بوته در واحد سطح برای بدست آوردن حداکثر عملکرد ضروریست (Baloch et al., 2002). تراکم کاشت مطلوب یک عامل کلیدی برای رسیدن به حداکثر تولید محصولات کشاورزی می‌باشد، به ویژه هنگامی که آب محدود است Rahimi et al., 2011). به عبارت دیگر اگرچه عوامل محیطی تأثیر به سزایی بر کمیّت و کیفیت محصول بدست آمده از گیاهان از جمله گیاهان دارویی دارد، با این حال کنترل کامل این عوامل امکان پذیر نیست، ولی می‌توان با استفاده از روش‌هایی اثرات محیطی را به شکلی مدیریت کرد که گیاه تحت هر شرایطی حداکثر توانایی خود را بروز دهد. ازجمله مهمترین این تکنیک‌ها، انتخاب تراکم گیاهی مطلوب برای کشت و کار گیاه است که به عنوان یک عامل زراعی تحت کنترل، نقش مؤثری در عملکرد محصولات مختلف ایفاء می‌کند همچنین مشخص کردن تراکم گیاهی از اصول اولیه زراعت هر محصول و ازجمله مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تولید گیاهان دارویی به شمار می‌رود (Ibrahim, 2012). کاربردهای متعدد صمغ، دانه و اجزای دیگر گیاه گوار برای انسان و دام و بومی نبودن این گیاه در ایران از یک سو و فقدان اطلاعات کافی از خصوصیات کمی و کیفی این گیاه در شرایط آب و هوایی ایران مخصوصا منطقه اصفهان و بررسی تراکم بهینه جهت کشت و کاربرد کودهای مختلف (شیمیایی و آلی) در تغذیه گیاهان صنعتی دارویی از سوی دیگر زمینه ساز شکل گیری این تحقیق برای تبیین تأثیر تیمارهای مختلف تراکم و انواع کودها از قبیل کود شیمیایی، حیوانی و ورمی‌کمپوست بر عملکرد کمی و کیفی گوار گردیده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۶۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۶۵ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۵۷۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. بر اساس اطلاعات گرفته شده از سایت اداره کل هواشناسی استان اصفهان[۱] محل اجرای آزمایش از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود به عبارت دیگر بر اساس تقسیم بندی گوسن دارای اقلیم نیمه بیابانی خفیف می‌باشد و میانگین بارندگی سالانه در طول ۲۰ سال گذشته ۱۲۲ میلیمتر بوده است که حاکی از کم آبی در منطقه می‌باشد. میانگین دمای سالانه ۱۶ درجه سانتیگراد، حداکثر دمای منطقه ۴۰ و حداقل ۱۷- درجه سانتیگراد بوده است. نتایج آزمون خاکشناسی در جدول ۱ ارائه شده است.

بذر مورد نیاز با همکاری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی زابل و ایرانشهر از کشاورزان مناطق مرزی ایران و پاکستان که گونه محلی را کشت می‌کنند تهیه گردید. عملیات آماده سازی زمین شامل شخم، دیسک و لولر بود. پس از تسطیح اقدام به ایجاد جوی و پشته با فواصل ۵۰ سانتیمتری و جوی آب اصلی گردید. تیمارهای کودی شامل کود شیمیایی در ۲ سطح (۶۰، ۷۰، ۷۰) و (۹۰، ۱۰۰، ۱۰۰) کیلوگرم به ترتیب نیتروژن از منبع اوره، فسفات از منبع فسفات آمونیم و پتاس از منبع سولفات پتاسیم، کود حیوانی گاوی در ۲ سطح ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار و ورمی‌کمپوست

۱. www. esfahanmet. ir

جدول ۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1. physicochemical analysis of farm soil

texture	clay	silt	sand	potassium	phosphorus	nitrogen	organic carbon	acidity	conductivity	depth
	%	%	%	mg/kg	mg/kg	%	%	pH	dS/m	cm
sandy loamy	18	28	54	170	40	0.1	1.03	7.5	2.35	0-30

در ۲ سطح ۳۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند که آنها را به ترتیب تحت عنوان کود شیمیایی ۱، کودشیمیایی ۲، کود حیوانی ۱، کود حیوانی ۲، ورمی‌کمپوست ۱ و ورمی‌کمپوست ۲ می‌نامیم. به جز اوره که به سه بخش تقسیم گردید که دو بخش آن در مراحل بعدی به عنوان کود سرک به محصول داده شد بقیه کودها چند روز قبل از کاشت به خوبی با خاک در ردیف‌ها مخلوط شدند تا اثر منفی بر جوانه زنی بذرها نداشته باشند. کاشت بذور در اواسط خرداد ماه انجام گردید. کشت بذر به صورت مستقیم در یک طرف پشته‌ها انجام شد. سریعاً پس از اتمام کاشت بذر آبیاری به صورت کرتی انجام گردید. جهت جوانه‌زنی و استقرار بهتر بذور دو آبیاری با فاصله ۴ روزه و پس از آن تا آخر دوره رشدی گیاه مزرعه هر ۸ روز یکبار بر اساس نوع خاک و عرف منطقه آبیاری گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بطور عام برای کل طرح و بصورت فاکتوریل اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای شاخص‌های رشدی با ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل انواع کودها در شش سطح (دو سطح شیمیایی، دو سطح دامی و دو سطح ورمی‌کمپوست طبق میزان ذکر شده) به عنوان فاکتور اول و تراکم در سه سطح ۶۰، ۷۵ و ۹۰ بوته در متر مربع به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. این میزان تراکم به ترتیب معادل ۶۰۰۰۰۰ هزار بوته در هکتار یا معادل ۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار، ۷۵۰۰۰۰ بوته در هکتار یا ۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار و ۹۰۰۰۰۰ بوته در هکتار یا ۳۰ کیلو گرم بذر در هکتار می‌باشد. هر واحد آزمایشی به ابعاد ۲/۵ در ۴ متر دارای پنج پشته به فاصله ۵۰ سانتیمتر بود. فاصله بین کرت‌ها ۶۰ سانتیمتر و فاصله بین بلوک‌ها ۱۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد که شامل جوی آبیاری نیز بود. برای بدست آوردن تعداد بوته مورد نیاز در واحد سطح بذرها بصورت دستی و کوپه‌ای با فواصل ۱۱، ۱۶ و ۲۱ سانتیمتر مربع بر روی پشته‌ها در بالای داغ آب کشت شدند. عمق کاشت نیز بین ۳ تا ۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. در ابتدا میزان بذر کشت شده فراتر از تراکم ذکر شده در نظر گرفته شد ولی پس از استقرار گیاه در دو مرحله (۲ و ۶ برگی) اقدام به عملیات تنک سازی تا رسیدن به تراکم مطلوب شد. در طول مدت فصل رشد از بابت احتیاط و اجتناب از آثار سوء علف کش‌ها هیچگونه علف کش استفاده نگردید بلکه عملیات وجین علف‌های هرز در ۳ مرحله بصورت دستی توسط کارگران کشاورز صورت گرفت. بیشترین علف‌های هرز مشاهده شده شامل: خرفه (*Portulaca oleracea*)، خاکشیر (*Descurainia sophia*)، گل گندم (*Centaurea depressa*)، پیچک (*Convolvulus arvensis L.*) و ترشک (*Rumex acetosella*) بودند. در طی این مدت بجز میزان محدودی شته، آفت و یا بیماری خاص دیگری در مزرعه مشاهده نشد. جهت مبارزه با شته‌ها از سم کنفیدور به میزان یک در هزار استفاده گردید. در خطوط کاشت در هر کرت ۵ ردیف وجود داشت که پس از حذف دو ردیف کناری کرت و نیم متر از دو سمت دیگر ردیف‌ها به عنوان اثر حاشیه، از ۳ خط باقی مانده نمونه‌گیری‌ها انجام شد. میزان برداشت شده جهت اندازه گیری‌های شاخص‌های رشدی ۵ بوته با فاصله هر ۱۰ روز یکبار صورت می‌گرفت و در آخر دوره (در اوایل مهر ماه) نیز برای بقیه آزمایشات معادل یک مترمربع برداشت صورت گرفت. شاخص‌های رشد اندازه‌گیری شده، شامل: شاخص سطح برگ (LAI)،

سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR) بودند. همچنین با انتخاب تصادفی ۵ بوته از هر کرت، صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته، طول نیام، وزن هزار دانه و عملکرد دانه نیز در آزمایشگاه برآورد گردید. در نهایت پس از جمع آوری داده‌ها، تجزیه آماری یافته‌ها و نتایج بدست آمده با نرم افزار آماری SAS (نسخه ۹) انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

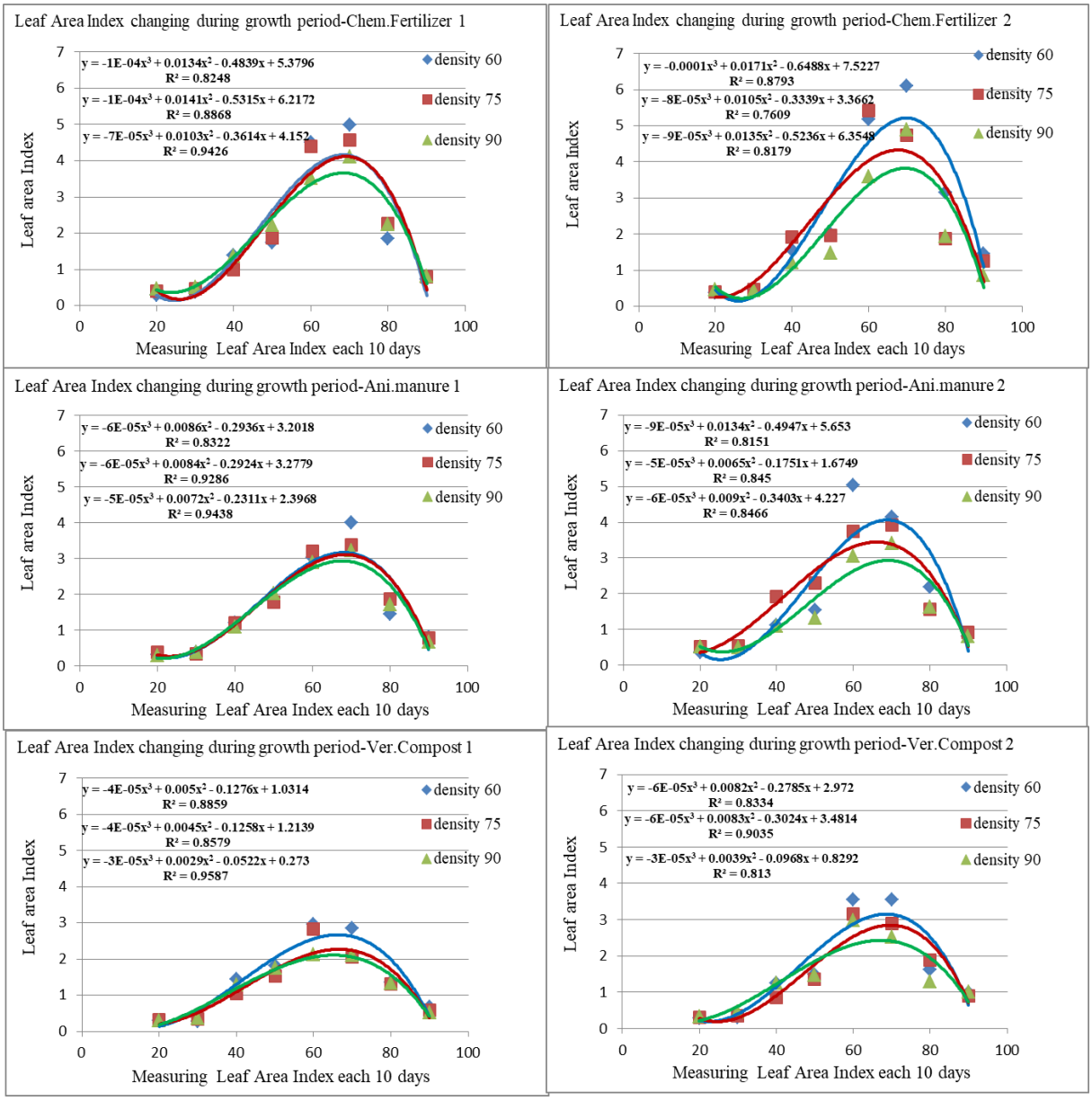
شاخص‌های رشدی گیاه

شاخص سطح برگ (LAI): با توجه به نتایج بدست آمده، بالاترین شاخص سطح برگ متعلق به کود شیمیایی ۲ و پایین ترین شاخص سطح برگ متعلق به تیمار کودی ورمی‌کمپوست ۱ می‌باشد. در ارتباط با تیمارهای تراکم و با توجه به شکل ۱ تراکم ۶۰ بوته در متر مربع بالاترین شاخص سطح برگ و تراکم ۹۰ بوته در متر مربع نیز پایین ترین شاخص سطح برگ را دارد (شکل ۱). با توجه به اینکه گیاه گوار دارای رشد عرضی زیاد می‌باشد در تراکم بهینه بخوبی توانسته جبران تراکم پایین را بنماید و شاخص سطح برگ خود را بالا ببرد. در حالی که تراکم بیشتر بوته نتوانست جبران رشد عرضی گیاه را بنماید و شاخص سطح برگ را (نسبت به تراکم پایین‌تر) افزایش دهد.

امام و نیک نژاد (۱۳۹۰) طی آزمایشاتی بر لاین‌های مختلف برنج اظهار داشتند که، شاخص سطح برگ تمام لاین‌ها بعد از نمونه گیری ششم یعنی بعد از رسیدن به حداکثر مقدار خود در کلیه تیمارها یک روند کاهشی را تا انتهای دوره نشان دادند. که این موضوع احتمالاً به علت پژمردگی و زرد شدن برگ‌های مسن و پایین بوته‌ها به علت انتقال عنصر نیتروژن به قسمت‌های جوانتر و ریزش آنها می‌باشد. آنها همچنین اظهار داشتند که در لاین ۸۳۱۸ به علت استفاده بهتر و بیشتر از عناصر غذایی مثل نیتروژن و همچنین بعلت داشتن دوام سطح برگ (LAD) بیشتر سبب گردیده که نسبت به بقیه لاین‌ها دارای شاخص سطح برگ (LAI) بیشتر بوده و دیرتر شروع به کاهش سطح برگ خود نماید. نتایج این تحقیق با نتایج بدست آمده از شاخص سطح برگ در گیاه گوار همخوانی دارد. افزایش شاخص سطح برگ در اثر مصرف سطوح مختلف نیتروژن در ابتدا تدریجی بوده و در ادامه با گسترش سطح برگ توسط گیاه، با سرعت زیادی افزایش یافت و در مرحله گلدهی حدود ۶۰ روز پس از کاشت به حداکثر خود رسید. مصرف نیتروژن باعث افزایش شاخص سطح برگ به میزان ۴/۵۵ گردید.

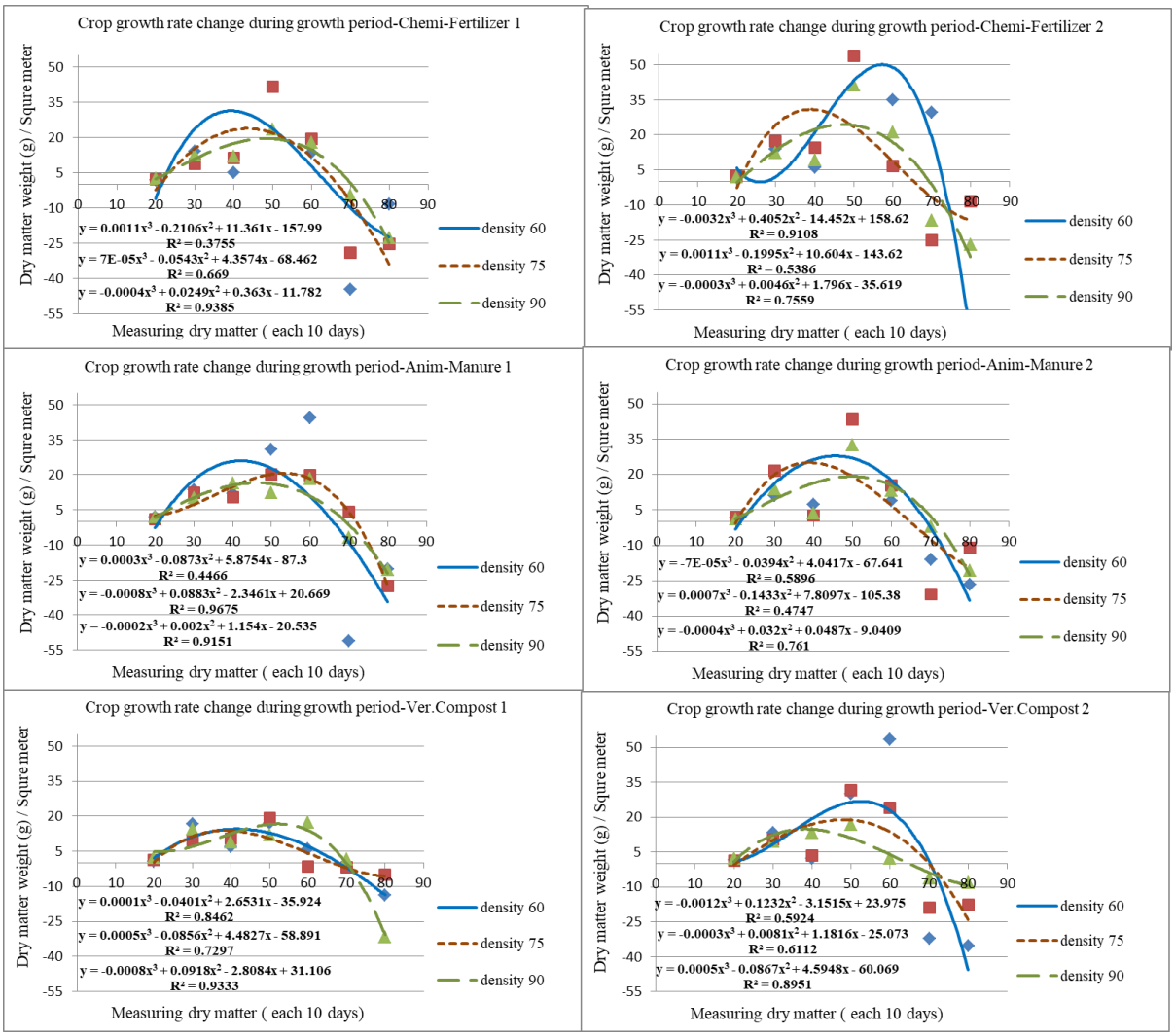
سرعت رشد محصول (CGR): نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین سرعت رشد محصول متعلق به تیمار کود شیمیایی (۴۷/۲۵ گرم بر متر مربع در روز) بود و کمترین میزان سرعت رشد محصول متعلق به تیمار ورمی‌کمپوست (۲۵/۸۸ گرم بر متر مربع در روز) بود. در بخش تراکم گیاه گوار در اکثر تیمارها با کاهش تراکم و نزدیک شدن به تراکم بهینه سرعت رشد محصول افزایش را نشان می‌دهد و کمترین سرعت رشد محصول را تراکم ۹۰ بوته در متر مربع که بالاترین تراکم می‌باشد داشت (شکل ۲). سرعت رشد محصول عبارت از افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح مزرعه در واحد زمان می‌باشد و معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک کل گیاه) در متر مربع (سطح زمین) در روز بیان می‌گردد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۷). سرعت رشد محصول در همه تیمارهای بکار رفته با ظهور نیام‌ها به اوج خود رسید و همزمان با پر کردن نیام‌ها سرعت رشد محصول شروع به افول و کاهش نمود. که احتمالاً این امر به علت سایه‌اندازی و کاهش نفوذ نور در سایه انداز گیاهی و ریزش برگ‌های مسن تا انتهای دوره رشد می‌باشد (امام و نیک نژاد، ۱۳۹۰). با ریزش بیشتر برگ‌ها، افزایش نسبت تنفس گیاه به فتوسنتز و کاهش سطح برگ (LAI) میزان سرعت رشد محصول (CGR) نیز منفی گردیده است. در آزمایشی بر گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) امیری ده

احمدی و همکاران (۱۳۸۹) اظهار داشتند که با روند سرعت رشد گیاه و سطح برگ ملاحظه می‌شود که حداکثر مقدار سرعت رشد گیاه قبل از حداکثر سطح برگ به دست می‌آید و زمانی که سرعت رشد گیاه به حداکثر خود رسیده است، سطح برگ هنوز روند افزایشی خود را طی می‌کند. سرعت رشد گیاه تابع مستقیمی از سطح برگ و سرعت فتوسنتز خالص می‌باشد و از طرف دیگر با پیشرفت زمان، سرعت فتوسنتز خالص، روند کاهشی دارد که می‌تواند سبب کاهش سرعت رشد گیاه شود. با نزدیک شدن به مرحله پرشدن دانه و رسیدگی گیاه، به دلیل توقف رشد رویشی و زرد شدن اندام‌های فتوسنتز کننده، کاهش سرعت فتوسنتز خالص و اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه مقدار سرعت رشد گیاه کاهش یافت و در نهایت با خشکی و ریزش برگ‌ها، مقدار سرعت رشد گیاه، منفی شد (امیری ده احمدی و همکاران، ۱۳۸۹). در گیاه گوار نیز چنین فرایندی مشاهده گردید که آنرا با مقایسه شکل ۱ (مربوط به شاخص سطح برگ) با شکل ۲ (مربوط به سرعت رشد محصول) می‌توان به وضوح تایید کرد.



شکل ۱. روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) تحت تاثیر سطوح کود و تراکم

Figure 1. Process of leaf area index changes under the effects of fertilizer levels and density

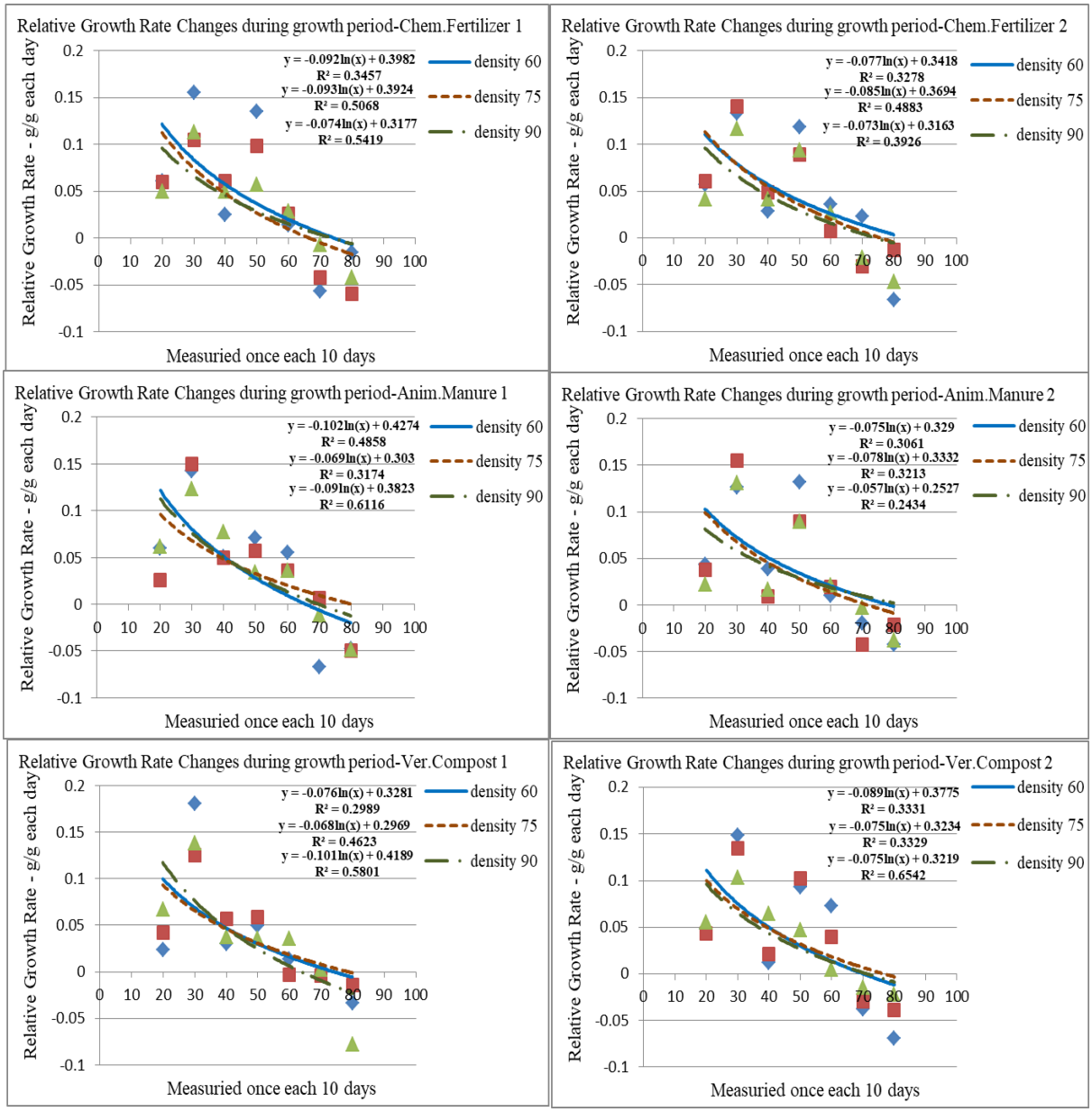


شکل ۲. روند تغییرات سرعت رشد محصول (CGR) تحت تاثیر سطوح کود و تراکم

Figure 2. Process of crop growth rate (CGR) changes under the effects of fertilizer levels and density

افزایش سرعت رشد گیاه در فواصل کاشت کمتر را می‌توان به دلیل افزایش تعداد بوته در واحد سطح و در نتیجه افزایش شاخص سطح برگ دانست که در این تحقیق نیز با کاهش فواصل کاشت (افزایش تراکم بوته)، شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت. سرعت رشد محصول بر مبنای درجه روزهای رشد بعد از کاشت نشان داد که سرعت رشد محصول (CGR) در طول فصل رشد افزایش یافته و به حداکثر خود رسیده و سپس کاهش یافت. علت روند افزایش تدریجی، جذب تشعشع خورشیدی همراه با افزایش سطح برگ در اوایل فصل رشد و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک می‌باشد و پس از این مرحله به علت پیر شدن برگ‌ها و ریزش آنها سوخت و ساز کم شده و روند نزولی را طی می‌کند (امام و نیک نژاد، ۱۳۹۰).

سرعت رشد نسبی (RGR): سرعت رشد نسبی گیاه گوار در همه تیمارهای آزمایشی تقریبا به صورت خطی و نزولی بودند به عبارت دیگر با پیشرفت زمان کاهش یافتند تا به نقطه صفر رسیده و در بعضی موارد در انتهای فصل رشد منفی شدند. در همه تیمارهای کودی، کودهای شیمیایی نسبت به تیمارهای کودی دیگر وضعیت مناسب‌تری داشتند و شیب نزولی آنها کندتر از بقیه تیمارهای کودی بوده و زمان بیشتری از سرعت رشد نسبی مثبت برخوردار بودند (شکل ۳).



شکل ۳. روند تغییرات سرعت رشد نسبی (RGR) تحت تاثیر سطوح کود و تراکم

Figure 3. Process of relative growth rate (RGR) changes under the effects of fertilizer levels and density

افزایش تراکم سرعت رشد نسبی را کاهش داد و شیب کاهشی افزایش پیدا نمود. که دلیل این امر را می‌توان به کاهش میزان نفوذ نور به داخل کانوپی و سایه‌اندازی برگ‌های بالایی روی برگ‌های زیرین و برگ‌های داخل کانوپی و متعاقب آن کاهش فتوسنتز نسبت داد. همچنین رقابت بین گیاهان برای کسب دیگر عوامل محیطی و غذایی دلیل دیگر این کاهش سرعت رشد نسبی می‌باشد (شکل ۳). کوچکی و همکاران در سال ۱۳۶۷ در ارتباط با کاهش سرعت رشد نسبی چنین اعلام کردند که این کاهش به این دلیل است که قسمت‌های افزوده شده به وزن گیاه، بافت‌های ساختمانی بوده و بافت‌های فعال متابولیک نمی‌باشند و چنین بافت‌هایی سهمی در میزان رشد ندارند. کاهش میزان رشد نسبی همچنین تا اندازه‌ای مربوط به در سایه قرار گرفتن و افزایش سن برگ‌های تحتانی گیاه است. سرعت رشد نسبی گیاهان زراعی درست بعد از جوانه‌زنی معمولا به کندی آغاز شده، به دنبال آن منحنی به سرعت بالا رفته سپس کند می‌شود. به عبارت دیگر سرعت رشد نسبی مشخص می‌کند که هر گرم از وزن خشک گیاه

در هر روز چه مقدار افزایش وزن داشته است. در ابتدای دوره رشدی، رشد نسبی کند است سپس به سرعت افزایش پیدا می‌کند و در آخر دوره مجددا کند می‌شود و روند نزولی پیدا می‌کند. علت این روند این است که در ابتدای رشد، گیاه شروع به تولید بافت‌های فتوسنتزکننده می‌کند و تمامی بافت‌ها، تولید کننده هستند. در نتیجه میزان ماده خشک تولید شده در هر روز نسبت به روز قبلی بیشتر می‌شود و به دنبال آن با گذشت زمان وزن گیاه اضافه می‌شود، ولی در این افزایش وزن تعداد بافت‌های مرده و کاملا بالغ که در تولید نقشی ندارند نیز افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر در ابتدای رشد تمام وزن گیاه و تمام سلول‌ها در تولید نقش دارند ولی با گذشت زمان بافت‌های مرده و سلول‌هایی که در تولید نقشی ندارند زیاد می‌شود. در نتیجه میزان تولید در هر روز نسبت به روز قبل کاهش یافته و سرعت رشد نسبی روند نزولی پیدا می‌کند. با ادامه رشد و افزایش وزن گیاه و به دنبال آن افزایش بافت‌های غیر فعال در فتوسنتز سرعت رشد نسبی کاهش پیدا می‌کند. تجزیه و تحلیل عوامل تاثیرگذار بر تولید ماده خشک و عملکرد می‌تواند در توضیح بهتر اختلاف بین ارقام یا تیمارهای یک آزمایش موثر باشد. سارمال و همکاران در سال ۱۹۹۲ همچنین گزارش دادند که با افزایش تراکم بوته، میانگین سرعت رشد نسبی در گیاه آفتاب گردان کاهش یافته و بیشترین مقدار آن در تراکم پایین‌تر بدست آمد. سرعت رشد نسبی به عنوان مقدار افزایش ماده خشک موجود در هر لحظه از زمان (t) تعریف شده است و تنها جزء آنالیز رشد است که برای محاسبه آن نیازی به داشتن اندازه سیستم فتوسنتز کننده نیست. سرعت رشد نسبی به عنوان یک معیار اساسی از تولید ماده خشک کاربرد داشته و از آن می‌توان برای مقایسه عملکرد گیاه تحت شرایط کاملاً مشخص استفاده کرد. نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که سرعت رشد نسبی در مراحل اولیه رشد گیاهان با هم مشابه بوده است. روند تغییرات RGR در همه ارقام مورد بررسی در تراکم‌های مختلف مشابه می‌باشد، به طوری که در اوایل رشد، شاخص سرعت رشد نسبی حداکثر بود و با افزایش سن گیاه به علت افزایش بافت ساختمانی و کاهش کارایی تولید روند نزولی داشت که دلیل آن می‌تواند سایه اندازی برگ‌ها و افزایش تعداد برگ‌های پیر باشد که به تدریج که به سن گیاه افزوده می‌شود بافت‌هایی به گیاه اضافه می‌گردد که جزء بافت‌های فعال متابولیکی نیستند بلکه بافت‌های ساختمانی هستند که در رشد تاثیری ندارند (محمدی، ۱۳۷۷).

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود و تراکم بوته در سطح یک درصد بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود، اما برهمکنش سطوح کودی و تراکم بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوار تحت تاثیر سطوح کود و تراکم

Table 2. Analysis variance of yield and yield components of guar under effects of fertilizer levels and density

Source of variation	Degree of freedom	Mean of squares						
		Seed yield	1000 seeds weight	No of seeds in pod	Pod length	No of pods in plant	No of branches	Final hight
Replication	2	12468.29^{ns}	11.36^{ns}	0.37^{ns}	0.71**	150.76^{ns}	1.04^{ns}	274.85*
Fertilizer	5	50794.61**	7.54^{ns}	0.35^{ns}	1.36**	478.00**	2.47**	1803.61**
Density	2	12727.78^{ns}	5.94^{ns}	0.34^{ns}	2.96**	2881.02**	48.27**	1183.61**
Fertilizer×Density	10	1633.37^{ns}	1.59^{ns}	0.05^{ns}	0.17^{ns}	125.82*	0.30^{ns}	41.7^{ns}
Error	34	6552.43	4.74	0.14	0.11	53.11	0.46	57.77
CV (%)	-	24.04	6.61	4.32	4.09	20.77	14.81	7.90

ns, * and ** in sequence shows non significant, significant at 5 and 1 percent probability.

بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار کود شیمیایی ۲ به میزان ۱۱۹/۴۳ سانتیمتر و کمترین ارتفاع مربوط به ورمی‌کمپوست ۱ به میزان ۷۷/۲۳ سانتیمتر بود. می‌توان نتیجه گیری کرد که تیمار کود شیمیایی توانسته با سرعت بیشتری نیاز تغذیه‌ای گیاه را بر آورده کند و سبب افزایش ارتفاع بیشتر گیاه شود. تیمار کودی ورمی‌کمپوست ۲ نسبت به تیمار ورمی‌کمپوست ۱ از افزایش ارتفاع بیشتری به میزان ۱۲ درصد برخوردار بود که این نشان می‌دهد کود ورمی‌کمپوست تاثیر مثبتی بر ارتفاع گیاه دارد. همچنین استفاده از کود حیوانی در این آزمایش سبب بهبود رشد گیاه و ارتفاع بوته نسبت به تیمارهای ورمی کمپوست شد (جدول ۳).

کمترین ارتفاع مربوط به تراکم ۶۰ بوته در متر مربع و بیشترین ارتفاع مربوط به تراکم ۹۰ بوته در متر مربع می‌باشد (جدول ۴). عناصر غذایی نقش مهمی در تعیین اندازه ارتفاع گیاه دارند و در این ارتباط، نیتروژن عامل اصلی افزایش ارتفاع در گیاه است. ارتفاع بوته مانند هر اندام دیگر رویشی یا زایشی شدیدا تحت تأثیر عناصر غذایی و آب قرار می‌گیرد. دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی کافی، مخصوصا نیتروژن از طریق تأثیر بر تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها در افزایش ارتفاع بوته بسیار مؤثر می‌باشد. شرایط نشان می‌دهد که جهت بهره‌مندی از خصوصیات هر دو گونه کود آلی و شیمیایی می‌توان از تلفیق کود شیمیایی با یکی دیگر از کودهای حیوانی یا ورمی کمپوست استفاده کرد. در این راستا ارکاسا و همکاران در سال ۲۰۰۲ تأثیر کاربرد تلفیقی کودهای ارگانیک و غیر ارگانیک را بر تولید سیب زمینی، کلم و گوجه فرنگی مورد بررسی قرار داده و بهبود خصوصیات خاک و قابل دسترس شدن عناصر غذایی آن در نتیجهٔ استفادهٔ تلفیقی کودهای دامی و شیمیایی را دلیل اصلی افزایش ارتفاع بوته گیاهان مذکور عنوان کردند.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوار تحت تاثیر سطوح کودی

Table 3. Mean comparison of yield and yield components of guar under effects of fertilizer levels.

Fertilizer	Seed yield (kg/h)	1000 seeds weight (g)	No of seeds in pod	Pod length (cm)	No of pods in plant	No of branches	Final hight (cm)
Fertilizer 1	4232.7^{a}	32.67^{ab}	9.16^{a}	8.65^{a}	41.79^{a}	4.62^{b}	99.99^{b}
Fertilize r2	4394.6^{a}	33.55^{a}	9.01^{a}	8.48^{a}	41.82^{a}	5.44^{a}	119.43^{a}
Animal manure 1	3020.5^{b}	33.55^{a}	9.11^{a}	8.16^{b}	36.95^{a}	4.34^{bc}	98.78^{b}
Animal manure 2	3069.5^{b}	31.28^{b}	8.88^{ab}	7.93^{bc}	36.91^{a}	4.86^{ab}	95.25^{b}
Vermicompost 1	2850.0^{b}	32.99^{ab}	8.60^{b}	7.75^{c}	23.31^{b}	3.92^{c}	77.23^{d}
Vermicompost 2	2631.8^{b}	33.74^{a}	8.96^{ab}	7.71^{c}	29.36^{b}	4.34^{bc}	86.98^{c}

Means with the same letter within each column are not significantly different at the 0.05 level according to LSD test.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوار تحت تاثیر سطوح تراکم

Table 4. Mean comparison of yield and yield components of guar under effects of density levels.

Plant density (plant per m2)	Seed yield (kg/h)	1000 seeds weight (g)	No of seeds in pod	Pod length (cm)	No of pods in plant	No of branches	Final hight (cm)
60	3646.3^{a}	33.55^{a}	8.83^{b}	7.70^{c}	46.32^{a}	6.13^{a}	88.86^{c}
75	3336.1^{a}	32.93^{a}	8.93^{ab}	8.13^{b}	37.51^{b}	4.76^{b}	94.61^{b}
90	3117.1^{a}	32.40^{a}	9.10^{a}	8.51^{a}	21.38^{c}	2.87^{c}	104.86^{a}

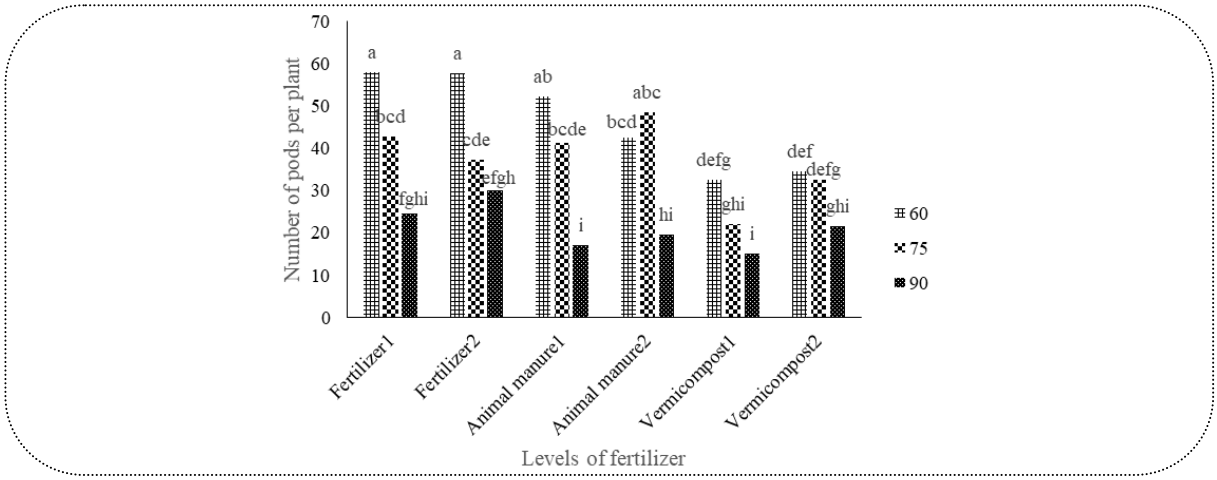
Means with the same letter within each column are not significantly different at the 0.05 level according to LSD test.

آزمایشات متعددی نشان داده است که با افزایش تراکم، ارتفاع بوته نیز افزایش می‌یابد. از این عکس‌العمل چنین استنباط می‌شود که هرچه تعداد بوته افزایش یابد نوری که به کف کانوپی می‌رسد کم شده و رقابت بین اندام‌های گیاه برای جذب بیشتر تشعشع زیاد می‌شود و از طرف دیگر تخریب نوری اکسین صورت می‌گیرد که مجموعه این عوامل می‌توانند باعث افزایش طول میانگره‌ها و افزایش ارتفاع بوته گردد (Duncan et al., 1984). با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که با افزایش ارتفاع بوته از تعداد شاخه‌های فرعی کاسته می‌شود که این امر احتمالاً با اثر غالبیت جوانه انتهایی و کاهش شرایط رشد برای جوانه‌های جانبی، در ارتباط می‌باشد.

تعداد شاخه در گیاه: بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر ساده تیمارهای کودی در ارتباط با صفت تعداد شاخه در گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. همچنین اثر ساده تراکم بوته نیز در ارتباط با صفت تعداد شاخه در گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل تیمارهای کودی در تراکم معنی‌دار نبود (جدول ۲). بالاترین تعداد شاخه متعلق به کود شیمیایی ۲ به تعداد ۵/۴۴ شاخه در گیاه و پایین ترین تعدادشاخه متعلق به تیمار ورمی‌کمپوست ۱ به تعداد ۳/۹۲ عدد شاخه در گیاه می‌باشد (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین اثرات تراکم بر تعداد شاخه جانبی در گیاه ملاحظه می‌شود که بیشترین تعداد شاخه جانبی به تعداد ۶/۱۳ شاخه در گیاه متعلق به تراکم ۶۰ بوته در متر مربع بود. رتبه بعدی تعداد شاخه به میزان ۴/۷۶ شاخه متعلق به تراکم ۷۵ بوته در متر مربع بود که کاهش ۳۰ درصدی را نشان می‌دهد و کمترین تعداد شاخه فرعی متعلق به تراکم ۹۰ بوته در متر مربع می‌باشد که کاهش ۱۱۴ درصدی را نسبت به تراکم ۶۰ بوته در متر مربع نشان می‌دهد (جدول ۴). گیاه گوار رشد عرضی بسیار خوبی دارد و در تراکم پایین می‌تواند با افزایش شاخه جبران کمبود بوته در واحد سطح را بنماید. ضمناً گاهی پتانسیل ژنتیکی گونه گیاهی زمینه افزایش تعداد شاخه در گیاه را فراهم می‌آورد. در آزمایش قادری و مقدم (۱۳۹۴) اثر متقابل کاربرد کود نیتروژن و تراکم کاشت بر گیاه زیره سبز نشان داد که تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و تراکم کشت ۵۰ بوته در مترمربع بیشترین تعداد شاخه فرعی (۹/۴ شاخه) را تولید نمود. افزایش تراکم کشت سبب می‌شود، رقابت بین گیاهان افزایش یابد و تعداد و سطح برگ در تک بوته کمتر می‌شود و با کاهش تراکم کشت رقابت بین بوته‌ها کمتر شده و فضای بیشتری در اختیار هر بوته قرار می‌گیرد، که سبب گسترش بوته می‌شود. نظر بر این است که تراکم بوته باعث افزایش در رقابت درون گونه‌ای می‌شود و با تحریک مریستم انتهایی و افزایش ارتفاع گیاه برای دریافت نور، تعداد شاخه کمتری تولید می‌شود، به عبارت دیگر افزایش تراکم بوته عاملی است که تحریک مریستم انتهایی بیشتر از مریستم‌های جانبی صورت می‌گیرد و گیاه رشد کمتری یافته و تعداد شاخه‌های آن کمتر می‌شود.

تعداد نیام در گیاه: نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات ساده تیمارهای کودی و تراکم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سطوح کودی در تراکم در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد نیام در گیاه معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین تعداد نیام در گیاه مشترکاً متعلق به تیمار کود شیمیایی ۱ و ۲ با تراکم ۶۰ بوته در متر مربع به میزان ۵۷/۹۸ نیام در بوته می باشد (شکل ۴). گیاه گوار دارای رشد عرض بالا می‌باشد در نتیجه افزایش تعداد شاخه در تراکم پایین می‌تواند سبب افزایش تعداد نیام در بوته گردد. کود شیمیایی نیز علاوه بر اینکه به سرعت عناصر غذایی را در اختیار گیاه قرار می‌دهد، در افزایش تعداد شاخه فرعی در گیاه نیز تأثیر مثبتی دارد که می‌تواند توجیه کننده تعداد بالای نیام در این تیمار باشد. پس از آن تیمار کود گاوی با تراکم ۶۰ بوته در متر مربع با میانگین ۴۷/۴۵ نیام در بوته قرار دارد که کاهش ۲۲ درصدی نسبت به تیمار کود شیمیایی را نشان می‌دهد (شکل ۴). در تیمار کود گاوی اگر چه شرایط خاک در

وضعیت بهتری قرار گرفته است ولی بطور کامل نتوانسته است نیاز غذایی گیاه را برآورده نماید و با کود شیمیایی رقابت کند. کمترین تعداد نیام متعلق به کود ورمی‌کمپوست ۱ در تراکم ۹۰ بوته در متر مربع به میزان ۱۵/۱۴ نیام در بوته می‌باشد که کاهش ۳۸۳ درصدی نسبت به کود شیمیایی ۱ در تراکم ۶۰ بوته را نشان می‌دهد. همه تراکم‌های ۹۰ بوته در متر مربع در همه تیمارهای کودی بجز کود شیمیایی ۲ در یک سطح و در پایین‌ترین میزان می‌باشند و دارای اختلاف معنی‌داری نیستند. می‌توان گفت که تراکم بالا در گیاه گوار صرف نظر از نوع و میزان کود مصرفی شدیدا میزان شاخه دهی را کاهش می‌دهد و به تبع آن تعداد نیام در بوته و در نهایت عملکرد اقتصادی را کاهش می‌دهد. تراکم کمتر، سبب رشد و افزایش شاخه‌های فرعی می‌شود و به تبع آن تعداد نیام نیز افزایش پیدا می‌کند و بر عکس در تراکم بالا تعداد شاخه فرعی کاهش می‌یابد و در نتیجه تعداد نیام نیز کاهش پیدا می‌کند با این حال افزایش تعداد بوته در متر مربع در گیاه گوار نتوانسته که جبران کاهش شاخه و نیام را بکند و در نتیجه عملکرد بیولوژیک و اقتصادی نیز کاهش یافته است. نتایج قلاوند و همکاران در سال ۱۳۸۸ نیز نشان داده است که کودهای آلی، زیستی و شیمیایی و برهمکنش دوجانبه آنها تأثیر معنی‌داری بر تعداد نیام در بوته و تعداد نیام بارور در نخود داشت که این نتایج تقریبا با نتایج آزمایش حاضر همخوانی‌دارد. اسکندری و اسکندری (۱۳۹۴) اظهار داشتند که تراکم بوته در گیاه کلزا منجر به کاهش تعداد شاخه فرعی در بوته شده، بنابراین تعداد نیام کمتری در بوته تولید می‌شود. همچنین تراکم‌های مختلف بوته در ارقام جدید و مختلف گونه‌های گیاهی می‌تواند تغییرات متفاوتی را در ساختمان، اندازه، میزان مقاومت به سرما و عملکرد دانه ایجاد نماید. ارقام کلزا به تراکم‌های مختلف (از ۸۰ تا ۲۴۰ بوته در متر مربع) واکنش متفاوتی نشان می‌دهند، بطوری که این موضوع سبب ایجاد اختلاف ارتفاع، قطر ساقه، تعداد شاخه در بوته و تعداد نیام در بوته ارقام مختلف می‌شود. طبق گزارش‌های موجود، افزایش تراکم بوته با کاهش تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، باعث کاهش عملکرد دانه در تک بوته می‌شود، اما افزایش مطلوب تراکم گاهی منجر به جبران کاهش شاخه‌های فرعی و اجزای عملکرد در گیاه از طریق افزایش تعداد بوته خواهد شد (فتحی، ۱۳۸۷). همه نتایج ذکر شده در بالا با نتایج آزمایش حاضر همسویی دارد بجز اینکه در آزمایش گوار افزایش تراکم نتوانست جبران افزایش شاخه‌های فرعی و نیام بیشتر را بکند چرا که گیاه گوار دارای پتانسیل زیادی در توسعه عرضی خود می‌باشد لذا تراکم کمتر سبب افزایش نیام و عملکرد شد.



Means with the same letter are not significantly different at the 0.05 level according to LSD test.

شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کودی و تراکم گیاه بر تعداد نیام در بوته

Figure 4. Mean comparison of interaction effects of fertilizer levels and plant density on number of pods per plant

طول نیام: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده تیمار کودی و تراکم بر طول نیام معنی‌دار بود. اثرات متقابل کود و تراکم بر طول نیام معنی‌دار نبود (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، بالاترین طول نیام متعلق به کود شیمیایی ۱ به میزان ۸/۶۵ سانتیمتر و کمترین میزان طول نیام متعلق به تیمار ورمی‌کمپوست ۲ به میزان ۷/۷۱ سانتیمتر بود. بین سطوح مختلف از یک نوع تیمار کودی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در ارتباط با تراکم با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها افزایش تراکم سبب افزایش طول نیام در گیاه گوار گردید. طول نیام در تراکم ۶۰ بوته در متر مربع ۷/۷۰ سانتیمتر و در تراکم ۷۵ بوته در متر مربع ۸/۱۳ سانتیمتر و در نهایت برای تراکم ۹۰ بوته در متر مربع ۸/۵۱ سانتیمتر بدست آمد (جدول ۴). در ارتباط کاربرد کودهای آلی و ورمی‌کمپوست به نظر می‌رسد در مرحله رشد رویشی به دلیل دسترسی بهتر به عناصر غذایی ماکرو و میکرو به فرمی که به آسانی برای گیاه قابل جذب است و هم چنین مواد بیولوژیک فعال موجود در ورمی‌کمپوست که همانند مواد تنظیم کننده رشد عمل می‌کنند باعث افزایش شاخص سطح برگ، جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و تولید ماده خشک بیشتر و افزایش عملکرد علوفه و بطور کلی اجزای عملکرد از جمله طول نیام شود. در مورد گیاه گوار و همچنین میزان محدود کاربرد این نوع از کودها برتری در بحث طول نیام ایجاد نکرد. در آزمایش واعظی راد و همکاران (۱۳۸۷) بر گیاه لوبیای قرمز، طول نیام در اثر تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌دار پیدا کرد، به نظر ایشان کوتاه بودن طول نیام الزاماً دلیل عملکرد کمتر دانه نمی‌شود بلکه عوامل زیاد دیگری از جمله تعداد نیام در بوته و وزن هزار دانه نیز در کاهش یا افزایش عملکرد دانه دخیل هستند. کودهای دامی با داشتن انواع مختلفی از عناصر غذایی اعم از کم مصرف و پرمصرف و بهبود خصوصیات خاک باعث افزایش عملکرد گیاهان می‌شود. از طرفی استفاده از کودهای دامی از لحاظ اقتصادی، مسائل زیست محیطی، اکولوژیکی، احتمال شیوع بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز در مزارع دارای محدودیت‌هایی می‌باشد و این مسائل در گلخانه که محیطی به شدت حساس است مخاطرات بیشتری ایجاد می‌کند (خندان و همکاران، ۱۳۸۴).

عملکرد دانه: سطوح کودی بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد، همچنین برهمکنش کود و تراکم نیز در ارتباط با عملکرد دانه معنی‌دار نشد (جدول ۲). بالاترین عملکرد مرتبط با کود شیمیایی ۲ به میزان ۴۳۹۴/۶ کیلوگرم در هکتار بود که با تیمار کود شیمیایی ۱ به میزان ۴۲۳۲/۷ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد دانه را ورمی‌کمپوست ۲ به میزان ۲۶۳۱/۸ کیلوگرم در هکتار داشت که با تیمار ورمی‌کمپوست ۱ اختلاف معنی‌دار نداشت ولی نسبت به تیمار کود شیمیایی ۲ حدودا ۶۷ درصد کاهش نشان داد. دو تیمار کود حیوانی با میانگین ۳۰۴۵ کیلوگرم در هکتار اگرچه از نظر عددی تفاوت قابل ملاحظه‌ای با تیمارهای ورمی‌کمپوست داشتند با این حال از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با آنها نداشتند و نسبت به کود شیمیایی۲ حدود ۴۴ درصد کاهش را نشان دادند (جدول ۳). حجم بیشتر کود حیوانی توانسته میزان بیشتری عناصر و مواد غذایی در اختیار گیاه قرار دهد لذا عملکردی بالاتر از ورمی‌کمپوست تولید کرده است ولی این میزان مواد غذایی نسبت به کود شیمیایی بطور بطئی‌تر در اختیار گیاه قرار گرفته است و سرعت رشد گیاه و دانه کمتر از تیمار شیمیایی شده است. عظیم زاده و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی در مورد گیاه کلزا گزارش کردند که تیمار استفاده از کود نیتروژنه در مقایسه با تمامی تیمارهای دیگر (کاربرد کود آلی) عملکرد دانه بیشتری تولید نمود. البته اختلاف عملکرد دانه در تیمار کود نیتروژنه با تیمار کاربرد ۱۱ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۵۰ تن در هکتار کود دامی اختلاف معنی‌داری نداشت، که با نتایج آزمایش حاضر در تطابق می‌باشد.

تراکم بوته با توجه به اینکه از نظر عددی تفاوت در عملکرد را نشان می‌دهد ولی از نظر آماری معنی‌دار نشد.

این نتیجه می‌تواند تا حدی حاکی از این باشد کـه افـزایش بوته در واحد سطح توانسته تا جبران کاهش شاخه فرعی و کاهش تعداد نیام در بوته را بنماید و عملکرد را بالا ببرد با این حال از نظر ظاهری و عددی هرچه تراکم بـالاتر رفتـه است میزان عملکرد دانه کاهش یافتـه اسـت. بـا توجـه بـه مقایسه میانگین‌ها، بیشترین عملکرد دانه به میـزان ۳۶۴۶/۳ کیلوگرم در هکتار متعلق به تراکم ۶۰ بوته در متر مربع بود. پس از آن تراکم ۷۵ بوته در متر مربع بـا ۳۳۳۶/۱ کیلـوگرم در هکتار قرار دارد که ۹ درصد کاهش را نشان مـی‌دهـد و کمترین میزان عملکرد به میزان ۳۱۱۷/۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به تراکم ۹۰ بوته در متر مربـع بـود کـه نسـبت بـه تراکم ۶۰ بوته در متر مربع ۱۷ درصد کاهش نشان می‌دهد. نتایج آزمایش حاکی از آن است که تراکم ۶۰ بوتـه در متـر مربع جهـت عملکـرد دانـه می‌توانـد یـک تـراکم بهینـه و مطلوب برای گیاه گوار در شرایط کشت آبی باشد (جـدول ۴). مهدی پور و همکاران در سـال ۱۳۹۸ در آزمایشـی بـر روی گیاه گـوار اظهـار داشـتند کـه در تـاریخ کاشـت اول خرداد بیشـترین عملکـرد دانـه در تراکم ۱۳۰ هزار بوته در هکتـار بـه دسـت آمـد و بـا افزایش تراکم بوته، عملکـرد دانه کاهش نشـان داد. آنهـا ایـن موضـوع را بـه دلیـل بیشـتر بـودن اجـزای عملکـرد در ایـن تـراکم نسـبت دادند. در آزمایشی دیگر بر روی گوار بیان شد کـه افزایش تراکم بوته تا حد بهینه مـی‌توانـد عملکـرد تـک بوتـه را کاهش دهد، اما عملکرد کلی از طریـق افـزایش تعداد بوته در واحـد سـطح جبـران شـده و مـی‌تـو ان در تراکم‌هـای بالاتر عملکرد دانه بیشتری را به دسـت آورد (Gresta et al., 2013). امـا اگـر تـراکم بوتـه گـوار بیشـتر از حـد مطلـوب شـود، بـه دلیـل افـزایش رقابـت بـین گونـه‌ای، عملکـرد دانـه کـاهش مـی‌یابـد (مهدی پور و همکاران، ۱۳۹۸). اسکندری و اسـکندری (۱۳۹۴) در تحقیقـی روی کلزا بیشترین عملکرد دانه را با مصـرف ۶/۵ کیلـوگرم بـذر در هکتار به دست آوردند، همچنین کمترین عملکرد دانه از مصرف ۳/۵ کیلوگرم بذر حاصل شد. معمولاً افزایش تراکم بوته باعث کاهش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه به دلیل کمبود فضا و رقابت گیاهـان بـرای جذب آب و عناصر غذایی می شـود. ولـی افـزایش تـراکم بوته در حد بهینه سبب جبران کـاهش اجـزای عملکـرد در گیاه از طریق افزایش تعداد بوتـه مـی‌شـود (فتحـی، ۱۳۸۷؛ Biljili et al., 2003; Lythgoe et al., 2001).

نتیجه گیری

از یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سـطوح کـود شـیمیایی بـه تنهـایی نمـی‌توانـد اثـر قابـل ملاحظه‌ای بر روی تعداد شاخه در بوته، تعداد نیام در بوته و عملکرد اقتصادی گیاه گوار داشته باشد. این موضـوع در ارتباط با توده‌های محلی بیشتر صدق می‌کند به ایـن دلیـل که عموماً توده‌های محلی نسبت به توده‌های اصـلاح شـده کود پذیری کمتری دارند، از طرف دیگر گیاه لگوم (گـوار) قادر است بخشی از نیازهـای تغذیـه‌ای خـود را از طریـق تثبیت نیتروژن اتمسفر تأمین نماید، لذا هم از جهت صـرفه اقتصادی و صرفه جویی در هزینه‌ها، سطح کودی اول (۶۰، ۷۰، ۷۰ کیلوگرم بـه ترتیـب نیتـروژن، فسـفر و پتـاس) در هکتار توصیه می‌گردد. از این طریق با مصـرف حـداقلی و بهینه کودهای شیمیایی از اثرات نامطلوب زیست محیطی و اکولـوژیکی آن کاسـته، و از اثـرات مخـرب و سـمی آنهـا خصوصا در ارتباط بـا گیاهـان دارویـی اجتنـاب می‌شـود. همچنین گوار یک گیاه عرضـی می‌باشـد و قـادر اسـت از طریق توسعه عرضی سطح کشت خـود را هماننـد گیاهـان تولید کننده پنجه تا حد ممکن به تراکم مطلوب برسـاند، از ایـن رو افـزایش تـراکم بـیش از حـد نـه تنهـا تـأثیری در عملکردهای مختلف آن نخواهد داشت بلکـه آن را کـاهش نیز خواهد داد لذا با توجه به یافته‌های ایـن تحقیـق تـراکم ۶۰ بوته در متر مربع برای کشت آبی این گیاه بهترین تراکم محسوب می‌شود.

منابع

اسکندری، م. و اسکندری، م. ۱۳۹۴. تاثیر میزان بذر بر عملکرد و بخی ویژگی‌های زراعی کلزا در کشت بهاره تحت شرایط دیم. *مجله تنشهای محیطی در علوم زراعی*، ۸ (۲): ۱۵۸-۱۴۹.

امام، ی. و نیک نژاد، و. ۱۳۹۰. *مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی* (ترجمه). چاپ سوم، انتشارات دانشگاه شیراز، ۵۹۴ صفحه.

امیری ده احمدی، س. ر.، پارسا، م.، نظامی، ا. و گنجعلی، ع. ۱۳۸۹. تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی بر شاخص‌های رشد نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط گلخانه. *نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران*، ۱ (۲): ۸۴-۶۹.

ترکمنی، ن. و علیخانی، ح. ا. ۱۳۸۷. *مقایسه ورمی‌کمپوست از کود گاوی، گوسفند و مرغی در سطوح مختلف*. سومین کنگره بازیافت ضایعات ارگانیک کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان، ایران. ۲۴-۲۶.

خندان، ا.، آستارایی، ع.، نصیری محلاتی، م. و فتوت، ا. ۱۳۸۴. تأثیر سطوح مختلف کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata Forsk*) *مجله پژوهش‌های زراعی ایران*، جلد ۳ (۲): ۲۵۳ – ۲۴۵.

عظیم زاده، س. ج.، نصیری محلاتی، م. و کوچکی، ع. ۱۳۹۵. بررسی امکان جایگزینی کودهای آلی با کود شیمیایی در زراعت کلزا (*Brassica napus*). *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۴ (۴) : ۵۹۸- ۵۸۷.

فتحی، ق. ۱۳۸۷. واکنش عملکرد دانه ارقام کلزا به تراکم‌های مختلف بوته. *مجله علوم گیاهان زراعی ایران*، ۳۹ (۱): ۱۰-۱.

قادری، ی. و مقدم، م. ۱۳۹۴. اثر تراکم کاشت و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.). *مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی*، ۷(۲۳): ۱۰۴-۱۱۲.

قلاوند، ا.، محمدی، خ.، آقاعلیخانی، م. و سهرابی، ی. ۱۳۸۸. تاثیر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر عملکرد و کیفیت نخود. *دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)*، ۱۹(۲):۲۱۳-۲۲۹.

کوچکی، ع.، راشد محصل، م.ح.، مفیدی، م. و رصد آبادی. ۱۳۶۷. *مبانی فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان زراعی* (ترجمه). چاپ اول. موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۴۰۴ صفحه.

کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ. ۱۳۸۷. *فیزیولوژی گیاهان زراعی* (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، جاپ جهاردهم، ۴۰۰ صفحه.

محمدی، خ. ۱۳۷۷. *بررسی کشت مستقیم برنج به روش خشکه کاری*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جیرفت.

مهدی پور افرا، م.، آقاعلیخانی، م. مختصی بیدگلی ع. و صوفی زاده، س. ۱۳۹۸. اثر زمان کاشت و تراکم بوته بر رشد و عملکرد دانه دو اکوتیپ گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *مجله علوم زراعی ایران*. ۲۱(۲): ۱۲۶– ۱۰۹.

واعظی راد، س.، شکاری، ف.، شیرانی راد، ا. و زنگانی، ا. ۱۳۸۷. اثر تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ارقام لوبیای قرمز. *مجله دانش نوین کشاورزی*، ۴: (۱۰)، ۹۴–۸۵.

Asadi, G. A., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, M., Khorramdel, S. 2013. Effects of organic and chemical fertilizer rates on nitrogen efficiency indices of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). Agroecology, 5(4): 373-382.

Baloch, A.W., Soomro, A.M., Javed, M.A., Ahmed, M., Bughio, H.R., Bughio, M.S. and Mastoi, N.N. 2002. Optimum plant density for high yield in rice (*Oryza sativa* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 1: 25-27.

Biljili, U., Sincik, M., Uzan, A. and Acikgoz, E. 2003. The influence of row spacing and seeding rate on seed yield and yield components of forage turnip (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 189 (4): 250-254.

Blaise, D., Singh, J.V., Bonde, A.N., Tekale, K.U. and Mayee, C.D. 2005. Effects of farmyard manure and fertilizers on yield, fiber quality and nutrient balance of rain fed cotton (*Gossypium hirsutum*). *Bioresource Technology* 96: 345-349.

Chatterjee, S. K. 2002. Cultivation of medicinal and aromatic plants in India a commercial approach. Proceedings of an International Conference on MAP, Acta Horticulture, *International Society for Horticultural Science*, 576: 191-202.

Duncan, W.G. 1984. A theory to explain the relationship between corn population and grain yield. *Crop Science*, 24: 1140-1145.

El-Sayed, K. A. , Ross, S. A. , El-Sohly, M. A. , Kh alafall, M. M. , Abdel Halim, O. B. and Ikegami, F. 2000. Effect of different fertilizers on the amino acid, fatty acid and essential oil composition of Nigella sativa seeds. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 8: 175-182.

Erkossa, T., Stahr, K. and Tabor, G. 2002. Integration of Organic and Inorganic Fertilizers: Effect on Vegetable Productivity. Ethiopian Agricultural research Organization, Debre Zeit Agricultural Research Centre, Ethiopia.

Gresta, F., O. Sortino, C. Santonoceto, L. Issi, C. Formantici and Y. Galante. 2013. Effects of sowing times on seed yield, protein and galactomannans content of four varieties of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in a Mediterranean environment. Ind. Crop Prod. 41: 46-52.

Grover, K., S. Singla, S. Angadi, S. Begna, B. Schutte, and D. Leeuwen. 2016. Growth and yield of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under different planting dates in the semi-arid southern high plains. *American Journal of Plant Sciences*. 7: 1246-1258.

Guarda, G. , Padovan, S. and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, 21: 181-192.

Ibrahim, H.M. 2012. Response of some sunflower hybrids to different levels of plant density. APCBEE Procedia, 4: 175-182.

Johnson B.L. and Hanson B.K. 2003. Row-spacing interception on spring canola performance in the northern great plains. *Agronomy Journal* 95: 703-708.

Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of springwheat (*Triticum aestivum*) inoculated with Azotobacter chroococcum strains. *Ecological Engineering*, 33: 150-156.

Lythgoe, B., Norton, R.M., Nicolas, M.E. and Conner, D.J. 2001. Compensatory and competitive ability of two canola cultivars. In: proc. 8th Australian Agronomy Conference, pp: 1-8.

Mohammadnejad, A., Najafi, N., Nishabouri, M.R. 2015. Effects of three types of organic fertilizers on the growth characteristics and water use efficiency of corn at different levels of soil compaction. J. of Soil Management and Sustainable, 5(2): 25-47.

Momen Keykha, M., Khammari, I., Dahmardeh, M., and Forouzandeh, M. 2018. Assessing yield and physiological aspects of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) intercropping under different levels of nitrogen. Journal of Agroecology 9(4): 1050-1069.

NIAM, (National Institute of Agricultural Marketing www. ccsniam. gov. in). 2014. An Analysis of Peformance of Guar Crop in India. Prepared by: Hema Yadav, Enamul Haque, Ajit Kumar Prasad, Anu Peter V, Manisha Shah, Pratima Goswami, Rahul and Sandesh V Pednekar. Pp. 98.

Orozco, F. H. , Cegarra, J. , Trujillo, L. M. and Roig, A. , 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm Eisenia fetida: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils*, 22: 162-166.

Rahimi, A. , Jahansozb, M. R. , Madah Hoseini, S. , Sajjadinia, A. R. , Roosta, H. R. and Fateh, E. 2011. Water use and water-use efficiency of Isabgol (*Plantago ovata*) and French psyllium (*Plantago psyllium*) in different irrigation regimes. *Australian Journal of crop Science*, 5 (1): 71-77.

Rezvani Moghaddam, P., Mohammadabadi, A.A., Moradi, R. 2010. The effect of application of chemical and organic fertilizers on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) in different plant densities. Agroecology, 2(2): 256-265.

Salvagiotti, F. , Castellarín, J. M. , Miralles, D. J. and Pedrol, H. M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*, 113: 170- 177.

Sarmal, P.C., Katyal, S.K. and Verma, O.P.S. 1992. Growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus*) varieties in relation to fertility level and plant population. *Indian Journal of Agronomy*, 37: 285-289.

Undersander, D.J., Putnam, D.H., Kaminski, A.R., Kelling, K.A., Doll, J.D., Oplinger, E.S., and Gunsolus, J.L. 1997. Alternative Field Crops: Guar. Available at Website www.hort.purdue.edu/newcrop/ articles/guar.htm..

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۱۲۰- ۱۰۵)
مقاله پژوهشی

تأثیر نیتروژن و تراکم بوته بر صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد کاسبرگ چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در شرایط آب و هوایی ایرانشهر

سید غلامرضا موسوی [۱*]، حامد جوادی [۲]، محمد جواد ثقه‌الاسلامی [۳]، مجتبی صلواتی [۴]

۱- نویسنده مسئول و دانشیار گروه زراعت، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران
s_reza1350@yahoo.com
۲- استادیار گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور بیرجند، بیرجند، ایران.
h_javadi@pnu.ac.ir
۳- دانشیار گروه زراعت، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.
mjseghat@yahoo.com
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.
Mojtaba.sa57@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۲ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳**

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سطوح کود نیتروژن و تراکم بوته بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد کاسبرگ چای ترش در منطقه ایرانشهر آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با و ۳ تکرار در سال ۱۳۹۳ در ایرانشهر انجام شد. در این تحقیق نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به‌عنوان فاکتور اصلی و تراکم بوته در چهار سطح (۵، ۶/۷، ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع) به‌عنوان فاکتور فرعی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، قطر ساقه، تعداد انشعابات ساقه اصلی، تعداد میوه در بوته، تعداد میوه در مترمربع، عملکرد خشک کاسبرگ و عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری و به ترتیب ۱۵/۸، ۱۳۵/۸، ۱۰۴/۷، ۱۰۴/۴، ۱۰۸/۸ و ۳۰/۵ درصد افزایش پیدا کرد. همچنین با افزایش تراکم از ۵ به ۲۰ بوته در مترمربع، قطر ساقه، تعداد انشعابات ساقه اصلی و تعداد میوه در بوته به‌طور معنی‌داری و به ترتیب ۲۴/۱، ۷۶/۶ و ۳۷/۳ درصد کاهش یافت، هرچند که تعداد میوه در مترمربع (۱۲۵/۶ درصد)، عملکرد خشک کاسبرگ (۱۰۵/۷ درصد) و عملکرد بیولوژیک (۸۸/۵ درصد) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طورکلی بر اساس نتایج این تحقیق کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع برای زراعت چای ترش در ایرانشهر پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: چای ترش، اوره، تراکم، تعداد میوه، کاسبرگ، تعداد شاخه اصلی.

مقدمه

استفاده از گیاهان دارویی برای تهیه دارو با هدف پیشگیری و درمان بیماری‌ها از روزگار کهن مورد توجه متخصصان طب سنتی بوده است (Nemati et al., 2015). امروزه به دلیل مشخص شدن عوارض جانبی داروهای شیمیایی، گرایش به مصرف داروهای گیاهی در حال افزایش است (Hecl and Sustrikova, 2006). از این‌رو به منظور پایداری و اطمینان از تأمین نیازهای دارویی بشر، لازم است تا الگوهای کشت در سیستم‌های کشاورزی از طریق وارد کردن گونه‌های زراعی- دارویی اصلاح گردد و زمینه برای اشتغال، ثبات تولید و امنیت غذایی و دارویی فراهم گردد (Rezvani Moghaddam, 2008).

چای ترش یا چای مکی با نام انگلیسی Roselle و نام علمی *Hibiscus sabdariffa L.* گیاه دارویی یک یا چندساله می‌باشد که سازگار با آب و هوای گرم و بومی آفریقا است (Rahbarian et al., 2011). چای ترش به‌واسطه داشتن خواص دارویی و استفاده در غذاهای محلی و صنعتی، در برخی از کشورهای جهان در زمره مهم‌ترین گیاهان زراعی - دارویی به شمار می‌آید (Sanoussi et al., 2011) که از برگ آن به‌عنوان سبزی خوراکی، از دانه‌های آن به‌عنوان تقویت‌کننده و یک منبع غنی از پروتئین استفاده می‌شود (Maksoud and Hosni, 1997; Louis et al., 2013). کاسبرگ‌های این گیاه مهم‌ترین قسمت قابل استفاده این گیاه بوده که ممکن است به رنگ سبز، قرمز یا قرمز تیره باشند (Schippers, 2000). کاسبرگ‌های سبز برای تهیه خورش سبزی و کاسبرگ‌های قرمز و قرمز تیره برای ساخت نوشیدنی‌ها، ژله، بستنی، کیک، مربا، سس، چاشنی، رنگ، عطر، نگهدارنده، آب‌میوه و چای (Egharevba and Law-Ogbomo, 2007; Ismail et al., 2008; Louis et al., 2013) استفاده می‌شوند. در طب سنتی نیز از کاسبرگ‌های آن برای درمان فشارخون، ضایعات کبدی، سرطان، تب و بیماری‌های التهابی استفاده می‌شود (Ibrahim and Hssein, 2006; Louis et al., 2013).

عناصر غذایی از جمله نیتروژن با تأثیری که بر رشد رویشی و زایشی گیاهان دارند، تغییراتی را در عملکرد ایجاد نموده و کمیت و کیفیت مواد مؤثره آن را در گیاهان دارویی تحت تأثیر قرار می‌دهند (Bashirifar et al., 2016) عنصر نیتروژن بخش اصلی بسیاری از ترکیب‌های شیمیایی مانند پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک بوده و قسمتی از سبزینه (کلروفیل) را نیز تشکیل می‌دهد و در فرآیندهای فتوسنتز و افزایش سطح برگ تأثیر مستقیم دارد (Ojaqhlo, 2007).

در تحقیقی در مورد تأثیر سطوح آبیاری و نیتروژن (صفر، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) در گیاه چای ترش گزارش شد که اثر سطوح کود نیتروژن بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد میوه در مترمربع، عملکردتر و خشک کاسبرگ، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت کاسبرگ در بوته معنی‌دار بود و افزایش کاربرد نیتروژن از صفر به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار صفات مذکور را به طور معنی‌داری افزایش داد (Sepahrom and Moosavi, 2016). در تحقیقی دیگر، نشان داده شد که محلول‌پاشی نیتروژن، باعث بهبود صفات کمی چای ترش در منطقه جیرفت شد و باعث افزایش شاخص های عملکرد شامل قطر ساقه، ارتفاع بوته، وزن‌تر و خشک کاسبرگ گردید (Raeisisarbijan et al., 2016). بر اساس نتایج تحقیق یاد شده بیشترین و کمترین وزن خشک کاسبرگ در مترمربع با میانگین‌های ۱۷/۸۱ و ۲۱/۲۷ گرم در مترمربع به ترتیب از تیمارهای عدم محلول‌پاشی کود نیتروژن و محلول‌پاشی با غلظت سه درصد نیتروژن بدست آمد. در تحقیقی گزارش شد که بیشترین تعداد میوه در بوته چای ترش با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد (Atta et al., 2010). همچنین در پژوهشی دو ساله در مورد تأثیر مقادیر صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم اوره در هکتار بر چای ترش گزارش شد که افزایش مصرف اوره از

صفر به ۷۵ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش معنی‌دار تعداد میوه در بوته و عملکرد کاسبرگ در سال دوم آزمایش گردید، اما در سال اول تحقیق بین سطوح کاربرد ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم اوره در هکتار از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (Oyewole and Mera, 2010).

نیاز گیاهان به این نیتروژن با توجه به نوع گیاه، شرایط اقلیمی و مزرعه از جمله تراکم بوته در واحد سطح متفاوت می‌باشد. تراکم مناسب بوته از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رشد و تولید گیاهان دارویی بوده و عامل مؤثری در حصول عملکرد بهینه از طریق حداکثر استفاده از نور و منابع غذایی است (Omidbeigi and Hasani Malayeri, 2007). پارسا مطلق و همکاران (Parsa Motlagh et al., 2017) گزارش کردند که با افزایش تراکم بوته ناشی از کاهش فاصله بین ردیف‌های کاشت، ارتفاع بوته، عملکرد کاسبرگ، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک افزایش یافت ولی تعداد انشعابات ساقه اصلی، تعداد غوزه در بوته وزن خشک کاسبرگ در بوته روند کاهشی داشت. در این تحقیق تغییر در فاصله بین ردیف، اثر معنی‌داری را بر صفت شاخص برداشت کاسبرگ باعث نشد (Parsa Motlagh et al., 2017). در تحقیق دیگری گزارش شد که با افزایش تراکم بوته چای ترش تا ۱۸ بوته در متر مربع، ارتفاع بوته و عملکرد کاسبرگ در واحد سطح به طور معنی‌داری افزایش و قطر ساقه کاهش یافت (Khattak et al., 2016). همچنین نتایج تحقیق دیگری نشان داد که عملکرد تر و خشک کاسبرگ در چای ترش با افزایش تراکم بوته از طریق کاهش فاصله ردیف‌های کاشت و فاصله بوته‌ها روی ردیف به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند (Gebremedin and Asfaw, 2017).

در بررسی اثر تراکم بر عملکرد گیاه بامیه (*Abehmoschus esculentus* L.) در هند گزارش شد که با افزایش تراکم بوته، ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت اما قطر ساقه و تعداد شاخه فرعی کاهش معنی‌داری را نشان داد (Maurya et al., 2013).

با توجه به مطالب فوق و نظر به اینکه در مورد واکنش گیاه چای ترش به تغییر همزمان مقادیر مصرفی کود نیتروژن و تراکم بوته اطلاعات زیادی در دسترس نمی‌باشد، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح کود نیتروژن و تراکم بوته بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد کاسبرگ چای ترش در منطقه ایرانشهر انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۳ در مزرعه‌ای در ۶ کیلومتری شرق شهرستان ایرانشهر در حوالی جاده ایرانشهر- ابتر با مختصات جغرافیایی ۶۰ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۵۸۰ متر از سطح دریا به‌صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش مقدار نیتروژن مصرفی و تراکم بوته در واحد سطح بود که کود نیتروژن در چهار سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به‌عنوان فاکتور اصلی و تراکم بوته در چهار سطح (۵، ۶/۷، ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع) به‌عنوان فاکتور فرعی مورد مطالعه قرار گرفت. طول هر کرت آزمایشی ۶ متر و عرض آن ۲ متر بود و در هر کرت ۴ خط کاشت در نظر گرفته شد. فواصل بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف برای ایجاد تراکم‌های ۵، ۶/۷، ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر تنظیم شد. همچنین بین کرت‌های اصلی، فاصله ۲ متر و بین کرت‌های فرعی، فاصله ۱ متر در نظر گرفته شد.

پس از نمونه‌برداری از خاک مزرعه و تعیین خصوصیات فیزیکوشمیایی آن (جدول ۱)، عملیات زراعی طبق عرف منطقه انجام شد و در نیمه اول فروردین‌ماه ۱۳۹۳ پس از دو دیسک عمود بر هم تسطیح زمین انجام گردید. بر اساس آزمایش خاک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در

هکتار سولفات پتاسیم و به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل قبل از عملیات خاک‌ورزی استفاده شد. بذر چای ترش مورد استفاده از توده محلی منطقه دلگان ایرانشهر تهیه شد. عملیات کاشت پس از ضدعفونی کردن بذور با قارچ‌کش بنومیل با نسبت ۴ در هزار، در تاریخ ۱۶ فروردین به‌صورت دستی در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری و به‌صورت ردیفی انجام شد. آبیاری اول پس از کاشت انجام شد و در طول دوره رشد نیز هر ۸ تا ۱۰ روز آبیاری صورت گرفت. در مرحله ۴ برگی تراکم‌های مورد نظر در هر یک از تیمارها با حذف بوته‌های اضافی ایجاد گردید. وجین علف‌های هرز در سه نوبت در طی فصل رشد انجام شد. کود نیتروژن از منبع اوره در چهار نوبت استفاده شد که نوبت اول آن در اولین آبیاری پس از تنک نهایی در اواسط اردیبهشت، نوبت دوم اواخر خرداد، نوبت سوم اواسط مرداد و نوبت آخر همزمان با شروع فاز زایشی در اواسط مهرماه در اختیار گیاه قرار گرفت.

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری
Table 1. Results of soil analysis for experiment local in depth of 0-30 cm

Soil texture	EC (ms/cm-1)	PH	Organic carbon (%)	Total nitrogen (%)	Available P (ppm)	Available K (ppm)
loam	3.21	8.17	0.33	0.025	6.27	204

برداشت در دو مرحله انجام گرفت، در نوبت اول یک خط از دو خط میانی کاشت با رعایت اثر حاشیه‌ای (۱ متر ابتدا و انتهای هر خط) در هر کرت، بوته‌ها کف بر شده و پس از جداسازی کاسبرگ‌ها از قوزه‌ها، خشک کردن کاسبرگ‌ها و شاخ و برگ انجام گرفت. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، ارتفاع اولین شاخه از سطح زمین، تعداد انشعابات ساقه اصلی و طول میوه، با رعایت اثر حاشیه‌ای (دو خط کناری و یک متر ابتدا و انتهای دو خط وسط) در هر کرت آزمایشی، تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و در اوایل آبان صفات مذکور در آن‌ها اندازه‌گیری شد.

برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد کاسبرگ در ۱۵ آذرماه و زمانی که کاسبرگ‌ها کاملاً از قوزه جدا شد، در هر کرت آزمایشی تعداد ۱۰ بوته از قسمت میانی دو خط وسط هر کرت آزمایشی برداشت گردید. سپس برای تعیین تعداد میوه در واحد سطح تمام میوه‌های روی ۱۰ بوته مذکور برداشت و شمارش شد. برای تعیین عملکرد خشک کاسبرگ در واحد سطح، نیز جدا کردن کاسبرگ‌ها از میوه‌های شمارش شده انجام گردید و سپس کاسبرگ‌های مربوط به هر کرت در پاکت و درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد و بعد از اطمینان از خشک شدن، وزن خشک کاسبرگ‌ها در واحد سطح نیز با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم مشخص گردید. تمامی قوزه‌ها (میوه بدون کاسبرگ) و شاخ و برگ هر ۱۰ بوته برداشت شده نیز برای مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا وزن خشک آن‌ها تعیین شود. عملکرد بیولوژیک از حاصل جمع وزن‌های خشک شاخ و برگ، قوزه و کاسبرگ بدست آمد. لازم به ذکر است که با توجه به برداشت ده بوته در هر کرت آزمایشی، برای تعیین عملکردهای خشک کاسبرگ و بیولوژیک در واحد سطح در هر یک از سطوح تراکمی، عدد حاصل برای صفات مذکور در ضرایب ۲، ۱/۴۹ ، ۱ و ۰/۵ به ترتیب برای تراکم‌های ۵، ۶/۷، ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع ضرب گردید. در نهایت وزن خشک کاسبرگ در تک میوه از تقسیم عملکرد خشک کاسبرگ در واحد سطح به تعداد میوه در واحد سطح بدست آمد و شاخص برداشت کاسبرگ در بوته نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

۱۰۰× (عملکرد بیولوژیک/ عملکرد خشک کاسبرگ) = شاخص برداشت کاسبرگ در بوته

در پایان تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید و برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

صفات مورفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تغییر در مقدار نیتروژن مصرفی به‌طور معنی‌داری قطر ساقه و تعداد انشعابات ساقه اصلی را تحت تأثیر قرار داد و اثر تراکم نیز بر صفات مذکور و طول میوه معنی‌دار بود. همچنین اثرمتقابل نیتروژن و تراکم بوته بر تعداد انشعابات ساقه اصلی چای ترش معنی‌دار شد (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که هر چند کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، افزایش معنی‌دار ۱۵/۸ درصدی قطر ساقه را در مقایسه با تیمار عدم کاربرد نیتروژن به دنبال داشت ولی بین سطوح کاربرد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت آماری در این صفت مشاهده نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها برای صفت تعداد شاخه های ساقه اصلی نیز نشان داد که افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، به ترتیب باعث افزایش معنی داری معادل ۶۲، ۱۰۴/۱ و ۱۳۵/۸ درصد در این صفت گردید (جدول ۳). با توجه به نقش نیتروژن در تحریک رشد رویشی گیاه، به نظر می‌رسد افزایش مصرف نیتروژن باعث افزایش قابلیت دسترسی ریشه چای ترش به این عنصر ضروری شده و پتانسیل شاخه‌دهی گیاه را افزایش داده است. همچنین کاربرد این کود با تولید شاخ و برگ بیشتر و افزایش دوام و شاخص سطح برگ (Lack, 2013)، توانسته است مواد فتوسنتزی کافی برای افزایش قطر ساقه را فراهم نماید. تحقیقات مشابهی در خصوص چای ترش و مرزه در مورد تأثیر مصرف نیتروژن بر افزایش قطر ساقه گزارش شده است (Raeisisarbijan et al., 2016; Mumivand et al., 2011). همچنین طی تحقیقی مشاهده شد که با مصرف آهن و نیتروژن، ساخت مواد فتوسنتزی در گیاه و قطر ساقه افزایش یافت (Mardaninejad et al., 2002). در مطالعه تأثیر سطوح نیتروژن (صفر، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) در برازمبل (*Perovskia abrotanoides L.*) گزارش شد که بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمار کاربرد ۴۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد (Jafari et al., 2015). افزایش ۱۱/۸ و ۲۳/۵ درصدی تعداد انشعابات ساقه اصلی با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در شنبلیله نیز گزارش شده است (Khosravi et al., 2014).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر نیتروژن و تراکم بوته بر صفات مورفولوژیکی چای ترش

Table 2. Analysis of variance of the effect of nitrogen and plant density on morphological traits of roselle

Source of variation	df	Mean square			
		Plant height	Stem diameter	Number of branches	Fruit length
Replication	2	5140.045 ^{ns}	13.941 ^{ns}	0.619 ^{ns}	0.639 ^{ns}
Nitrogen (A)	3	738.145 ^{ns}	25.294 *	8.744 **	0.081 ^{ns}
Erorr a	6	2435.522	5.074	0.466	0.901
Density plant (B)	3	199.683 ^{ns}	46.631 **	24.688**	2.657*
A × B	9	230.453 ^{ns}	8.316 ^{ns}	0.99**	0.646 ^{ns}
Erorr b	24	302.419	4.218	0.211	0.713
CV (%)		10.2	11.73	18.06	4.18

**، * و n.s به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

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

با افزایش تراکم از ۵ به ۶/۷، ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع، تعداد انشعابات ساقه اصلی به ترتیب ۲۹/۶، ۵۷/۵ و ۷۶/۶ درصد و قطر ساقه به ترتیب ۸/۹، ۱۳/۲ و ۲۴ درصد کاهش پیدا کرد و طول میوه چای ترش نیز به‌طور معنی‌داری با افزایش تراکم بوته از ۵ به ۲۰ بوته کاهش یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد در تراکم‌های پایین‌تر به دلیل وجود فضای بیشتر برای هر بوته در بخش هوایی و زیرزمینی و در نتیجه رقابت کمتر برای نور و مواد غذایی و نیز فتوسنتز بیشتر گیاه، نور به بخش‌های پایینی بهتر نفوذ کرده و غالبیت انتهایی از طریق تجزیه اکسین کاهش یافته (Rahbarian et al., 2011) و بنابراین با کاهش تراکم از ۲۰ به ۱۰، ۶/۷ و ۵ بوته، تعداد انشعابات ساقه اصلی در بوته افزایش معنی‌داری را نشان داده است. به عبارتی در تراکم‌های زیاد منابع غذایی از جمله نیتروژن بین تعداد بوته‌های بیشتری تقسیم‌شده و در نتیجه علاوه بر فضای قابل‌دسترس کمتر برای هر بوته این موضوع نیز باعث می‌شود تا تعداد انشعابات ساقه اصلی تولیدشده در بوته نسبت به تراکم‌های پایین‌تر، کاهش یابد. می‌باشد. پارسا مطلق و همکاران (Parsa Motlagh et al., 2017) در چای ترش، سپهری و وزیری امجد (Sepehri and Vaziriamjad, 2015) در کاسنی و کشفی و همکاران (Kashfi et al., 2011) در نخود گزارش کردند که افزایش تراکم کاهش معنی‌دار تعداد شاخه در بوته را به دنبال دارد که نتایج تحقیق حاضر را تائید می‌نماید.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های صفات مورفولوژیکی چای ترش تحت تأثیر اثرات ساده نیتروژن و تراکم بوته
Table 3. Simple effects of nitrogen and plant density on morphological traits of roselle

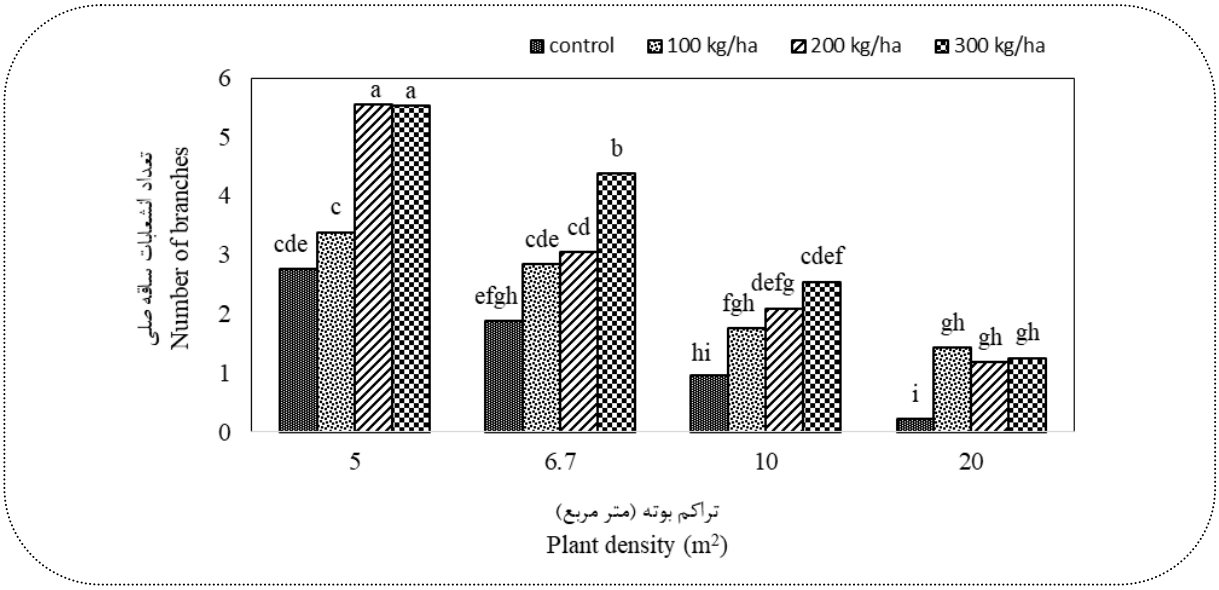
Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of branches	Fruit length (mm)
Nitrogen (kg. ha-1)				
0	163.00 a	15.55 b	1.45 c	20.22 a
100	165.98 a	18.55 a	2.35 b	20.28 a
200	171.99 a	17.91 a	2.96 ab	20.11 a
300	180.78 a	18.01 a	3.42 a	20.28 a
Plant density (m2)				
5	164.63 a	19.79 a	4.30 a	20.72 a
6.7	170.56 a	18.02 b	3.03 b	20.22 ab
10	173.26 a	17.18 b	1.83 c	20.11 ab
20	173.30 a	15.04 c	1.01 d	19.83 b

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P ≤ ۰/۰۵).
In each column and for each factor, same letter(s) shows non-significant difference (P≥0.05)

از طرفی با کاهش تراکم بوته، به علت سطح برگ و توان فتوسنتزی بیشتر در هر بوته (وجود مبدأ قوی‌تر)، قطر ساقه نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). بدیهی است که با افزایش تراکم بوته به علت افزایش رقابت بین بوته‌ای قدرت فتوسنتزی بوته و به علت افزایش رقابت درون بوته‌ای و نامحدود رشد بودن گیاه چای ترش، سهم ساقه از مواد فتوسنتزی کاهش یافته و در نتیجه قطر ساقه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. یافته‌های زارعی وهمکاران (Zarei et al., 2014) در کاسنی و دادخواه وهمکاران (Dadkhah et al., 2009) در بابونه نیز بیانگر تأثیر منفی افزایش تراکم بوته بر قدرت شاخه‌زایی گیاه می‌باشد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

همچنین کاهش طول میوه با افزایش تراکم بوته در واحد سطح را می‌توان به کاهش توان فتوسنتزی گیاه به علت افزایش رقابت بین بوته‌ای و نیز کاهش سهم بخش زایشی (میوه) از مواد فتوسنتزی گیاه به علت افزایش رقابت درون بوته‌ای (بین بخش رویشی و زایشی) مربوط دانست. در تحقیقی در تراکم بالا کاهش معنی‌دار طول میوه در بامیه نیز گزارش شده است (Maurya et al., 2013).

مقایسه میانگین‌های اثرمتقابل نیتروژن و تراکم بوته نشان داد که بیشترین تعداد انشعابات ساقه اصلی با میانگین ۵/۵۴ مربوط به تیمار مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۵ بوته در مترمربع بود و کمترین تعداد انشعابات ساقه اصلی با میانگین ۰/۲۱ مربوط به تیمار عدم مصرف کود نیتروژن و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بود (شکل ۱). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد افزایش مصرف نیتروژن از ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع تغییر معنی‌داری را در تعداد انشعابات ساقه اصلی نداشته است اما در تراکم‌های ۵ و ۶/۷ بوته در مترمربع افزایش مصرف نیتروژن از ۱۰۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش معنی‌دار این صفت را به دنبال داشته است. به نظر می‌رسد این واکنش متفاوت به مقدار مصرف نیتروژن در تراکم‌های مورد مطالعه در خصوص شاخه‌زایی گیاه چای ترش به این دلیل است که در تراکم‌های پایین به علت رقابت کمتر بین بوته‌های مجاور وجود فضای کافی، کاربرد بیشتر نیتروژن باعث تحریک رشد رویشی و افزایش شاخه‌زایی گیاه شده است اما در تراکم‌های بالا به علت افزایش رقابت درون و بین بوته‌ای و همچنین کمبود فضا برای هر بوته، این افزایش مصرف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر روند شاخه‌زایی گیاه نداشته است.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثرمتقابل نیتروژن و تراکم بوته بر تعداد انشعابات ساقه اصلی چای ترش

Figure 1. Comparison of the mean of nitrogen interactions and plant density on the number of branches main stem of roselle

اجزای عملکرد و عملکرد کاسبرگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل کود نیتروژن و تراکم بوته بر تعداد میوه در بوته و تعداد میوه در مترمربع در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما وزن خشک کاسبرگ در میوه تحت تأثیر اثرات ساده و متقابل کود نیتروژن و تراکم بوته قرار نگرفت. همچنین تغییر در مقدار مصرف نیتروژن و تراکم بوته، عملکرد خشک کاسبرگ در واحد سطح را به‌طور معنی‌دار و در سطح یک

درصد تحت تأثیر قرار داد اما اثرمتقابل آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۴).

مقایسه میانگین‌ها بیانگر تأثیر مثبت مصرف کود نیتروژن بر تعداد میوه در بوته و مترمربع است، به‌طوری‌که با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد میوه در بوته و تعداد میوه در مترمربع به‌طور معنی‌دار و به ترتیب ۱۰۴/۷ و ۱۰۴/۴ درصد افزایش یافت. همچنین افزایش مصرف کود نیتروژن تأثیر مثبتی بر وزن خشک کاسبرگ داشت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد خشک کاسبرگ با میانگین ۱۰۷۰/۳۴ کیلوگرم در هکتار از تیمار کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد که از برتری معنی‌دار ۱۰۸/۸، ۱۴/۳ و ۱۵/۱ درصدی به ترتیب نسبت به عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برخوردار بود (جدول ۵).

به نظر می‌رسد از علل افزایش معنی‌دار تعداد میوه در بوته و مترمربع و نیز عملکرد کاسبرگ در واحد سطح با افزایش کاربرد کود نیتروژن، تولید و توسعه مناسب اندام‌های هوایی (شاخه‌ها و برگ‌ها) طی دوره رشد و در نتیجه استفاده مفید از نور خورشید و افزایش مواد فتوسنتزی در گیاه می‌باشد. تعداد میوه به‌عنوان جزء مهم عملکرد در گیاه به شمار می‌رود و در تعیین عملکرد نهایی نقش به سزایی دارد (Garsid, 2004). در واقع میوه‌ها مخازنی هستند که مواد فتوسنتزی از برگ‌ها (منبع) به آن‌ها انتقال می‌یابد. در صورت عدم تعادل بین این دو (مخزن و منبع) و عدم دسترسی به عناصر غذایی مناسب مانند نیتروژن که نقش بسیار مهمی در تولید و سبز ماندن برگ‌ها دارد، تعداد میوه کاهش می‌یابد. همچنین نیتروژن با تأمین پروتئین مورد نیاز دانه گرده برای حرکت در طول خامه و رسیدن به تخمک، افزایش طول عمر تخمک و افزایش زمان گرده‌افشانی مؤثر، درصد تشکیل گل و میوه را افزایش داده (Rahemi, 2004) و از این‌رو با افزایش مصرف نیتروژن، افزایش تعداد میوه در بوته و در مترمربع قابل توجیه می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که مصرف بیشتر کود نیتروژن باعث تحریک رشد رویشی، افزایش شاخص سطح برگ و دوام آن شده (Sadeghi and Bahrani, 2001) و با افزایش فعالیت فتوسنتزی (Izadi et al., 2010) و فراهمی مواد پرورده ضمن افزایش تعداد انشعابات ساقه اصلی (جدول ۲)، باعث افزایش تعداد میوه در بوته و در واحد سطح و نهایتا عملکرد خشک کاسبرگ در واحد سطح می‌گردد. در تحقیقی مشخص شد که با افزایش کاربرد نیتروژن، عملکرد کاسبرگ چای ترش به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Timothy and Futuless, 2014). در بررسی دیگری گزارش شد که با افزایش کاربرد نیتروژن از صفر به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در چای ترش، تعداد میوه در مترمربع و عملکرد خشک کاسبرگ به‌طور معنی‌دار و به ترتیب ۳۷/۱ و ۴۴/۱ درصد افزایش یافت (Sepahrom and Moosavi, 2016).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تراکم ۶/۷ بوته در مترمربع با ۲۱/۵۸ بیشترین تعداد میوه در بوته را به خود اختصاص داده است که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار ۵ بوته در مترمربع نداشت، اما از برتری معنی‌دار ۱۷/۵ و ۵۹/۸ درصدی به ترتیب نسبت به تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع برخوردار بود. با این وجود بیشترین تعداد میوه در مترمربع با میانگین ۲۶۰/۳۳ عدد از تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بدست آمد که نسبت به تراکم‌های ۵، ۶/۷ و ۱۰ بوته در مترمربع به ترتیب از برتری ۱۲۵/۶، ۷۳/۵ و ۳۷/۶ درصدی برخوردار بود (جدول ۵). همچنین با افزایش تراکم بوته از ۵ به ۶/۷، ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع، عملکرد خشک کاسبرگ به ترتیب ۲۲/۶، ۵۴/۸ و ۱۰۵/۷ درصد و به‌طور معنی‌دار افزایش پیدا کرد (جدول ۵).

افزایش تعداد میوه در بوته را در تراکم‌های پایین می‌توان از یک‌سو به فضای کافی برای رشد و تولید شاخه‌های بیشتر و افزایش سطح برگ (منبع) تا حد مطلوب و از سوی دیگر به کاهش رقابت بین بوته‌ای و سهم بیشتر هر گیاه در استفاده از نور نسبت داد به عبارتی در تراکم‌های بالا به نظر می‌رسد توانایی فتوسنتزی گیاه و

انتقال مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن به دلیل سایه‌اندازی زیاد برگ‌ها بر روی یکدیگر و افزایش تنفس نگهداری بوته کاهش یافته و تعداد انشعابات ساقه اصلی نیز به علت کاهش فضای لازم برای هر بوته کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش معنی‌دار تعداد میوه در بوته با افزایش تراکم بوته می‌باشد. پارسا مطلق و همکاران (Parsa Motlagh et al., 2017) کاهش تعداد میوه در بوته چای ترش، دری (Dorry, 2006) کاهش تعداد سنبله در بوته اسفرزه و سپهری و وزیری امجد (Sepehri and Vaziri Amjad, 2015) کاهش تعداد آکن در بوته کاسنی را با افزایش تراکم بوته گزارش کردند.

هر چند افزایش تراکم از ۵ به ۲۰ بوته در مترمربع، کاهش معنی‌دار و ۳۷/۳ درصدی تعداد میوه در بوته را به دنبال داشته است اما در مجموع، افزایش ۱۲۵/۶ درصدی تعداد میوه در مترمربع را باعث گردیده است و به نظر می‌رسد افزایش تعداد بوته در مترمربع علاوه بر جبران کاهش تعداد میوه در بوته توانسته است افزایش معنی‌دار تعداد میوه در مترمربع را باعث گردد. به عبارتی هر چند با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، تعداد میوه در بوته کاهش یافت اما تعداد میوه در مترمربع به‌طور معنی‌داری به علت افزایش تراکم بوته در واحد سطح افزایش یافت. در تحقیقی با بررسی تأثیر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر اجزای عملکرد چای ترش گزارش شد که هر چند با افزایش تراکم از ۶/۷ به ۱۳/۳ بوته در مترمربع تعداد میوه در بوته، ۳۵/۶ درصد کاهش یافت اما تعداد میوه در مترمربع، ۲۸/۳ درصد افزایش پیدا کرد (Moosavi, 2012). نتایج مشابهی توسط ماریا و همکاران (Maurya et al., 2013) در بامیه و مروی و همکاران (Marvi et al., 2017) در هندوانه ابوجهل (*Citrullus colocynthis* .*L*) نیز گزارش شده است.

از آنجایی که وزن خشک کاسبرگ در میوه تحت تأثیر تراکم بوته قرار نگرفت، می‌توان گفت که افزایش معنی‌دار عملکرد خشک کاسبرگ با افزایش تراکم بوته در مترمربع، عمدتاً به افزایش معنی‌دار تعداد میوه در مترمربع مربوط است. به عبارتی با افزایش تراکم بوته، علیرغم کاهش تعداد میوه در بوته عملکرد خشک کاسبرگ به علت افزایش تعداد میوه در مترمربع به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش معنی‌دار عملکرد کاسبرگ چای ترش در واحد سطح با افزایش تراکم بوته توسط پارسا مطلق و همکاران (Parsa Motlagh et al., 2017) نیز گزارش شده است.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد کاسبرگ چای ترش

Table 4. Analysis of variance of effect of variance effect of nitrogen and plant density on yield and yield components of roselle

Source of variation	df	Number of fruits in a plant	Number of fruits per square meter	Dry weight of sepals in fruit	Sepals dry yield	Biological yield	Sepals harvest index
Replication	2	13.714 ^{ns}	1026.141 ^{ns}	0.006 ^{ns}	8752.74 ^{ns}	7914283.14 ^{ns}	0.307 ^{ns}
Nitrogen (A)	3	318.718 **	28945.047 **	0.021 ^{ns}	882997.47 **	119761574.82 *	5.821*
Erorr a	6	9.493	259.12	0.019	36430.92	14573925.1	0.682
Density plant (B)	3	173.837 **	46429.186 **	0.0001 ^{ns}	702372.52 **	717345602.9 **	0.554 ^{ns}
A × B	9	30.770 **	4239.51 **	0.013 ^{ns}	34773.42 ^{ns}	17921855.3 **	0.89 ^{ns}
Erorr b	24	6.241	228.59	0.01	17487.57	7159172.7	0.427
CV (%)		13.33	8.46	5.2	15.34	10.07	17.53

**، * و n.s به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

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

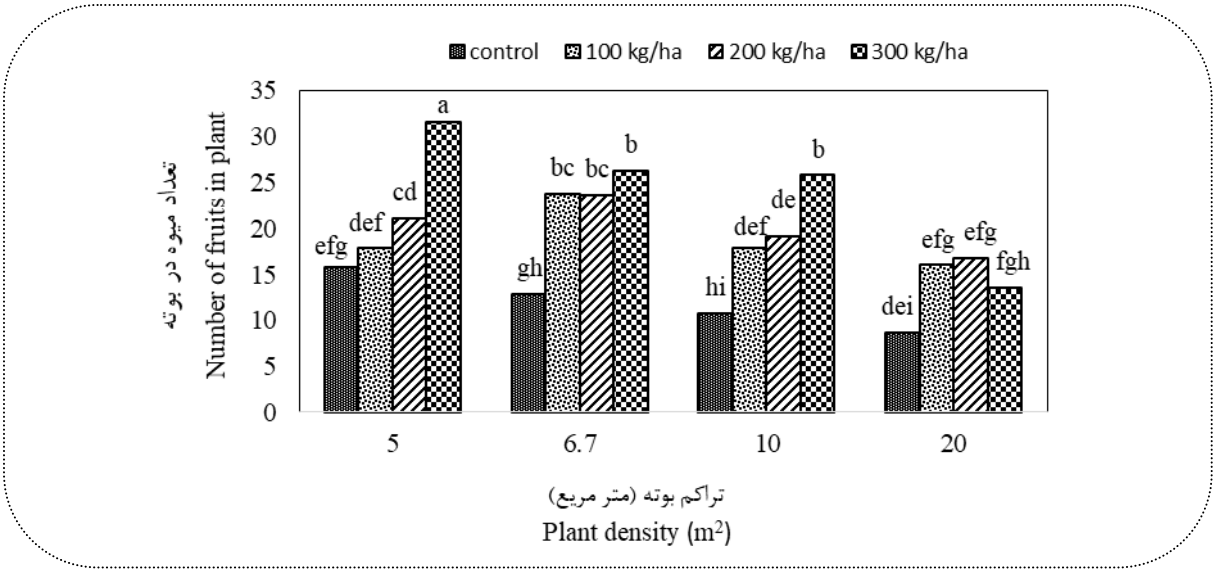
جدول ۵. مقایسه میانگین صفات عملکرد و اجزای عملکرد کاسبرگ چای ترش تحت تأثیر اثرات ساده نیتروژن و تراکم بوته

Table 5. Comparison of mean yield traits and yield components of roselle sepals influenced by simple effects of nitrogen and plant density

Treatment	Number of fruits in a plant	Number of fruits per square meter	Dry weight of sepals in fruit (g)	Sepals dry yield (kg. ha-1)	Biological yield (kg. ha-1)	Sepals harvest index (%)
Nitrogen (kg. ha-1)						
0	11.87 c	107.50 c	0.479 a	512.56 c	23359.22 c	2.27 b
100	18.80 b	190.42 b	0.494 a	936.34 b	27606.07 ab	3.40 a
200	20.06 b	197.17 b	0.474 a	929.46 b	24802.96 bc	3.88 a
300	24.26 a	219.79 a	0.489 a	1070.34 a	30498.79 a	3.51 a
Plant density (m2)						
20	13.50 c	260.33 a	0.464 a	1216.73 a	37612.96 a	3.21 a
10	18.36 b	189.17 b	0.481 a	915.65 b	25718.71 b	3.53 a
6.7	21.58 a	150.00 c	0.480 a	725.00 c	22983.83 c	3.30 a
5	21.53 a	115.37 d	0.510 a	591.32 d	19951.54 d	3.02 a

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P≤۰/۰۵).

In each column and for each factor, the meanings of the letters based on Duncan's test were not significantly different (P≥0.05).



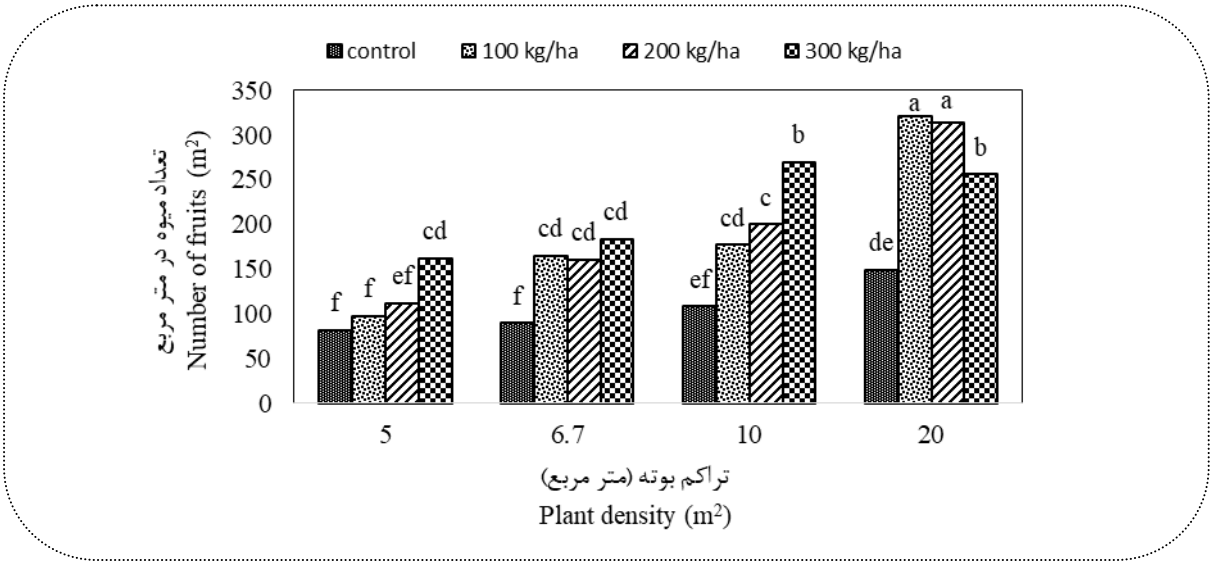
شکل ۲. مقایسه میانگین اثرمتقابل نیتروژن و تراکم بوته بر تعداد میوه در بوته چای ترش

Figure 2. Comparison of the means of interaction of nitrogen and plant density on the number of fruits per plant of roselle

بر اساس مقایسه میانگین‌های اثر متقابل، تیمار مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۵ بوته در مترمربع با میانگین ۳۱/۴۹ عدد، بیشترین و تیمار عدم مصرف کود نیتروژن و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع با میانگین ۸/۵۸ عدد، کمترین تعداد میوه در بوته را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد در

تراکم ۵ بوته در مترمربع با افزایش کاربرد نیتروژن از ۱۰۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به علت افزایش شاخه‌زایی (شکل ۱)، تعداد میوه در بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت اما در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع به علت عدم افزایش شاخه‌زایی در بوته از یک‌سو و کاهش نفوذ نور به لایه‌های پایین‌تر کانوپی به علت تراکم زیاد بوته از سوی دیگر، افزایش کاربرد نیتروژن نتوانست باعث تغییر معنی‌دار تعداد میوه در بوته گردد.

مقایسه میانگین‌های اثرمتقابل نیتروژن و تراکم بوته نشان داد که بیشترین تعداد میوه در مترمربع با میانگین ۳۲۰/۸۳ عدد در تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و کمترین تعداد میوه در مترمربع با میانگین ۸۲/۳۳ عدد در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن و تراکم ۵ بوته در مترمربع مشاهده شد (شکل ۳). به نظر می‌رسد در تراکم ۵ بوته در مترمربع به علت وجود فضای کافی و تأثیر مثبت افزایش کاربرد نیتروژن بر شاخه-زایی و طول شاخه، جایگاه‌های بیشتری برای تولید میوه در بوته ایجاد شده و از این‌رو با افزایش کاربرد نیتروژن از ۱۰۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد میوه در واحد سطح به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. این در حالی است که در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع این افزایش کاربرد نیتروژن منجر به افزایش سایه‌اندازی و عدم رسیدن نور به لایه‌های پایین کانوپی شده و بنابراین تولید میوه عمدتاً به لایه‌های بالاتر کانوپی محدود شده و درنهایت کاهش معنی‌دار تعداد میوه در واحد سطح را به دنبال داشته است (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرمتقابل نیتروژن و تراکم بوته بر تعداد میوه (در متر مربع) چای ترش

Figure 3. Comparison of the means of interaction of nitrogen and plant density on the number of fruits (in square meters) of roselle

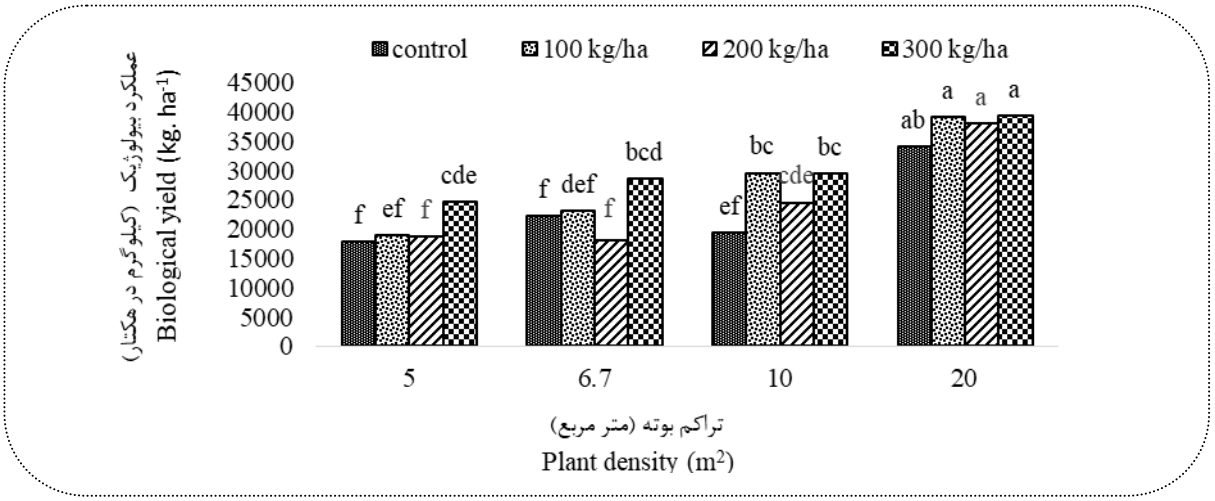
عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نیتروژن در سطح پنج درصد و تراکم بوته و اثرمتقابل نیتروژن و تراکم در سطح یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش مصرف کود نیتروژن تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش در عملکرد بیولوژیک گردید، به‌طوری‌که عملکرد بیولوژیک در تیمارهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن به ترتیب ۱۸/۱، ۶/۱ و ۳۰/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۵). احتمالاً کاربرد بیشتر نیتروژن به علت افزایش تعداد شاخه فرعی وزن خشک شاخ و برگ و افزایش سطح و دوام برگ، قدرت ماده سازی بیشتر گیاه را باعث شده و در نتیجه تجمع ماده خشک و عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری با

افـزایش مقـدار کـاربرد نیتـروژن افـزایش یافتـه اسـت. در تحقیقی گزارش شد کـه کـاربرد کـود نیتـروژن مـی‌توانـد موجب افزایش زیسـت‌توده و عملکـرد محصـول در گیـاه کارلا شـد (Heidari et al., 2014). در تحقیقـی گـزارش شد که بالاترین عملکـرد بیولـوژیکی در گیـاه برازمبـل در تیمار مصرفی ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شـد (Jafari et al., 2015).

همچنین افزایش تراکم بوته در واحد سطح نیز افـزایش عملکـرد بیولوژیـک چـای تـرش را بـه دنبـال داشـت، به‌طوری‌کـه بیشـترین عملکـرد بیولوژیـک (۳۷۶۱۲/۹۶ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۲۰ بوتـه در مترمربـع بدسـت آمد که نسبت به تراکم‌های ۵، ۶/۷ و ۱۰ بوتـه در مترمربـع به ترتیب ۸۸/۵، ۶۳/۶ و ۴۶/۲ درصد برتری داشت (جدول ۵). علت افزایش عملکرد بیولوژیک در تـراکم‌هـای بـالاتر نسبت به تراکم‌های پایین‌تر را می‌توان افزایش سطح بـرگ، افزایش تعداد میوه در واحد سطح و نیز بهره‌برداری بیشـتر گیاه از منابع جهت تجمع بیشتر ماده خشک دانست. پارسـا مطلـق و همکـاران (Parsa Motlagh et al., 2017) در چـای تـرش و صـباغ نکونـام و رزمجـو (Sabagh Nekonam and Razmjoo, 2007) در اسـفرزه نیـز گزارش کردند کـه بـا افـزایش تـراکم عملکـرد بیولوژیـک به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

مقایسه میانگین‌های اثرمتقابل نیتروژن و تراکم بوتـه در مورد عملکرد بیولوژیک بیانگر آن است کـه تیمـار کـاربرد ۳۰۰ کیلـوگرم نیتـروژن در هکتـار و تـراکم ۲۰ بوتـه در مترمربع با میانگین ۳۹۳۰۹/۵۳ کیلوگرم در هکتار، بیشترین و تیمار عـدم مصـرف کـود نیتـروژن و تـراکم ۵ بوتـه در مترمربع با میانگین ۱۷۸۲۸/۵۶ کیلوگرم در هکتار، کمتـرین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادنـد. (شـکل ۴). همان‌طور که در شکل ۴ مشـاهده مـی‌گـردد در تـراکم ۲۰ بوته در مترمربع، کاربرد نیتروژن اثر معنی‌داری بر عملکـرد بیولوژیک نداشته است اما در تراکم‌هـای پـایین‌تـر کـاربرد نیتروژن در مقایسه بـا عـدم کـاربرد آن منجـر بـه افـزایش معنی‌دار این صفت گردیده است. علت این امر را می‌تـوان به افزایش سایه‌اندازی در کانوپی و در نتیجه افزایش تنفس نگهداری و کـاهش فتوسـنتز خـالص گیـاه در تـراکم بـالا همزمان با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی دانسـت. ایـن در حالی است که در تراکم‌های پایین، افزایش کاربرد نیتـروژن از صفر به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار منجر به افـزایش سـطح برگ و جذب مؤثرتر نور خورشـید (رسـیدن بـه شـاخص سطح برگی که ۹۵ درصـد نـور خورشـید را جـذب کنـد) گردیده که درنهایت توان ماده‌سـازی و تولیـد بیومـاس در واحد سطح را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثرمتقابل نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد بیولوژیک چای ترش

Figure 4. Comparison of the means of nitrogen interactions and plant density on biological yield of roselle

شاخص برداشت کاسبرگ

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر نیتروژن بر شاخص برداشت کاسبرگ در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر تراکم بوته و اثرمتقابل نیتروژن و تراکم بوته قرار نگرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که هرچند کاربرد نیتروژن افزایش معنی‌دار این صفت را در مقایسه با تیمار عدم مصرف نیتروژن باعث شد اما بین سطوح کاربرد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین شاخص برداشت کاسبرگ (۳/۸۸ درصد) از مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد (جدول ۵). به نظر می‌رسد افزایش کاربرد نیتروژن نقش مثبتی را در افزایش سهم دریافتی کاسبرگ از مواد فتوسنتزی منتقل شده به میوه (از بخش رویشی گیاه) ایفا کرده است. به عبارتی احتمالاً کاربرد نیتروژن مدت انتقال مواد فتوسنتزی از مبدأ (برگ‌ها) به مقصد (کاسبرگ‌ها) را به علت افزایش دوام سطح برگ و فتوسنتز جاری افزایش داده و در نتیجه شاخص برداشت کاسبرگ در بوته به‌طور معنی‌داری با مصرف نیتروژن افزایش یافته است. در تحقیقی گزارش کردند که افزایش مصرف نیتروژن منجر به افزایش معنی‌دار شاخص برداشت گل در همیشه بهار شد (Rahmani et al., 2009).

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزایش کاربرد نیتروژن عمدتاً از طریق افزایش تعداد انشعابات ساقه و تعداد میوه در مترمربع و افزایش تراکم بوته از طریق افزایش تعداد میوه در مترمربع منجر به افزایش عملکرد اقتصادی چای ترش (کاسبرگ خشک) در واحد سطح گردید. به‌طورکلی بر اساس نتایج این تحقیق کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع برای زراعت چای ترش در ایرانشهر پیشنهاد می‌گردد.

منابع

Atta, S., Diallo, A.B., Sarr, B., Bakasso, Y., Saadou, M. and Glew, R.H. 2010. Variation in macroelements and protein contents of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) from Niger. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 10(6): 2707-2718.

Bashirifar, N., Aliasgharzad, N. and Zehtab Salmasi, S., 2006. Effects of nitrogen on growth and some morphological traits of inoculated Savory (*Satureja hortensis* L.) with Azospirillum irakense and Pseudomonas putida. *Water and soil knowledge*, 26(1 & 2): 79-91.

Dadkhah, A., Kafi, M. and Rasam, G., 2009. The effect of planting date and plant density on growth traits, yield quality and quantity of Matricaria (*Matricaria chamomilla*). *Journal of Horticultural Sciences*, 23(2): 100-107.

Dorry, M.A., 2006. Effects of seed rate and planting dates on seed yield and yield components of Plantago ovata in dry farming. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22(3): 262-269.

Egharevba, R.K.A. and Law-Ogbomo, K.E., 2007. Comparative effects of two nitrogen sources on the growth and the yield of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in rainforest region: a case study of Benin-city, Edo state. Nigeria. *Journal of Agronomy*, 6: 142-146.

Garsid, A., 2004. Sowing time effects on the development, yield and oil of flaxseed in semi-arid tropical. *Australian Journal of Productive in Agriculture*, 23: 607-612.

Gebremedin, B.D. and Asfaw, B.T., 2017. Effects of inter and intra row spacing on growth, yield and yield components of roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) at Wondo Genet, Southern Ethiopia. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 5(1): 27–34.

Hecl, J. and Sustrikova, A., 2006. Determination of heavy metals in chamomile flower drug an assurance of quality control. Program and Abstract book of the 1st International Symposium on Chamomile Research, Development and Production: 69.

Heidari, M. and Mobasri Moghadam, M., 2014. Effects of amount and timing of nitrogen application on yield production and quantitative characteristics of karela (*Momordica charantia L.*). *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 30(3): 591-599.

Ibrahim, M.M. and Hussein, R.M., 2006. Variability, heritability and genetic advance in some genotypes of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *World Journal of Agricultural Sciences*, 2(3): 340-345.

Ismail, A., Ikram, E.H.K. and Nazri, H.S.M., 2008. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds nutritional composition, protein quality and health benefits. *Food*, 2: 1-16.

Izadi Y., Ahmadwand, K., Dushni Ashra Asan Ashari; Old aging. 2010. Effect of nitrogen and plant density on some growth characteristics, yield and essential oil content in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Crop Research*, 8(5): 824-836.

Jafari, S.R., Nikkhah, M., Zare'i, G. and Zarezadeh, A., 2015. Effect of nitrogen and phosphorus levels on fresh and dry yields of leaves and broccoli and essential oil of Perovskia abrotanoides L. Plant Ecophysiology, 7(22): 178-189.

Kashfi, S.M.H., Majnoun Hosseini, N. and Zeinali Khaneghah, H., ۲۰۱۱. Effect of plant density and starter nitrogen fertilizer on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L. *cv. Kourosh*) at Karaj conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 1(2): 11-20.

Khattak, A.M., Sajid, M., Sarwar, H.Z., Rab, A., Ahmad, M. and Khan, M.A., 2016. Effect of sowing time and plant density on the growth and production of roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 18(6): 1219-1224.

Khosravi, M., Moosavi, S.Gh. and Seghatoleslami, M.J., 2014. Effect of irrigation interval, Nitrogen fertilizer rate and plant density on morphological traits, yield and water use efficiency of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(5): 682-691.

Lack, Sh., 2013. Evaluation of physiological traits effective on seed yield of corn in different irrigation, nitrogen and plant density levels. *Crop Physiology Journal*, 5(19): 17-33. (In Persian).

Louis, S.J., Kadams, A.M., Simon, S.Y. and Mohammed, S.G., 2013. Combining ability in Roselle cultivars for agronomic traits in Yola, Nigeria. *Greener Journal of Agricultural Sciences*, 3 (2): 145-149.

Maksoud, S.A. and Hosni, H.A., 1997. Distribution of Urease in the seeds of some Egyption species of Malvaceae and Tiliaceae. *Egyption Journal of Botany*, 70(2): 285-297.

Mardaninejad, Sh., khaladbarin, B., Sadat, Y.A., Moradshahi, A., and Vazirpour, M., 2002. Effect of ammonium nitrate on the shoots and the essential oil of lavender medications. Abstract Proceedings of the National Conference on Medicinal Plants, Tehran, 26-24 February, 59-57. (in Persian)

Marvi, H., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M. and Armin, M., 2017. Effect of planting date and plant density on yield, yield components and active ingredients of *Citrus colocynthis* L. *Journal of Plant Production*, 23(4): 17-35.

Maurya, R.P., Bailey, J.A., Jeff, S.T. and Chandler, A., 2013. Impact of plant spacing and picking interval on the growth, fruit quality and yield of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *American Journal of Agriculture and Forestry*, 1(4): 48-54.

Moosavi, S.G.R., 2012. The effect of sowing date and plant density on yield and yield components of roselle. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(9): 1627-1632.

Mumivand, H., Babalar, M., Hadian, J. and Fakhr Tabatbaei, M., 2011. Plant growth and essential content and composition of *Satureja hortensis* L. *cv.* Saturn in response to calcium carbonate and nitrogen application rates. *Journal of Medicinal Plants research*, 5(10):1859-1866.

Nemati, M., Dehmardeh, M., Khumri, I. and Nejati Yazdinejad, M., 2015. The effect of application of biological fertilizers and manure on economic performance and quality characteristics of Sour Tea (*Hibiscus sabdariffa* L.) *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 31(4): 610-625.

Ojaqhlo, P., 2007. Effect of inoculation with bio-fertilizers (Azotobacter and phosphate fertilization) on the growth, yield and yield components of safflower. Master Thesis of Agronomy, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Tabriz, Tabriz, Iran. (In Persian with English Summary).

Omidbeigi, R. and Hasani Malayeri, S., 2007. A study of the effects of nitrogen and plant density on the productivity of feverfew (*Tanacetum parthenium cv. Zardband*). *Iranian Journal of Agricultural Sciences (Agronomy and Crop Biotechnology)*, 38(2): 303-309.

Oyewole, C.I. and Mera, M., 2010. Response of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) to rates of inorganic and farmyard fertilizers in the Sudan savanna ecological zone of Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 5(17): 2305-2309.

Parsa Motlagh, B., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R. and Azami Sardooei, Z., 2017. The effect of sowing date and plant density on yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under Jiroft climate conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4): 735-745.

Raeisisarbijan, A.R., Broomand, N. and Zaher Ara, T., 2016. Effect of Nitrogen and Zinc Foliar Application on Quantitative Traits of Tea Rosslle (*Hibiscus sabdariffa*) in Jiroft Zone. *Journal of Horticultural Science*, 30(1): 93-101.

Rahbarian, P., Afsharmanesh, G. and Behzadi, N., 2011. Effect of drought stress and plant density on yield of *Hibiscus sabdariffa* in Jiroft, Iran. *Agriculture new finding*, 5(3): 237-245.

Rahemi, M., 2004. *Pollination and fruit formation*. Publication of Shiraz University. [In Persian]

Rahmani, N., Taherkhani, T., Daneshian, J., 2009. The effects of nitrogen application on physiological indices of yield of *Calendula officinalis* L. under drought stress conditions. *Journal of new finding in Agriculture*, 3(4):355-365. [In Persian]

Rezvani Moghaddam, P., 2008. New and forgotten crops. 446 p in: A.R. koocheki and M. khajeh Hosseini eds. Modern Agronomy. Publication by University Jahad of Mashhad.

Sabagh Nekonam, M. and Razmjoo, K.H., 2007. Effect of plant density on yield, yield components and effective medicine ingredients of blond psyllium (*Plantago ovata Forsk*.) accessions. *International Journal of Agriculture and Biolog*, 9(4): 606-609.

Sadeghi, H. and Criana Mohammad, J., 2001. Effect of Plant Density and Nitrogen Fertilizer on Physiological Indices of Maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 3(1): 13-25.

Sanoussi, A., Hadiara, H.S., Yacoubou, B., Benoit, S., Issaka, L. and Mahamane, S., 2011. Yield character variability in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 6(6): 1371-1377.

Schippers, R.R., 2000. African Indigenous Vegetable: An Overview of the Cultivated Species. University of Greenwich, Natural Resources Institute, U.K. p: 214.

Sepahrom, A. and Moosavi, S.Gh., 2016. The effect of irrigation and nitrogen levels on morphological traits, yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(3): 436-449.

Sepehri, A. and Vaziriamjad, Z., 2015. The effect of iron and zinc nano fertilizers on quantitative yield of chicory (*Cichorium inyubus* L.) in different crop densities. *Knowledge of agriculture and sustainable production*, 25(2.1): 61-74.

Timothy, E.L. and Futuless, K.N., 2014. Influence of sowing date and different levels of nitrogen fertilizer on the performance of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Nigeria. Research and Reviews: *Journal of Agriculture and Allied Sciences*, 3(1): 5-8.

Zarei, Gh., Shamsi Mahmoodabadi, H., Tabatabaei, S.A. and Mohtaram, S.A., 2014. Effect of sowing date and plant density on yield of chicory (*Cichorium intybus* L.). *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*, 104: 136-141.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۱۳۲- ۱۲۱)
مقاله پژوهشی

کاربرد محلول پاشی بور بر روند گرده افشانی و تشکیل میوه در دو رقم زردآلو

معصومه افتخاری [۱]، یاور شرفی [۲*]

۱- دانشجوی ارشد درختان میوه دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد. تهران، ایران.
mhb.eftekhari1126@gmail.com
۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد. تهران، ایران.
y.sharafi@shahed.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۹ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸**

چکیده

مقدار عناصر غذایی موجود در درختان میوه و تغذیه متناسب آنها، از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد می‌باشد. در میان ریزمغذی‌ها، با توجه به نقش عنصر بور در جوانه‌زنی و رشد لوله گرده، این عنصر اثر بسیار مهمی در گرده‌افشانی، لقاح و درنهایت تشکیل میوه دارد. در این پژوهش اثر محلول‌پاشی عنصر بور با سه غلظت صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر روی جوانه‌های گل دو رقم بیگی و شاهرودی زردآلو بررسی شد. درصد جوانه‌زنی، رشد لوله گرده، تشکیل میوه اولیه و نهایی در تلاقی این دو رقم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید بوریک بیشترین تأثیر را در میزان تشکیل میوه اولیه (۳۸/۴۷ درصد) و نهایی (۱۵/۷۴ درصد) داشت. کمترین درصد تشکیل میوه اولیه (۲۱/۳۲ درصد) و نهایی (۲/۰۱ درصد) مربوط به غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید بوریک بود. همچنین، نتایج نشان داد که اثر عنصر بور بر درصد جوانه‌زنی در سطح کلاله و میزان نفوذ لوله‌های گرده در ابتدای خامه، میانه خامه و ورودی تخمدان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین درصد جوانه‌زنی با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید بویک با در صد جوانه‌زنی ۶۲/۸۱ درصد و کمترین درصد جوانه‌زنی با ۵۳/۲۲ درصد مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین، تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید بوریک میزان نفوذ لوله‌های گرده را در قسمت انتهای خامه و ورودی تخمدان افزایش داد. درمجموع محلول‌پاشی عنصر بور باعث افزایش تشکیل میوه اولیه و نهایی و افزایش درصد جوانه‌زنی و نفوذ لوله گرده به سمت تخمدان در ارقام موردمطالعه زردآلو گردید.

کلمات کلیدی: زردآلو، بور، جوانه‌زنی، لوله گرده، تشکیل میوه.

مقدمه

زردآلو (*Prunus armeniaca.* L.) از جایگاه خاص در صنعت تولید میوه‌های معتدله در دنیا و ایران برخوردار است. تولید زردآلو در سال ۲۰۱۷ به میزان ۴,۳ میلیون تن بوده که ترکیه با ۲۳درصد بیشترین سهم را در تولید این محصول به خود اختصاص داده است. کشورهای ازبکستان، ایتالیا، الجزایر و ایران در رتبه‌های بعدی قرار دارند (FAO, 2017). از مشکلات اساسی در تولید زردآلو می‌توان به بی‌نظمی باردهی و عملکرد پایین آن اشاره کرد که ازجمله علل آن ناسازگاری و عقیمی گل‌های آن است (Jie et al., 2005). زردآلو مانند میوه‌های دیگر گونه‌های *Rosacea* یک سیستم ناسازگاری گامتوفیتی را نمایش می‌دهد که توسط یک مکان مجزای پلی‌مورفیک با آلل‌های چندگانه کنترل می‌شود. (Milatovic et al., 2013). با توجه به مشکلات باروری در زردآلو و وجود خود ناسازگاری و حتی دگرناسازگاری در بین ارقام، انتخاب گرده‌زای مناسب از اهمیت فراوان برخوردار است. سرعت مناسب رشد لوله‌گرده با توجه به نوع گرده مورداستفاده می‌تواند باردهی مطلوب را فراهم نماید که این موضوع با توجه به بی‌نظمی‌های باردهی اهمیت خاصی دارد (حاجیلو و همکاران، ۱۳۹۱). از مهم‌ترین عوامل در موفقیت گرده‌افشانی، لقاح و تشکیل میوه در درختان میوه دریافت گرده کافی و باکیفیت توسط درختان مادری است که کیفیت گرده نیز بشدت تحت تأثیر شرایط فیزیولوژیکی و تغذیه درختان گرده‌زا می‌باشد (Abdelgadir et al., 2012). اثر مثبت محلول‌پاشی بور در افزایش لقاح و تشکیل میوه بسیاری از گیاهان ازجمله درختان میوه گزارش شده است که دلایل آن را داشتن نقش مثبت این عنصر بر درصد جوانه‌زنی گرده دانسته‌اند (Wang et. al., 2003).

بر اساس مطالعات صورت گرفته محلول‌پاشی بور برای درختان میوه مختلف، در مرحله‌ی شکوفه‌دهی که در دوره‌های بحرانی از تشکیل گرده، جوانه‌زنی و تلقیح که قبل از تشکیل میوه قرار دارد بسیار مؤثر واقع می‌شود. بور در این مرحله سریعاً توسط گل جذب شده درنتیجه گل‌ها حاوی مقادیر کافی از بور در مراحل گلدهی و تشکیل میوه بوده و این مرحله تولید گل‌ها و جوانه‌زنی لوله گرده را افزایش می‌دهد و به افزایش توسعه میوه کمک می‌کند (Sharafi and Eftekhari, 2020; Sharafi and Raina, 2020).

Iwai et al. (2006) بر اساس مطالعات صورت گرفته با استفاده از میکروسکوپ فلورسنت و کاربرد غلظت‌های مختلف بور بر رشد لوله گرده و تأثیر آن در تشکیل میوه در شرایط طبیعی و درون شیشه‌ای بر روی درختان بالغ زردآلو مشاهده نمودند که کاربرد محلول‌پاشی بور در شرایط طبیعی باعث افزایش رشد لوله گرده به سمت تخمدان شده است. در مطالعه‌ای دیگر (Sharafi, 2019) با کاربرد محلول‌پاشی بور در مرحله قبل شکوفه‌دهی در سیب مشاهده شد که بور بکار رفته در این مرحله سریعاً توسط گل‌ها جذب شده و موجب بهبود رشد رویشی آن می‌شود. همچنین، با تأثیر بر جوانه‌زنی گرده و لقاح، موجب بهبود باروری گیاه سیب شده است. برخی محققین با ارزیابی تاثیر محلول‌پاشی بور بر روی درصد تشکیل میوه زیتون گزارش کردند که اسپری اسید بوریک تشکیل میوه اولیه را ۷۹ درصد افزایش‌داد(Saadati et al., 2016).

با توجه به مطالب گفته‌شده محلول‌پاشی عنصر بور باعث بهبود گرده‌افشانی و تشکیل میوه در گونه‌ها و ارقام مختلف گیاهان شده ولی محققان کمتری از نحوه اثر عنصر بور بر نفوذ لوله گرده و تشکیل میوه گزارش داده‌اند. استفاده از میکروسکوپ فلورسنت پس از رنگ‌آمیزی لوله‌های گرده با معرف‌های رنگی و ردیابی نفوذ آن در خامه از تکنیک‌های جدید مورداستفاده در فیزیولوژی درختان میوه است که کاربردهای فراوانی در ردیابی نفوذ عناصر، بررسی خود و دگر(نا)سازگاری بین گونه‌ها و ارقام درختان میوه، بررسی دوره گرده‌افشانی مؤثر دارد

(Sharafi et al., 2019). بنابراین، بسیاری از مشکلات مربوط به تحقیقات گرده‌افشانی می‌تواند با استفاده از میکروسکوپ فلورسنس در آزمایشگاه رفع شود. میکروسکوپ فلورسنس یک روش نسبتاً سریع و قابل‌اعتماد برای بررسی نفوذ لوله گرده به تخمدان در درختان میوه است (Milatovic et al., 2013; Kubitscheck, 2017; Radunić., et al, 2017).

در ایران اثر عناصر ریزمغذی و حتی عناصر ماکرو روی صفات گرده‌افشانی، لقاح و تشکیل میوه به‌صورت دقیق و در سطح میکروسکوپی ممکن است مطالعه نشده باشد. در این تحقیق اثر عنصر بور در غلظت‌های مختلف بر لقاح و تشکیل میوه زردآلو با استفاده از میکروسکوپ فلورسنس مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

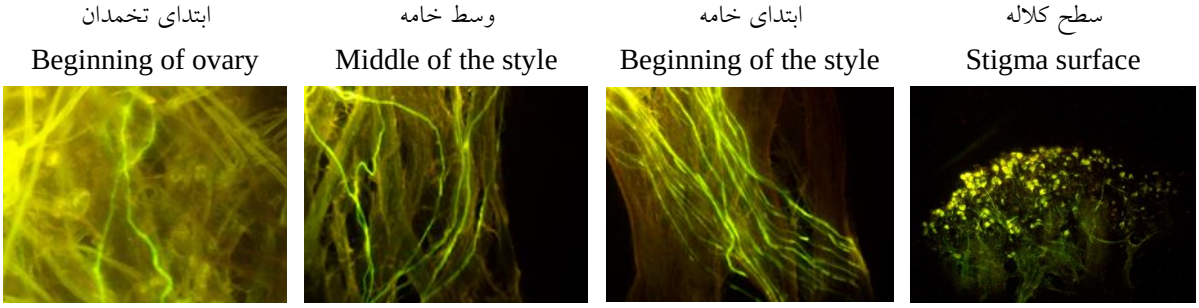
پژوهش در سال ۱۳۹۷ در باغ گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد با مختصات بین ″۰۸ ′۳۳ °۳۵ تا ″۲۱ ′۳۳ °۳۵ عرض شمالی و ″۲۰ ′۱۲ °۵۱ تا ″۳۳ ′۲۰ °۵۱ طول شرقی روی دو رقم زردآلوی شاهرودی و بیگی انجام شد. طی این مدت مدیریت باغ، تغذیه، آبیاری، مبارزه با آفات و امراض، عملیات زراعی و باغی مانند هرس و غیره همگی بر اساس توصیه‌های علمی موجود و به‌طور یکسان بر روی کلیه درختان باغ انجام گرفت. دو هفته قبل از شکوفایی جوانه‌های گل (اوایل اسفند) به‌عبارتی در مرحله متورم شدن جوانه‌ها برای هر تیمار یک درخت با وضعیت رشدی مناسب و یکنواخت با سایر درختان انتخاب شد. محلول‌پاشی اول اسفند ماه سال ۹۷ در اوایل صبح انجام شد. برداشت مادگی‌ها و بررسی‌های بعدی مطابق روش Sharafi, 2019 صورت گرفت. بدین ترتیب که درختان انتخابی با اسید بوریک در سه سطح صفر (شاهد)، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تا حدی که محلول از شاخه‌ها چکه کند انجام شد. تیمار شاهد با استفاده از آب مقطر محلول‌پاشی شد. زمانی که گل‌ها در مرحله بالونی قرار داشتند از هر درخت چهار شاخه از چهار جهت اصلی با تعداد گل کافی انتخاب شدند. شاخه‌ها تا حد امکان در موقعیت مشابهی روی درخت قرار داشتند. برای تهیه گرده زمانی که گل‌ها در مرحله بالونی نزدیک به مرحله شکوفایی بودند به تعداد کافی جمع‌آوری‌شده و بساک‌ها با استفاده از پنس استریل جمع‌آوری و درون پتری دیش به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و محل تاریک قرارگرفته تا خشک شدند. سپس دانه‌های گرده آزاد شده داخل ویال‌های شیشه‌ای در دمای ۴-۳ درجه، درون یخچال تا زمان استفاده نگهداری شدند. آزمون جوانه‌زنی دانه‌های گرده در محیط کشت جامد حاوی ۲۰ درصد ساکارز، یک درصد آگار و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید بوریک انجام شد (فلاح معافی و شرفی،۱۳۹۶ ;Imani et al, 2011) . گرده‌ها جوانه‌زنی بالای ۶۵ درصد را نشان دادند. جوانه‌های گل موجود روی شاخه‌های پایه‌های مادری در مرحله بالونی شدن و قبل از شکوفایی اخته شدند. بدین معنی که پرچم‌های گل‌ها برای جلوگیری از خودگرده‌افشانی و گلبرگ‌ها به‌منظور عدم جلب‌توجه زنبورهای گرده‌افشان توسط ناخن دست و پنس قطع و جدا شدند. لازم به ذکر است غنچه‌های بسیار کوچک که در مرحله قبل از بالونی قرار داشتند و گل‌هایی که خیلی زودتر بازشده بودند حذف شدند. در این مرحله پس از اخته کردن هر پایه مادری به‌منظور جلوگیری از انتقال دانه گرده ناخواسته، دست‌ها و تجهیزات مورداستفاده برای اخته کردن با الکل اتیلیک ۷۰ ٪ شسته شده و سپس عمل اخته کردن غنچه‌های گل سایر پایه‌های مادری انجام شد. گل های اخته شده در پایان به وسیله کیسه‌های پارچه‌ای ململ ۵۰ سانتیمتری پوشانیده شدند (Sharafi., 2019). رقم شاهرودی به‌عنوان پایه مادری و رقم بیگی به‌عنوان پایه پدری تعیین شد و در مرحله آمادگی پذیرش گرده توسط قلم مویی مخصوص با گرده‌های جمع‌آوری شده گرده-افشانی شدند.

مادگی‌های تلاقی شده بعد از ۱۲۰ ساعت از روی

درختان برداشت و در داخل محلول فیکساتور شامل (پنج درصد فرم آلدهید ۴۰٪، پنج درصد استیک اسید و نود درصد الکل اتانول ٪۹۶) تثبیت شد. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده تا زمان انجام مطالعات میکروسکوپی در یخچال نگهداری شده و سپس جهت ردیابی نفوذ لوله گرده، پس از شستشوی مادگی‌ها با آب مقطر و نرم کردن آن‌ها در محلول سود هشت نرمال به مدت هشت ساعت و بعد از شست و شوی دوباره، با آنیلین بلو به مدت پانزده دقیقه رنگ‌آمیزی شد. روند رشد لوله گرده در هر تیمار توسط میکروسکوپ فلورسنت مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد دانه‌های گرده جوانه‌زده در سطح کلاله همچنین، تعداد لوله گرده در یک‌سوم بالایی، وسط خامه، یک سوم پایینی خامه و ورودی تخمدان شمارش شد. پس از شمارش تعداد لوله‌های گرده در هریک از بخش‌های فوق، درصد لوله‌های گرده موجود در هر یک از این بخش‌ها نسبت به تعداد دانه گرده‌ی جوانه‌زده در سطح کلاله محاسبه و روند رشد لوله گرده موردبررسی قرار گرفت (شکل ۱). مشاهده و ثبت تصاویر توسط میکروسکوپ فلورسنس مدل Micros ساخت کشور اتریش با عدسی شیئی با بزرگنمایی ۱۰x و با دوربین ۱۴ مگاپیکسلی KEKAM ساخت کشور چین انجام گرفت. سپس داده‌های حاصل از یادداشت‌برداری مورد تجزیه وتحلیل آماری قرار گرفت.

به‌منظور تعیین درصد تشکیل میوه دو نوبت بعد از عمل گرده‌افشانی نتایج ثبت گردید. با توجه به تعداد گل‌های گرده‌افشانی شده در هر شاخه، در هر شمارش درصد میوه‌های تشکیل‌شده ملاک تجزیه آماری قرار گرفت. به‌منظور محاسبه درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی، بعد از شمارش تعداد گل‌ها بر روی شاخه‌های انتخابی در زمان تمام‌گل به دنبال آن در اواخر فروردین‌ماه تعداد میوه باقی‌مانده روی شاخه‌ها شمارش شد و این عمل در نیمه خردادماه نیز تکرار شد و درصد میوه‌های هر واحد آزمایشی و هر تیمار در تاریخ‌های یادشده ثبت شد. درنهایت درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی، محاسبه شدند.

این تحقیق به‌صورت آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا شد. تیمارهای موردبررسی سطوح مختلف عنصر بور شامل: صفر (شاهد)، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. ده مادگی به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شد. داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزارSAS مورد تجزیه آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک‌درصد صورت گرفت.



شکل ۱. بررسی روند نفوذ لوله‌های گرده در بخش‌های مختلف خامه با میکروسکوپ فلورسنت.

Fig 1. Study of the pollen tube penetration to the different parts of the style by florescent microscope.

نتایج و بحث

الف- تشکیل میوه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که غلظت‌های مختلف اسید بوریک بر صفات درصد تشکیل میوه اولیه و درصد تشکیل میوه نهایی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی بور با غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین (۳۸/۴۷ درصد) تأثیر را در درصد تشکیل میوه اولیه در مقایسه با

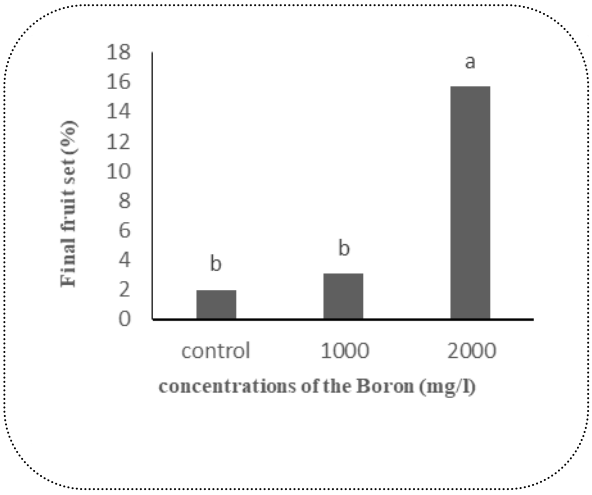
شاهد داشت. کمترین درصد تشکیل میوه اولیه (۲۱/۳۲ درصد) مربوط تیمار شاهد بود (شکل ۲). همچنین بیشترین درصد تشکیل میوه نهایی (۱۵/۷۴درصد) مربوط به غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین درصد تشکیل میوه نهایی (۲/۰۱ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۳). این نتایج بیانگر نقش مثبت و تأثیرگذار بور در افزایش تعداد میوه اولیه و نهایی و همچنین، احتمالاً به دلیل کاهش ریزش میوه‌ها می‌باشد.

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر غلظت‌های بور بر صفات تشکیل میوه اولیه و نهایی در تلاقی ارقام بیگی و شاهرودی زردآلو

Table 1. Analysis of variance of the effect of Boron on primary and final fruit set in the Beigi and Shahroudi apricot cross.

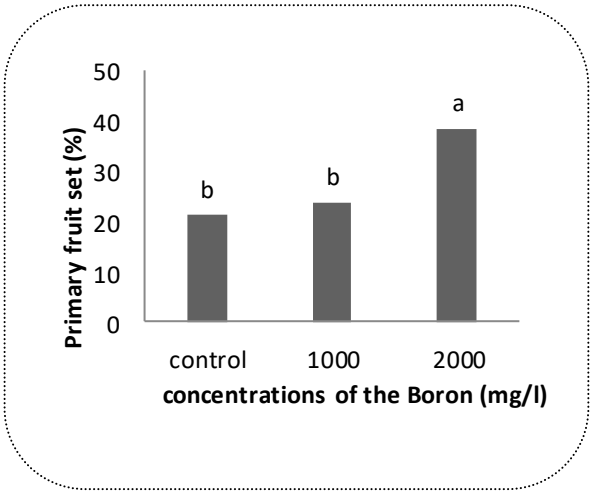
Sources of variation	Df	Flower number	Primary fruit set (%)	Final fruit set (%)
Boron concentration	2	35/70**	500/09**	130/56**
Error	18	4/51	8/58	5/6
C.V. (%)		9/93	10/49	24/34

** show significant at the 1 % P value. **، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف بور بر درصد تشکیل میوه اولیه

Figure 2. The effect of different concentrations of the Boron on the primary fruit set



شکل۳- اثر غلظت‌های مختلف بور بر درصد تشکیل میوه نهایی

Figure 3. The effect of different concentrations of the Boron on the Final fruit set

عنصر بور در گرده‌افشانی و لقاح نقش مهمی دارد و برای تولید اکسین و سیتوکینین جهت رشد سلول مورد نیاز است. همچنین، بور در افزایش طول لوله گرده و زنده ماندن تخمک نقش بسزایی دارد. با توجه به موارد فوق بور در تشکیل میوه اولیه دخالت کرده و درصد تشکیل میوه اولیه را بالا برده است که در مقایسه با شاهد افزایش تشکیل میوه به مقدار ۳۸درصد مشاهده شد. (طلایی و همکاران، ۱۳۸۰)

Nancy et al (1978) گزارش کردند که بر اساس بررسی‌های صورت گرفته محلول‌پاشی بور با غلظت ۳ هزار میلی‌گرم در کیلوگرم در اوایل بهار باعث افزایش تشکیل میوه در آلوی ایتالیایی به مقدار ۳۰درصد شده است. سید کلایی و همکاران (۱۳۹۴)، در بررسی‌های خود اثر محلول‌پاشی نیتروژن، بور و روی بر میزان اکسین، تشکیل و ریزش میوه در پرتقال تامسون ناول را بررسی کردند. نتایج نشان داد محلول‌پاشی عناصر غذایی نیتروژن، بور و روی با تأثیر بر افزایش میزان اکسین در منطقه کالیکس میوه‌ها موجب کاهش ریزش و درنتیجه افزایش تشکیل میوه در هر سه مرحلهٔ تشکیل میوه اولیه، تشکیل میوه بعد از ریزش خرداد و تشکیل میوه نهایی و درنتیجه

افزایش عملکرد در پرتقال تامسون ناول شدند. بیشترین درصد تشکیل میوه اولیه، میوه بعد از ریزش و میوه نهایی مربوط به تیمارهایی بوده که بیشترین میزان اکسین را داشتند. از آنجایی‌که تأثیرات مثبت اکسین در نتایج مطالعات گوناگون بر افزایش درصد تشکیل میوه مشخص شده است احتمال دارد افزایش تشکیل میوه اولیه و نهایی در این تحقیق به خاطر تأثیر روی افزایش اکسین و درنتیجه بالا بردن درصد تشکیل میوه، هم در تشکیل میوه اولیه و هم در تشکیل میوه نهایی باشد. تیمار اسید بوریک با غلظت ۰,۵ در هزار بالاترین درصد تشکیل میوه نهایی به مقدار ۳,۵۱ درصد را داشته است.

ب- درصد جوانه‌زنی و رشد لوله گرده

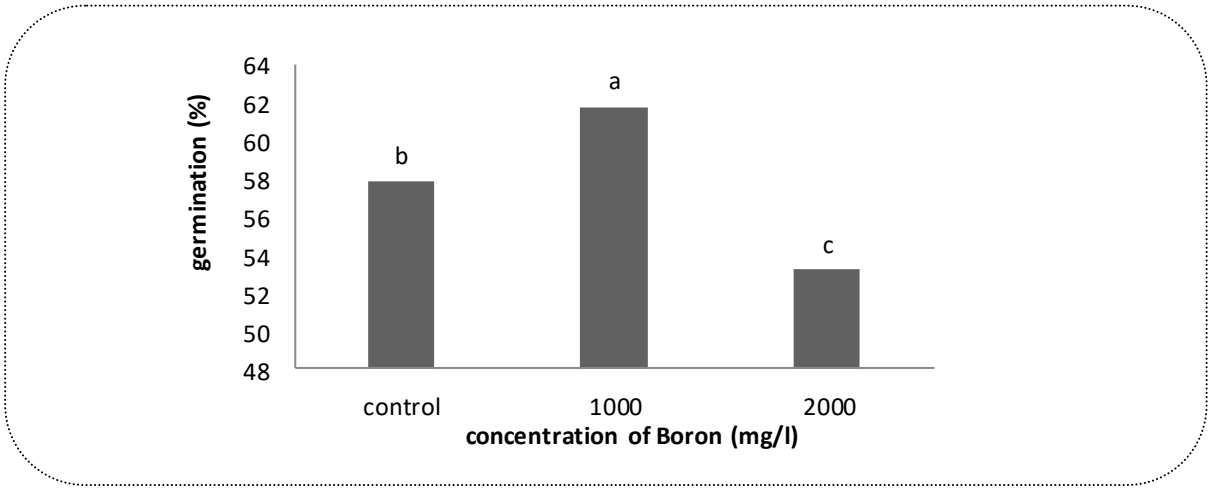
تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که غلظت‌های مختلف بور بر درصد جوانه‌زنی گرده‌ها در سطح کلاله و تعداد لوله‌های گرده نفوذ کرده به قسمت بالایی خامه، میانه خامه و ابتدای تخمدان اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت. بر اساس نتایج، ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید بوریک بیشترین (۶۱/۸۲ درصد) تأثیر را بر افزایش درصد جوانه‌زنی گرده‌ها در سطح کلاله نشان داد. کمترین درصد جوانه‌زنی (۵۳/۲۲ درصد) مربوط به تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدبوریک بود (شکل۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین غلظت‌های بور بر تعداد لوله گرده در ابتدای خامه بیشترین (۱۶/۴۴ درصد) تعداد لوله گرده وارد شده به قسمت ابتدای خامه مربوط به تیمار شاهد بود. کمترین تعداد لوله گرده (۶/۸ درصد) وارد شده به قسمت ابتدای خامه مربوط به ۲۰۰۰ میلی‌گرم بور بود که در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد (شکل ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت‌های بور بر تعداد لوله گرده در وسط خامه بیشترین تعداد لوله گرده واردشده به میانه خامه (۱۷/۱۶درصد) در تیمار شاهد بود. کمترین آن (۶/۸ درصد) مربوط به ۲۰۰۰ میلی‌گرم بور بود (شکل ۶). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت‌های بور بر تعداد لوله گرده در انتهای خامه بیشترین تعداد لوله گرده نفوذ کرده به قسمت انتهای خامه (۶/۸۳ درصد) مربوط به ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بور و کمترین آن (۱/۷۳ درصد) مربوط به ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بور بود که دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد در سطح یک درصد بود (شکل۷). بیشترین تعداد لوله گرده در ورودی تخمدان (۱/۸۰درصد) مربوط به ۱۰۰۰ میلی‌گرم بور بود که دارای اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد نسبت به شاهد بود. کمترین لوله گرده نفوذ کرده به ورودی تخمدان (۰/۸۶درصد) مربوط به ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بور بود (شکل ۸ و ۹). در غلظت های بالای بور کم شدن درصد جوانه‌زنی و نفوذ لوله گرده ممکن است به علت بالا رفتن واکنش‌ها در دیواره سلولی گرده باشد. لذا استفاده از بور در غلظت بالا ممکن است باعث سمیت شده و در نتیجه درصد جوانه‌زنی و رشد لوله گرده کاهش یابد (Nyomora et al ., 2000).

جدول ۲ -تجزیه واریانس اثر عنصر بور بر درصد جوانه‌زنی گرده در سطح کلاله و درصد نفوذ لوله گرده در ابتدا، میانه و انتهای خامه و ورودی تخمدان

Table 2. Analysis of variance of the effect of Boron on pollen germination on the stigma and tube penetration to upper, middle and third part of the style and so beginning of the ovary.

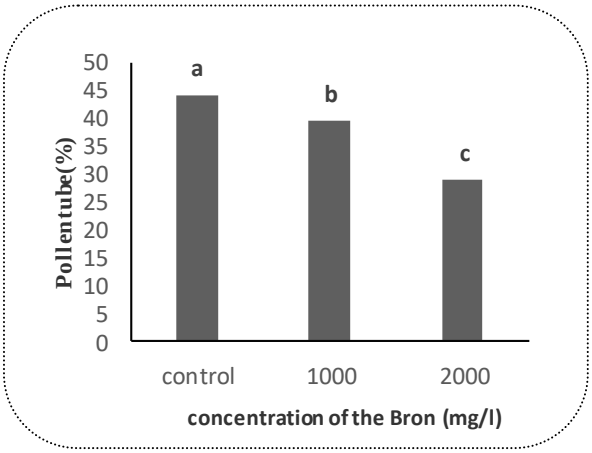
Sources of variation	Df	pollen germination (%)	Beginning of the style	middle of the style	end of the style	Beginning of ovary
Boron Concentration	2	556/61 **	1818/84 **	1018/61 **	201/74 **	12/13 **
Error	81	52/15	44/1	8/3	1/56	0.41
C.V. (%)		12/52	17/86	21/3	21/18	23/51

**، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد. show significant at the 1 % P value , **



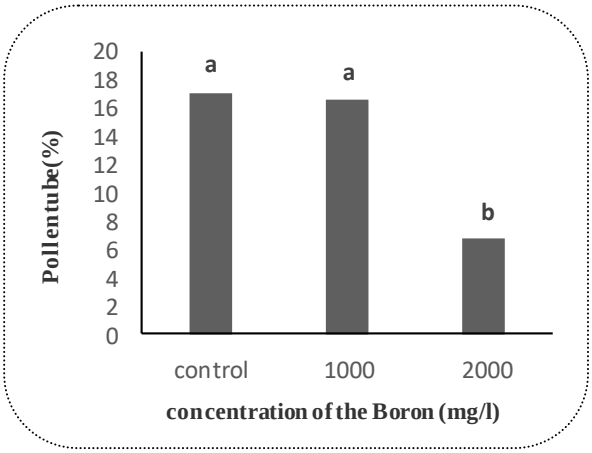
شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف بور بر درصد جوانه‌زنی گرده روی کلاله

Figure 4. The effect of different concentrations of the Boron on the pollen germination percentage on the stigma.



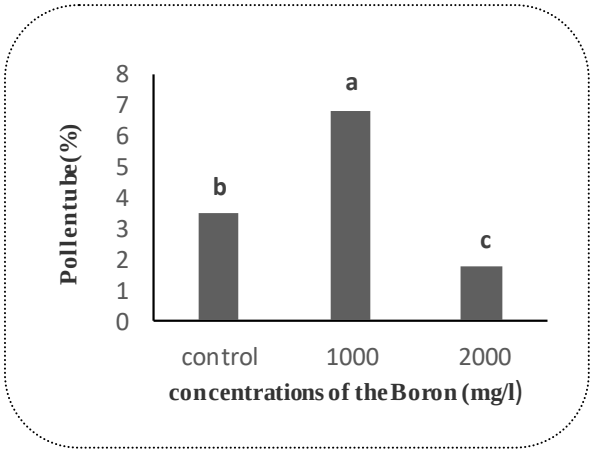
شکل۵- اثر غلظت‌های مختلف بور بر میزان نفوذ لوله گرده در ابتدای خامه

Figure 5. The effect off different concentrations of the Boron on the tube penetration to upper part of the style



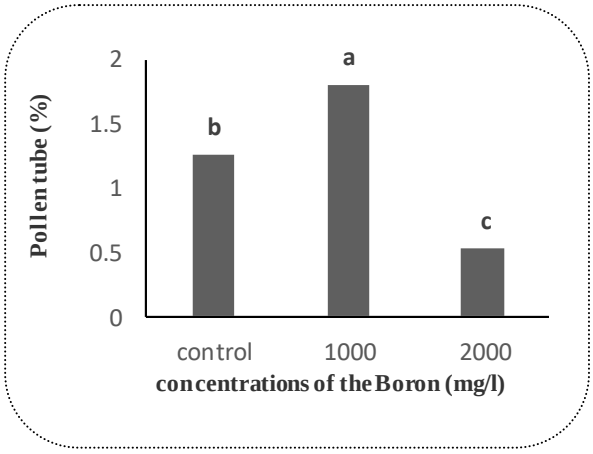
شکل ۶-اثر غلظت‌های مختلف بور بر میزان نفوذ لوله گرده در میانه خامه

Figure 6. The effect of different concentrations of the Boron on the tube penetration to middle part of the style



شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف بور بر میزان نفوذ لوله گرده در انتهای خامه

Figure 7. The effect off different concentrations of the Boron on the penetration to extreme part of the style



شکل ۸- اثر غلظت‌های مختلف بور بر میزان نفوذ لوله گرده در ورودی تخمدان

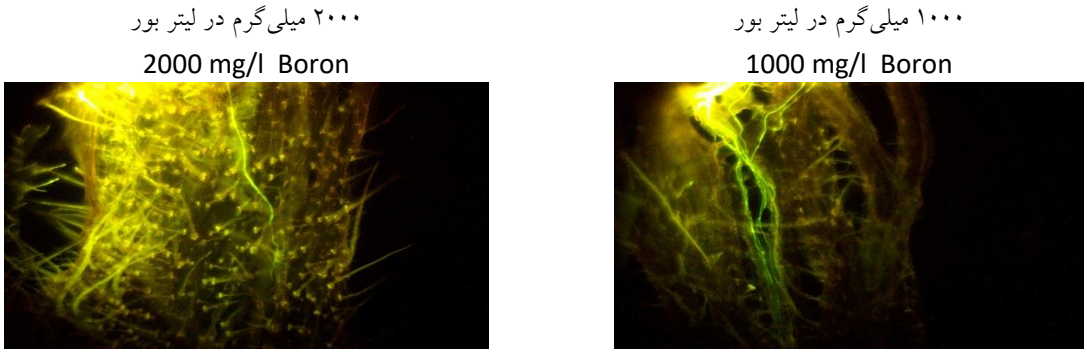
Figure 8. The effect off different concentrations of the Boron on the penetration to beginning of the ovary

جدول۳- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد مطالعه

Table 3. Pearson correlation coefficients among the studied characteristics.

	beginning of the style	middle of the style	end of the style	beginning of the ovary	Primary fruit set (%)	Final fruit set (%)
beginning of the style	0/53**					
middle of the style	0/59**	0/65 **				
end of the style	0/53**	0/52**	0/74**			
beginning of the ovary	0/42**	0/43**	0/55**	0/75**		
Primary fruit set	0/42**	0/46**	0/51**	0/61**	0/79**	
Final fruit set (%)	0/41**	0/47**	0/51**	0/54**	0/63**	0/82**

** show significant at the 1 % P value ** ، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۹- اثر غلظت‌های مختلف بور بر میزان نفوذ لوله گرده در ورودی تخمدان

Fig 9. The effect off different concentrations of the Boron on the penetration to beginning of the ovary

فلاح معافی و همکاران (۱۳۹۸)، اثر محلول‌پاشی عنصر بور بر روند رشد لوله گرده در مادگی چند رقم سیب را موردمطالعه و گزارش نمود که عنصر بور بر درصد جوانه‌زنی در سطح کلاله و میزان نفوذ لوله‌های گرده در قسمت ابتدایی خامه، میانه خامه و تخمدان اثر مثبت بالایی داشته و درمجموع محلول‌پاشی عنصر بور باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و میزان رشد لوله گرده شد. بنابراین، افزایش محلول‌پاشی بور در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تأثیرگذاری را بر جوانه‌زنی با مقدار ۳۳ درصد و رشد لوله گرده با مقدار ۲۸ درصد، در مادگی سیب نشان داد که نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج ایشان مطابقت داشت. طلایی و همکاران (۱۳۸۰)، با بررسی تأثیر محلول‌پاشی بور و روی در درصد تشکیل میوه و کیفیت میوه زیتون گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید بوریک تشکیل میوه اولیه را ٪۷۹ افزایش داد. درحالی‌که محلول‌پاشی روی و اسید بوریک سبب افزایش قابل‌توجهی در تشکیل میوه نهایی و تعداد میوه هنگام برداشت شد. عنصر بور در گرده‌افشانی و لقاح نقش مهمی دارد و برای تولید اکسین و سیتوکینین جهت رشد سلول موردنیاز است. همچنین، بور در افزایش طول لوله گرده و زنده ماندن تخمک نقش دارد با توجه به موارد فوق محلول‌پاشی بور قبل شکوفایی دو رقم زردآلوی موردمطالعه، در تشکیل میوه اولیه دخالت کرده و درصد تشکیل میوه اولیه را بالا برده است.

در نهایت نتایج مربوط به همبستگی بین صفات در جدول ۳ نشان داد که ضرایب بین ۴۱/. الی ۸۲/. بود. به‌طورکلی ضرایب همبستگی بین درصد جوانه‌زنی دانه گرده در سطح کلاله و تعداد لوله‌گرده در قسمت‌های مختلف خامه و تخمدان نشان داد که همبستگی مثبت و بالایی بین آن‌ها وجود داشت. بیشترین همبستگی (۸۲/.) بین تعداد لوله گرده در میانه خامه و تعداد لوله گرده در ابتدای خامه و کمترین همبستگی (۰/۴۱) بین درصد

جوانه‌زنی دانه‌گرده در سطح کلالـه و تعـداد لولـه‌گـرده در ابتدای تخمدان وجود داشت.

نتیجه‌گیری نهایی

ازآنجایی‌که کمبود بور به‌طور مسـتقیم بـر جوانـه‌زنی و رشد لوله گـرده و لقـاح آن تـأثیر مـی‌گـذارد ازایـن‌رو بـا محلول‌پاشی بور با غلظـت ۱۰۰۰ الـی ۲۰۰۰ میلی‌گـرم در لیتر درصد جوانه‌زنی و رشد لوله گرده در تمام قسمت‌های خامه همچنین، ورودی تخمدان نسبت بـه شـاهد افـزایش داشته اسـت. غلظـت ۲۰۰۰ میلی‌گـرم در لیتـر بـور باعـث کاهش درصد جوانه‌زنی و رشد لوله گـرده در قسـمت‌های مختلف خامه شده است. احتمال دارد افزایش غلظـت بـور بر روی گیـاه اثـر سـمی داشـته و موجـب کـاهش درصـد جوانه‌زنی و رشد لوله گرده شده باشد.

منابع

حاجیلو، ج.، گل‌محمدی، م.، پناهنده، ج.، رهنمون، ه.، ۱۳۹۱. برسی چگونگی رشد لوله گرده در چند رقم زردآلو، *مجله علوم باغبانی*، شماره ۲، صص ۱۵۲-۱۴۵.

سیدکلایی، ف.، صادقی، ح.، و مرادی، ح.، ۱۳۹۴. اثر محلول‌پاشی نیتروژن، بور و روی بر میزان اکسین، تشکیل و ریزش میوه در پرتقال تامسون ناول (*Citrus sinensis cv. Thomson navel*)، *علوم باغبانی ایران*، شماره ۳، صص ۳۷۸-۳۶۷.

فلاح معافی، س.، شرفی، ی.، فتوکیان، م. ح.، رضایی، آ.، ۱۳۹۸. مطالعه میکروسکوپی اثر محلول‌پاشی بور بر روند رشد لوله گرده در دگرگرده‌افشانی برخی ارقام سیب. *نشریه علوم باغبانی*. شماره۲، صص ۲۱۸-۲۰۷.

طلایی، ع.، بادمحمود، م.ط.، ملکوتی، م. ج.،۱۳۸۰. اثر محلول پاشی با نیتروژن، بور و روی بر کمیت و کیفیـت میـوه زیتـون، *مجله علوم کشاورزی ایران*، شماره ۴، صص۷۳۶-۷۲۷.

نکونام، ف.، فتاحی‌مقدم، م.، عبادی، ع. ۱۳۹۰. برسی وضعیت ناسازگاری و عقیمی در چهار رقم زردآلو تجاری ایـران، *نشـریه علوم باغبانی ایران*، شماره ۱، صص ۹-۱.

Abdelgadir, H., Johnson, S., Van Staden, J. 2012. Pollen viability, pollen germination and pollen tube growth in the biofuel seed crop *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). *South African Journal of Botany*, 79, 132-139.

Acar, I., Ak, B. E., Sarpkaya, K. 2010. Effects of boron and gibberellic acid on in vitro pollen germination of pistachio (*Pistacia vera* L.). *African Journal of Biotechnology*, 9(32), 5126-5130.

Agens, M.S., Nyomora, A.M.S., Brown, H. 1997. Fall foliar applied boron increase boron and nut set of almond. *Journal American Society Horticultural Science*, 122(3): 405-410.

Ahmed, F., Darwish, O., Gobara, A., Ali, A. 2002. Physiological studies on the effect of ascorbic and citric acids in combined with some micronutrients on “Flame Seedless” grape vines. Minia J Agric Res Dev. 22(1), 105-114.

Ahmad, M. & Abbdel, F.M. (1995). Effect of urea, some micronutrients and growth-regulatorsfoliar spray on the yield, fruit quality, and some vegetative characteristics of 'Washington Navel' organe trees. *HortScience*, 30, 774-780.

Alonso, J.M., 2005. Differential pollen tube growth in inbred self-compatible almond genotypes. *Euphytica*, 144(1-2): 207-213.

Alva, O., Roa-Roco, R. N., Pérez-Díaz, R., Yáñez, M., Tapia, J., Moreno, Y., González, E. 2015. Pollen Morphology and Boron Concentration in Floral Tissues as Factors Triggering Natural and GA-Induced Parthenocarpic Fruit Development in Grapevine. *PloS one*, 10(10), 0139503.

Atlagić, J., Terzić, S., Marjanović-Jeromela, A. 2012. Staining and fluorescent microscopy methods for pollen viability determination in sunflower and other plant species. *Industrial crops and products*, 35(1), 88-91.

Blevins, D. G., Lukaszewski, K. M. 1998. Boron in plant structure and function. *Annual review of plant biology*, 49(1), 481-500.

Burgos, L., Ledbetter, C.A., Pérez-Tornero, O., Ortín-Párraga, F. and Egea, J., 1997. Inheritance of sexual incompatibility in apricot. *Plant Breeding*, 116(4): 383-386.

Carreño, J., Oncina, R., Carreño, I. 2006. In Vitro Studies on Pollen Germination Capability and Preservation of Different Cultivars of *Vitis vinifera L.* Paper presented at the IX International Conference on Grape Genetics and Breeding 827.

Chautá-Mellizo, A., Campbell, S.A., Bonilla, M.A., Thaler, J.S. and Poveda, K., 2012. Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality. *Basic and Applied Ecology*. 13(6): 524-532.

Chen, Y., Smagula, J. M., Litten, W., Dunham, S. 1998. Effect of boron and calcium foliar sprays on pollen germination and development, fruit set, seed development, and berry yield and quality in lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium Ait*.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(4), 524-531.

Cropotova, J., Tylewicz, U., Cocci, E., Romani, S., Dalla Rosa, M. 2016. A novel fluorescence microscopy approach to estimate quality loss of stored fruit fillings as a result of browning. *Food chemistry*, 194, 175-183.

Dafni, A., Firmage, D. 2000. Pollen viability and longevity: practical, ecological and evolutionary implications. *Plant Systematics and Evolution*, 222(1), 113-132.

Dafni, A., Hesse, M., Pacini, E. 2012. *Pollen and pollination*: Springer Science & Business Media.

Dell, B., Huang, L. 1997. Physiological response of plants to low boron. *Plant and soil*, 193(1-2), 103-120.

Eftekhari, M., Sharafi, Y. 2020. Microscopic study of fertilization and fruit set in apricot cultivars sprayed by zinc. *Journal of Horticultural Plant Nutrition* .2:1-14.

Egea, J. and Burgos, L., 1996. Detecting cross-incompatibility of three North American apricot cultivars and establishing the first incompatibility group in apricot. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(6): 1002-1005.

FAO STAT. (2017). Food and agriculture organization of the United Nations. FAO Statisticsdivision. http://faostat.fao.org/site/567

Gür, N. and Topdemir, A., 2008. Effects of some heavy metals on in vitro pollen germination and tube growth of apricot (*Armenica vulgaris Lam*.) and cherry (*Cerasus avium* L.). *World Applied Sciences Journal*, 4(2) 195-198.

Hegedűs, A, J Lénárt, J Halász. 2012. 'Sexual incompatibility in Rosaceae fruit tree species: molecular interactions and evolutionary dynamics', *Biologia plantarum*, 56: 201-09.

Hiscock, S.J., Allen, A. 2008. Diverse cell signaling pathways regulate pollen-stigma interactions: the search for consensus. *Tansley Review New Phytol*., 179:286-317.

Hu, H., Brown, P. H. 1994. Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin (evidence for a structural role of boron in the cell wall). *Plant physiology*, 105(2), 681-689.

Iwai, H., Hokura, A., Oishi, M., Chida, H., Ishii, T., Sakai, S., Satoh, S. 2006. The gene responsible for borate cross-linking of pectin Rhamnogalacturonan-II is required for plant reproductive tissue development and fertilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(44), 16592-16597.

Jie, Q., Shupeng, G., Jixiang, Z., Manru, G. & Huairui, S. (2005). *Identification of self-incompatibility.*

genotypes of apricot (*Prunus armeniaca* L.) by S-allele-specific PCR analysis. *Biotechnology Letters*, 27, 1205-1209.

Jutamanee, K., Eoomkham, S., Pichakum, A., Krisanapook, K., & Phavaphutanon, L. 2001. Effect of calcium, boron and sorbitol on pollination and fruit set in mango cv. Namdokmai. Rev Bras Frutic, 23(2), 265-269.

Karim, M. R., Wright, G. C., Taylor, K. C. (1996). Effect of foliar boron sprays on yield and fruit quality of citrus. Citrus Research Report.

Kubitscheck, U. 2017. Fluorescence microscopy: from principles to biological applications: John Wiley & Sons.

Lewis, D. 1980. Are there inter- relations between the metabolic role of boron, synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen? New Phytologist, 84(2), 261-270.

Losada, J. M., Herrero, M. 2014. Glycoprotein composition along the pistil of *Malus x domestica* and the modulation of pollen tube growth. *BMC plant biology*, 14(1), 1.

Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants: Academic press.

Milatović, D., Nikolić, D. and Krška, B., 2013. Testing of self-(in) compatibility in apricot cultivars from European breeding programmes. *Horticultural Science* (*Prague*), 40: 65-71.

Mularczyk-Oliwa, M., Bombalska, A., Kaliszewski, M., Włodarski, M., Kopczyński, K., Kwaśny, M., Trafny, E. A. 2012. Comparison of fluorescence spectroscopy and FTIR in differentiation of plant pollens. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 97, 246-254.

Nancy, W., Maxine, C., Thompson, M., Chaplin, M.H., Stebbins, R.L. & Westwood, M.N. (1978). fruit set of Italian prune following fall foliar and spring boron sprays. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 103, 253-257.

Norouzi, S., Malakouti, M.j. Rezaei, H. 2003. The effects of boron and boron on seed germination and pollen tube growth of wheat. Ninth Congress of Soil Science, Tehran, Soil Conservation and Watershed Management Research Center. [In Farsi]

Novara, C., Ascari, L., La Morgia, V., Reale, L., Genre, A., Siniscalco, C. 2017. Viability and germinability in long term storage of *Corylus avellana pollen*. *Scientia Horticulturae*, 214, 295-303.

Nyomora, A., Brown, P., Pinney, K., Polito, V. (2000). Foliar application of boron to almond trees affects pollen quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(2), 265-270.

Pereira, M. R., Ribeiro, H., Cunha, M., Abreu, I. 2018. Comparison of pollen quality in *Vitis vinifera* L. cultivars. *Scientia horticulturae*, 227, 112-116.

Pinney, K., Brown, P., Nyomora, A., Polito, V. 2000. Foliar Application of Boron to Almond Trees Affects Pollen Quality.

Qin, X. 1996. Leaf spraying with boron, zinc and magnesium and their effects on the fruit production and quality of Jingchen oranges (*Citrus sinensis Osbeck*). *Journal of Southwest Agricultural University*, 18(1), 40-45.

Radunić, M., Jazbec, A., Ercisli, S., Čmelik, Z., Ban, S. G. 2017. Pollen-pistil interaction influence on the fruit set of sweet cherry. *Scientia horticulturae*, 224, 358-366.

Ramírez, F., Davenport, T. L. 2013. Apple pollination: a review. *Scientia horticulturae*, 162, 188-203.

Saadati, S., Moallemi, N., Mortazavi, S.M.H. and Seyyednejad, S.M., 2016. Foliar applications of zinc and boron on fruit set and some fruit quality of olive. *Vegetos*, 29:2

Sabbaghpoor Heris, J., Sharafi, Y., Buzari, B. 2020 Investigation of the Compatibility among some Sour Cherry Cultivars and Genotypes in Iran .*Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 21 (1): 45 – 58*.

Sedgley, M. (1990). Flowering of deciduous perennial fruit crops. *Horticultural Reviews*, Volume 12, 223-264.

Sharafi, Y., Karimi, M. and Ghorbanifar, M., 2010. Study of pollen tube growth, cross-compatibility and fruit set in some almond genotypes. *African Journal of Plant Science*, 4(5): 164-166.

Sharafi, Y., Raina, M. 2020. Effect of boron on pollen attributes in different cultivars of Malus domestica L. "https://www.springer.com/journal/40009 "/*National Academy Science Letters* .43)4 :(399-403.

Sharafi, Y. 2019. Effects of zinc on pollen gamete penetration to pistils in some apple crosses assessed by fluorescence microscopy. *Caryologia* .72 :63-73.

Sharafi, Y., Talebi, S.F., Talei, D. 2017. Effects of heavy metals on male gametes of sweet cherry .*Caryologia* . 70 :166-173.

Sidhu, R. J., Malik, C. 1986. Metabolic role of boron in germinating pollen and growing pollen tubes Biotechnology and ecology of pollen (pp. 373-378): Springer.

Urbanczyk, J., Casado, M. A. F., Diaz, T. E., Heras, P., Infante, M., Borrego, A. G. 2015. Reprint of "Spectral fluorescence variation of pollen and spores from recent peat-forming plants". *International Journal of Coal Geology*, 139, 206-216.

Wang, Q., Lu, L., Wu, X., Li, Y., Lin, J. 2003. Boron influences pollen germination and pollen tube growth in *Picea meyeri*. *Tree Physiology*, 23(5), 345-351.

Yang, X., Sun, S., Li, Y. 1999. Boron deficiency causes changes in the distribution of major polysaccharides of pollen tube wall. *Acta Botanica Sinica*, 41(11), 1169-1176.

Yeloff, D., Hunt, C. 2005. Fluorescence microscopy of pollen and spores: a tool for investigating environmental change. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 133(3), 203-219.

Yogaratnam, N. and Greenham, D.W.P., 1982. The application of foliar sprays containing nitrogen, magnesium, zinc and boron to apple trees. I. Effects on fruit set and cropping. *Journal of Horticultural Science*, 57(2): 151-158.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۱۴۶- ۱۳۳)
مقاله پژوهشی

پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و رشدی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) به کاربرد تلفیقی گوگرد و باکتری تیوباسیلوس (*Halothiobacillus neapolitanus*)

علیرضا گیلانی [۱*]، حمید عباسدخت [۲]، احمد غلامی [۳]

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود ، ایران.
aligilibili@gmail.com
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود ، ایران.
habbasdokht@yahoo.com
۳- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
ahgholami273@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۶ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۲**

چکیده

به منظور ارزیابی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی گیاه کنجد به اثر تغذیه‌ای کاربرد تلفیقی گوگرد و تیوباسیلوس، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای آزمایشی در شهرستان کرج (استان البرز) در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. فاکتورهای آزمایش عبارت شامل کود گوگرد در سه سطح (شامل شاهد (S_0)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_1) و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_2))؛ باکتری تیوباسیلوس در دو سطح شامل (عدم تلقیح (T_0) و تلقیح با باکتری (T_1)) در نظر گرفته شدند. شاخص‌های ارزیابی نیز شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید بود. نتایج نشان داد که همه‌ی صفات مورد بررسی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر اصلی کود گوگرد و تمام صفات مورد بررسی به جز ارتفاع بوته، تحت تاثیر اثر اصلی تیوباسیلوس قرار گرفتند به طوری که بیشترین میزان همه‌ی صفات مورد آزمایش در تیمار S_2 در کنجد بدست آمد. برهمکنش اثر کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس نیز بر صفات تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل به طور معنی‌داری تاثیرگذار بود. بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد اثر تغذیه‌ای کاربرد تلفیقی گوگرد و تیوباسیلوس موجب بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی گیاه کنجد گردیده است.

کلمات کلیدی: کنجد، گوگرد، تیوباسیلوس، عملکرد، اجزای عملکرد، کلروفیل، کاروتنوئید.

مقدمه

کنجد گیاهی یک ساله است، با سابقه کشت پنج هزارساله و ظاهرا قدیمی‌ترین دانه روغنی در جهان است. کنجد با این که محصول مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر است، ولی اصلاح واریته‌های مناسب موجب گسترش آن به مناطق معتدل‌تر شده است. (Langham et al., 2007).

گوگرد پس از عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم چهارمین عنصر پرمصرف ضروری در اکثر گیاهان زراعی می‌باشد. با توجه به شرایط اقلیمی و ویژگی خاک‌های ایران توجه به مصرف گوگرد در اراضی کشاورزی بسیار ضروری می‌باشد. عدم مصرف کودهای حاوی گوگرد (مانند سوپر فسفات ساده) در سال‌های گذشته، کشت مداوم و متراکم اراضی زراعی، وجود اراضی سدیمی و شور سدیمی و فراوانی و ارزانی گوگرد از مهم‌ترین دلایل توجه به مصرف گوگرد در خاک‌های ایران می‌باشد. گوگرد ورودی از اتمسفر منجر به منفی شدن تعادل در خاک‌های کشاورزی می‌شود. از آنجا که عملکرد گیاهان زراعی با این منفی شدن تعادل در خاک افزایش پیدا می‌کنند بنابراین وابستگی گیاهان به خاک برای تامین گوگرد مورد نیاز برای سنتز اسیدهای آمینه سیستئین و متیونین و قسمتی از پروتئین‌ها و تعدادی از ویتامین‌های ضروری و کوفاکتور افزایش پیدا می‌کند (Kertesz and Mirleau, 2004). در نتیجه، در صورت کمبود گوگرد رشد و نمو گیاهان دچار تاخیر شده که این، موجب کاهش کمی و کیفی محصول می‌شود (Motior et al., 2011). این عنصر در گیاهان روغنی اهمیت دو چندانی دارد زیرا علاوه بر ضرورت وجود گوگرد در تشکیل برخی اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، تشکیل کلروفیل و ویتامین‌ها؛ در گیاهان روغنی این عنصر همچنین بخشی از ساختمان اسیدهای چرب، کوآنزیم A، تیامین، بیوتین، گلوتامین، اسید لیپوئیک و سولفولیپیدها می‌باشد (AsgharMalik et al., 2004). یکی دیگر از خصوصیات مهم گوگرد قابلیت اکسیداسیونی می‌باشد که سبب می‌شود مصرف این عنصر علاوه بر تامین یون سولفات مورد نیاز گیاه، با تولید اسید سولفوریک و کاهش pH خاک در محدوده ریزوسفر موجب افزایش حلالیت و قابلیت جذب عناصر پرمصرف (نظیر فسفر) و کم مصرف (مانند آهن و روی) در خاک و بهبود خصوصیات رشدی گیاه گردد (Akter et al., 2013).

اغلب محققین معتقدند که با مدیریت اصولی و خوب و استفاده صحیح از کودهای زیستی می‌توان وضعیت تغذیه‌ای گیاهان و وضعیت زیست محیطی را بهبود بخشید. (Bockman, 1997). کودهای بیولوژیک، معمولا حاوی مقادیر مشخص از یک یا چند گونه ریزجاندار مفید خاکزی است که می‌توانند هم‌زیستی ایجاد کنند یا به صورت آزادزی و ایجاد هم‌یاری در رفع نیازهای تغذیه‌ای و رشدی گیاهان اثرات مثبتی داشته باشند (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012). گوگرد برای جذب توسط گیاهان باید ابتدا تبدیل به یون سولفات شود که این امر توسط میکروارگانیسم‌های chemolithotrophs، که از گوگرد به عنوان منبع به‌دست آوردن انرژی استفاده می‌کنند، اتفاق می‌افتد. مهم‌ترین این میکروارگانیسم‌ها باکتری‌هایی از جنس تیوباسیلوس می‌باشند (Zhi-Hui et al., 2010). محقق شدن این موضوع منوط به وجود جمعیت قابل توجهی تیوباسیلوس می‌باشد.

سعیدی نژاد و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که مصرف کود گوگرد سبب افزایش معنی‌دار تمام صفات عملکردی کمی وکیفی کنجد گردید. علت این امر علاوه بر اثر تغذیه‌ای گوگرد، کاهش pH خاک و افزایش معنی‌دار جذب فسفر عنوان گردید. احمدی و همکاران (۱۳۹۶) نیز با بررسی تاثیر ورمی‌کمپوست، گل گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد گیاه ذرت، گزارش کردند که اثر متقابل کاربرد گل گوگرد و تیوباسیلوس به طور معنی‌داری عملکرد دانه ذرت را افزایش داد. (Falahatgar et al., 2013) در پژوهشی روی دو رقم سویا نشان دادند که با استفاده تلفیقی از گوگرد و باکتری تیوباسیلوس یزان عملکرد، محتوی کلروفیل و جذب آهن و روی به طور چشمگیری

بهبود یافت. (Erdem et al., 2016) بیان داشتند که مصرف گوگرد با توجه به میزان سولفات موجود در خاک و دیگر خصوصیات خاک موجب بهبود شرایط رشد و افزایش عملکرد گیاه گندم شده است به خصوص این موضوع در خاک‌هایی که سولفات در دسترس کمتری داشتند چشمگیر بود.

با عنایت به این‌که مهمترین علت مصرف گوگرد در زمین‌های ایران، کاهش pH و بر طرف کردن مشکلات تغذیه‌ای می‌باشد در این راستا هر نوع زمینه‌سازی برای استفاده از گوگرد، در وهله اول نیازمند وجود مستندات علمی کافی است که نتایج مثبت پیش‌بینی شده از مصرف گوگرد را در آزمایش‌های مزرعه‌ای اثبات نماید (Besharati, 2016). همچنین اطلاعات اندکی در مورد نیازهای غذایی و پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی کنجد به اثر گوگرد و بهبود شرایط pH خاک در دسترس می‌باشد (Khajepoor, 2010). لذا هدف از اجرای این مطالعه ارزیابی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک و زراعی گیاه کنجد به اثر تغذیه‌ای کاربرد تلفیقی گوگرد و تیوباسیلوس بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای در شهرستان کرج (استان البرز) با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۹۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۰۰ متر از دریا در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا گردید. در این آزمایش گوگرد در سه سطح شامل شاهد (S_0)، گوگرد به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_1) و گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_2) و تلقیح با تیوباسیلوس (به میزان دو کیلوگرم به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد) در دو سطح شامل عدم تلقیح (T_0) و تلقیح با باکتری (T_1) اجرا شد. برای ارزیابی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، قبل از انجام عملیات آماده سازی زمین، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک مورد نظر انجام گردید (جدول ۱). کود گوگرد عنصری به شکل پودری مطابق مقادیر تعیین شده برای هر تیمار به صورت نواری ۳۰ روز قبل از کاشت در عمق ۱۰ سانتی‌متری به کرت‌های مورد نظر اضافه و به‌طور کامل با خاک مخلوط شد. همچنین باکتری *Halothiobacillus neapolitanus* به صورت مایه تلقیح پودری از موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه گردید. تیوباسیلوس یک هفته قبل از کاشت به مقدار توصیه شده، در عمق ۱۰ سانتی‌متر خاک قرار داده شد. ابعاد هر کرت ۲×۶ متر، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و فاصله بین تکرارها نیز دو متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در تاریخ ۱۳۹۶/۰۴/۰۱ به‌صورت دستی انجام گردید. فاصله بین گیاهان روی هر ردیف ۲۵ سانتی‌متر و بین هر ردیف ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری به صورت منظم و هر شش روز یک‌بار انجام شد. عملیات وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. برداشت بوته‌ها در تاریخ ۱۳۹۶/۰۷/۲۵ انجام گرفت. برای کاهش اثر حاشیه‌ای از قسمت میانی هر کرت نمونه‌برداری انجام گردید و؛ از هر تیمار سه تکرار و از هر تکرار سه نمونه برداشت شد. سپس تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و ارتفاع بوته محاسبه شد. برای محاسبه عملکرد دانه و عملکرد زیستی نمونه‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا رطوبت به صفر برسد، پس از آن به وسیله ترازوی دقیق وزن شد، سپس به هکتار تعمیم داده شد. برای تعیین میزان محتوی کلروفیل و کاروتنوئید پیش از پایان فصل رشد، از برگ‌های گیاه نمونه‌برداری صورت پذیرفت. برای انجام این کار ۰/۲ گرم از برگ تر با پنج سی سی استون ۸۰٪ به خوبی ساییده و مخلوط گردید. محتوی هاون با عبور از صافی مجددا به همراه ۱۰ سی سی دیگر استون مخلوط شد و به حجم ۱۵ سی سی رسانده شد. سه سی سی از محلول در کووت ریخته شد و میزان جذب آن در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶

و ۴۷۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Alpha 1900S Double Beam; South Korea) در مقابل بلانک متانول خوانده شد (Lichtenthaler, 1987).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3\times A663 - 0.86\times A646)V/100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3\times A646 - 3.6\times A663)V/100W$$

$$\text{Total chlorophyll} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

$$\text{carotenoids} = 100(A470) = 3.27(\text{mg chl a}) - 104(\text{mg chl b})/227$$

تجزیه واریانس و مقایسات میانگین داده‌ها (در سطح احتمال پنج درصد و بر اساس آزمون LSD) با استفاده از نرم افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد کپسول در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در سطح یک درصد و اثر متقابل این دو در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسات میانگین اثر متقابل کود گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد بیشترین تعداد کپسول در بوته از برهمکنش مصرف کود گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_2) با تلقیح تیوباسیلوس (T_1) و کمترین مقدار از شاهد (S_0) و عدم تلقیح تیوباسیلوس (T_0) به‌دست آمد، که اختلاف بین این دو ترکیب تیماری ۳۸ درصد است (شکل ۱).

به نظر می‌رسد هر عاملی مانند وجود رطوبت و مواد غذایی مناسب که فرصت رشد بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌دهد، موجب شکل‌گیری مکان‌های بالقوه‌ی کپسول بیشتری روی گیاه از طریق افزایش ارتفاع و انشعابات جانبی خواهد شد. چایبی و همکاران گزارش کردند که تعداد غلاف در گیاه، ارتفاع گیاه و وزن صد دانه در گیاه بادام زمینی به طور معنی‌داری با افزایش گوگرد افزایش یافت (Chaubey et al., 2000). موسوی نیک (۱۳۹۱) نیز نشان داد که تاثیر کاربرد گوگرد بر تعداد سنبله در اسفرزه معنی‌دار بود.

جدول ۱. برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه‌ی آزمایشی (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)

Table 1. Some physical and chemical properties of soil (Sampling depth: 0-30 cm)

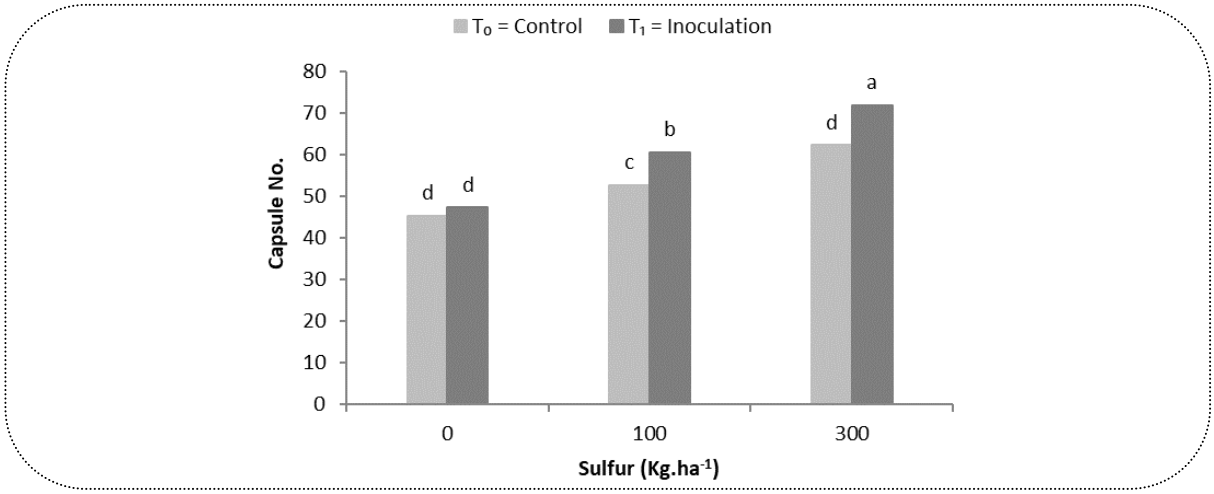
Texture	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	S (mg/Kg)	P (mg/Kg)	K (mg/Kg)	N (%)	Organic matter (%)
Clay-silt	7.97	2.18	13	8.56	235	0.05	0.07

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مورفولوژیک و زراعی کنجد تحت تاثیر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس.

Table 2. Analysis of variance (mean squared) the effect of different sulfur levels and *Thiobacillus* on some morphological and agricultural characteristics of *Sesamum indicum L.*

S.O.V	df	Capsule No.	Seed No.	1000-seed weight	Seed yield	Biological yield	Harvest index	Plant height
Sulfur	2	651.06**	1820.23**	0.02**	35574**	87518**	12.17**	187.06**
Thiobacillus	1	184.65**	193.39**	0.02**	4544**	8933**	1.66*	22.22
S×T	2	24.39*	27.06*	0.01	574.91*	975.72*	0.22	5.06
Replication	2	330.88	72.67	0.01	9070	4160	5.21	17.06
Error	10	5.16	5.13	0.01	104.72	155.86	0.09	11.19
CV (%)		4	4.49	0.90	4.12	3.36	5.12	7.93

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



شکل ۱. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر تعداد کپسول در بوته. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 1. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on capsules per plant. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

تعداد دانه در کپسول

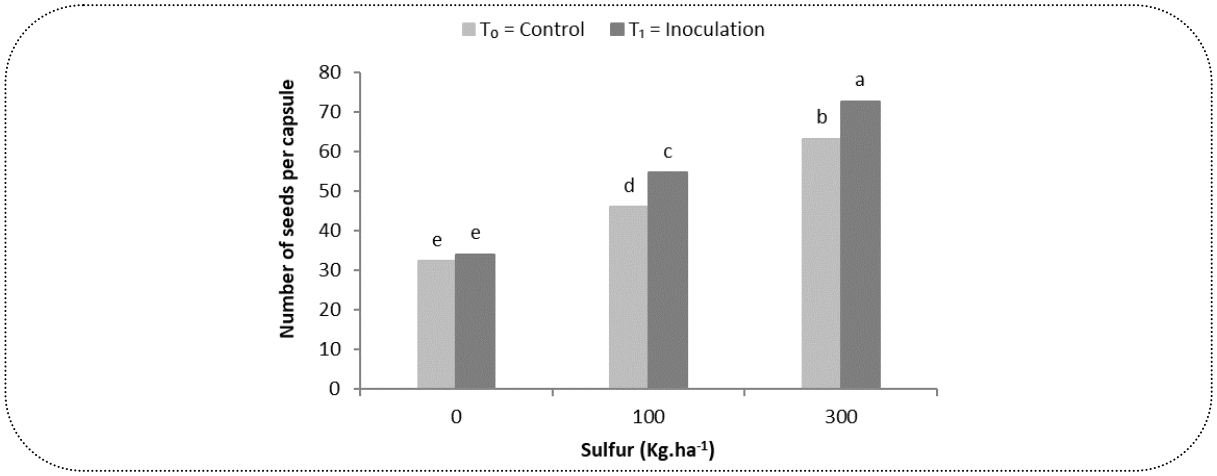
همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد اثرات اصلی گوگرد و تیوباسیلوس ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل آن‌ها ($p \leq 0.05$) روی تعداد دانه در کپسول معنی‌دار شد. مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد که بیشترین تعداد دانه در کپسول از ترکیب تیماری (S_2) و (T_1) و کمترین مقدار این صفت از ترکیب تیماری شاهد (عدم مصرف گوگرد) و شاهد (عدم تلقیح تیوباسیلوس) حاصل شد که بین این دو ترکیب تیماری اختلاف ۵۵/۵۱ درصدی مشاهده گردید (شکل ۲).

علت این امر احتمالا می‌تواند به دلیل داشتن کپسول‌های بزرگتر با طول کپسول بیشتر باشد. کپسول‌های ثانویه که روی شاخه‌های فرعی گیاه به‌وجود می‌آیند از لحاظ مکان و زمان تشکیل در شرایطی هستند که تحت تاثیر عوامل محیطی، وجود و عرضه مواد فتوسنتزی و به طور کلی تداوم رشد گیاه قرار دارند. همچنین رشد رویشی بیشتر منجر به باروری تعداد بیشتر کپسول‌ها خواهد شد و به نظر می‌رسد این تاثیرگذاری بیشتر ناشی از بارور شدن کپسول‌هایی که در انشعابات فرعی ساقه هستند، باشد. در بسیاری از مطالعات بیان شده که اثر کمبود کود گوگرد ابتدا روی تعداد دانه در سنبله است. موسوی نیک (۱۳۹۱) بیان داشت که کاربرد گوگرد روی تعداد دانه در سنبله اسفرزه معنی‌دار بود. تاتاری نیز نتایجی مشابه با این آزمایش را گزارش کرده است (Tatari, 2004).

وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که گوگرد بر وزن هزاردانه گیاه تاثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) داشته است (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه مربوط به تیمار مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (S_2) است و با کاهش مصرف گوگرد، وزن هزاردانه کاهش یافته است (جدول ۳). تلقیح تیوباسیلوس نیز روی وزن هزاردانه تاثیر معنی‌داری را نشان داد ($p \leq 0.01$). بیشترین وزن هزاردانه در تیمار تلقیح باکتری (T_1) به میزان ۳/۵۶ گرم و کمترین وزن هزاردانه در تیمار شاهد (T_0) به مقدار ۳/۵۱ گرم حاصل شد (جدول ۳).

هر عاملی که موجب تغییر در مقدار وزن دانه گردد، سبب تغییر در عملکرد دانه می‌شود. در این بین، گوگرد افزوده شده به خاک موجب طولانی‌تر شدن زمان پر شدن دانه، افزایش میزان مواد تولیدی و در نهایت وزن هزار دانه می‌گردد. در مطالعه‌ای افزایش وزن هزار دانه آفتابگردان در بالاترین سطح گوگرد به کار رفته نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود (Hocking et al., 1987).



شکل ۲. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر تعداد دانه در کپسول. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 2. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on seeds per capsule. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات اصلی گوگرد و تیوباسیلوس بر برخی صفات مورفولوژیک و زراعی کنجد

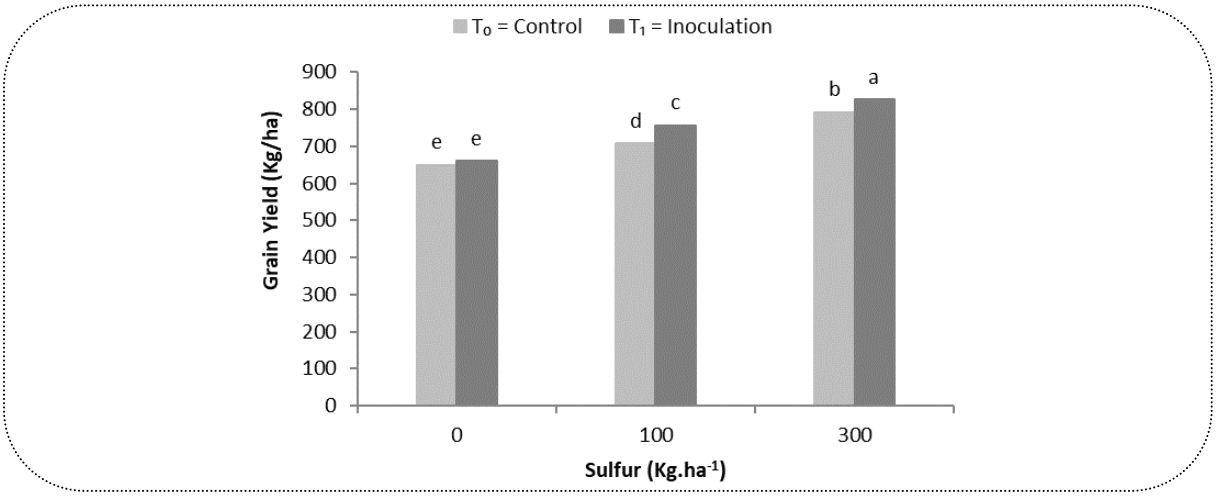
Table 3. Comparison of the mean of main effects of different sulfur levels and *Thiobacillus* on some morphological and agricultural characteristics of *Sesamum indicum L.*

Treatment	Capsule No.	Seed No.	1000-seed weight	Seed yield	Biological yield	Harvest index	Plant height
Sulfur							
(S_0)	46.33^c	33.17^c	3.47^b	654.33^c	3651^c	17.91^c	93.51^b
(S_1)	56.67^b	50.33^b	3.55^a	731.67^b	3780^b	19.34^b	97.33^b
(S_2)	67.17^a	68^a	3.58^a	808.33^a	3892^a	20.76^a	104.54^a
Thiobacillus							
(T_0)	53.44^b	47.22^b	3.56^b	715.57^b	3753^b	19.04^b	99.57^a
(T_1)	60^a	53.78^a	3.51^a	747.33^a	3797^a	19.64^a	97.33^a

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌های مربوطه نشان داد که عملکرد دانه بطور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تحت تاثیر تمام اثرات اصلی و متقابل ($p \leq 0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد دانه از ترکیب تیماری ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد (S_2) با تیوباسیلوس (T_1) به میزان ۷۹۰/۶۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار از عدم مصرف گوگرد (S_0) و عدم استفاده از تیوباسیلوس (T_0) به میزان ۶۴۹ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (شکل ۳).

استفاده از کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس علاوه بر نقش مستقیم تغذیه‌ای گوگرد بر گیاه، موجب کاهش pH خاک و در دسترس قرار گرفتن مواد معدنی مورد استفاده گیاه شده، که این امر سبب افزایش معنی‌دار میزان عملکرد دانه می‌گردد (Orman and Kaplan, 2007). مقدار گوگرد مورد نیاز گیاهان بسته به گونه گیاهی و مقدار ماده خشک تولیدی، متفاوت است و در این میان بیشترین میزان مصرف گوگرد برای دانه‌های روغنی و کمترین میزان مصرف برای غلات گزارش شده است (Kumar Singh and Kumar Singh, 2013). صفاری و همکاران در پژوهشی روی گیاه روغنی گلرنگ با توجه به معنی‌دار شدن عملکرد دانه بیان داشتند که اثرات مثبت گوگرد بر متابولیسم گیاهی و تقویت گیاه در مرحله رشد زایشی موجب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (صفاری و همکاران، ۱۳۹۰).



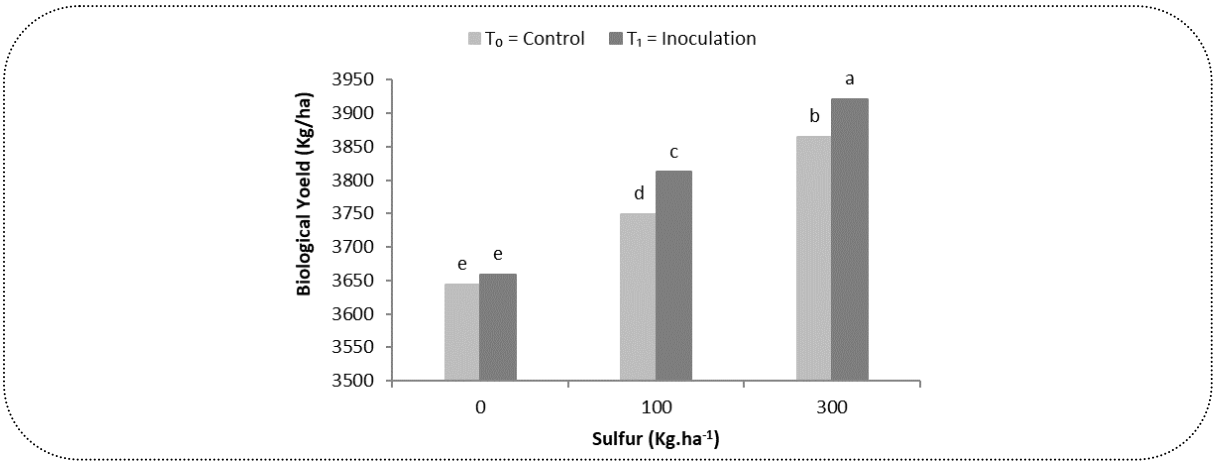
شکل ۳. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد دانه. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 3. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on grain yield. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی روی عملکرد زیستی در سطح یک درصد و اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسات میانگین اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد بیشترین عملکرد زیستی از برهمکنش مصرف گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_2) با تلقیح تیوباسیلوس (T_1) (۳۹۲۰/۶۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار از برهمکنش شاهد (S_0) و شاهد تیوباسیلوس (T_0) (۳۶۴۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد، که اختلاف بین این دو ترکیب تیماری ۷/۷ درصد است (شکل ۴).

اسیدی کردن موضعی خاک، افزایش قابلیت انحلال عناصر، افزایش جذب مواد افزایش راندمان گیاهان در فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و دوام بیشتر برگ‌های گیاه سبب بهبود عملکرد می‌شود (Momen et al., 2011). قاسمی و موسوی نیک (۲۰۱۴) تاثیر مثبت گوگرد روی عملکرد زیستی گیاه کرچک را گزارش کردند (Ghasemi and Moussavi nik, 2014).



شکل ۴. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد زیستی. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 4. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on biological yield. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

شاخص برداشت

نتایج نشان داد که اثر گوگرد بر شاخص برداشت گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد (S_2) با ۲۰/۷۶ درصد است و کمترین شاخص برداشت مربوط به تیمار شاهد ۱۷/۹۱ درصد است (جدول ۳). تلقیح تیوباسیلوس نیز روی شاخص برداشت اثر معنی‌داری داشت ($p \leq 0.05$). بیشترین شاخص برداشت در تیمار مصرف تیوباسیلوس (T_1) به میزان ۱۹/۶۴ درصد و کمترین شاخص برداشت در تیمار شاهد (T_0) به مقدار ۱۹/۰۴ درصد به‌دست آمد (جدول ۳).

علت این امر می‌تواند افزایش بیشتر رشد زایشی نسبت به رشد رویشی باشد به عبارت دیگر افزایش عملکرد دانه نسبت به افزایش عملکرد زیستی بیشتر بوده است. موسوی نیک (۱۳۹۱) گزارش کرد که بیشترین شاخص برداشت از ۱۰۰ درصد میزان توصیه شده کود گوگرد و کمترین شاخص برداشت از تیمار شاهد حاصل شد.

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر گوگرد بر ارتفاع بوته در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین ارتفاع با ۱۰۴/۵ سانتی‌متر مربوط به تیمار مصرف گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (S_2) و کمترین ارتفاع مربوط به تیمار شاهد عدم مصرف (S_0) با ۹۳/۵ سانتی‌متر بود (جدول ۳).

ارتفاع بوته مانند هر کدام از صفات رویشی و زایشی به شدت تحت تاثیر عناصر غذایی قرار می‌گیرد. دسترسی گیاهان به مواد معدنی و آب کافی، خصوصا عنصر نیتروژن از طریق تاثیر بر تقسیم سلولی و بزرگ شدن آن‌ها در افزایش ارتفاع گیاه موثر است. بهبود خصوصیات خاک و قابل جذب شدن مواد معدنی به علت مصرف گوگرد می‌تواند موجب افزایش ارتفاع بوته شود. عناصر نیتروژن و فسفر تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی ارتفاع گیاه دارند. نشان داده شده است که مصرف کودهای شیمیایی گوگرد و فسفر و استفاده از کودهای زیستی حل کننده فسفات و تیوباسیلوس در افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نقش دارند (احمدی واوسری، ۱۳۸۸).

کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در سطح یک درصد و اثر متقابل این دو در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). مقایسات میانگین اثر متقابل کود گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a از برهمکنش تیمار (S_2) با تلقیح تیوباسیلوس (T_1) (۱/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین مقدار از شاهد (S_0) و عدم استفاده تیوباسیلوس (T_0) (۱/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به‌دست آمد، که اختلاف بین این دو ترکیب تیماری ۲۰/۲۷ درصد است (شکل ۵).

استفاده از گوگرد به علت تاثیر بر فعال کردن برخی آنزیم‌ها و کمک به تولید بعضی از ترکیبات که در تولیدات فتوسنتزی نقش دارند قابلیت افزایش کلروفیل‌ها را دارند (Kopriva et al., 2015).

کلروفیل *b*

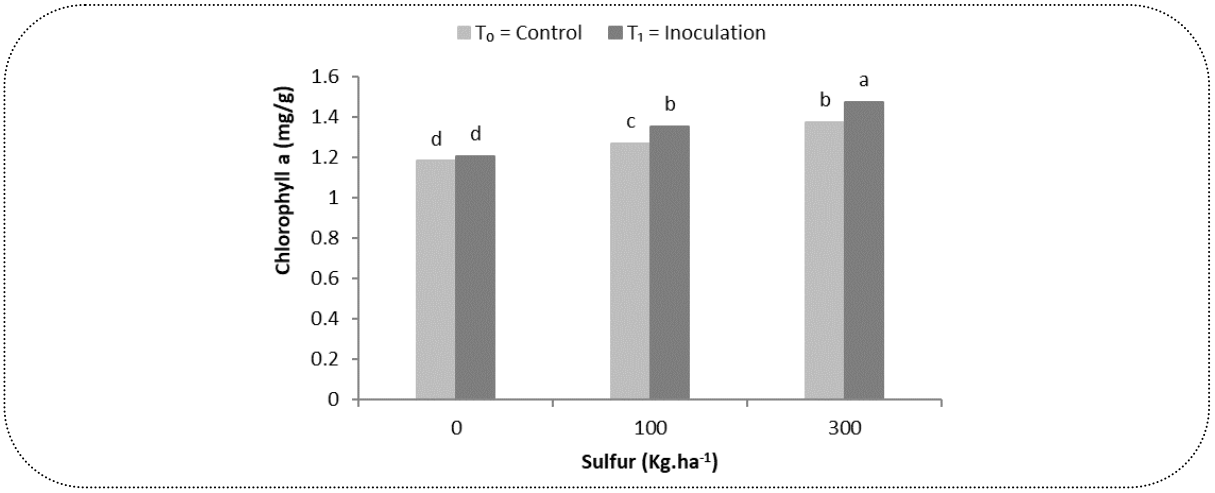
همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌گردد اثرات اصلی گوگرد و تیوباسیلوس ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل آن‌ها ($p \leq 0.05$) روی کلروفیل *b* معنی‌دار شد. مقایسه میانگین برهمکنش کود گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل *b* از ترکیب تیماری ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (S_2) و تلقیح تیوباسیلوس (T_1) به میزان ۰/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین مقدار از ترکیب تیماری شاهد (عدم مصرف گوگرد) و شاهد (عدم تلقیح تیوباسیلوس) به میزان ۰/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد که بین این دو ترکیب تیماری اختلاف ۳۴/۰۷ درصدی مشاهده شد (شکل ۶).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات فیزیولوژیک کنجد. تحت تاثیر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس.

Table 4. Analysis of variance (mean squared) the effect of different sulfur levels and *Thiobacillus* on of some physiological characteristics of *Sesamum indicum* L.

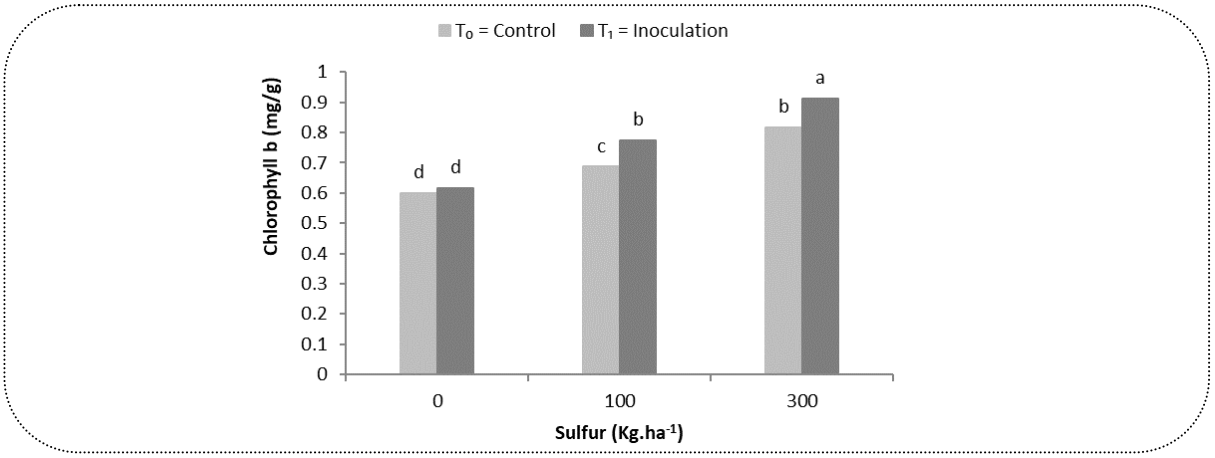
S.O.V	df	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Carotenoid
Sulfur	2	0.08**	0.11**	0.36**	0.02**
Thiobacillus	1	0.02**	0.02**	0.08**	0.02**
S×T	2	0.01*	0.01*	0.01*	0.01
Replication	2	0.01*	0.01	0.01	0.01
Error	10	0.01*	0.01	0.01	0.01
CV (%)		1.58	3.35	2.07	1.26

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



شکل ۵. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر کلروفیل a. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 5. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on chlorophyll-a. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.



شکل ۶. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر کلروفیل *b*. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 6. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on chlorophyll-b. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

کلروفیل کل

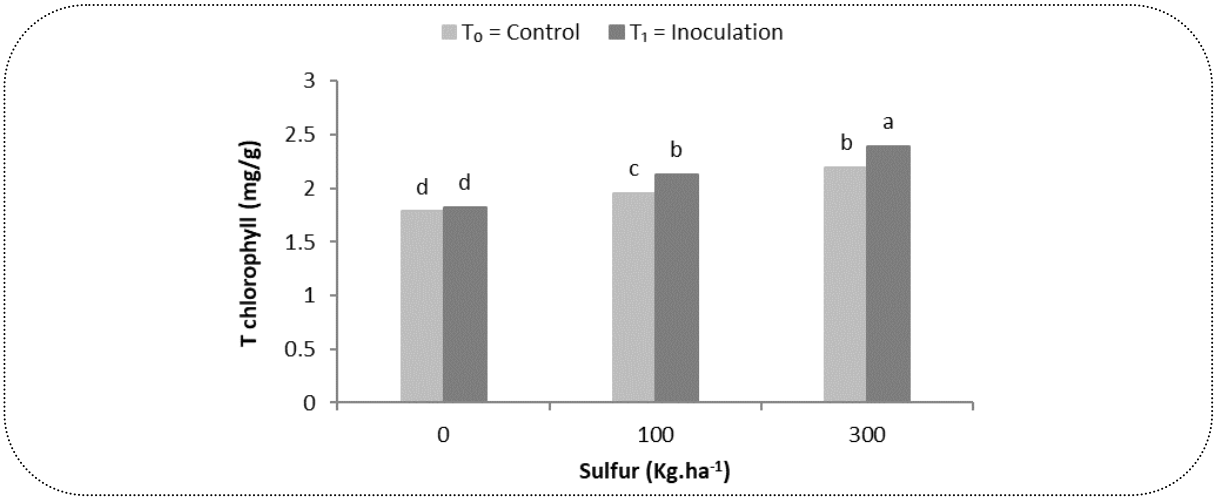
تجزیه واریانس داده‌های مربوطه نشان داد که کلروفیل کل بطور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تحت تاثیر تمام اثرات اصلی و متقابل ($p \leq 0.05$) قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین مقدار کلروفیل کل از ترکیب تیماری ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد (S_2) با تیوباسیلوس (T_1) به میزان ۲/۳۹ میلی‌گرم بر گرم و کمترین مقدار آن از ترکیب تیماری شاهد (S_0) و عدم استفاده از تیوباسیلوس (T_0) به میزان ۱/۷۸ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد (شکل ۷).

حیدری و رضاپور (۱۳۹۰) گزارش کردند کاربرد گوگرد تاثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل *a* داشت و موجب افزایش آن گردید. نتایج (Wang et al., 2003) نشان داد استفاده از گوگرد منجر به افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه یونجه شد. طبق نظر (Marschner, 1995) ترکیبات اصلی کلروفیل دارای ساختار نیتروژنی هستند و از آنجایی که گوگرد سبب افزایش کارایی نیتروژن و همچنین افزایش قابلیت جذب عناصر دیگر در گیاهان می‌شود، به این سبب استفاده از گوگرد می‌تواند تا حدی موجب افزایش میزان کلروفیل گیاهان شود.

کاروتنوئید

نتایج نشان داد که اثر اصلی گوگرد و تیوباسیلوس روی کاروتنوئید تاثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) داشت (جدول ۴). با مقایسه بین میانگین‌ها در می‌یابیم که بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف کود گوگردی (S_2) با ۰/۹ میلی‌گرم بر گرم است و با کاهش مصرف گوگرد، مقدار کاروتنوئید کاهش یافته است و کمترین مقدار این صفت مربوط به تیمار شاهد (S_0) با ۰/۸۳ میلی‌گرم بر گرم است (جدول ۵). هم‌چنین تلقیح تیوباسیلوس روی کاروتنوئید تاثیر معنی‌داری داشت ($p\leq 0.01$). بیشترین کاروتنوئید در تیمار تلقیح باکتری (T_1) به میزان ۰/۸۸ میلی‌گرم بر گرم و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (T_0) به مقدار ۰/۸۵ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد (جدول ۵).

(Kumawat et al,. 2006) در پژوهشی تاثیر گوگرد بر محتوای کلروفیل لوبیا را مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه این تحقیق بیان‌گر تاثیر معنی‌دار و مثبت مصرف گوگرد بر افزایش کلروفیل *a*، *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید بود.



شکل ۷. اثر برهمکنش تیمارهای مختلف کود گوگرد و تیوباسیلوس بر کلروفیل کل. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD می‌باشد.

Fig 7. Interactive effects of sulfur and *Thiobacillus* on total chlorophyll. Different letters indicate significant differences at P < 0.05 by LSD.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد استفاده همزمان از کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس موجب افزایش عملکرد و شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک در گیاه کنجد شد. با توجه به سطح بالای آهک در خاک‌های کشورمان و ارزان بودن منابع گوگرد در ایران، برای کاهش pH خاک استفاده از کود گوگرد و برای تسهیل در دسترسی منابع گوگرد، افزایش اکسایش این کود و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی استفاده از باکتری تیوباسیلوس توصیه می‌شود.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات اصلی گوگرد و تیوباسیلوس بر برخی صفات فیزیولوژیک کنجد

Table 5. Comparison of the mean of main effects of different sulfur levels and *Thiobacillus* on some physiological characteristics of *Sesamum indicum L.*

Treatment	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Carotenoid
Sulfur				
(S_0)	1.19^c	0.61^c	1.81^c	0.83^c
(S_1)	1.31^b	0.73^b	2.04^b	0.86^b
(S_2)	1.43^a	0.86^a	2.29^a	0.90^a
Thiobacillus				
(T_0)	1.28^b	0.70^b	1.98^b	0.85^b
(T_1)	1.35^a	0.77^a	2.11^a	0.88^a

منابع

احمدی، م.، شاهسونی، ش.، عباسدخت، ح.، اصغری، ح.ر.، و قرنجیک، ش.، ۱۳۹۶. بررسی تاثیر ورمی کمپوست، گل گوگرد و تیوباسیلوس بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays L.*) در منطقه دشت بخش جوین. *بوم‌شناسی کشاورزی*، شماره ۹، صص ۱۰۴۹-۱۰۳۱.

احمدی واوسری، ف.، ۱۳۸۸. *تاثیر کودهای بیولوژیک حل کننده فسفات و تیوباسیلوس بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

حیدری، م.، و رضا پور، ع. ر.، ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی و کود گوگرد بر عملکرد دانه، کلروفیل و غلظت عناصر معدنی در گیاه دارویی سیاه دانه (*Nigella sativ* L.). *مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، شماره ۱، صص ۸۱-۸۹.

سعیدی نژاد، م.، بهدانی، م.ع.، سیاری زهان، م.ح.، و محمودی، س.، ۱۳۹۸. تاثیر مصرف گوگرد و کود دامی بر ویژگی‌های کمی و کیفی ارقام کنجد (*Sesamum indicum* L.). *بوم‌شناسی کشاورزی*، شماره ۱۱، صص ۸۵۷-۸۴۵.

صفاری، م.، مددی زاده، م.، و شریعتی نیا، ف.، ۱۳۹۰. بررسی آثار تغذیه‌ای عناصر نیتروژن، بور و گوگرد بر خصوصیات کمی و کیفی دانه گلرنگ. *مجله علوم گیاهان زراعی ایران*، شماره ۴۲، صص ۱۳۳-۱۴۱.

موسوی نیک، م.، ۱۳۹۱. بررسی اثر سطوح مختلف کود گوگرد بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovate* L.) در شرایط تنش خشکی در منطقه بلوچستان. *نشریه بوم شناسی کشاورزی*، شماره ۴، صص ۱۷۰-۱۸۲.

Akter, F., Islam, Md. N., Shamsuddoha, A. T. M., Bhuiyan, M. S. I., and S. Shilpi. 2013. Effect of phosphorus and sulphur on growth and yield of soybean (*Glycine max* L.). *International Journal of Bio-resource and stress Management*. 4(4): 555-560.

AsgharMalik, M., Azizi Khan, H.Z., and M. Ashfaq Wahid. 2004. Growth, seed yield and oil content response of canola (*Brassica napus* L.) to varying levels of sculpture. *International journal agriculture and biology*. 6(6): 1153-1166.

Besharati H. 2016. Effects of sulfur application and *Thiobacillus* inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. *Journal of Plant Nutrition (In Persian)*.

Bockman, O. C. 1997. Fertilizers and biological nitrogen fixation as source of plant nutrients. *Perspectives for future agriculture*. 194:11-14.

Chaubey, A. K., Sing, S. B. and M. K. Kaushik. 2000. Response of groundnut (*Arachis hypogaea*) to source and level of sulfur fertilizer in Mid-Western Plains of Uttar Pradesh. *Indian Journal Agronomy*. 45:166-169.

Erdem, H., Torun, M. B., Erdem, N., Yazıcı, A., Tolay, I., Gunal, E. and F. Özkutlu. 2016 .Effects of different forms and doses of sulfur application on wheat. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. 4(11): 957-961.

Falahatgar, S., Babaei, P., Besharati, H., and A. Cherati .2013. Effect of different sulphur amounts and *Thiobacillus* bacterial inoculums on dry matter yield, chlorophyll amount, iron and zinc uptake of two soya variety. First national congress of science and technology in agriculture, Zanjan University, (In Persian).

Ghasemi, S., and M. Moussavi Nik. 2014. Effect of plant growth promoting rhizobacteria, nitroxin and sulphur on quantity and quality of castor bean (*Ricinus communis* L.) in Sistan region. *Journal of Agroecology*. 6(2): 275-289. (In Persian).

Ghorbani Nasr Abadi, R. 2002. Study of sulfur application and *Thiobacillus* and *Bradyrhizobium* inoculation on nitrogen fixation and growth indices of soybean. *Journal of Soil and Water*. 16(2): 171-178. (In Persian with English Summary)

Hocking, P. J., Randal, P. J. and A. Pinkerton. 1987. Sulphur nutrition of sunflowers affected by nitrogen supply: effects on vegetative growth, the development of yield component and seed yield and quality. *Field Crops Research*. 16: 157-175.

Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M., 2012. *Fertility of soil and biofertilizers: Agroecological approach*. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. (in Persian).

Kertesz, M.A., and K. Mirleau. 2004. The role of soil microbes in plant sulfur nutrition. *Journal Experimental Botany*. 55: 1–7.

Khajepoor, M. R., 2010. *Industrial plants*. Esfahan, Iran: Jahade Daneshgahi Esfahan Press (in Persian).

Kopriva, S., Calderwood, A., Weckopp, S.C., and A. Koprivova. 2015. Plant sulfur and big data. *Plant Science*. 241: 1-10.

Kumar Singh, R., and A. Kumar Singh. 2013. Effect of nitrogen, phosphorus and sulphur fertilization on productivity, nutrient-use efficiency and economics of safflower (*Carthamus tinctorius*) under late-sown condition. *Indian Journal of Agronomy*. 58(4): 583-587.

Kumawat, R.N., Rathore, P.S., Nathawat, N.S., and M. Mahatmas. 2006. Effect of sulphur and iron on enzymatic activity and chlorophyll content of mung bean. *Journal of Plant Nutrition*. 29: 1451-1467.

Lakkineni, K. C. and Y. P. Abrol. 1992. Sulfur requirement of rapeseed-mustard, groundnut and wheat. *Journal Agronomy and Crop Science*. 169:281-285.

Langham, D.R., Janick, J., and A. Whipkey. 2007. Phenology of sesame. In Issues in *new crops and new uses, eds. Alexandria*, VA, USA Eds. ASHS Press.

Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids; pigments of photosynthetic membranes. *Methode Enzaym*., 148: 350-382.

Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. London, England: Academic Press, Ltd.

Motior, M. R., Abdou, A. S., Fareed, H. A. D. and M. A. Sofian. 2011. Responses of sulfur, nitrogen and irrigation water on *Zea mays* growth and nutrients uptake. *Australian Journal of Crop Science*. 5(3): 347-357.

Orman, S., and M. Kaplan. 2007. Effects of elemental sulfur and organic manure on sulfur, zinc, and total chlorophyll contents of tomato in a calcareous sandy loam soil. *Journal of Soil Science Society of America* 55: 85-90.

Singh, A.L., and V. Chaudhari. 1997. Sulfur and micronutrient of groundnut in a calcareous. *Soil Journal of Agronomy and Crop Science.* 179: 107-114.

Tatari, M. 2004. Effect of different salinity levels and irrigation times on growth and yield of Cumin growth and yield under Mashhad conditions. MSc Thesis of Agronomy, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (IN Persian with English Summary)

Wang, Y.F., Wang, S. P., Cui, X. Y., Chen, Z. Z., Schnug, E., and S. Haneklau. 2003. Effect of sulfur supply on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Grass and Forage Science*. 58:160-167.

Zhi-Hui, Y., Stoven, K., Haneklaus, S., Singh, B.R., and E. Schnug. 2010. Elemental sulfur oxidation by *Thiobacillus* spp. and aerobic heterotrophic sulfur-oxidizing bacteria. *Pedosphere*. 20(1): 71-79.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۱۶۲- ۱۴۷)
مقاله پژوهشی

اثر تراکم، کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی کاسنی *Cichorium intybus*

رقیه امینیان [۱*]، علی مهرآبادی آرانی [۲]، سودابه مفاخری [۳]

۱- نویسنده مسئول و استادیار گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
aminian@eng.ikiu.ac.ir
۲- کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد نراق، نراق، ایران.
a_mehrabady@yahoo.com
۳- استادیار گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
mafakheri@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۲ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۳۰**

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تراکم، کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی کاسنی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه قمصر شهرستان کاشان، انجام شد. کود نیتروژن در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در کرت‌های اصلی، تراکم در سه سطح ۶، ۹ و ۱۲ گیاه در مترمربع در کرت‌های فرعی و کود زیستی در سه سطح عدم تلقیح، تلقیح با میکوریزا و تلقیح با ازتوباکتر در کرت‌های فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که اثرات کود نیتروژن، تراکم و کود زیستی بر تعداد برگ، وزن‌تر و خشک، طول ریشه، میزان فلاونوئید، نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه معنی‌دار بودند. مصرف کود نیتروژن باعث افزایش تمام صفات شد. اثرکودهای زیستی نسبت به شاهد بدون کود بر صفات بررسی شده معنی‌دار و مثبت بود. تأثیر مثبت میکوریزا بر صفات فلاونوئید، فسفر و پتاسیم بیشتر از ازتوباکتر بود. در بین اثرات متقابل دو گانه، تراکم در کود زیستی و تراکم در کود نیتروژن برای صفات تعداد برگ و طول ریشه معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم در کود زیستی نشان داد که بیشترین تعداد برگ در تراکم ۶ بوته در مترمربع و تلقیح ازتو باکتر و بیشترین طول ریشه در تراکم ۱۲ بوته در مترمربع و تلقیح ازتو باکتر بدست آمد. مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم در کود نیتروژن نیز نشان داد که بیشترین تعداد برگ در تراکم ۶ بوته در مترمربع و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و بیشترین طول ریشه در تراکم ۱۲ بوته در مترمربع و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص مشاهده شد. اثر متقابل کود نیتروژن، تراکم و کود زیستی فقط در صفت وزن‌تر معنی‌دار گردید. بیشترین وزن‌تر(۱۸۴۸/۸ گرم در مترمربع) در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، تراکم ۱۲ بوته در مترمربع و کاربرد ازتوباکتر حاصل گردید که افزایش ۱۶۸ درصدی وزن‌تر نسبت به شرایط عدم مصرف نیتروژن و کود زیستی در تراکم شش بوته در مترمربع (با ۶۸۸/۵ گرم در مترمربع) را سبب شد.

کلمات کلیدی: ازتو باکتر، عناصر پر مصرف، میکوریزا، نیتروژن، وزن بوته و ریشه.

مقدمه

کاسنی با اسم علمی *Cichorium intybus* از گیاهان دارویی با ارزش خانواده گل‌ستاره‌ای‌ها (*Asteraceae*) و بومی مناطق معتدل جهان است. این گیاه در طب سنتی اهمیت زیادی داشته و به‌عنوان اشتهاآور، صفرابر، مدر، تب بر و ملین مورد مصرف قرار می‌گیرد (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۳). کاسنی حاوی ترکیباتی مانند آلکالوئیدها، اینولین، لاکتون‌ها، سزکوئی ترپن، کومارین‌ها، فلاونوئیدها، شیکوریک اسید و ویتامین‌ها (Nandagopal and Ranjitha Kumari, 2007) و نیز منبع غنی از پتاسیم، کلسیم و فسفر است (Mulabagal et al., 2009). ترکیب اصلی موجود در اسانس اندام هوایی کاسنی، فلاونوئید کامفرول (kaempferol) می‌باشد. فلاونوئیدها دارای خواص دارویی متفاوتی هستند و برای مقابله با ویروس‌ها و سلول‌های سرطانی به‌کار می‌روند (Van Arkel et al., 2012). در ریشه این گیاه نیز ماده‌ای به نام اینولین (Inulin) وجود دارد که دارای خاصیت ضد مسمومیت کبدی و کاهش‌دهنده چربی خون می‌باشد (عماد و همکاران، ۱۳۹۱).

یکی از مهم‌ترین اهداف در تولید گیاهان دارویی، افزایش مقدار زیست‌توده با روش‌های به‌زراعی است و در این خصوص تأمین عناصرغذایی پرمصرف و کم‌مصرف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (امید بیگی، ۱۳۸۳). نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی و عامل کلیدی در دستیابی به عملکرد مطلوب در محصولات زراعی به‌شمار می‌رود. نیتروژن در گیاهان بیشترین غلظت را در بین عناصر غذایی داشته و نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاهان دارد، به طوری‌که کمبود آن بیش از سایر عناصر غذایی عملکرد را محدود می‌کند (امیدبیگی و همکاران، ۱۳۸۰).

در سال‌های اخیر به علت توجه روزافزون به تولید محصولات غذایی سالم، استفاده از کودهای زیستی جهت کاهش یا حذف مصرف کودهای شیمیایی و در نتیجه افزایش کیفیت محصولات کشاورزی، بیش تر از گذشته مورد توجه قرار گرفته است (Wu et al., 2005). کودهای زیستی شامل انواع مختلف ریز موجودات آزادزی هستند که توانایی تبدیل عناصر غذایی پرمصرف، از فرم غیرقابل‌دسترس به فرم قابل دسترس را دارا می‌باشند (Rajendran and Devaraj, 2004). از سوی دیگر، استفاده از کودهای زیستی، از طریق تاثیر مثبتی که بر روی فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک می‌گذارند، امکان دسترسی مناسب به عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف توسط گیاه را فراهم آورده و در نتیجه در بهبود کیفیت گیاه مؤثر می‌باشند (نقدی بادی، ۱۳۹۱).

از جمله کودهای زیستی بسیار کاربردی می‌توان به قارچ میکوریزا آربوسکولار (*arbuscular mycorrhiza*) اشاره کرد. همزیستی با قارچ میکوریزا از وسیع‌ترین روابط همزیستی شناخته شده بین گیاهان و میکروارگانیسم‌ها است و قدمتی بیش از ۴۰۰ میلیون سال دارد. قارچ میکوریزا پس از برقراری همزیستی با گیاهان میزبان بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمایی آن تاثیر گذاشته و موجب بهبود رشد و نمو گیاه می‌شود. گیاهانی که دارای همزیستی میکوریزایی می‌باشند، به دلیل اینکه آب و عناصر غذایی بیشتری از خاک جذب می‌نمایند، رشد رویشی و عملکرد بهتری را دارا بوده و مقاومت بیشتری در برابر تنش‌های محیطی از خود نشان می‌دهند. (Graham, 2001). اثر مثبت قارچ میکوریزا در افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی کاسنی در رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش شده است (رئیسی، و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین تأثیر مثبت قارچ میکوریزا در افزایش وزن تر بوته و ریشه گیاه دارویی بادرشبو (فدائی و همکاران، ۱۳۹۷)، افزایش وزن بوته و عملکرد بذر گیاه دارویی گشنیز (Kapoor, 2002)، افزایش رشد و عملکرد ریحان (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۳)، آویشن باغی (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲)، افزایش عملکرد زیستی، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته گیاه رازیانه (درزی و همکاران،

۱۳۸۷) نشان داده شده است.

از دیگر کودهای زیستی پر کاربرد ازتوباکتر می‌باشد که از باکتری‌های مهم و مفید خاک است که دارای هفت گونه می‌باشد. مهمترین گونه ازتوباکتر، گونه کروکوکوم است (Garrity et al., 2005) این باکتری می‌تواند انواع اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و هورمون‌های محرک رشد گیاه و انواع اگزوپلی‌ساکاریدها را سنتز کند. اضافه کردن مواد آلی به خاک بر رشد گونه‌های مختلف ازتوباکتر و تثبیت نیتروژن تأثیر زیادی دارد. همچنین میزان عناصر غذائی به خصوص نیتروژن و فسفر بر رشد ازتوباکتر مؤثر بوده و رشد باکتری‌ها را افزایش می‌دهد (خسروی، ۱۳۹۳).

یکی دیگر از عوامل زراعی مؤثر بر کیفیت و کمیت عملکرد گیاهان، تراکم بوته در واحد سطح و آرایش کاشت است. افزایش تراکم بوته سبب افزایش رشد طولی گیاهان شده و رقابت بین گونه‌ای برای بهره بردن از عوامل محیطی مورد نیاز را افزایش می‌دهد (حسین پور و همکاران، ۱۳۸۳). اعمال تراکم مطلوب از طریق کاهش رقابت، باعث دسترسی مناسب گیاهان به نهاده‌های موجود در خاک شده که در چنین شرایطی آب و مواد غذایی به اندازه کافی در اختیار گیاهان قرارگرفته و در صورت وجود نور کافی حداکثر تولید حاصل خواهد شد (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). آرایش کاشت از طریق تغییر در ساختار سایه‌انداز گیاهی و افزایش امکان جذب بیشتر نور، سبب افزایش عملکرد گیاه می‌شود، بنابراین تعیین مناسب‌ترین تراکم بوته برای افزایش عملکرد گیاهان دارویی امری ضروری است. در همین راستا، این تحقیق با هدف بررسی اثر مقادیر مختلف نیتروژن، تراکم و کود زیستی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی کاسنی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شهرستان قمصر واقع در استان اصفهان با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۹۰۰ متر از سطح دریا، به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل کود نیتروژن در سه سطح N1، N2 و N3، به ترتیب صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (از منبع اوره)، (معادل صفر ، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ توصیه کودی)، تراکم در سه سطح D1، D2 و D3 به ترتیب ۶، ۹ و ۱۲ گیاه در متر مربع، به‌عنوان عامل فرعی و کود زیستی در سه سطح عدم تلقیح (B1)، تلقیح با میکوریزا (B2) و تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم (B3) به‌عنوان عامل فرعی فرعی در نظر گرفته شدند.

قبل از آماده سازی بستر بذر، ابتدا با تهیه یک نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک محل آزمایش، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). مصرف کودهای شیمیایی بر اساس آنالیز خاک اعمال شد و برای تأمین کودهای فسفر و نیتروژن به ترتیب از منابع کودی سوپر فسفات تریپل(۵۰ کیلوگرم فسفات خالص در هکتار) و اوره (۵۰ و ۱۰۰کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) استفاده گردید. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه، تسطیح زمین و کرت بندی در فصل پاییز انجام و کاشت بذر، در اوایل فروردین صورت گرفت. هر کرت آزمایشی به طول سه و عرض دو متر با پنج ردیف کاشت در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌های اصلی از یکدیگر دو متر و فاصله کرت‌های فرعی یک متر منظور گردید. ابتدا بذور با تراکم بیشتر کشت شدند، ولی بعد از سبزشدن گیاهان، بوته‌ها در طی چند مرحله تنک گردیدند تا تراکم‌های مورد نیاز بدست آید. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی تا هنگام استقرار گیاه (مرحله سه تا چهار برگی) هفته‌ای دو نوبت و پس از آن به‌صورت هفت روز یک‌بار صورت گرفت.

بذر گیاه کاسنی از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع تهیه شد. کود زیستی حاوی ازتوباکتر کروکوکوم (*Azotobacter chroococcum*) (با غلظت CFU/ml

10^7) و قارچ میکوریزا گلوموس اینترارادیسز (*Glomus intraradices*) از موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه گردید. تیمارهای کودی به صورت تلقیح بذرها قبل از کشت، اعمال گردید. لازم به ذکر است که هر بذر آغشته به مایه تلقیح میکوریزا، در حدود ۲۵۰-۲۰۰ اندام فعال قارچی شامل اسپور، هیف و ریشه دریافت نمود.

برداشت اندام‌های هوایی گیاه در مرحله گلدهی و از سه ردیف وسط و پس از حذف اثرات حاشیه‌ای انجام گرفت. صفات تعداد برگ، وزن‌تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه، میزان فلاونوئید، نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

Table 1. Physicochemical properties of soil

Texture	pH	(dS/m) EC	Organic Carbon (%)	Total Nitrogen (%)	Potassium (ppm)	Phosphorus (ppm)
Loam	7.87	1.26	0.51	0.1	278.94	10.95

اندازه گیری فلاونوئید

از روش رنگ سنجی کلرید آلومینیوم برای تعیین مقدار فلاونوئید با استفاده از کوئرستین به عنوان استاندارد استفاده شد (Chang et al., 2002) ، به این ترتیب که ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره‌های متانولی گیاه (با نسبت ۱۰۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم (۱۰٪ متانولی)، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر ترکیب گردید. سپس محلول‌ها ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی قرار داده شدند. میزان جذب نوری هر ترکیب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و فلاونوئید با استفاده از منحنی استاندارد برحسب میلی‌گرم در گرم ماده خشک به دست آمد.

اندازه گیری فسفر ، پتاسیم و نیتروژن

برای تعیین غلظت عناصر غذایی فسفر و پتاسیم موجود در اندام هوایی کاسنی، ابتدا نمونه‌های گیاهی در آون به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک و سپس آسیاب شدند. یک گرم از نمونه‌های گیاهی پودر شده در داخل بوته چینی ریخته شد و به مدت دو ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس در داخل کوره خاکستر گردید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال به بوته چینی حاوی خاکستر نمونه گیاهی اضافه شد و بوته‌های چینی روی هیتر و تا شروع جوشش حرارت داده شدند. پس از خنک شدن محتوای بوته از کاغذ صافی عبور داده شد و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید. سپس فسفر موجود در عصاره گیاهی، با دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول‌موج ۶۶۰ نانومتر قرائت شد (Olsen and Sommers, 1982). غلظت پتاسیم کل در عصاره‌های تهیه‌شده از نمونه‌های گیاهی با دستگاه فلیم فتومتر قرائت گردید و نیتروژن کل در نمونه‌های گیاهی به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (Jones and Case, 1990). تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها به وسیله نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کود نیتروژن، تراکم کاشت و کود زیستی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($P\leq ۰/۰۱$) بر اکثر صفات مورد بررسی کاسنی داشتند، تاثیر کود نیتروژن بر طول ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین اثرات متقابل کود

نیتروژن و تراکم، کود زیستی و تراکم در صفات تعداد برگ، وزن‌تر اندام هوایی و طول ریشه معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر متقابل کود نیتروژن و کود زیستی و همچنین اثر متقابل سه‌گانه کود نیتروژن، تراکم و کود زیستی تنها در صفت وزن‌تر معنی‌دار بودند.

بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳)، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، نسبت به عدم مصرف و مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود، باعث افزایش تمام صفات کمی و کیفی اندازه‌گیری شده در این آزمایش شد. با افزایش تراکم از ۶ به ۹ و ۱۲ بوته در مترمربع مقدار صفت وزن خشک گیاه در مترمربع افزوده شد (به ترتیب ۳۲۴/۴،۲۹۴/۹ و ۳۵۷/۶ گرم در مترمربع)، درحالی‌که فلاونوئید با ۲/۳۵ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب با مقدار ۲۶/۶۹، ۲/۸۳ و ۱۹/۰۴ گرم در کیلوگرم در تراکم ۶ بوته در مترمربع بیشترین مقدار و در تراکم ۱۲ بوته در مترمربع فلاونوئید با ۱/۶۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب با ۲۱/۴۸، ۲/۱۴ و ۱۴/۱۱گرم در کیلوگرم کمترین مقادیر را به خود اختصاص دادند.

در مقایسه با شاهد اثر کودهای زیستی بر اکثر صفات مورد بررسی مثبت و معنی‌دار بود. بیشترین مقدار وزن خشک، فلاونوئید، فسفر و پتاسیم، مربوط به مصرف کود میکوریزا بود و در مورد نیتروژن بین تیمار ازتوباکتر و میکوریزا تفاوتی وجود نداشت (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی گیاه کاسنی

Table 2. Analysis of variance of quantitative and qualitative traits of *Cichorium intybus*

SOV	DF	Mean of squares							
		Leaf No.	Fresh weight	Dry weight	Root length	Flavonoid	Nitrogen	Phosphorous	Potassium
Repetition	2	2.7 ns	14537.0*	30340.8**	16.67 ns	1868.5 ns	600.3 ns	2799.0 ns	49.4ns
Nitrogen fertilizer	2	163.9**	2097165.5**	134195.6**	195.9*	319592.3**	166149.3**	278752.8**	184567.1**
Error a	4	1.4	782.2	295.1	2.66	564	116.5	1278	208.1
Density	2	461.3**	262141.3**	17660.3**	31.24**	35320.4**	18391.1**	31838.9**	16733.4**
(D×N)	4	16.7**	5040.7*	281.3 ns	2.69**	278.6 ns	110.6 ns	481.9ns	1314.6 ns
Error b	12	2.5	791.2	143.0	0.16	251.2	79.4	464.7	486.2
Biological fertilizer	12	22.1**	53282.1**	2087.7**	4.62*	14843.9 **	5929.0**	11676.1**	6025.3**
(N× B)	4	0.5ns	2085.7**	263.7 ns	0.29 ns	66.7 ns	13.2 ns	317.1 ns	1195.3 ns
(B×D)	4	7.1**	3159.7**	36.6 ns	0.65*	66.5 ns	205.1 ns	177.9 ns	277.3 ns
(N×D×B)	8	0.6ns	5524.7**	68.9 ns	0.32 ns	437.8 ns	194.4 ns	186.3 ns	261.1 ns
Error c	36	0.37	422.5	101.8	0.18	427.6	432.7	203.4	536.6
CV (%)		3.66	1.63	3.09	2.79	10.47	8.67	14.12	6.02

ns: عدم معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

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

جدول۳. مقایسه میانگین اثرات کود نیتروژن، تراکم و کود زیستی در صفات کمی و کیفی گیاه کاسنی

Table 3. Mean comparison of effects of nitrogen fertilizer, density and bio fertilizer on quantitative and qualitative traits of *Cichorium intybus*

Treatment	Leaf No.	Fresh weight (g/m2)	Dry weight (g/m2)	Root length (cm)	Flavonoid (mg/g DW)	Nitrogen (g/kg)	Phosphorous (g/kg)	Potassium (g/kg)
Nitrogen Fertilizer								
N1	14.38 c	914.6 c	236.8 c	12.2 c	0.86 c	16.12 c	1.45 c	8.42 c
N2	17.14 b	1268.3 b	330.9 b	15.19 b	2.02 b	24.03 b	2.53 b	15.84 b
N3	19.29 a	1597.1 a	409.2 a	18.79 a	3.04 a	31.81 a	3.48 a	249.3 a
D1	21.41 a	1133.8 c	294.9 c	14.19 c	2.35 a	26.69 a	2.83 a	19.04 a
D2	16.14 b	1271.9 b	324.4 b	15.19 b	1.94 b	23.78 b	2.48 b	16.04 b
D3	13.26 c	1374.3 a	357.6 a	16.18 a	1.63 c	21.48 c	2.14 c	11 c.14
B1	15.99 c	1209.0 c	315.1 c	14.86 c	1.83 b	22.27 b	2.36 b	15.35 b
B2	17.04 b	1253.8 b	325.3 b	15.43 b	2.24 a	24.85 a	2.72 a	18.11 a
B3	17.79 a	1317.3 a	336.6 a	15.87 a	1.84 b	24.84 a	2.36 b	15.73 b

برای هر عامل، در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

For each factor, means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level (Duncan`s multiple range test).

N1، N2 و N3 به ترتیب مصرف ۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن؛ D1، D2 و D3 به ترتیب تراکم ۶، ۹ و ۱۲ بوته در مترمربع، B1، B2 و B3 به ترتیب عدم تلقیح کود زیستی، تلقیح با مایکوریزا و تلقیح با ازتو باکتر

N1, N2 and N3 were 0, 50 and 100 kg.ha-1 nitrogen, respectively; D1, D2 and D3, densities of 6, 9 and 12 plants.m-2, respectively; B1, B2 and B3, without biofertilizers, inoculation with Mycorrhiza and inoculation with Azotobacter, respectively.

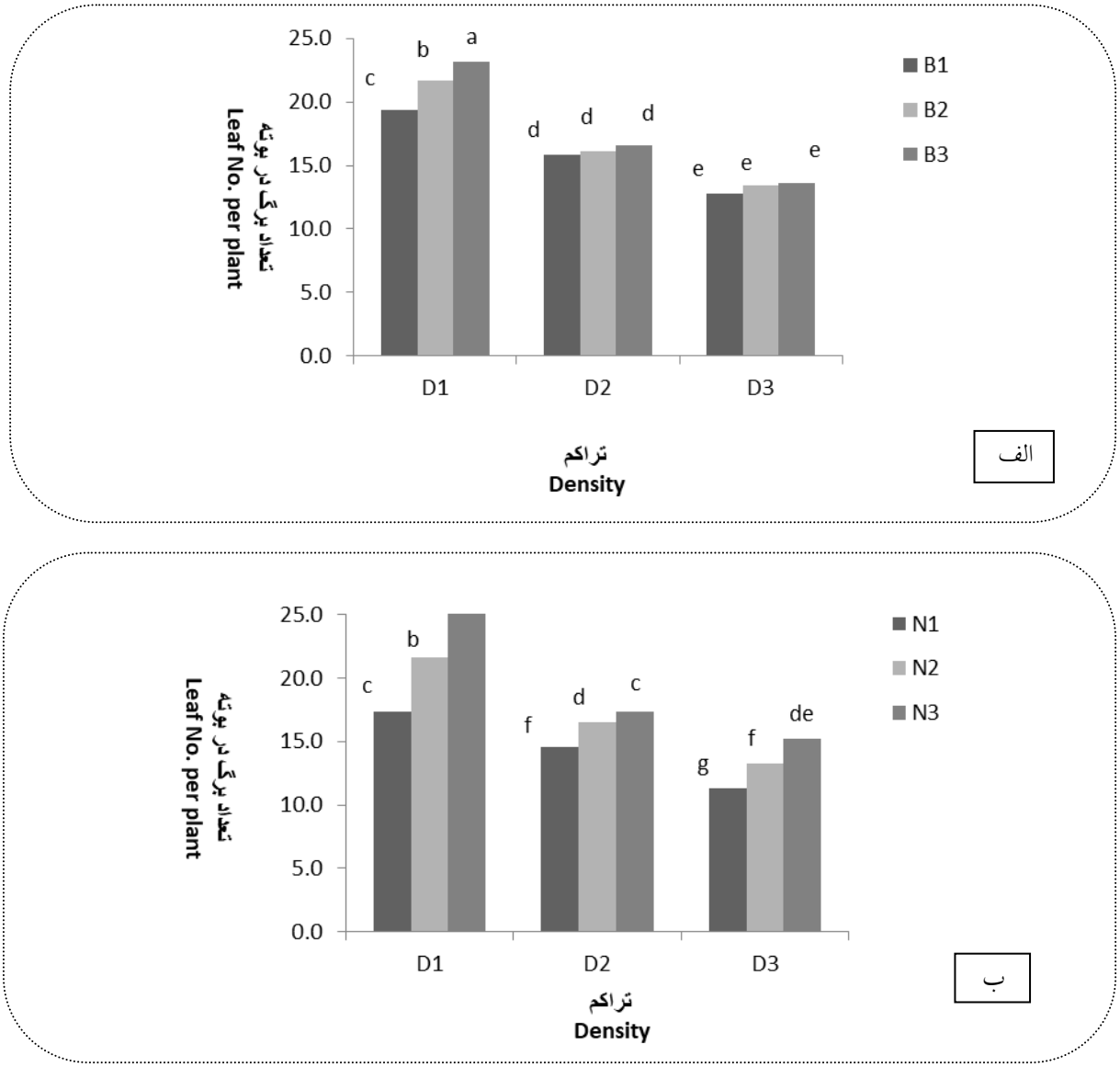
بر اساس مقایسه میانگین داده‌های اثر متقابل تراکم و کود زیستی برای صفت تعداد برگ (شکل ۱-الف)، در تراکم ۶ بوته در مترمربع بیشترین تعداد برگ در تیمار تلقیح با ازتوباکتر و پس از آن در تیمار تلقیح با مایکوریزا، و کمترین تعداد برگ در شرایط عدم تلقیح با کود زیستی حاصل شد. در تراکم‌های ۹ و ۱۲ بوته در مترمربع، مصرف کودهای زیستی اثر معنی‌داری بر تعداد برگ نداشتند. در برهم‌کنش تراکم و کود نیتروژن (شکل ۱-ب)، در هر سطح تراکم، بین سه سطح مصرف کود نیتروژن تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین تعداد برگ، مربوط به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در تراکم ۶ بوته در متر مربع و کمترین مقدار این صفت مربوط به عدم مصرف کود نیتروژن در تراکم ۱۲ بوته در متر مربع بود.

برهم‌کنش تراکم و کود زیستی برای طول ریشه نشان داد (شکل ۲-الف) در تراکم ۶ بوته در مترمربع بیشترین طول ریشه مربوط به مصرف کودهای زیستی و کمترین طول ریشه مربوط به عدم تلقیح کود زیستی بود ولی بین تیمار تلقیح با مایکوریزا و تیمار تلقیح با ازتو باکتر تفاوتی در طول ریشه مشاهده نشد.

بین سطوح مختلف کود زیستی در تراکم ۹ بوته در مترمربع اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اختلاف بین سطوح مختلف کود زیستی در تراکم ۱۲ بوته در مترمربع معنی‌دار بود، بیشترین طول ریشه از تلقیح با ازتو باکتر و پس از آن تلقیح با مایکوریزا حاصل شد. برهم‌کنش تراکم

و کود نیتروژن برای طول ریشه نشان داد (شکل ۲- ب) در هر سه تراکم۶، ۹ و ۱۲ بوته در مترمربع، بیشترین طول ریشه به ترتیب مربوط به مصرف ۱۰۰و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و کمترین طول ریشه مربوط به عدم مصرف کود نیتروژن بود.

نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثر متقابل سه‌گانه کود نیتروژن، تراکم و کود زیستی برای صفت وزن‌تر (جدول ۴) نشان داد بیشترین وزن‌تر (۱۸۴۷/۸گرم در مترمربع) مربوط به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در تراکم ۱۲ بوته در مترمربع و کاربرد کود ازتوباکتر بود و این شرایط باعث افزایش ۱۶۸ درصدی وزن‌تر نسبت به شرایط عدم مصرف نیتروژن و کود زیستی در تراکم ۶ بوته در مترمربع (با ۶۸۸/۵ گرم در مترمربع) شد.

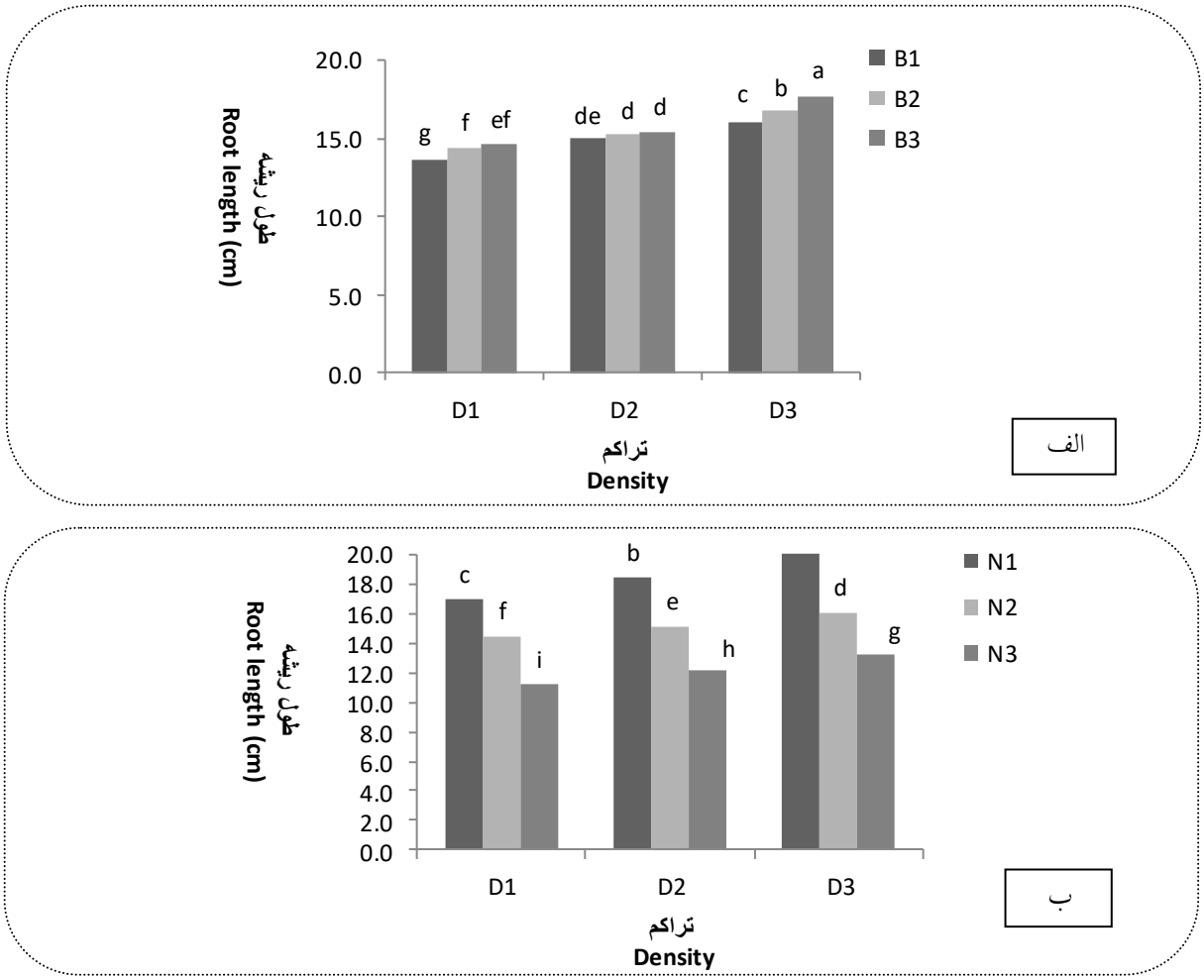


شکل ۱. تغییرات برگ در برهم‌کنش الف) تراکم و کود زیستی ب) تراکم و کود نیتروژن

Figure1- Leaf changes in interaction of a) density and bio fertilizer b) density and nitrogen fertilizer

N1، N2 و N3 به‌ترتیب مصرف۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن؛ D1، D2 و D3 به ترتیب تراکم ۶، ۹ و ۱۲ بوته در مترمربع، B1، B2 و B3 به ترتیب عدم تلقیح کود زیستی، تلقیح مایکوریزا و تلقیح ازتو باکتر

N1, N2 and N3 were 0, 50 and 100 kg.ha-1 nitrogen, respectively; D1, D2 and D3, densities of 6, 9 and 12 plants. m^{-2}, respectively; B1, B2 and B3, without inoculation of biofertilizers, inoculation with Mycorrhiza, and inoculation with Azotobacter, respectively.



شکل ۲. تغییرات طول ریشه در برهم‌کنش الف) تراکم و کود زیستی ب) تراکم و کود نیتروژن

Figure2. Root length in interaction of a) density and bio fertilizer b) density and nitrogen fertilizer

N1، N2 و N3 به ترتیب مصرف ۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن؛ D1، D2 و D3 به ترتیب تراکم ۶، ۹ و ۱۲ بوته در مترمربع، B1، B2 و B3 به ترتیب عدم تلقیح کود زیستی، تلقیح مایکوریزا و تلقیح ازتو باکتر

N1, N2 and N3 were 0, 50 and 100 kg.ha-1 nitrogen, respectively; D1, D2 and D3, densities of 6, 9 and 12 plants. m^{-2}, respectively; B1, B2 and B3, without inoculation of biofertilizers, inoculation with Mycorrhiza and inoculation with Azotobacter, respectively.

جدول۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل کود نیتروژن، تراکم و کود زیستی در وزن‌تر گیاه کاسنی

Table 4. Mean comparison of interaction effects of nitrogen fertilizer, density and bio fertilizer on fresh weight of *Cichorium intybus*

	D1			D2			D3		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
N1	688.5 ^{l}	713.3 ^{l}	933.5 ^{k}	940.8 ^{k}	950.8 ^{k}	947.5 ^{k}	978.5 ^{k}	1034.0 ^{j}	1044.7 ^{j}
N2	1104.2 ^{i}	1120.8 ^{i}	1213.3 ^{h}	1253.5 ^{h}	1307.2 ^{g}	1326.0 ^{g}	1345.5 ^{g}	1346.3 ^{g}	1397.8 ^{f}
N3	1409.0 ^{f}	1514.8 ^{e}	1507.2 ^{e}	1515.2 ^{e}	1565.0 ^{d}	1637.7 ^{c}	1642.5 ^{c}	1731.8 ^{b}	1847.8 ^{a}

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Means followed by similar letters are not significantly different at 5% level (Duncan`s multiple range test).

N1، N2 و N3 به ترتیب مصرف ۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن؛ D1، D2 و D3 به ترتیب تراکم ۶، ۹ و ۱۲ بوته در مترمربع، B1، B2 و B3 به ترتیب عدم تلقیح کود زیستی، تلقیح مایکوریزا و تلقیح ازتو باکتر

N1, N2 and N3 were respectively 0, 50 and 100 kg. ha^{-1} nitrogen, respectively; D1, D2 and D3, densities of 6, 9 and 12 plants.m-2, respectively; B1, B2 and B3, respectively, without inoculation of biofertilizers, inoculation with Mycorrhiza and inoculation with Azotobacter.

مدیریت مصرف کودهای شیمیایی یک عامل مهم در موفقیت کشت گیاهان می‌باشد و موجب حداکثر بهره‌وری زراعی و کمترین خطرات زیست محیطی می‌شود (Kizilkaya, 2008)، از طرفی شناسایی کودهای زیستی سازگار با طبیعت و مناسب برای رشد و نمو گیاهان، علاوه بر رفع مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد کودهای شیمیایی، می‌تواند اثرات مطلوبی بر شاخص‌های کمی و کیفی محصول داشته باشد (Sharma et al., 2008). در این آزمایش مصرف کود نیتروژن بر اساس توصیه کودی (۱۰۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار) باعث افزایش تمام صفات شد. همچنین اثر کودهای زیستی نسبت به شاهد در تمام صفات مثبت و معنی‌دار بود. در پژوهشی در ارتباط با بررسی اثر قارچ میکوریزا بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک کاسنی تحت شرایط تنش آبی، بیشترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی در رژیم آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و تلقیح با قارچ میکوریزا بدست آمد (رئیسی، و همکاران، ۱۳۹۸). در پژوهشی روی گیاه بادرشبو کاربرد دو سویه مختلف قارچ میکوریزا سبب افزایش وزن تر بوته و ریشه گردید (فدائی و همکاران، ۱۳۹۷). پژوهش‌های قبلی نشان داده است که تلقیح با میکوریزا باعث افزایش رشد، عملکرد و استقرار گیاه ریحان (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۳) ، آویشن باغی (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲) و زردچوبه (Yamawaki et al., 2013) نسبت به شاهد شده است.

در مطالعات دیگری نیز اثر کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن، بر رشد، صفات مورفولوژیکی، عملکرد گیاه شوید مثبت و معنی‌دار بود (Shahmohammadi et al., 2013; Makkizadeh, 2011). در پژوهشی در ارتباط با بررسی تاثیر کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر برعملکرد و برخی خصوصیات زراعی ارقامی از گندم، بالاترین عملکرد دانه درتیمار تلقیح ازتوباکتردرمیکوریزا مشاهده شد (امرایی و همکاران، ۱۳۹۵). در مطالعه حاضر نیز بیشترین وزن‌تر در شرایط استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار و کاربرد کودهای زیستی میکوریزا و ازتو باکتر به دست آمد.

با افزایش تراکم از ۶ به ۹ و ۱۲ بوته در مترمربع، صفات تعداد برگ در بوته و مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه کاهش یافتند. درحالی‌که بیشترین وزن‌تر، وزن خشک و طول ریشه در تراکم ۱۲ بوته در مترمربع حاصل شد (جدول ۳). در آزمایش دیگری که به‌منظور بررسی تأثیر تراکم‌های گیاهی (۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ بوته در مترمربع) بر گیاه دارویی کاسنی انجام شد، مشخص گردید که بیشترین عملکرد برگ، عملکرد ساقه، عملکرد بیولوژیک، قطر ریشه و ارتفاع گیاه از تراکم ۱۵ گیاه در مترمربع و بیشترین طول ریشه و تعداد برگ از تراکم ۶ گیاه در مترمربع به دست آمد (طاهری اصغری، ۱۳۸۹). در همین رابطه در آزمایش دیگری با اعمال تراکم‌های ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ بوته در مترمربع در گیاه دارویی کاسنی مشخص شد که با افزایش تراکم تعداد برگ، تعداد آکن و تعداد شاخه‌های فرعی در تک بوته کاهش یافت (Ress and harbor, 1985). در آزمایشی که به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کودهای آهن و روی بر عملکرد گیاه دارویی کاسنی تحت تراکم‌های مختلف بوته انجام شد مشخص گردید بیشترین عملکرد بیولوژیک با تراکم ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع و محلول‌پاشی توأم نانو کودهای آهن و روی حاصل شد (سپهری و وزیری، ۱۳۹۳). کاهش تعداد کپسول در گیاه سیاه‌دانه (Toncer and Kizil, 2004)، کاهش تعداد چتر در بوته رازیانه (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۵) و کاهش تعداد چتر و چترک در انیسون (رسام و همکاران، ۱۳۸۶) با افزایش تراکم گزارش‌شده است. مقدار فلاونوئید، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تراکم ۶ بوته در مترمربع بیشتر بود.

در تراکم زیاد، از یک سو رقابت بین گیاهان برای دسترسی به منابع موجود نظیر رطوبت و مواد غذایی افزایش یافته و از سوی دیگر به علت کاهش فضای قابل‌دسترس برای هر بوته، از میزان رشد و تعداد انشعابات در مقایسه با تراکم‌های کمتر، کاسته می‌شود. همچنین در

تراکم‌های کم به علت رقابت کمتر برای دریافت نور، تسلط جوانه انتهایی از طریق تجزیه اکسین کاهش می‌یابد و این امر سبب گستردگی بوته‌ها شده و مواد غذایی عمدتاً صرف رشد شاخه‌های جانبی می‌گردد (نجفی و همکاران، ۱۳۷۶). به همین دلیل وزن تر و خشک تک بوته در تراکم ۶ بوته در مترمربع بیشتر است. در حالی‌که افزایش وزن‌تر و خشک در تراکم ۱۲ بوته در متر مربع، به علت افزایش تعداد گیاه در واحد سطح رخ داده است. غلظت عناصر غذایی موجود در گیاه در تراکم ۶ بوته در مترمربع بیشترین بود. این قضیه نیز به علت رقابت کمتر بین گیاهان در تراکم ۶ بوته نسبت به ۱۲ بوته در مترمربع در جذب عناصر موجود در خاک می‌باشد.

مقادیر تمام صفات در شرایط استفاده از کودهای زیستی نسبت به عدم استفاده از این کودها افزایش یافت. تأثیر مثبت میکوریزا بر مقدار فلاونوئید، فسفر و پتاسیم گیاه بیشتر از ازتوباکتر بود درصورتی‌که اثر مثبت ازتوباکتر بر تعداد برگ و وزن‌تر و خشک گیاه بیشتر از میکوریزا بود. اثر میکوریزا و ازتوباکتر بر مقدار نیتروژن گیاه یکسان بود. با بررسی تأثیر کود زیستی بیوفسفات بر گیاه کدو گزارش‌شده که صفات رویشی شامل ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد و سطح برگ و جذب عناصری مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و بور در شرایط استفاده از کودهای زیستی افزایش‌یافته است (El-Yazeid et al., 2007) . نتایج مشابهی در مورد اثر مثبت تیمارهای باکتریایی و قارچی بر تعداد برگ خیار (فصیحی و همکاران، ۱۳۹۱) و نیز تعداد شاخه‌های جانبی کلزا (Yasari et al, 2007) گزارش گردیده است.

قارچ‌های میکوریزا با افزایش سطح جذب ریشه‌ها و همچنین آزادسازی اسیدها و اسیدی کردن محیط ریزوسفر، عناصر کم‌تحرک را حل و برای گیاه میزبان قابل‌استفاده می‌کنند (فصیحی و همکاران، ۱۳۹۱). کارکرد چندمنظوره قارچ‌های میکوریزا در مطالعات دیگر نیز ذکرشده است (Cardoso and Kuyper, 2006). این میکروارگانیسم‌ها، سبب بهبود کیفیت فیزیکی (از طریق گسترش ریسه‌های قارچ)، شیمیایی (از طریق افزایش جذب عناصر غذایی) و بیولوژیک خاک (از طریق شبکه غذایی خاک) می‌گردند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تیمارهای قارچی نسبت به تیمارهای باکتریایی، با فراهم نمودن شرایط جذب بیشتر فسفر و پتاسیم و سایر عناصر، باعث تأثیر مثبت و معنی‌دار بر مقدار فلاونوئید، فسفر و پتاسیم گیاه گردیده‌اند. ازتوباکتر نیز در تثبیت بیولوژیک نیتروژن اهمیت دارد (Wensing et al., 2010). همچنین، این باکتری از طریق سازوکارهای مختلف دیگری مثل تولید هورمون‌های‌گیاهی سبب تحریک رشد گیاه می‌گردد (Pal et al., 2008). بنابراین ازتوباکتر در افزایش تعداد برگ، وزن‌تر و خشک و طول ریشه مؤثرتر از میکوریزا بود. در گندم نیز تلقیح با سویه-های ازتوباکتر وزن خشک محصول (عملکرد دانه) و وزن خشک ریشه ها را به طور معنی دار افزایش داد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۰).

در آزمایشی روی گیاه دارویی بشقابی (*Scutellaria integrifolia*) مشخص گردید که تلقیح ریشه این گیاه با میکوریزا نه‌تنها در افزایش رشد و تکثیر گیاه خصوصاً رشد ریشه مؤثر بوده، بلکه توانایی گیاه را برای رشد در خاک‌های دچار کمبود فسفر افزایش می‌دهد (Joshee et al., 2007). در پژوهش دیگری کاربرد قارچ مایکوریزا تأثیر معنی‌داری بر رشد گیاه رازیانه داشت (Kapoor et al, 2004). در آزمایش دیگری کاربرد کودهای زیستی نظیر ازتوباکتر و سودوموناس باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه دارویی سیاه‌دانه شد (Shaalan, 2005). گزارش گردیده که باکتری‌های ریزوسفری، میزان هورمون سیتوکینین گیاه میزبان را افزایش می‌دهند (Flores et al, 2005). این هورمون، سرعت انتقال نیترات از ریشه به شاخساره گیاه را افزایش می‌دهد. همچنین گزارش گردیده که قارچ‌های میکوریزا تأثیر عمیقی بر فیزیولوژی ریشه گیاه گذاشته که سبب فعال ساختن گلوتامین سنتتاز،

آرژیناز و اوره‌آز شده و از این طریق غلظت نیتروژن را در گیاهان میزبان افزایش می‌دهند (Bago et al., 2008). آرژینـــاز و اوره‌آز از آنزیم‌های کلیدی در انتقال نیتروژن از میسلیوم به داخل ریشه گیاه میزبان طی فرایند همزیستی می‌باشند. نیتروژن توسط میسلیوم‌های خارجی به فرم نیترات یا آمونیوم جذب و به وسیله گلوتامین سنتتاز به ترکیبات آلی تبدیل می‌گردد.

در رابطه با افزایش غلظت فسفر در تیمارهای باکتریایی و قارچی دلایل مختلفی بیان‌شده است، که از آن میان می‌توان افزایش تولید اسیدهای معدنی (اسیدکربنیک و اسیدسولفوریک)، اسیدهای آلی (اگزالیک، سیتریک و لاکتیک) و آنزیم‌های فسفاتاز و درنتیجه انحلال فسفات‌های آلی و معدنی (Tilak et al., 2005) را نام برد. میزان فسفر گیاه شیرین‌بیان در اثر همزیستی با دو گونه قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) و (*Glomus versiform*) افزایش‌یافته است (Liu et al., 2007). در آزمایش دیگری تلقیح آلوئه ورا با باکتری‌های حل‌کننده فسفات، فسفر قابل‌جذب خاک، جذب فسفر توسط گیاه و رشد گیاه را افزایش داد (Gupta et al., 2012).

در رابطه با پتاسیم، گزارش‌شده که ریز جانداران متعدد شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها و مخمرها قادرند سیلیکات را حل کرده و عناصری چون پتاسیم، فسفر، آهن، روی و سیلیسیم را آزاد کنند (Shady et al., 1984). لذا، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که میکوریزا و ازتوباکتر از طریق حل نمودن سیلیکات‌ها و انحلال کانی‌ها باعث آزادسازی پتاسیم و به‌تبع آن باعث افزایش در میزان پتاسیم اندام هوایی گیاه، گردیده‌اند. نتایج این محققین، یافته‌های پژوهش حاضر را مورد تأیید قرار می‌دهد. در کل به نظر می‌رسد که افزایش صفات کمی و کیفی گیاه دارویی کاسنی درنتیجه استفاده ازکودهای زیستی از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و در دسترس قرار دادن انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد نظیرسیتوکینین، اکسین، بیوتین و اسید پنتوتنیک و نیز فراهمی عناصر غذایی باشد (Karthikeyan et al., 2008).

نتیجه‌گیری کلی

تمام صفات مورد بررسی در ۱۰۰ درصد توصیه کودی بیشترین مقدار را داشتند. مقادیر این صفات در شرایط استفاده از کودهای زیستی نسبت به عدم استفاده از این کودها افزایش یافت. تأثیر مثبت میکوریزا بر صفات کیفی فلاونوئید، فسفر و پتاسیم گیاه بیشتر از ازتوباکتر بود. در بین اثرات متقابل دو گانه، تراکم در کود زیستی و تراکم در کود نیتروژن برای صفات تعداد برگ و طول ریشه معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم در کود زیستی نشان داد که بیشترین تعداد برگ در تراکم ۶ بوته در مترمربع و تلقیح ازتو باکتر و بیشترین طول ریشه در تراکم ۱۲ بوته در مترمربع و تلقیح ازتو باکتر بدست آمد. مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم در کود نیتروژن نیز نشان داد که بیشترین تعداد برگ در تراکم ۶ بوته در مترمربع و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و بیشترین طول ریشه در تراکم ۱۲ بوته در مترمربع و کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص مشاهده شد.

اثر متقابل سه‌گانه کود نیتروژن، تراکم و کود زیستی تنها در صفت وزن‌تر معنی‌دار بود و در سایر صفات معنی-دار نبود، بیشترین وزن تر بوته در تراکم ۱۲ بوته در متر مربع، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و تلقیح با ازتوباکترحاصل شد. افزایش تراکم، استفاده همزمان از کودهای زیستی و شیمیایی به مقدار توصیه‌شده بر اساس آزمون خاک، عملکرد وزن‌تر کاسنی در واحد سطح را به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌دهد. لذا در مناطقی با شرایط مشابه این آزمایش، تراکم ۱۲ بوته در مترمربع، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و استفاده از کودهای زیستی جهت دستیابی به بیشترین عملکرد کمی و کیفی کاسنی قابل توصیه است..

منابع

احمدیان، ح.، قنبری، ع.، گلوی، م.، ۱۳۸۵.، اثر کود دامی بر عملکرد کمی و کیفی و شاخص‌های شیمیایی اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum*). *مجله پژوهشهای زراعی ایران*. ۴(۲): ۲۰۷-۲۱۶.

امرایی، ب.، اردکانی، م. ر.، رفیعی، م.، پاکنژاد، م.، رجالی ، ف.، ۱۳۹۵.، بررسی تاثیر کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر برعملکرد و برخی خصوصیات زراعی ارقام مختلف گندم. *مجله زراعت و اصلاح نباتات*. ۱۲ (۲): ۱-۱۷.

امیدبیگی، ر.، ۱۳۸۳. *رهیافت‌های تولید و فرآوری گیاهان دارویی*. جلد دوم، انتشارات به نشر، مشهد، ۳۴۷ صفحه.

امیدبیگی، ر.، م .فخر طباطبایی و ت، اکبری .۱۳۸۰. اثر کود نیتروژن و آبیاری بر باروری (رشد، عملکرد دانه و مواد موثره) کتان روغنی. *مجله علوم کشاورزی ایران*. ۳۳ (۱): ۵۳-۶۴.

حسین‌پور، م.، پیرزاد ،ع. ر.، حبیبی، ح.، فتوکیان، م، ح.، ۱۳۹۰.، تأثیر کود بیولوژیک نیتروژندار (ازتوباکتر) و تراکم بوته برعملکرد، اجزای عملکرد و میزان اسانس در گیاه دارویی آنیسون. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*. ۲(۲۱): ۷۰-۸۶.

خسروی، ه.، ۱۳۹۳.، ازتوباکتر و نقش آن در مدیریت حاصخیزی خاک . *نشریه مدیریت اراضی*. ۲ (۲): ۷۹-۹۴.

درزی ،م، ت.، قلاوند، ا.، سفیدکن، ف.، رجالی، ف.، ۱۳۸۷.، تأثیر کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد در رازیانه (*Foeniculum vulgare*) . *مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*. ۲۲(۴): ۲۷۶-۲۹۲.

ذوالفقاری، م.، ناظری، و.، سفید کن، ف.، رجالی، ف.، ۱۳۹۳.، بررسی تاثیر گونه های مختلف مایکوریزا بر ویژگی‌های رشدی و میزان اسانس گیاه دارویی ریحان(*Ocimum basilicum* L.). *مجله تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)*. ۳۷ (۴): ۴۷-۵۶.

رحیمی، ل.، علی اصغرزاده، ن.، اوستان، ش.، ۱۳۹۰.، اثر سویه های بومی ازتوباکتر کروکوکوم بر رشد، جذب نیتروژن و فسفر گیاه گندم در شرایط گلخانه ای. *مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*. ۱۵ (۵۸): ۱۵۹-۱۷۱.

رسام، ق.، نداف، م.، سفید کن، ف.، ۱۳۸۶. تاثیر تاریخ کاشت و تراکم گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه انیسون (*Pimpinella anisum*). *مجله پژوهش و سازندگی*. ۷۵: ۱۲۷-۱۳۳.

رئیسی، ر.، فاخری، ب.، مهدی نژاد، ن.، ۱۳۹۸.، ارزیابی اثر قارچ میکوریزا *Glomus fascollaria* بر برخی خصوصیات مورفولوژیک، رنگیزه‌های نورساختی و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاسنی(*Cichorium intybus* L.) تحت تنش خشکی. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۱۲ (۲): ۴۹۵-۵۰۵.

سپهری، ا .، وزیری مجد، ز.،۱۳۹۳. اثر نانو کود آهن و روی بر عملکرد کمی کاسنی (*Cichorium inyubus* L.) در تراکم‌های مختلف گیاه. *مجله علوم کشاورزی و تولید پایدار*. شماره ویژه: ۶۱-۷۴.

طاهری اصغری، م.، ۱۳۸۹. تأثیر تنش کم آبی بر تعدادی از صفات در گیاه دارویی کاسنی (*Cichorium intybus* L.). تحت تراکم‌های مختلف گیاهی. *مجله اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*. ۲(۳): ۱۴۷-۱۵۵.

عظیمی، ریحانه.، جنگجو، محمد.، اصغری، ح.، ۱۳۹۲.، تاثیر تلقیح قارچ میکوریزا بر استقرار اولیه و خصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی آویشن باغی در شرایط عرصه طبیعی. *مجله پژوهشهای زراعی ایران*. ۱۱(۴): ۶۶۶-۶۷۶.

عماد، م.، غیبی، ف.، رسولی، س. م.، خانجانزاده، ر.، محمدی جوزانی، س.، ۱۳۹۱. *کاسنی*. انتشارات پونه. ۴۸ صفحه.

فدائی، ا.، پرویزی، ی.، گردکانه، م.، خان احمدی، م.، ۱۳۹۷. تأثیر القای سویه‌های قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradiceae*) و فسفر بر رشد و ترکیبات فیتوشیمیایی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) تحت شرایط تنش خشکی. *فصلنامه گیاهان دارویی*. ۲ (۶۶): ۱۱۷-۱۳۰.

فصیحی، م.، شمشیری، م. ح.، کریمی، ح. ر.، روستا، ر.، ۱۳۹۱. اثرمیکوریزا آربوسکولار (*Glomus mosseae*) بر رشد خیار گلخانه‌ای (*Cucumis sativus cv. Nahid*) در سطوح مختلف از بی کربنات سدیم در آب آبیاری. *مجله علوم و فنون کشت گلخانه‌ای*. ۵ (۱۷): ۵۳-۶۲.

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، عزیزی، م.، ۱۳۸۵. اثر فواصل مختلف آبیاری و تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد دو توده بومی رازیانه (*Foenicolum vulgare*) . *مجله پژوهشهای زراعی ایران*. ۴ (۱): ۱۳۱ -۱۴۰.

مکی‌زاده تفتی، م.، چایی‌چی، م، ر.، نصراله‌زاده، ص.، خاوازی، ک.، ۱۳۹۱. ارزیابی اثر کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن بر رشد، عملکرد و ترکیب اسانس گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.). *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*. ۲۲(۱): ۱-۱۲.

ملکوتی، م. ج.، طهرانی، م. م.، ۱۳۷۹. *نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی (عناصر خرد با تاثیر کلان)*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۳۲۸ صفحه.

نجفی، ه.، خدابنده، ن.، پوستینی، ک.، پوردوایی، ه.، ۱۳۷۶. تأثیر الگو و تاریخ کاشت بر صفات زراعی سویا. *مجله علوم کشاورزی*. ۲۸: ۶۵-۸۱.

نقدی بادی، ح.، زینلی مبارکه، ز.، امیدی، ح.، رضازاده، ش.،۱۳۹۱. تغییرات مورفولوژیک، زراعی و فیتوشیمیایی گاوزبان (*Borago officinalis* L.) تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی. *فصلنامه گیاهان دارویی*. ۲(۹): ۱۴۵-۱۵۶.

یزدانی، د.، شهنازی، س.، سیفی، ح.، ۱۳۸۳. *کاشت، داشت و برداشت گیاهان دارویی*. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد شهید بهشتی. ۱۷۸ صفحه.

Bago, B., Pfeffer, P. and Shachar-Hill, Y. 2008. Could the urea cycle be translocating nitrogen in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*. 149 (1): 4-8.

Cardoso, I. M. and Kuyper, T. M. 2006. Mycorrhizal and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.116: 72-84.

Chang, C., Yang, M., Wen, H. and Chern, J. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food Drug Analaysis*. 10: 178-182.

El-Yazeid, A. A., Abou-Aly, H. E., Mady, M. A. and Moussa, S. A. M. 2007. Enhancing growth, productivity and quality of squash plants using phosphate dissolving micro-organisms (bio phosphor) combined with boron foliar spray. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 3(4): 274-286.

Flores, E., Frias, J. M. and Herrero, A. 2005. Photosynthetic nitrate assimilation in cyanobacteria. *Photosynthesis Research*. 83: 117-133.

Garrity, G. M., Bell, J. A. and Lilburn, T. 2005. Class III. *Gammaproteobacteria* class. In Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 2nd edn, vol. 2 (*The Proteobacteria*), part B (*The Gammaproteobacteria*), p. 1. Edited by D. J. Brenner, N. R. Krieg, J. T. Staley & G. M. Garrity. New York.

Graham, J. H. 2001. What do root pathogens see in mycorrhizas. *New phytology*. pp 357-359.

Gupta, M., Kiran, S. H., Gulati, A., Singh, B. and Tewari, R. 2012. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of *Aloe barbadensis* Miller. *Microbiology Research*. 167: 358-363.

Jones, J. B. and Case, V. W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue sample. Pp: 389-429. In: R.L. Westerman (Ed) *Soil Testing and Plant Analysis*. SSSA, No.3, Madison, WI.

Joshee, N., Mentreddy, S. R. and Yadav, K. 2007. Mycorrhizal fungi and growth and development of micropropagated *Scutellaria integrifolia* plants. *Industrial Crops and Products*. 25: 169-177.

Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K. G. 2002. Mycorrhization of coriander (Coriandrum sativum) to enhance the concentration and quality of essential oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82(4): 339- 342.

Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K. G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*. 93: 307-311.

Karthikeyan, B., Abdul Jaleel, C., Lakshmanan, G. M. A and Deiveekasundaram, M. 2008. Studies on rhizosphere microbial diversity of some commercially important medicinal plants. Colloids and Surfaces B: *Biointerfaces*. 62: 143- 145.

Kazemi, Z., Esmaeili, M., Amini, A., Bankesaz, M. and Moarefiyan, A. 2008. Effect of planting pattern and plant density changes on yield and yield components of two cultivars of maize. *Journal of agriculture and natural resources*. 26:38-45.

Kizilkaya, R. 2008). Yield response and nitrogen concentration of spring wheat inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. *Ecological Engineering*. 33: 150-156.

Liu, J., WU, L., Wei, S. H., Xiao, X., Su, C., Jiang, P., Song, Z., Wang, T. and Yu, Z. 2007. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, nutrient uptake and glycyrrhizin production of licorice (*Glycyrrhiza uralensis Fisch*). *Plant Growth Regulation*. 52: 29-39.

Mulabagal, V., Wang, H., Ngouajio, M., Nair, M. G., 2009. Characterization and quantification of health beneficial anthocyanins in leaf chicory (*Cichorium intybus*) varieties. European Food Research and Technology. 230 (1): 47-53.

Nandagopal, S., Kumari, B.R., 2007. Phytochemical and antibacterial studies of Chicory (*Cichorium intybus L.*)-Amultipurpose medicinal plant. Advances in Biological Research. 1(1-2), 17-21.

Olsen, S. R. and Sommers, J. F. 1982. Phosphorus. Pp: 403-430, In: A.L. Page (ed.), Methods of soil Analysis. Agronomy. No. 9, part 2: Chemical and microbiological properties, 2nd edition, American Society and Agronomy Madison. WI. USA.

Pal, K. K., Tilak, K. V., Saxena, A. K., Dey, R. and Singh, C. 2001. Suppression of maize root diseases caused by *Macrophomia phaseolina*, *Fusarium moniliforme* and *Fusarium graminaerum* by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiology Research*. 156: 209-223.

Rajendran, K. and Devaraj, P. 2004. Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with *biofertilizers* in farm land. Biomass and Bioenergy. 26: 235-249.

Rees, S. B and Harborne, J. B. 1985. The role of plant density in the dry matter yield of the chicory plant. *Phytochemistry*. Oxford, England. Pergamon Press. 24 (10): 2225-2231.

Shaalan, M. N. 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality (*Nigella sativa L.*) plants. *Egyptian Journal of Agricultural Research*. 83: 18-28.

Shady, M. A., Ibrahim, I. and Afify, A. H. 1984. Mobilization of elements and their effects on certain plant growth characteristics as influenced by some silicate bacteria. *Egyptian Journal of Botany*. 27(1-7): 17-30.

Shahmohammadi, F., Darzi, M. T. and Haj Seyed Hadi, M. R. 2014. Influence of Compost and Biofertilizer on yield and essential oil of dill (*Anethum graveolens L.*). *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 2 (2): 446-455.

Sharma, D., Kapoor, R. and Bhatnagar, A. K. 2008. Arbuscular mycorrhizal (AM) technology for the conservation of *Curculigo orchioides* Gaertn: an endangered medicinal herb. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 24(3): 395-400.

Tilak, K. V. B. R., Ranganayaki, N., Pal, K. K., De, R., , A. K., Shekhar Nautiyal, C., Shilpi Mittal, A. K., Tripathi, A. K. and Johri, B. N. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science*. 89: 136-150.

Toncer, O. and Kizil, S. 2004. Effect of seed rate on agronomic and technologic characters of *Nigella Sativa L. International Journal of Agriculture and Biology*. 6(3): 529-532.

Van Arkel, J., Vergauwen, R., Sevenier, R., Hakkert, J. C., Van Laere, A., Bouwmeester, H. J., Koops, A. J. and Van der Meer, I. M. 2012. Silk filling, inulin metabolizing enzymes and carbohydrate status in field grown chicory (*Cichorium intybus L.*). *Journal of Plant Physiology*. 169: 1520-1529.

Wensing, A., Braun S. D, Buttner, P., Expert, D., Volksch, B., Ulrich, M. S and Weingart, H. 2010. Impact of siderophore production by *Pseudomonas syringae* pv. *Syringae* 22d/93 on epiphytic fitness and biocontrol activity against *Pseudomonas syringae* pv. *Glycinea* 1a/96. *Applied and Environmental Microbiology*. 76(9): 2704-2711.

Woller, D. and Thomashow, L. S. 1993. Use of rhizobacteria for biocontrol. Curr. Opin. Biotechnol. 4: 306–311.

Yamawaki, K., Matsumura, A., Hattori, R,, Tarui, A., Amzad Hossain, M., Ohashi, Y. and Daimon, H. 2013. Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on growth, nutrient uptake and curcumin production of turmeric (*Curcuma longa L*.). *Agricultural Science*. 4 (2): 66-71.

Yasari, E., Patwardhan, A. M., Ghole, V. S., Ghasemi Chapi, O. and Asgharzadeh, A. 2007. Bio fertilizers impact on canola (*Brassica napus L*.) seed yield and quality. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*. 9(3): 701-707.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۱۷۴- ۱۶۳)
مقاله پژوهشی

تاثیر نانو ذرات و سولفات روی بر رشد و کیفیت گیاه اطلسی (*Petunia Hybrida var. Parade*)

سکینه رنجبری [۱]، اسماعیل چمنی [۲*]، حسن ملکی لجایر [۳]، حمید عادل محمودآباد [۴]، یونس پوربیرامی هیر [۵]

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل ، ایران.
ranjbari64@gmail.com
۲- نویسنده مسئول و استاد گروه علوم باغبانی و فضای‌سبز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
echamani@yahoo.com
۳- استادیار گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشگین شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
Malekih135@gmail.com
۴- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه، میانه، ایران.
hamidadelm64@gmail.com
۵- استادیار گروه علوم باغبانی و فضای‌سبز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی،، اردبیل، ایران.
younes_ph62@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۰ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۰**

چکیده

تنش خشکی مهم‌ترین محدود کننده تولید محصولات کشاورزی است که رشد و تولید آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغذیه مناسب گیاهی در بالا بردن سطح تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش‌ها نقش به‌سزایی دارد. کمبود "روی"جزء یکی از گسترده‌ترین کمبودهای مواد مغذی در گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است. این عنصر نقش اساسی در متابولیسم پروتئین، بیان ژن، سلامتی دیواره زیستی و متابولیسم کربن دارد. به همین منظور، اثر محلول‌پاشی نانوذرات و سولفات روی هرکدام با ۴ سطح (غلظت‌های ۰، ۲۵، ۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) در دو سطح آبیاری (۵۰ و ۱۰۰درصد ظرفیت زراعی)، بر برخی صفات تعدادگل، قطرگل، تعداد برگ، وزن ریشه، میزان قند، محتوی پرولین، میزان کلروفیل برگ و هدایت روزنه‌ای و وزن ماده خشک گیاه اطلسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی با نانوذرات و سولفات روی اثر معنی‌داری بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مورد مطالعه داشتند. از لحاظ تعداد گل در شرایط تنش تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد، ولی در شرایط نرمال گیاهان تیمار شده با غلظت ترکیبی ۲۵ میلی‌گرم از هر دو ماده حدود ۷ عدد گل بیشتری نسبت به شاهد داشتند. همچنین محلول‌پاشی با نانوذرات در مقایسه با سولفات روی در رفع اثرات تنش خشکی و در نتیجه، در رشد و گلدهی گیاه اطلسی موثرتر بود. لذا به نظر می‌رسد، تغذیه با کودهای روی می‌تواند در رفع تنش‌های اسمزی و بهبود رشد و کارآیی گیاه اطلسی در شرایط تنش شوری مفید باشد.

کلمات کلیدی: وزن ماده خشک، تعدادگل، قطرگل، شاخص کلروفیل، محلول‌پاشی.

مقدمه

گیاه اطلسی با نام علمی *Petunia hybrida* از تیره سولاناسه و ازگل‌های مهم تابستانه در فضای‌سبز به شمار می‌آید. این جنس تقریباً ۳۰ گونه گیاهی را در برمی‌گیرد. گونه هیبریدا دارای رقم‌های یک‌ساله و دائمی بوده و منشأ آن آرژانتین، برزیل و اروگوئه است (Farooq et al., 2009). این گونه از طریق اصلاح گونه‌های موجود در آفریقای جنوبی حاصل شده‌اند که نیازمند آب و هوای گرم و نور خورشید کافی است. این گیاه معمولا در گلدان‌های آویزان و یا در بستر کشت درفضای سبز کشت می شود. نیازمند خاک غنی است و اگر به خوبی و منظم با انواع کودها تغذیه شود، به مدت طولانی با گل‌های خود فضای سبز را می‌آراید (Mokadem and Sorur, 2014). از ارقام مهم گیاه اطلسی که به‌طور معمول در فضای‌سبز کشت و کار می‌شود، رقم "پاراد" می باشد، از ویژگی‌های بارز این رقم قدرت گلدهی بالا، گل‌دهی زود هنگام در فصل بهار و حتی ادامه گل‌دهی با کوتاه شدن طول روز می‌باشد. گلبرگ گل‌های این رقم بافتی درخشان و براق و حالتی مومی دارند که به جلوگیری از تبادل آب کمک می‌کند. کشور ما ایران ازجمله اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک جهان است، از طرفی کاهش نزولات آسمانی طی سال‌های اخیر و برداشت بی‌رویه از منابع آب شرایط را بحرانی کرده است. طبق گزارش‌های بلند مدت هواشناسی، میانگین بارش طی چند سال اخیر کاهش یافته و ایران را برای ملحق شدن به کشورهای خشک جهان مستعد می‌کند (Bahreininejad et al., 2012). علاوه بر این، آب و آبیاری از مقوله‌های مهم در فضای‌سبز است، ازاین‌رو مدیریت عواملی که باعث کاهش مصرف آب می‌شوند، حائز اهمیت است. هرچند پاسخ گیاهان نسبت به تنش کم آبی به‌خوبی شناخته شده است، ولی فهم کارآیی گیاهان در یک شرایط محیطی پیچیده که در آن انواع تنش-ها به‌طور هم‌زمان اتفاق می‌افتد، ناقص است. بهبود تحمل گیاهان نسبت به تنش خشکی خیلی مهم و حیاتی است (Geravandi et al., 2011). تغذیه مناسب گیاهی در بالا بردن سطح تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش‌ها نقش به‌سزایی دارد. کمبود روی جزء یکی از گسترده‌ترین کمبودهای مواد مغذی در گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. این عنصر نقش اساسی در متابولیسم پروتئین، بیان ژن، سلامتی دیواره زیستی و متابولیسم کربن دارد. اثرات روی بر فرآیندهای فتوشیمیایی و تثبیت دی اکسیدکربن نیز گزارش شده است (Baybordi, 2005). تحمل به خشکی در کلم‌هایی که با کمبود روی مواجه بودند، مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که محتوی عنصر روی، آسیب به دستگاه فتوسنتزی و عدم تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های آزاد فاکتورهای مهمی هستند که منجر به کاهش رشد در شرایط کمبود روی به‌همراه تنش خشکی در گیاه کلم قرمز می‌شوند (Hajiboland and Amirzad, 2010). در مطالعه دیگر اثر نانو ذرات مس و روی بر تحمل به تنش خشکی گندم مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داد که این ترکیبات با افزایش پایداری رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوی آب و هچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، اثرات منفی تنش خشکی را کاهش می‌دهند (Taran et al., 2017). نتیآتت در مطالعه دیگری اثرات نانوذرات روی بر تحمل به شوری گیاه ریحان (*Ocimum basilicum L.*) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که تیمار با نانوذرات روی باعث بهبود جوانه‌زنی، رشد و همچنین تحمل به تنش این گیاه نسبت به تنش شوری می-شود (درویش زاده و همکاران، ۱۳۹۴).

استفاده از فناوری نانو در کلیه عرصه‌ها از جمله کشاورزی در حال گسترش می‌باشد. فرآورده‌های نانو شامل مخلوطی از ذره‌های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (Hajiboland and Amirazad, 2010). عرضه کودهای شیمیایی به شکل نانو ذرات اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. به‌دلیل اثرات مضری که

کودهای شیمیایی در محیط زیست و کیفیت غذا ایجاد می‌کنند، لذا مطالعات زیادی در مورد یافتن جایگزین برای آنها در حال انجام است. تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و فعالیت‌های کاتالیزوری آن‌ها را تغییرمی‌دهد. علاوه بر انحلال‌پذیری بیشتر، فعالیت‌های شیمیایی و قابلیت نفوذ در غشای سلولی در این نانو ذرات پدیدار می‌گردد. از سوی دیگر اخیراً کاربرد نانو کودها به‌عنوان راهکاری در جهت کاهش مصرف مواد شیمیایی در سیستم‌های زراعی مطرح‌شده است (Dole and Wilkins, 1999). هنچنین فناوری نانو فرصت بسیار مناسبی را برای توسعه‌ی محصولات جدید فراهم می‌کند و باعث بهبود عملکرد و کیفیت محصولات می‌گردد و میزان سمیت ناشی از کودها و آفات شیمیایی را کاهش می‌دهد. مطالعات زیادی در مورد نقش عنصر روی در رفع تنش‌های غیرزیستی وجود دارد. لذا، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی و نانو ذرات روی برخصوصیات رشدی و فیزیولوژی گیاه اطلسی تحت شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در یکی از گلخانه‌های اطراف شهرستان نمین واقع در استان اردبیل انجام شد، اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشمیایی در آزمایشگاه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. در این پژوهش بذر F1 رقم پاراد گل اطلسی تهیه شده از موسسه پاکان بذر مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا بذور اطلسی در نیمه اول فروردین ماه در داخل سینی‌های حاوی کوکوپیت، پیت ماس، پرلایت کشت شدند. پس از اینکه گیاهچه‌ها به مرحله ۸-۶ برگی رسیدند، به داخل گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر منتقل شدند. بستر کاشت مورد استفاده ترکیبی از ۷۰ درصد خاک باغچه و ۳۰ درصد ماسه بود. برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Some chemical and physical properties of the soil used in the experiment

Soil texture	(%) Organic material	PH	salinity(ds/m)	F.C g/ kg
Clay-loam	1.56	7.28	2.07	214

طرح آزمایشی از نوع اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار بود. فاکتورهای مورد آزمایش شامل تیمار آبیاری در دو سطح (۵۰ و۱۰۰درصد ظرفیت زراعی) و تیمارهای محلول‌پاشی روی به‌صورت سولفات روی و نانوذرات روی هرکدام در چهار سطح (شاهد، ۵، ۲۵ و۵۰ میلی‌گرم در لیتر) در نظر گرفته شدند. باتوجه به کلاس بافت خاک، مقدار آب مورد نیاز جهت اعمال ایمار آبیاری محاسبه شد. وزن گلدان پر از خاک و در حالت اشباع و همچنین وزن مقدار آب مورد نیاز برای اشباع کردن گلدان اندازه‌گیری شدند. برای اعمال ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ۲۱۰ و برای اعمال ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ۱۰۵ میلی لیتر آب استفاده شد. اعمال تیمار آبیاری دو هفته بعد از استقرار گیاهان در گلدان اصلی شروع شد. اعمال تیمارهای محلول‌پاشی دو هفته بعد از اعمال تنش خشکی بود. محلول‌های مورد استفاده باتوجه به اندازه گیاه در حجم متناسب تهیه شده و به صورت برگی محلول‌پاشی شد. نانو ذرات روی و سولفات روی مورد استفاده جهت تهیه محلول بعد از توزین مواد در آب حل شده و مورد استفاده قرار گرفت.

شاخص‌هایی از قبیل تعدادگل، قطرگل، تعداد برگ، وزن ریشه، میزان قند، پرولین، شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای و وزن ماده خشک اندازه‌گیری شدند. برای

اندازه‌گیری قطر گل، تعداد چهار گل از هر گیاه به صورت تصادفی انتخاب شده و با استفاده از کولیس دیجیتال قطر آن‌ها در مرحله باز شدن کامل برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری و میانگین آنها به عنوان قطر گل در نظر گرفته شد. هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومترمدل SC_1 ساخت کشور آمریکا در مرحله شروع گلدهی و یکبار اندازه‌گیری شد. برای این منظور سه برگ از گیاه را انتخاب کرده و میزان هدایت روزنه‌ای اندازه‌گیری شد (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998). برای اندازه‌گیری وزن خشک بوته‌ها، بعد از اتمام گلدهی بوته‌ها از ناحیه طوقه قطع شدند و در آون در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت یک هفته نگهداری شدند، سپس وزن آن‌ها توسط ترازو اندازه‌گیری شد.

جهت اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از هرگیاه ۶ برگ به صورت تصادفی (دوبرگ از بالا، دو برگ از وسط و دو برگ از پایین گیاه) انتخاب شده و با استفاده از دستگاه کلروفیل متر مدل CCM 200 اندازه‌گیری شد و میانگین اعداد به دست آمده به عنوان شاخص کلروفیل گیاه مد نظر قرار گرفت. در مراحل اول رشد، تعداد گل با شمارش گل‌ها موجود روی گیاه ثبت می‌شد و همچنین بعد از برداشت، تعداد گل‌های نهایی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

استخراج کربوهیدارت کل از جوانترین برگ‌ها با استفاده از روش فنول سولفوریک اسید صورت گرفت. مقدار ۰/۲ گرم از جوانترین برگ‌ها پودر شده با ۲ میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات (pH = ۷) ساییده و با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شدند. از محلول رویی ۱۰ میکرولیتر برداشته و به آن ۹۹۰ میکرو لیترآب مقطر افزوده شد. به ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول حاصل، ۰/۵ میلی‌لیتر فنول ۵٪ (محلول آبی) و ۲/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک (۹۸٪) اضافه گردید. پس از تثبیت رنگ به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه در دمای ۳۰-۲۷درجه سانتی گراد قرار گرفت و جذب نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل Genway 6705 در طول موج ۴۹۰ nm نانومتر اندازه‌گیری شد (Hissao, 1973).

محتوای پرولین آزاد براساس روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و برحسب میلی‌گرم در هر گرم وزن خشک برگ گزارش شد. برای این منظور، پس از توزین برگ‌های تر و همگن‌سازی آنها در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفاسالیسیلیک ۳ درصد، نمونه‌ها سانتریفوژ شده و معرف نین هیدرین و اسید استیک خالص به محلول رویی افزوده شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها در حمام آب گرم به مدت یک ساعت، ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و محلول رویی جدا شد و در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Genway 6705 قرائت شد. از تولوئن به عنوان بلانک استفاده شد.

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (V. 9.2) صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ و یک درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افراز Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش آبی به‌طور معنی‌داری($p<0.01$) تمام شاخص‌های مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار داد. محلول‌پاشی با نانوذرات روی نیز روی تمام صفات مورد مطالعه (به‌جز هدایت روزنه‌ای) اثر معنی‌داری ($p<0.01$) را نشان داد. محلول‌پاشی با سولفات روی نیز روی رشد گیاه، میزان پرولین، تعداد گل و تعداد برگ اثرات معنی‌داری ($p<0.01$) از خود نشان داد. اثرمتقابل تنش آبی با نانوذرات روی در تمام صفات (به‌جز هدایت روزنه‌ای) معنی‌دار بود، درحالیکه اثر متقابل بین تنش آبی و سولفات روی و همچنین اثرمتقابل بین سولفات روی و نانوذرات روی فقط تعداد برگ و وزن خشک اندام گیاهی معنی‌دار بود. اثر متقابل بین تنش آبی، نانوذرات روی و سولفات روی نیز از لحاظ وزن خشک اندام هوایی و تعداد برگ

معنی‌دار بود (جدول ۲).

وزن خشک اندام هوایی: همانطور که در جدول (جدول ۳) نشان داده است، تنش آبی بیوماس گیاه را به طور معنی‌داری کاهش داد. تیمار گیاهان با غلظت‌های مختلف نانوذرات روی، رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید، به‌طوریکه همه غلظت‌های مورد استفاده به‌طور معنی‌دار وزن خشک گیاه را نسبت به شاهد افزایش دادند. در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر وزن خشک گیاه دو برابر شاهد بود. محلول‌پاشی با سولفات روی تأثیر معنی‌داری روی رشد و عملکرد بیوماس گیاه اطلسی نداشت. در شرایط تنش آبی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مورد مطالعه از لحاظ وزن خشک اندام هوایی گیاه مشاهده نشد ولی در شرایط بدون تنش بیشترین میزان وزن خشک در گیاهان تیمار شده با غلظت‌های ۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر از نانوذرات روی مشاهده شد. کمترین رشد در شاهد مشاهده شد (جدول ۴ و ۵). پیشنهاد شده است که رشد کم، یک حالت سازگارکننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است. به طور کلی گیاه تحت تأثیر شاخص‌های نسبت گلوسیدها به ترکیب‌های پروتئین و نسبت C/N و ترشح هورمون فلوریژن وارد مرحله گلدهی می‌شود، که تحت تنش کمبود رطوبت، به‌دلیل کاهش محتوای نیتروژن محلول در ریزوسفر خاک، گیاه به اجبار در شرایط C/N بالا قرار گرفته و الزاماً باعث گلدهی در ارتفاع کم می‌شود، هم‌چنین طول دوره گلدهی در گیاه کوتاه می‌شود. هرچه شدت تنش خشکی بیشتر باشد، رشد اندام هدایی کاهش بیشتری پیدا می‌کند که این کاهش می‌تواند مربوط به افزایش آبسیزیک اسید در اندام هوایی باشد (امیدی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمار آبیاری، نانوذرات روی و سولفات روی بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه اطلسی

Table 2-Analysis of variance of the effect of irrigation treatment zinc nanoparticles and zinc-sulfate on morphological traits of petunia plant.

Treatment	DF	flower Dimeter	Flower NO.	Leaf NO.	Chlorophyll index	Stomatal conductance	Root dry weight	Sugar	Prolin	Aerial parts dry weight
Irrigation(a)	1	409 **	41.6 **	508 **	281 **	193 **	41.2 **	44.06 **	0.133 **	288 **
Error(a)	1	45.4	14.5	50.6	37.7	31.2	14.44	149.1	0.822	38.11
Zinc Nanoparticle (b)	3	218 **	58.5 **	23.81 **	51 **	0/758 ns	52 **	82.57 *	0.40 **	76.87 **
Error(b)	3	5.16	3.51	8.59	4.8	0.69	3.88	6.48	0.107	5.18
Zinc sulfate (c)	3	17 ns	4.40 *	79.1 **	17 ns	2.56 ns	5.79 *	1.88 ns	0.015 *	2.81 ns
a×b	3	3.40 **	19.5 *	116.7 **	36 **	0.785 ns	23.9 **	66.4 *	0.018 *	42.45 **
a×c	3	10 ns	6.17 ns	37.2 *	11.6 ns	3.11 ns	0/591 ns	3.37 ns	0.001 ns	9.06 **
b×c	9	12 ns	13.84 ns	34.3 **	11 ns	1.65 ns	3.56 ns	50 *	0.004 ns	4.18 **
a×b×c	9	2.94 ns	8.91 ns	16.7 **	5.7 ns	2.97 *	4.07 ns	23 ns	0.004 ns	5.02 **
Total error	96	7.06	5.62	10.1	6.9	1.19	2.10	20.8	0.56	1.24
C.V(٪)		3.51	18.36	8.2	12.5	10.57	14.9	19.3	25.26	15.65

ns, (*) and (**) non-significant and significant at p p<0.05 and p<0.01, respectively

روی از عناصری است که یا به‌عنوان یک جزء فلزی آنزیم‌های مختلف و یا به‌عنوان یک کوفاکتور ساختاری یا تنظیمی عمل می‌کند، بنابراین با متابولیسم ساکارید، فتوسنتز و سنتز پروتئین‌ها رابطه دارد (Zhang et al., 2013). گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد کاربرد عنصر روی گیاه، موجب کاهش اثرات منفی تنش و افزایش رشد گیاه شده است. Halder و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی تأثیر عنصر روی را در غلظت‌های صفر، ۱/۵، ۳، ۴/۵ کیلوگرم برهکتار، بر پیازهای گل مریم مورد بررسی قراردادند. آن‌ها عنوان کردن که غلظت ۳ کیلوگرم در هکتار

عنصر روی باعث افزایش وزن‌تر پیاز گل مریم گردید و غلظت ۴/۵ کیلوگرم در هکتار این عنصر باعث کاهش وزن‌تر پیاز گل مریم شد. در پژوهشی)، Luo و همکاران (۲۰۱۰) غلظت‌های مختلف عنصر روی (صفر، ۰/۲۵، ۱،۲،۳، میلی مولار) را بر رشد گیاه *Gatrupha curcas* در شرایط درون شیشه‌ای بررسی و گزارش کردند که با افزایش غلظت عنصر روی تا ۰/۵ میلی مولار میزان بیوماس گیاه افزایش یافت. همچنین بیشترین رشد گیاهچه نیز در سطوح ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌مولار گزارش شد.

جدول۳- مقایسه میانگین اثرات ساده تأثیر تیمار آبیاری، غلظت‌های مختلف نانوذرات و سولفات روی بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه اطلسی

Table 3- Main effects of irrigation treatments and different concentration of nanoparticles and zinc-sulfate on some morphological and physiological petunia plants.

Treatment		flower Dimeter (mm)	Flower NO.	Leaf NO.	Chlorophyll index (SPAD)	Stomatal conductance (mol.m.-2 s-1)	دربوته(g) Root weight (g)	Sugar ((mg/gFW)	Prolin (µmol/gFW)	dry weight (g)
Irrigation	Stressed	73.7 b	19.8 a	36.8 b	19.5 b	9.1 b	9.1 b	29.5 a	۰/ 29 a	28.7 b
	Non stressed	77.3 a	19.5 a	40.8 a	22.5 a	11.5 a	10.3 a	17.7 b	۰/ 23 b	47.6 a
Zinc nanoparticle	0	69.3c	17.9 c	34.7 b	19.3 b	10.3 a	9.2 b	21.26 b	۰/ 21 b	25 b
	5	71.9ab	19.8 ab	40.4 a	22.2 a	10.5 a	9.9 a	23.9 a	۰/ 29 a	42a
	25	73a	21.3 a	39.8 a	21.6 a	10.4 a	9.6 a	24.75 a	۰/ 29 a	42.5 a
	50	71b	19.6 b	40.4 a	21 a	10.1 a	10.2 a	24.5 a	۰/ 25 a	41.8 a
Zinc sulfate	0	70b	19.9 a	38.8 b	21.9 a	10 b	9.2 b	23.9 a	۰/ 26 ab	36 a
	5	72a	19.7 a	40.9 a	21.3 ab	10.4 ab	9.9 ab	23.75 a	۰/ 25 b	38.6 a
	25	71.5ab	19.7 a	37.1 c	20.1 b	10.4 ab	9.6/ab	23.4 a	۰/ 29 a	39.5 a
	50	71.8a	19.2 a	38.5 cb	20.8 ab	10.7 a	10.2 a	26.3 a	۰/ 24 b	37.1 a

ns, (*) and (**) non-significant and significant at p<0.05 and p<0.01, respectively

.

محتوی پرولین برگ: تنش آبی به‌طور معنی‌دار محتوی پرولین برگ را افزایش داد. غلظت‌های مورد استفاده نانوذرات همگی میزان تجمع پرولین را افزایش ولی سولفات روی تأثیری در تجمع پرولین نداشت (جدول ۳). در شرایط کمبود آب تیمار شاهد و گیاهان تیمار شده با غلظت‌های بالای نانو ذرات روی و سولفات روی کمترین میزان پرولین را داشته و گیاهان تیمار شده با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات بیشترین مقدار پرولین را داشتند. در شرایط بدون تنش رطوبتی نیز شاهد و گیاهانی که با نانوذرات تیمار نشده بودند، کمترین و گیاهان تیمار شده با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات بیشترین مقدار پرولین را در برگ خود داشتند (جدول ۴و ۵). تجمع پرولین یک پاسخ فیزیولوژیک بسیار رایج به دامنه وسیعی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان است (Good and Zaplachiniski, 1994). در پژوهشی که روی بادرنجبویه (*Melisa Officinalis*) نیز به افزایش محتوی پرولین برگ برای اجتناب از تنش کم‌آبی اشاره شده است (Abbas-Zade et al. 2007). به نظر می‌رسد با افزایش فواصل آبیاری و کاهش رطوبت خاک، پتانسیل آب سلول به پایین‌تر از حد آستانه رسیده و با افزایش آنزیم پروتئولاز، سنتز پرولین به منظور افزایش توان جذب آب افزایش یافته می‌یابد. کاهش تورژسانس عامل اولیه تجمع پرولین در تنش خشکی است. اگر چه تجمع ترکیباتی همانند پرولین و اسیدهای آمینه در بافت‌های سبز گیاه در شرایط تنش

می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم نماید، ولی اتکای گیاهان به این ترکیبات آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و باعث کاهش عملکرد آن می‌شود (Hansch and Mendel, 2009).

میزان قند محلول: میزان قند برگ‌ها در شرایط تنش به‌طور معنی‌دار بیشتر از شرایط نرمال بود. غلظت‌های مختلف نانوذرات تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته، ولی غلظت‌های مورد استفاده سولفات روی تأثیری روی میزان قند نداشتند (جدول ۳). بیشترین میزان قند در شرایط تنش خشکی در گیاهان تیمار شده با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات و بدون استفاده از سولفات روی حاصل شد وکمترین مقدار آن در شاهد و گیاهان تیمار شده با غلظت‌های ترکیبی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات و سولفات روی حاصل شد. در شرایط بدون تنش هر ۳ غلظت مورد استفاده نانوذرات تأثیر مثبتی روی میزان قند داشتند (جدول ۴و ۵). افزایش قندها در اثر تنش با تنظیم اسمزی و نگهداری تورژسانس و یا با پایدار کردن غشاها و پروتئین‌ها در ارتباط است. قندها به احتمال قوی جایگزین آب در پیوندهای هیدروژن یا دنباله‌های پلی‌پپتیدی و گروه‌های فسفات فسفولیپیدها می‌شوند و از گسیختگی غشایی ممانعت می‌کنند. در مجموع قندهای محلول طی تنش خشکی (به‌ویژه تنش شدید) می‌تواند به دلیل تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل به قندهای محلول، سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی، متوقف شدن رشد و کاهش مصرف قند افزایش یابد (Khalifa et al, 2011). در تحقیقات عابدی بابا عربی و همکاران (۱۳۹۰) و بابائیان و همکاران (۱۳۸۹) نیز میزان کربوهیدرات‌ها در اثر محلول‌پاشی روی افزایش یافت.

تعداد و قطر گل: آبیاری گیاهان با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تأثیری روی تعداد گل نداشت ولی گیاهان آبیاری شده با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌طور معنی‌داری گل‌های درشت‌تری نسبت به گیاهان تیمار شده با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی داشتند (جدول ۳). نانوذرات روی تعداد گل در بوته و قطر گل را افزایش داد ولی سولفات روی تأثیر معنی‌داری روی این صفات نداشت. از لحاظ تعداد گل در شرایط تنش تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد، ولی در شرایط نرمال گیاهان تیمار شده با غلظت ترکیبی ۲۵ میلی‌گرم از هر دو ماده نانوذرات روی و سولفات روی حدود ۷ عدد گل بیشتری نسبت به شاهد داشتند. گیاهان تیمار شده با نانوذرات گل‌های درشتتری (۵-۱۰ میلی‌متر) نسبت به شاهد در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی را داشتند (جدول ۴و ۵). اثر محلول‌پاشی سولفات روی و اسید بوریک بر رشد، عملکرد و ترکیبات شیمیایی گیاهان نیز نشان داده است که محلول‌پاشی برگی سولفات روی به تنهایی در تمام سطوح به‌طور قابل توجهی پارامترهای رشد، ویژگی‌های گل و تعداد سوخک و عملکرد گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش می‌دهد (Khalifa et al, 2011). در گیاهان زینتی، عنصر اساسی گل است. در گیاهانی که در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، میزان گلدهی به‌دلیل صرف قابل توجهی از انرژی گیاه جهت مقابله با تنش خشکی کاهش پیدا می‌کند (Auge et al. 2003). در تحقیقی اثر محلول‌پاشی سولفات روی و اسید بوریک بر رشد، عملکرد و ترکیبات شیمیایی گل زنبق مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی سولفات روی به تنهایی در تمام سطوح به‌کار رفته به‌طور قابل توجهی پارامترهای رشد، ویژگی‌های گل و تعداد سوخک و عملکرد گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش می‌دهد (Khalifa et al, 2011).

شاخص کلروفیل: شاخص کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی به طور معنی‌داری کاهش یافت. استفاده از نانوذرات روی به طور معنی‌دار میزان کلروفیل برگ را افزایش داد ولی سولفات روی تأثیری بر شاخص کلروفیل برگ نداشت (جدول ۳). در شرایط تنش نیز بین ترکیبی از نانوذرات و سولفات روی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد ولی در شرایط بدون تنش گیاهان تیمار شده با ۵ و ۲۵

میلی‌گرم در لیتر نانوذرات بیشترین میزان شاخص کلروفیل را از خود نشان دادند (جدول ۴و ۵). در شرایط تنش آبی فاکتورهای لازم جهت سنتز کلروفیل کاهش و تخریب ساختمان آن افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش کم‌آبی گیاه در طی روز با بسته نگاه داشتن روزنه‌ها، سعی در حفظ محتوی آب نسبی خود دارد، در این زمان انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و در این وضعیت، الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، باعث تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشاء سلولی از طریق پراکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوی کلروفیل گیاه می‌گردد. اغلب کاهش غلظت کلروفیل در فعالیت کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی می‌باشد (Dole and Wilkins, 1999)؛ که شرایط بهره برداری بهتر از تشعشع و تولید بیشتر را فراهم کرد. پیرزاد و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی اثر مصرف آهن و روی بر عملکرد گیاه آنسیمون نشان دادند که بیشترین عملکرد اسانس از گیاهانی که با آهن در غلظت ۶ در هزار و عنصرروی در غلظت ۴ در هزار تیمار شده بودند بدست آمد؛ و براساس نتایج این آزمایش محلول‌پاشی روی موجب افزایش عملکرد دانه و میزان کلروفیل و عملکرد اسانس آنیسون شده است. با توجه به اینکه روی در قسمتی از آنزیم کربونیک انیدراز در تمامی بافت‌های فتوسنتزی حضور دارد و برای بیوسنتز کلروفیل مورد نیاز است (عادلی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین فعالیت هیدرولیتیکی اندامک‌های مهم سلولی مانند کلروپلاست، میتوکندری، سیتوپلاسم و فضای آپوپلاستی نیز متکی به حضور روی می‌باشد (Hellubust and Caraigie, 1978).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرمتقابل تأثیر نانوذرات روی و سولفات روی بر صفات مورد مطالعه در گیاه اطلسی در شرایط تنش خشکی

Table 4- Interactive effect of zinc nanoparticles and zinc sulfate on studied traits in petunia plant under drought stress condition.

Treatment	flower Dimeter (mm)	Flower NO.	Leaf NO.	(SPAD)	Root dry weight (g)	Sugar (mg/gFW)	Prolin (µmol/gFW)	Aerial parts dry weight (g)
N_0S_0	68.7^{b}	20.02^{a}	34.7^{b}	32.1^{a}	6.8^{e}	26.8^{bc}	0/24^{bc}	23^{a}
N_0S_5	71^{ab}	21^{a}	36.2^{ab}	35.6^{a}	8.4^{bcde}	31.3^{ab}	0/22^{c}	24^{a}
N_0S_{25}	73^{ab}	19.7 a	35.5^{ab}	34.5^{a}	8.4^{bcde}	28.1b^{c}	0/24^{bc}	31.4^{a}
N_0S_{50}	73.2^{ab}	20.2^{a}	35.5^{ab}	36.6^{a}	10.3^{ab}	30.4^{abc}	0/26^{bc}	40^{a}
N_5S_0	74.34^{a}	21.7^{a}	37.5^{ab}	38.7^{a}	8.4^{bcde}	27.8^{bc}	0/26^{bc}	22.4^{a}
N_5S_5	73.47^{ab}	17.7^{a}	35.7^{ab}	37.4^{a}	10.8^{a}	28.1^{bc}	0/35^{abc}	45.7^{a}
N_5S_{25}	76.44^{a}	19.7^{a}	36.2^{ab}	38.5^{a}	7.7d^{e}	31.8^{ab}	0/37^{ab}	26.7^{a}
N_5S_{50}	75.3^{a}	19^{a}	37.2^{ab}	36.6^{a}	8.9^{abc}	26.7^{bc}	0/26^{bc}	27.7^{a}
$N_{25}S_0$	73.7^{ab}	20.5 ^{a}	37.2^{a}	34.3^{a}	10.1^{ab}	33.8^{ab}	0/4^{a}	37^{a}
$N_{25}S_5$	75.3^{a}	19.5^{a}	38.7^{b}	36.9^{a}	8^{cde}	31.6^{ab}	0/29^{abc}	21^{a}
$N_{25}S_{25}$	74^{ab}	20.2^{a}	34.7^{ab}	38.6^{a}	9.5^{abcd}	26.8^{bc}	0/36^{ab}	25^{a}
$N_{25}S_{50}$	75.9^{a}	19.7^{a}	37^{ab}	38.5^{a}	8.6^{bcde}	29.8^{abc}	0/36^{ab}	26.5^{a}
$N_{50}S_0$	75^{a}	21^{a}	37.5^{a}	39.7^{a}	8.3^{bcde}	36.8^{a}	0/28^{abc}	21^{a}
$N_{50}S_5$	73.2^{ab}	22^{a}	38.7^{a}	37.1^{a}	9.8^{abc}	30.9^{abc}	0/28^{abc}	37^{a}
$N_{50}S_{25}$	72^{ab}	18^{a}	38^{a}	38^{a}	11^{a}	26.4^{bc}	0/35^{abc}	34^{a}
$N_{50}S_{50}$	74.5 ^{a}	16.2 ^{a}	37^{ab}	36^{a}	10.8^{abc}	23.7^{c}	0/2^{c}	23^{a}

*N and S in table represent zinc nano-particle and zinc sulfate respectively, and figures beside them represent their concentrations.

وزن خشک ریشه: آبیاری گیاهان با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌طور معنی‌داری رشد ریشه را کاهش داد (جدول ۳). استفاده از نانوذرات روی در غلظت‌های ۵، ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر و سولفات روی فقط در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر رشد ریشه را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۴و ۵). در شرایط تنش بیشترین وزن خشک ریشه در گیاهان تیمار شده با ترکیبی از هر کدام از نانوذرات و سولفات روی در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. در کل هر دو ترکیب تاثیر مثبتی روی رشد ریشه در شرایط تنش و بدون تنش نشان دادند. گسترش و طویل شدن سلول‌های ریشه، به میزان زیادی تحت تأثیر این هورمون اکسین است. عنصر روی برای سنتز ایندول استیک اسید و برای محافظت از آن در برابر تجزیه اکسیداتیو بوسیله‌ی گونه‌های فعال اکسیژن نیز لازم است (Jamson et al, 2009). ایندول استییک اسید هورمون گیاهی مهمی است که در مناطق مریستمی اندام‌های جوان گیاه سنتز می‌شود. با کاهش میزان روی سطح ایندول اسیداسیتیک نیز کاهش می‌یابد. این هورمون نسبت به گونه‌های فعال اکسیژن بسیار حساس است. گونه های فعال اکسیژن به بخش‌های مهم گیاه مانند کلروفیل، پروتئین‌ها، غشای بیولوژیکی صدمه می‌زنند. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز متکی به روی است و زمانی که غلظت روی کاهش می‌یابد، فعالیت این آنزیم نیز کاهش می‌یابد و با کاهش فعالیت این آنزیم سلول مستعد حمله‌ی گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. به‌صورت کلی می‌توان گفت در مواقع کمبود روی گیاه مستعد پذیرش تنش‌های محیطی مختلف می‌شود (Jamson et al, 2009).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرمتقابل اثر نانوذرات روی و سولفات روی بر صفات مورد مطالعه در گیاه اطلسی در شرایط نرمال

Table 5. Interactive effect of zinc nanoparticles and zinc sulfate on studied traits in petunia plants under normal conditions.

Treatments	flower (mm) Dimeter	Flower NO.	Leaf NO.	chlorophyll (SPAD)	Root D.W (g)	Sugar (mg/gFW))	Proline (µmol/gFW)	Dry Weight (g)
N_0S_0	69.7 d	15.7 c	32 g	35.5 de	6.8 b	11.8 b	0.16 b	22 c
N_0S_5	71.7 d	16.5 bc	34.2 efg	36.6 e	8.4 b	11.5 b	0.17 b	21.4 c
N_0S_{25}	74.6 c	16 c	33.2 fg	36.6 e	8.4 b	14.3 ab	0.24 ab	25 bc
N_0S_{50}	71.2 d	18.2 abc	36 defg	35.1 cde	10.3 b	15.6 ab	0.17 b	21.6 c
N_5S_0	80.5 a	21 ab	41 bcd	39.3 abc	8.4 a	15.7 ab	0.23 ab	49 bc
N_5S_5	79.7 ab	18.7 abc	45.7 ab	40.2 abc	10.8 a	18.4 ab	0.27 ab	54 abc
N_5S_{25}	79.9 ab	18.7 abc	44 abc	39.9 a–d	7.7 a	21.95 a	0.3 a	77.4 a
N_5S_{50}	78.2 ab	17.7 abc	45.5 abc	40.7 a	9.9 a	20.3 a	0.29 a	68.9 a
$N_{25}S_0$	79.4 ab	17.8 abc	44.5 abc	40.4 a–d	10 a	21.1 a	0.24 ab	60.8 ab
$N_{25}S_5$	79.1 ab	18.21 abc	48.5 a	40.7 a	8 a	17.9 ab	0.22 ab	67.2 a
$N_{25}S_{25}$	78.4 ab	23.2 a	35.7 defg	38.6 a–d	9.5 a	15.7 ab	0.27 ab	64 a
$N_{25}S_{50}$	77.2 b	19.5 abc	40.2 bcde	39.5 a–e	8.6 a	21 a	0.16 a	55 abc
$N_{50}S_0$	79.2 ab	12.2 c	40.2 abc	38.6 a–d	8.3 a	17 ab	0.24 ab	68.4 a
$N_{50}S_5$	78.4 ab	17.7 abc	49 a	39.8 a–d	9.8 a	19 a	0.23 ab	51.4 abc
$N_{50}S_{25}$	78.9 ab	17.5 abc	39 cdef	38.9 a–d	11 a	22 a	0.26 ab	49 abc
$N_{50}S_{50}$	79.2 ab	19.2 abc	39 cdef	38 a–d	10.8 a	19 ab	0.23 ab	62 ab

*N and S in table represent zinc nanoparticle and zinc sulfate respectively, and figures beside them represent their concentrations.

هدایت روزنه‌ای: تیمارهای مورد آزمایش (به جز غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر از سولفات روی) تأثیری روی هدایت روزنه‌ای از خود نشان ندادند (جدول۳). عوامل محدودکننده فتوسنتزی به دوسته عوامل روزنه‌ای که منجر به کاهش انتشار به فضای بین سلولی در اثر کاهش هدایت روزنه‌ای CO_2 می شوند و عوامل غیر روزنه‌ای که فتوسنتز را از طریق اثر مستقیم کمبود آب بر فرایندهای بیوشیمای فرآوری کربن محدود می‌کنند، تقسیم می‌شوند (احمدی و بیکر، ۱۳۷۹). کاهش هدایت روزنه‌ای می‌تواند به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش اسمزی باشد، تا از این طریق تلفات آب به حداقل برسد. تنظیم هدررفت آب از طریق بسته شدن روزنه‌ها ممکن است به عنوان یک مکانیسم مقاومت به خشکی عمل کند، اما باعث افزایش دمای برگ می‌شود. اگر اجتناب از تنش فقط به واسطه بسته شدن روزنه‌ها باشد، به علت افزایش دمای برگ و توقف فتوسنتز نامطلوب خواهد بود. (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد نانوذرات به‌عنوان روشی اقتصادی و آسان می‌تواند خصوصیات رشدی و زینتی اطلسی را در شرایط طبیعی (بدون تنش) بهبود بخشد و باعث کاهش اثرهای مخرب تنش خشکی بر رشد و نمو گیاه شود. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، در بین تیمارهای نانوذرات روی استفاده شده، غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر قابل توصیه است.

منابع

احمدی، ع.، و بیکر، د.، ۱۳۷۹. عوامل روزنه‌ای محدود کننده فتوسنتز در گندم در شرایط تنش خشکی. *مجله علوم کشاورزی ایران* شماره ۳۱، صص ۸۲۵- ۸۱۳.

امیدی، ح.، جعفرزاده چیمه، ل. و رحیم زاده م.، ۱۳۹۱. ارزیابی تنش خشکی بر عملکرد دانه ژنوتیپ های کلزا با استفاده از شاخصهای تحمل به خشکی. *پژوهش و سازندگی* ۲۵: ۵۷-۶۶.

بابائیان، م.، حیدری، م.، و قنبری، الف.، ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم مصرف بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در آفتابگردان . *مجله علوم زراعی ایران* ۱۲شماره، صصص ۳۹۱-۳۷۷

حیدری، ن.، پوریوسف، م.، و توکلی، الف. ۱۳۹۲. تاثیر تنش خشکی بر فتوسنتز، پارامترهای وابسته به آن و محتوی نسبی آب گیاه انیسون. *مجله پژوهش‌های تولیدات گیاهی*. شماره ۲۵، صص ۸۲۸-۹۳۹.

درویش زاده، ف.، نجات زاده، ف.، و ایرانبخش، ع.، ۱۳۹۴. تاثیر نانو ذرات نقره بر تحمل به شوری گیاه ریحان در مراحل جوانه زنی در آزمایشگاه .*تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی- مولکولی*. شماره ۲۰. صص ۴۶-۵۸.

عابدی باباعربی، س.، موحدی دهنوی، م.، یدوی، ع.، و ادهمی، الف.، ۱۳۹۰. تأثیر محلول‌پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی. *مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی*، شماره ۴، صص ۹۵-۷۵.

عادلی، س.، خورگامی، ع. و رفیعی، م.، ۱۳۹۲. اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر خصوصیات کمی و کیفی سویا در منطقه خرم آباد. *فصل نامه دانش نوین در کشاورزی پایدار*، شماره ۳، صص ۵۷- ۵۱.

Abbas-Zade, B., Sharifi, A., Abadi, A., Lebaschi, M.H., Naderi, M. and Maghdami, F. 2007. Effect of drought stress on proline, soluble sugars, chlorophyll and relative water content of Melissa officinalis L. *Journal Research Aromatic Plants of Iran* 23: 504-513.

Auge R. M., Stodola, A. J .W., Moore, J. L., Klingeman, W. E. and Duan, X. 2003. Comparative dehydratationtolerance of foliage of several ornamental crops. *Scientia Horticulture* 98:511-516.

Bahreininejad, B., Razmjoo, J. and Mirza, M. 2012 Influence of water stress on morphophysiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. *International Journal of Plant. Production*. 7: 151- 166

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress study. *Plant and Soil*. 39: 205-207.

Baybordi A. 2005. Effect of zinc, iron, manganese and copper onwheat quality under salt stress conditions, *Journal of Water and Soil*, 140:150-170.

Dole J.M. and Wilkins, H. F .1999. Floriculture: Principles and Species. Prentice – Hall,inc. New Jersey.613P.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayash, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29: 185–212.

Geravandi, M., Farshadfar, E. and Kahrizi, D. 2011. Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. *Russian Journal of Plant Physiology*. 58: 69-75.

Good, A. and Zaplachiniski, S. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein syntesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum*. 90: 9–14.

Hajiboland, R., Amirazad, H. 2010. Drought tolerance in Zn-deficient red cabbage. *Hortscience*. Vol. 37, 2010, No. 3: 88–98.

Hajiboland. R. and Amirazad, H. 2010. Drought tolerance in Zn-deficient red cabbage (*Brassica oleracea L.* var. capitata) plants. *Hortscience* 37: 88–98.

Halder, N.K., Ahmad, R., Sharifuzzaman, S.M., Bagam, K.A., Siddiky,M.A. 2007. Effect of boron and zinc fertilization on corm and cormel production Gladiolus in grey terrace soils of Bangladesh. *Journal of Sustainable Crop Productio*n, 25: 85 – 89.

Hansch, R. and Mendel, R. 2009. Physiological function of mineral micronuntrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opininon in Phant Biology*. 12: 259- 266.

Hellubust, J. A. and Caraigie, J. S.1978. Handbook of physiological methods. *Physiological and biochemical methods*. Cambridge University Press.

Hissao, T. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24: 519-570.

Khalifa, R. K. H. M ., Shaaban, S. h. A. and Rawia, A. 2011. Effect of foliar application of zinc sulfate and boric acid on growth, yield and chemical constituents of iris plants. *Journal of Appllied Science* 4: 1943 – 2429.

Luo, Z., He. X., Chen, L., Lin T., Shun, G, and Fang C. 2010. Effects of zinc on growth and antioxidant responses in *Jatropha curcas* seedlings. 2010. International Journal of Agriculture & Biology. *International Journal of Agriculture Biology*, 12: 119–124

Mokadem, H.E., and Sorur. M. 2014. *Effect of Bio and Chemical Fertilizers on Growth and Flowering of Petunia hybrida Plants*. 9(2):67-77.

Ramirez-Vallejo, P. and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*. 99:127–136.

Taran, N, Storozhenko, V., Svietlova, N., Batsmanova, L., Shvartau, V and Kovalenko, M. 2017. Effect of zinc and copper nanoparticles on drought resistance of wheat seedlings. *Nano Research Letters*. DOI 10.1186/s11671-017-1839-9

Zhang, C. and Huang, Z. 2013. Effects of endogenous abscisic acid, jasmonic acid, polyamines, and polyamine oxidase activity in tomato seedlings under drought stress. *Scientia Horticulture*. 159:172–177.

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، (ص ۱۸۶- ۱۷۵)
مقاله پژوهشی

تاثیر تیمار سیلیسیوم و متیل جاسمونات بر برخی صفات مورفولوژیکی و پارامترهای فتوسنتزی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.)

مهدی محمدی ازنی [۱]، حسین مرادی [۲*]، کامران قاسمی [۳]، پوریا بی‌پروا [۴]

۱- دانشجوی گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
mehdimohamadi917@gmail.com
۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
moradiho@yahoo.com
۳- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
kamranghasemi63@gmail.com
۴- دانشیار گروه علوم پایه، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
p.biparva@sanru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۰ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۹**

چکیده

خرفه بدلیل داشتن مواد موثره فراوان به عنوان یکی از گیاهان با ارزش دارویی محسوب می‌شود. در این پژوهش آزمایشی با دو فاکتور سیلیسیوم در پنج سطح (صفر، ۱ میلی‌مولار کودآبیاری، ۲ میلی‌مولار کودآبیاری، ۱ میلی‌مولار محلول‌پاشی، ۲ میلی‌مولار محلول‌پاشی) و متیل‌جاسمونات در سه سطح (۰، ۷۵ و ۱۵۰میکرومولار) به‌صورت فاکتوریل در گلخانه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که ترکیبات تیماری متیل جاسمونات صفر+محلول‌پاشی سیلیسیوم ۲، متیل جاسمونات صفر+کودآبیاری سیلیسیوم ۲، متیل جاسمونات ۱۵۰+سیلیسیوم صفر و متیل جاسمونات ۱۵۰+کودآبیاری سیلیسیوم ۲ بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، بالاترین طول ساقه را دارا بودند. وزن تر ساقه در ترکیبات تیماری متیل جاسموات۷۵+کودآبیاری سیلیسیوم ۱ و متیل جاسمونات ۱۵۰+سیلیسیوم صفر به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد و تمامی ترکیبات تیماری دیگر بیشتر بوده است. تیمار متیل جاسمونات۷۵+محلول‌پاشی سیلیسیوم ۱، کمترین میزان وزن تر برگ را نشان داد؛ هرچند با شاهد و متیل جاسمونات ۱۵۰+محلول‌پاشی سیلیسیوم ۱ اختلاف معنی‌داری نداشت. سرعت تعرق (E) در ترکیبات تیماری که کودآبیاری سیلیسیوم ۲ میلی‌مولار استفاده شده بود به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. کمترین هدایت روزنه‌ای (GH_2O)، که بطور معنی‌داری از شاهد کمتر بود، در ترکیب تیماری متیل جاسمونات ۱۵۰+سیلیسیوم صفر مشاهده شد. بیشترین میزان کلروفیلa در ترکیب تیماری متیل جاسمونات ۱۵۰+محلول‌پاشی سیلیسیوم ۱ بود که با تیمارهای متیل جاسمونات۱۵۰ و ۷۵ تفاوت معنی‌داری نداشته و هر سه ترکیب تیماری نسبت به شاهد برتری داشتند. بیشترین میزان کلروفیلb در ترکیب تیماری محلول‌پاشی متیل جاسمونات ۱۵۰+محلول‌پاشی سیلیسیوم ۱ دیده شد که اختلاف معنی‌داری با ترکیبات تیماری متیل جاسمونات ۷۵+محلول‌پاشی سیلیسیوم ۲ میلی‌مولار و متیل جاسمونات ۷۵+کودآبیاری سیلیسیوم ۱ میلی‌مولار نشان نداد. از نظر کلروفیل کل ترکیب تیماری متیل جاسمونات ۱۵۰+محلول‌پاشی سیلیسیوم ۱ به‌طور معنی‌داری بیشترین میزان را دارا بوده است و بیشترین میزان کاروتنوئید نیز در ترکیب تیماری محلول‌پاشی سیلیسیوم ۲ مشاهده شد. به‌طور کلی ترکیب تیماری متیل جاسمونات ۱۵۰+محلول‌پاشی سیلیسیوم ۱ سبب بهبود در صفات مربوط به عملکرد و پارامترهای فتوسنتزی در گیاه خرفه گردید.

کلمات کلیدی: دی اکسید کربن، سرعت تعرق، کاراتنوئید، کلروفیل.

مقدمه

خرفه با نام علمی *Portulaca oleracea L.* گیاهی ارزشمند از خانواده Portulacaceae می‌باشد. این گیاه در بسیاری از کشورهای دنیا برای اهداف مختلف مانند تغذیه انسان، صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد (Stephan et al., 1994). این گیاه دارای میزان قابل‌توجهی دوپامین و نورآدرنالین (Dighe et al., 2008)، اسید چرب امگا ۳ (لینولیک اسید، ایکوزاپنتانوئیک اسید و دکوزاهگزانوئیک اسید)، ویتامین‌ها (آ، ث و ای)، بتاکاروتن و آنتی‌اکسیدان هایی مانند آلفا توکوفرول، اسکوربیک اسید و گلوتاتیون می‌باشد (Simopoulos et al., 2004). دوپامین و نورآدرنالین به عنوان محرک سیستم عصبی و در درمان بیماری نارسایی قلب و به به عنوان یک ضد التهاب منتشر و موجب درمان شوک عصبی و عفونی می‌شود (Rang, Taylor. 2007 and Veena 2003.). خرفه می‌تواند از بیماری‌های عفونی، قلبی عروقی و سرطان جلوگیری کند (Liu et al., 2000). همچنین از این گیاه به‌عنوان ضد درد و ضدالتهاب (Chan et al., 2000) ضدعفونی کننده و کاهش سمیت دیابت و کلیوی یاد می‌شود (Lee et al., 2012).

متیل‌جاسمونات (MJ) یک تنظیم‌کننده درونی گیاه می‌باشد که در رشد و نمو و پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی نقش مهمی دارد و به عنوان یک ملکول پیام‌رسان در برخی از سیستم‌های انتقال پیام نقش ایفا می‌کند؛ همچنین سبب فعال شدن پاسخ‌های دفاعی گیاهی از طریق القای بیان ژن‌های دفاعی می‌شود (Creelman and Mullet, 1997). طی پژوهشی اثر متیل‌جاسمونات را بر عملکرد فیزیولوژیک گیاه سویا مورد بررسی قرار داده و بیان کردند که میزان اثر گذاری این هورمون رابطه مطلوبی با میزان غلظت آن دارد به طوری که در این گیاه متیل‌جاسمونات در غلظت‌های کم با افزایش توان دفاع آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود رشد گیاه سویا شد اما در غلظت‌های بالا موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش رشد گیاه گردید (Keramt and Daneshmand, 2012). به طور کلی میتل جاسمونات به عنوان یک محرک جهت افزایش متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی شناخته شده است.

Parsa و Zeinali (۱۳۹۶) گزارش کردند که متیل جاسمونات موجب افزایش آلکالوئیدهای آتروپین و اسکوپولامین در گیاه دارویی بنگ دانه می‌گردد ولی همزمان رشد ریشه‌ها را کاهش داد.

سیلیسیوم برای تعداد محدودی از گیاهان عنصر ضروری می‌باشد اما در اکثر گیاهان به عنوان عنصر ضروری تلقی نمی‌شود (Stephan, 1994). با این حال مطالعات نشان داده است که این عنصر اثر مثبت بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (Ma et al., 2000). Aryan و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی تیمار سیلیسیوم روی گیاه شنبلیله در شرایط تنش شوری دریافتند که استفاده از سیلیسیوم موجب بهبود شاخص‌های مختلف رشدی گیاه می‌گردد. Yaghubi و همکاران (۲۰۱۶) با کاربرد سیلیکات‌پتاسیم در شرایط تنش شوری توت فرنگی اعلام کردند که سیلیسیوم موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش مالون‌دی‌آلدهید و آب اکسیژنه می‌شود. رحیمی و همکاران (۱۳۹۰) طی حقیقی بر روی تاثیر شوری و سیلیسیوم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه خرفه (Portulaca oleracea L) گزارش کردند عنصر سیلیسیوم در گیاه خرفه تاثیر مثبت و معنی‌داری بر تعداد برگ بوته، ارتفاع ساقه اصلی و شاخص سطح برگ داشته است. تأثیر سیلیسیوم بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنک و در نتیجه افزایش استحکام برگ بوده و یا بدلیل افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح باشد. همچنین مشخص شده است که کاربرد سیلیسیم محلول جهت افزایش تولید آنزیم ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز در برگ لازم است که این آنزیم موجب افزایش راندمان تثبیت دی اکسید کربن و بهبود فتوسنتز می‌گردد (Adtina and Beasford, 1986).

از آنجایی‌که استفاده از سیلیسیوم به عنوان یک عنصر مفید در تغذیه و استفاده از متیل جاسمونات به عنوان یک محرک می‌توانند سبب افزایش برخی از صفات مطلوب گیاه دارویی خرفه شوند، بنابراین در این پژوهش بررسی اثر همزمان تیمار متیل جاسمونات و تغذیه سیلیسیوم بر خصوصیات مختلف رشدی و فتوسنتزی گیاه دارویی خرفه مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. فاکتور اول محلول‌پاشی متیل‌جاسمونات در سه سطح (M_0: صفر، M_{75}: ۷۵ و M_{150}: ۱۵۰میکرومولار) و فاکتور دوم سیلیسیوم در پنج سطح (S_0: صفر، Sf_1: ۱ میلی‌مولار کودآبیاری، Sf_2: ۲ میلی‌مولار کودآبیاری، SS_1: ۱ میلی‌مولار محلول‌پاشی، SS_2: ۲ میلی‌مولار محلول‌پاشی) در یک مرحله، زمانی‌که گیاهان شش برگ حقیقی داشتند، انجام شد. متیل جاسمونات به جرم مولکولی ۲۲۴/۳ گرم بر مول در دو غلظت تعریف‌شده ۷۵ و ۱۵۰ میکرومولار (به ترتیب ۱۶/۸۲ و ۳۳/۶۵ گرم در لیتر) به همراه شاهد که آب بود تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. سیلیسیوم مورد استفاده از منبع سیلیکات پتاسیم بوده است که حل‌پذیری خوبی در آب دارد لذا به منظور تهیه محلول غذایی، مقادیر ذکر شده در بالا توزین شده و در مقداری حلال آب حل شده و نهایتا به حجم رسانده شد. جهت کاشت از گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۰ و با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که با خاک یکنواخت پر شده بودند (خصوصیات فیزیکوشیمیایی، میزان عناصر پرمصرف خاک مزرعه در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است) استفاده شد. بذرهای خرفه از شرکت پاکان بذر اصفهان خریده شده و با تراکم ۱۲ بوته در هر گلدان کاشته شد. آبیاری گیاهان به صورت آبیاری در پای بوته بعد از خشک شدن خاک سطحی گلدان انجام می‌گرفت.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک بستر مورد آزمایش

Table 1. Physicochemical characteristics of soil used in this experiment

Sand%	Silt%	Clay%	TEXT.S	Organic carbon (%)	pH	EC(mS)	TNV%
49	34	17	Loam	3.256	7.56	1.36	34.5

جدول ۲- عناصر غذایی موجود در خاک بستر مورد آزمایش

Table 2. Nutritional elements of soil used in this experiment

Total nitrogen (%)	Phosphorus (mg.kg-1)	Potassium (mg.kg-1)	Magnesium (mg.kg-1)	Iron (mg.kg-1)	Manganese (mg.kg-1)	Zinc (mg.kg-1)	Copper (mg.kg-1)
0.32	63	595	440	3.26	6.28	4.42	1.2

صفات مورفولوژیکی شامل وزن تر ساقه و وزن تر برگ توسط ترازوی دیجیتال دقیق با واحد گرم، همچنین طول و عرض برگ، طول‌ساقه و طول‌ریشه با خط‌کش و با واحد سانتی‌متر، همگی در مرحله ۸ برگ کاملا توسعه‌یافته مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. پارامترهای فتوسنتزی نیز شامل درصد رطوبت نسبی برگ (rh)، سرعت تعرق (E)، هدایت روزنه‌ای (GH_2O)، نرخ جذب دی اکسید کربن (A)، تابش فعال فتوسنتزی بالای برگ (PARtop)، تابش فعال فتوسنتزی پایین برگ (PARbot) و تابش فعال فتوسنتزی محیط (PARamb) توسط دستگاه فتوسنتزمتر Portable Gas Exchange & Fluoresence System (GFS- 3000, Walz, German) در یک روز آفتابی با دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد بین ساعت ۹:۱۵ تا ۱۰:۳۰ اندازه‌گیری شدند (Nwugo and Huerta. 2008).

جهت اندازه‌گیری میزان رنگریزه‌های فتوسنتزی ابتدا ۰/۵ گرم از وزن برگ تازه را در ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سایده و پس از سانتریفیوژ با دور ۱۳۰۰۰ در دمای چهار درجه به مدت ۱۵ دقیقه، مایع‌رویی جدا گردیده و اندازه‌گیری طیف نور جذبی محلول با دستگاه اسپکتوفتومتر مدل (UV-1800 PC) در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵، ۶۴۶، و ۴۷۰ نانومتر انجام گرفت. در نهایت با استفاده از روابط زیر مقدار کلروفیل a، b و کارتنوئیدها محاسبه شد (Arnon., 1949).

میلی‌گرم کلروفیل a در هر گرم برگ تر=

$$\{(12.7\times A663)-(2.69\times A645)\}\times V/W\times 1000$$

میلی‌گرم کلروفیل b در هر گرم برگ تر=

$$\{(22.9\times A645)-(4.69\times A663)\}\times V/W\times 1000$$

میلی‌گرم کلروفیل کل در هر گرم برگ تر=

$$\{(20.2\times A646)+(8.02\times A663)\}\times V/W\times 1000$$

میلی‌گرم کاروتنوئید در هر گرم برگ تر=

$$\{(1000\times A470)-(1.8\times cla)-(85.02*clb)\}\times V/W\times 1000$$

آنالیز داده‌های این آزمایش نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال یک وپنج درصد انجام شد. عدد اسپد چطور اندازه گیری شد؟؟؟

نتایج و بحث

اجزای عملکرد

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر ساده هر دو فاکتور متیل جاسمونات و سیلیسیوم بر تمامی صفات مورفولوژیکی گیاه خرفه به جز وزن تر و خشک برگ معنی‌دار بوده است (جدول ۳). اثر متقابل تیمار متیل جاسمونات و سیلیسیوم نیز بر صفات طول‌برگ، عرض‌برگ، طول‌ساقه، طول‌ریشه، وزن تر ساقه، وزن تر برگ و وزن خشک ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی وزن خشک برگ معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). براساس جدول مقایسه میانگین ترکیبات تیماری $M_{75}S_{f1}$ و $M_{150}S_0$ بالاترین میزان طول‌برگ را داشتند (جدول ۴). همچنین در صفت عرض برگ $M_{150}S_0$ برتری معنی‌داری نسبت به سایر ترکیبات تیماری دیده شد هرچند اختلافش با ترکیب تیماری $M_{150}S_{f1}$ معنی‌دار نبوده است (جدول ۴). غلظت بالای سیلیسیوم به تنهایی با هر دو روش کود آبیاری و محلول‌پاشی (M_0S_{s2} و M_0S_{f2})، غلظت بالای متیل جاسمونات به تنهایی ($M_{150}S_0$) و غلظت بالای کودآبیاری سیلیسیوم به همراه غلظت بالای متیل جاسمونات ($M_{150}S_{f2}$) بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، بالاترین طول ساقه را دارا بودند (جدول ۴). از نظر میزان طول ریشه ترکیبات تیماری M_0S_{s2} و $M_{150}S_{f1}$ برتری معنی‌داری نسبت به سایر ترکیبات تیماری داشتند (جدول ۴). وزن تر ساقه در ترکیبات تیماری $M_{75}S_{f1}$ و $M_{150}S_0$ به‌طور معنی‌داری نسبت به تمامی ترکیبات تیماری دیگر بیشتر بوده است (جدول ۴). ترکیب تیماری $M_{75}S_{s1}$ کمترین میزان وزن تر برگ را نشان داد؛ هرچند با ترکیبات تیماری M_0S_0 و $M_{150}S_{s1}$ اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). وزن خشک ساقه در تیمار $M_{75}S_0$ به‌طور معنی‌داری بیشتر از تمامی تیمارهای دیگر بود (جدول ۴). براساس نتایج ذکرشده، محلول‌پاشی غلظت بالای متیل جاسمونات به تنهایی ($M_{150}S_0$) سبب افزایش طول برگ، عرض برگ، طول ساقه و ارتفاع گیاه شده است. که نشان دهنده این است طول و عرض برگ تحت تاثیر غلظت بالا و متوسط متیل جاسمونات قرار گرفته‌اند. از آنجایی‌که فقط برگ‌های جوان برای اندازه‌گیری انتخاب شدند این اثر رشد متیل جاسمونات می‌تواند مربوط به نقش متیل جاسمونات در رشد ریشه‌های موئین و تنظیم جذب عناصر باشد (Zhang et al., 2018). در پژوهشی بر روی نعناع فلفلی بیان شده است استفاده از غلظت ۶۰ میکرو مولار متیل جاسمونات موجب افزایش سطح برگ گردید (وطن خواه و همکاران ۱۳۹۵). با نتایج حاصل از این پژوهش همسو می‌باشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سیلیسیوم و متیل جاسمونات بر صفات مورفولوژیکی خرفه

Table 3. Variance analysis of the effect of silicon and methyl jasmonate on morphological traits purslane

Source of Variation	df	Mean Square							
		leaf length	leaf width	Stem length	length Root	Fresh weight of stem	Fresh weight of leaves	Dry weight of stem	Dry weight of stem
Methyl jasmonate	2	0.5^{*}	0.8^{**}	17.6^{**}	4.5^{**}	1.3^{*}	0.003^{ns}	0.01^{**}	0.2^{ns}
Silicon	4	1.64^{**}	0.4^{**}	7.4^{**}	3.4^{**}	2.2^{**}	0.01^{**}	0.006^{**}	0.3^{ns}
❊ Methyl jasmonate Silicon	8	1.07^{**}	0.1^{**}	20.9^{**}	22.4^{**}	6.6^{**}	0.01^{**}	0.006^{**}	0.5^{ns}
Block	2	0.01^{ns}	0.02^{ns}	0.2^{ns}	0.34^{ns}	0.04^{ns}	0.007^{ns}	0.01^{ns}	0.05^{ns}
Error	28	0.17	0.03	1.5	0.72	0.27	0.001	0.007	0.03
CV%		8.44	8.3	5	17.6	18.1	12.7	14	10.1

ns, * and ** indicate statistical non-significant, significance at 5% and 1% level of confidence, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سیلیسیوم و متیل جاسمونات بر صفات مورفولوژیکی خرفه

Table 4. Mean comparison of silicon and methyl jasmonate on morphological traits of purslane

Treatments	leaf length (cm)	leaf width(cm)	Stem length (cm)	Rootlength (cm)	Fresh weight of stem (g)	Fresh weight of leaves (g)	Dry weight of stem (g)**	Dry weight of leaves (g)ns
S_0M_0	4.9^{bc}	$1.9f^{g}$	24.4^{cd}	3.9^{cde}	2.2^{def}	0.20^{ed}	8.7^{cde}	25.6^{a}
$S_{s1}M_0$	5.2^{bc}	2.1^{ef}	23.1^{def}	3.6^{cde}	2.7^{cd}	0.25^{bcd}	8.2^{ed}	32.0^{a}
$S_{s2}M_0$	4.9^{bc}	2.2^{cdef}	27.6^{ab}	10.0^{a}	2.5^{de}	0.30^{abc}	9.6^{bcd}	9.4^{a}
$S_{f1}M_0$	5.1^{bc}	2.0^{fg}	26.3^{bc}	4.5^{bcd}	2.0^{def}	025^{bcd}	12.0^{b}	7.8^{a}
$S_{f2}M_0$	5.3^{b}	2.2^{def}	27.0^{ab}	5.0^{bc}	3.5^{bc}	0.33^{a}	8.6^{cde}	8.1^{a}
S_0M_{75}	5.0^{bc}	2.4^{cd}	25.3^{bcd}	6.1^{b}	2.4^{de}	0.32^{ab}	19.8^{a}	6.6^{a}
$S_{s1}M_{75}$	3.9^{d}	1.7^{g}	21.1^{f}	6.0^{b}	1.5^{ef}	0.16^{e}	8.6^{cde}	6.8^{a}
$S_{s2}M_{75}$	4.5^{bcd}	2.2^{def}	24.3^{cd}	2.9^{ef}	2.4^{def}	0.31^{ab}	8.4^{ed}	7.7^{a}
$S_{f1}M_{75}$	6.0^{a}	2.6^{bc}	26.5^{bc}	3.7^{cde}	5.5^{a}	0.36^{a}	8.0^{ed}	12.1^{a}
$S_{f2}M_{75}$	4.4^{cd}	2.0^{fg}	21.5^{f}	4.7^{bcd}	2.1^{def}	0.24^{cd}	10.5^{bcd}	8.5^{a}
S_0M_{150}	6.1^{a}	3.0^{a}	26.8^{ab}	4.8^{bcd}	5.6^{a}	0.35^{a}	9.6^{bcd}	8.3^{a}
$S_{s1}M_{150}$	4.0^{d}	2.1^{ef}	26.1^{b}	2.8^{ef}	2.3^{def}	0.20^{ed}	$10.\ 6^{bcd}$	5.4^{a}
$S_{s2}M_{150}$	5.0^{bc}	2.5^{bcd}	23.8^{de}	2.0^{f}	2.7^{cd}	0.32^{ab}	9.0^{cd}	7.1^{a}
$S_{f1}M_{150}$	5.1^{bc}	2.8^{ab}	22.0^{ef}	8.8^{a}	1.4^{f}	0.24^{cd}	6.4^{e}	2.2^{a}
$S_{f2}M_{150}$	5.3^{b}	2.4^{cde}	29.0^{a}	3.2^{def}	3.9^{b}	0.36^{a}	11.0^{bc}	6.7^{a}

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P\leq0.01$).

همچنین نتایج نشان داد که زمانیکه متیل جاسمونات استفاده نشده و یا به مقدار کم استفاده شده، نقش سیلیسیوم در افزایش رشد رویشی و تولید زیست توده بیشتر بوده است بطوریکه در ترکیب تیماری $M_{75}S_{f1}$ طول برگ، وزن

تر برگ و وزن تر ساقه، در ترکیب تیماری M_0S_{s1} طول ساقه، طول ریشه و وزن تر برگ و در ترکیب تیماری M_0S_{f1} طول ساقه و وزن تر برگ نسبت به شاهد به طور معنی داری بیشتر بود که نقش سیلیسیوم را در این رابطه نشان می‌دهد. افزایش رشد در ترکیبات تیماری مذکور با افزایش پارامترهای فتوسنتزی همراه نبود لذا احتمالا دلیل افزایش رشد ناشی از تیمار سیلیسیوم بیش از آنکه به فتوسنتز مرتبط باشد به یک سازوکار فیزیکی مربوط می‌شود. سیلیسیوم حداقل از دو طریق موجب افزایش رشد رویشی گیاه می‌گردد: نخست با افزایش کارایی آب و افزایش محتوای نسبی برگ باعث افزایش فشار تورژسانس و افزایش اندازه برگ می‌شود (Fatemi et al., 1388). مکانیسم دوم اینکه سیلیسیوم با رسوب در بافت اپیدرمی برگ باعث افزایش ضخامت برگ و به دنبال آن باعث افزایش وزن‌تر برگ می‌گردد (Ma and Takahashi, 2002). همراستا با این نتایج، افزایش وزن‌تر برگ گیاه بنت‌گراس خزنده (*Creepingben bentgrass*)، زوشیا (*Zoysia grass*) و داودی تحت تاثیر تیمار سیلیسیوم گزارش شده است (Linjuan et al 1999; Carvalho-Zanao,2012).

پارامترهای فتوسنتزی

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر ساده سیلیسیوم بر تمامی پارامترهای فتوسنتزی اثر معنی‌دار بوده است ولی اثر ساده فاکتور متیل جاسمونات تنها بر رسانایی روزنه نسبت به بخار آب، تابش فعال فتوسنتزی بالا و پایین برگ و تابش فعال فتوسنتزی محیط برگ معنی‌دار بود (جدول ۵). اثر متقابل تیمار متیل جاسمونات و سیلیسیوم نیز بر تمامی پارامترهای فتوسنتزی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). سرعت تعرق (E) در ترکیبات تیماری که کودآبیاری سیلیسیوم ۲ میلی‌مولار استفاده شده بود (M_0S_{f2} و $M_{75}S_{f2}$ و $M_{150}S_{f2}$) به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود (جدول ۶). کمترین هدایت روزنه‌ای (GH_2O) که بطور معنی‌داری از شاهد کمتر بوده است مربوط به ترکیب تیماری $M_{150}S_0$ بوده است. (جدول ۶). ترکیبات تیماری $M_{75}S_{f2}$ و $M_{75}S_{f1}$ دارای کمترین نرخ جذب دی اکسید کربن بوده ولی کاربرد سیلیسیوم بصورت محلول‌پاشی در ترکیبات تیماری $M_{75}S_{s1}$ و $M_{150}S_{s1}$ بیشترین میزان این نرخ را داشتند (جدول ۶). نرخ بالای جذب دی اکسید کربن در این دو تیمار می‌تواند با جذب برگی سیلیسیوم مرتبط باشد چرا که این دو تیمار بطور معنی‌داری دارای سیلیسیوم برگ بیشتری نسبت به تمامی تیمارهای دیگر بودند (شکل ۱).

تشعشعات فعال فتوسنتزی در سطح‌برگ (PAR top) به طور معنی‌داری در ترکیب تیماری M_0S_{s1} بیشتر از سایر ترکیبات تیماری بود ولی تشعشعات فعال فتوسنتزی محیط (PAR amb) در M_0S_{s1} و $M_{150}S_{f1}$ کمترین مقدار بوده است (جدول ۶). نتایج بدست آمده همچنین نشان داد که تشعشعات فعال فتوسنتزی زیر برگ (PAR bot) به طور معنی‌داری در گیاهان M_0S_0، M_0S_{s1} و M_0S_{f2} کمترین مقدار را داشته است (جدول ۶). براساس نتایج بدست آمده ترکیب تیماری کودآبیاری سیلیسیوم با غلظت ۲ میلی‌مولار صرفنظر از تیمار متیل جاسمونات سرعت تعرق را افزایش معنی‌داری داده لذا کاربرد سیلیسیوم از طریق کودآبیاری توانسته است با باز نگه داشتن روزنه‌ها موجب حفظ تعرق گردد (۶/۳۳ میلی مول بر متر مربع در ثانیه در تیمارهای Sf2 در مقابل ۳/۳ میلی مول بر متر مربع در ثانیه در تیمارهای بدون سیلیسیوم) که در نتیجه جذب مواد معدنی و کارایی بالاتر گیاه را در پی خواهد داشت. گزارش شده است که سیلیسیوم می‌تواند باعث افزایش فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای، کارایی فتوسیستم دو و دی‌اکسیدکربن خالص در گیاه گردد (Amador et al., 2007). کمترین میزان هدایت روزنه‌ای در ترکیب تیماری $M_{150}S_0$ مشاهده شد که همراستا با کاهش قابل توجه میزان تعرق در این ترکیب تیماری بوده است که می‌تواند یکی از مهمترین عوامل پایین بودن فتوسنتز در این ترکیبات تیماری باشد (Lu et al., 2009). از آنجایی‌که تیمار پایین سیلیس در

غیاب متیل جاسمونات (M_0S_{s1}) همزمان با افزایش تشعشعات فتوسنتزی سطح برگ باعث کاهش تشعشعات فعال فتوسنتزی محیط، گردید لذا میتوان اینگونه نتیجه‌گیری نمود که محلول‌پاشی سیلیسیوم عامل اصلی افزایش تشعشعات فعال فتوسنتزی سطح برگ بوده است.

جدول۵- جدول تجزیه واریانس اثر سیلیسیوم و متیل‌جاسمونات بر پارامترهای فتوسنتزی گیاه خرفه

Table 5. Variance analysis of silicon and methyl jasmonate on photosynthetic parameters of purslane

Source of Variation	df	Mean Square						
		Relative water capacity	Transpiration rate (E)	Stomatal conductivity GH2	CO2 assimilation (A)	Photosynthetic active radiation in top of the leaf	Photosynthetic active radiation in buttonnm of the leaf	Photosynthetic active radiation in atmosphere
Methyl jasmonate	2	3.2^{ns}	1.7^{ns}	3943^{*}	3.5^{ns}	57778^{**}	233.7^{**}	96057^{**}
Silicon	4	7.2^{**}	11.4^{**}	12503^{**}	54.5^{**}	15614^{**}	45.1^{**}	124776^{**}
Silicon* Methyl jasmonate	8	3.9^{**}	5.08^{**}	9428^{**}	39.5^{**}	71553^{**}	53.1^{**}	93334^{**}
Block	2	1.1^{ns}	0.7^{ns}	231.6^{ns}	0.09^{ns}	621.8^{ns}	5.03^{ns}	1056.1^{ns}
Error	28	1.1	1.7	954	1.9	3250	9.8	2256
CV%		2.09	28.4	21.8	9.5	11.9	9.9	8.9

ns, * and ** indicate statistical non-significant, significance at 5% and 1% level of confidence, respectively.

جدول۶- مقایسه اثر سیلیسیوم و متیل‌جاسمونات بر پارامترهای فتوسنتزی گیاه خرفه

Table 6. Mean comparison of silicon and methyl jasmonate on photosynthetic parameters of purslane

Treatments	Relative water capacity (%)	CO2 assimilation (A) (µmol m-2 s-1)	Transpiration rate (E) (mmol m-2 s-1)	Stomatal conductivity (GH2O) (mmol m-2 s-1)	Photosynthetic active radiation in top of the leaf (µmol m-2 s-1)	Photosynthetic active radiation in buttonnm of the leaf (µmol m-2 s-1)	Photosynthetic active radiation in atmosphere (µmol m-2 s-1)
S_0M_0	50.1^{abc}	13.9^{cde}	3.5^{bcd}	104^{c}	508^{bc}	26.6^{fg}	595^{bc}
$S_{s1}M_0$	50.2^{abc}	12.4^{ef}	4.1^{abc}	200^{a}	871^{a}	26.6^{fg}	141^{f}
$S_{s2}M_0$	47.4^{d}	16.3^{bc}	3.2^{cd}	75^{cd}	453^{bcde}	32.3^{cdef}	646^{abc}
$S_{f1}M_0$	50.6^{abc}	11.3^{ef}	4.3^{abc}	174^{ab}	398^{cde}	28.3^{ef}	248^{e}
$S_{f2}M_0$	51.7^{ab}	16.3^{bc}	6.2^{a}	206^{a}	474^{bcd}	22.0^{g}	585^{bcd}
S_0M_{75}	50.5^{abc}	17.6^{b}	5.0^{abc}	204^{a}	484^{bcd}	36.8^{abc}	573^{cd}
$S_{s1}M_{75}$	51.6^{ab}	21.0^{a}	5.0^{abc}	204^{a}	378^{de}	37.5^{ab}	618^{abc}
$S_{s2}M_{75}$	51.6^{ab}	15.2^{bcd}	3.5^{bcd}	77^{cd}	441^{bcde}	30.9^{cdef}	635^{abc}
$S_{f1}M_{75}$	49.8^{bc}	9.9^{fg}	3.2^{cd}	89^{cd}	551^{b}	29.0^{ef}	671^{ab}
$S_{f2}M_{75}$	51.0^{abc}	7.7^{g}	6.5^{a}	197^{a}	531^{b}	36.0^{abc}	507^{d}
S_0M_{150}	50.3^{abc}	12.0^{ef}	1.4^{d}	38^{d}	507^{bc}	41.3^{a}	581^{bcd}
$S_{s1}M_{150}$	52.0^{a}	20.0^{a}	5.2^{abc}	123^{cd}	348^{ef}	30.0^{def}	616^{abc}
$S_{s2}M_{150}$	49.4^{c}	15.2^{bcd}	5.5^{abc}	165^{ab}	508^{bc}	35.3^{bcd}	689^{a}
$S_{f1}M_{150}$	49.0^{cd}	12.7^{de}	5.9^{ab}	131^{ab}	464^{bcd}	30.0^{def}	163^{f}
$S_{f2}M_{150}$	51.9^{ab}	14.9^{cd}	6.3^{a}	167^{ab}	255^{f}	33.4^{bcde}	659^{abc}

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P\leq0.01$).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر ساده متیل جاسمونات و سیلیسیوم بر تمامی رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار بوده است و در خصوص کاروتنوئید تنها اثر ساده سیلیسیوم معنی‌دار شد و اثر ساده متیل جاسمونات بر این صفت معنی‌دار نبوده است (جدول ۷). نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر متقابل سیلیسیوم و متیل‌جاسمونات بر شاخص اسپد، کلروفیل‌a، کلروفیل‌b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در سطح یک درصد معنی‌دار شده است (جدول ۷). عدد اسپد در ترکیب تیماری $M_{150}S_{f1}$ به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر ترکیبات تیماری بیشتر بوده است (جدول ۸). بیشترین میزان کلروفیل‌a در ترکیب تیماری $M_{150}S_{s1}$ بوده است که با ترکیبات تیماری متیل جاسمونات بدون سیلیسیوم ($M_{75}S_0$ و $M_{150}S_0$) تفاوت معنی‌داری نداشته و هر سه ترکیب تیماری نسبت به شاهد برتری داشتند (جدول ۸). همانند کلروفیل‌a، بیشترین میزان کلروفیل‌b در ترکیب تیماری $M_{150}S_{s1}$ دیده شد که اختلاف معنی‌داری با ترکیبات تیماری $M_{75}S_{s2}$ و $M_{75}S_{f1}$ نشان نداد (جدول ۸). از نظر کلروفیل کل ترکیب تیماری $M_{150}S_{s1}$ به‌طور معنی‌داری بیشترین میزان را دارا بوده است و بیشترین میزان کاروتنوئید نیز در ترکیب تیماری M_0S_{s2} مشاهده شد (جدول ۸). از آنجایی‌که ترکیب تیماری $M_{150}S_{s1}$ از نظر کلروفیل‌a، کلروفیل‌b و کلروفیل کل برتری معنی‌داری بر سایر ترکیبات تیماری داشت لذا می‌توان گفت که تیمار همزمان تغذیه سیلیسیوم به روش محلول‌پاشی و غلظت بالای متیل جاسمونات می‌تواند موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی خرفه گردد. گزارش شده است که متیل جاسمونات باعث ترمیم رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل‌a در گیاهان می‌شود (Piotrowska et al., 2009). در پژوهشی دیگر مشخص شد که استفاده از متیل جاسمونات در حضور نور تشکیل کلروفیل‌a و کلروفیل‌b را تحریک می‌کند (Ueda & Saniwski, 2006). سیلیسیوم نیز با افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش اکسیداسیون در غشای تیلاکوئید شده و باعث افزایش کلروفیل‌a و b و کلروفیل کل برگ می‌شود (Watanabe et al., 2002). همچنین Locarno و همکاران ۲۰۱۱ بیان کردند سیلیسیوم باعث افزایش میزان کلروفیل کل در گل رز شده است.

جدول ۷- جدول تجزیه واریانس اثر سیلیسیوم و متیل جاسمونات بر صفات بیوشیمیایی خرفه

Table 7. Variance analysis of silicon and methyl jasmonate on biochemical traits of purslane

Mean Square					df	Source of Variation
Carotenoids	Total chlorophyll	Chlorophyll b	Chlorophyll a	SPAD		
67149.5^{ns}	188.4**	9.9*	132.0**	2.9**	2	Methyl jasmonate
254788.9**	2.5**	7.1*	22.6**	7.1**	4	Silicon
155525.7**	68.3**	14.8**	35.1**	17.9**	8	* Methyl jasmonate Silicon
11280.5^{ns}	9.2^{ns}	2.2^{ns}	1.8^{ns}	0.18^{ns}	2	Block
22243	5.05	1.8	5.03	0.2	28	Error
17.2	15.05	29.9	18.8	1.2		CV%

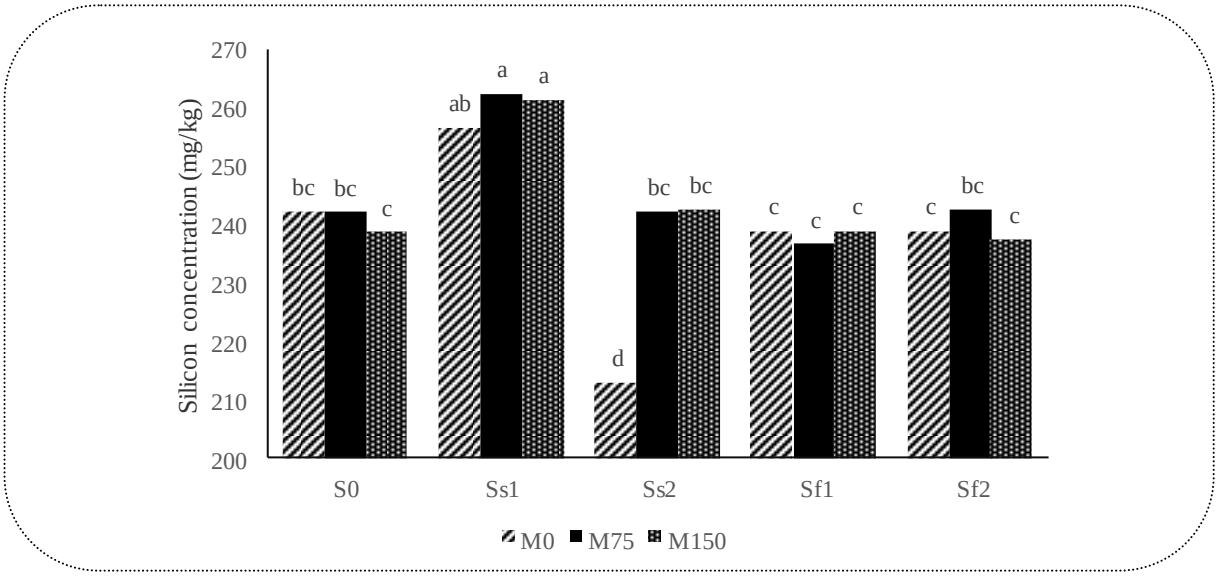
ns, * and ** indicate statistical non-significant, significance at 5% and 1% level of confidence, respectively.

جدول۸- مقایسه میانگین اثر سیلیسیوم و متیل جاسمونات بر صفات فیتوشیمیایی خرفه

Table 8. Mean comparison of silicon and methyl jasmonate on phytochemical traits of purslane

Carotenoids (mg g-1 FW)	Total chlorophyll (mg g-1 FW)	Chlorophyll b (mg g-1 FW)	Chlorophyll a (mg g-1 FW)	SPAD	Treatments
751^{cdef}	15.8^{def}	4.0^{cdef}	11.7^{cdef}	38^{cd}	S_0M_0
696^{def}	$12.8f^{g}$	3.1^{ef}	9.6^{efg}	38^{c}	$S_{s1}M_0$
1402^{a}	11.1^{g}	2.6^{ef}	8.4^{fg}	35^{ij}	$S_{s2}M_0$
917^{bcd}	21.1^{bc}	6.1^{bc}	14.7^{abcd}	38^{cd}	$S_{f1}M_0$
487^{f}	11.3^{g}	2.2^{f}	9.5^{efg}	39^{b}	$S_{f2}M_0$
1067^{b}	22.6^{b}	4.7^{cdef}	17.7^{ab}	36^{fg}	S_0M_{75}
548^{f}	10.3^{g}	4.8^{cde}	7.2^{g}	37^{ef}	$S_{s1}M_{75}$
957^{bcd}	16.5^{def}	7.9^{ab}	11.5^{def}	37^{def}	$S_{s2}M_{75}$
579^{ef}	13.9^{efg}	7.9^{ab}	5.8^{g}	34^{j}	$S_{f1}M_{75}$
854^{bcd}	16.4^{def}	4.3^{cdef}	11.9^{cdef}	37^{cde}	$S_{f2}M_{75}$
1030^{bc}	19.7^{bcd}	3.2^{ef}	16.3^{ab}	36^{gh}	S_0M_{150}
726^{def}	27.8^{a}	9.2^{a}	18.4^{a}	37^{def}	$S_{s1}M_{150}$
917^{bcd}	17.1^{cde}	3.4^{ef}	13.5^{bcde}	35^{hi}	$S_{s2}M_{150}$
1056^{b}	19.4^{bcd}	3.5^{def}	15.8^{abc}	42^{a}	$S_{f1}M_{150}$
939^{bcd}	22.0^{b}	6.0^{bcd}	15.8^{abc}	34^{j}	$S_{f2}M_{150}$

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P≤0.01).



شکل ۱- اثر متقابل سیلیسیوم و متیل جاسمونات بر میزان سیلیسیوم برگ گیاه خرفه (ستون با حروف مشترک دارای اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد نمی‌باشد)

Figure 1. Interaction effect of Si and MJ treatments on the leaf silicon concentration of purslane. Different lowercase letters represent significant differences between treatments (P≤0.01).

منابع

رحیمی، ز.، م. کافی، ا. نظامی، و ح.ر. خزاعی. ۱۳۹۰. تأثیر سطوح شوری و سیلیسیم بر برخی ویژگیهای مورفوفیزیولوژیک گیاه دارویی خرفه(*Portulaca oleracea L.*). *فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*. ۲۷(۳): ۳۵۹-۳۷۴.

Adtina, M. H. and Beasford, R. T. 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botaty*. 58: 343-351.

Amador, B. M., S. Yamada., T. Yamaguchi., E. R. Puente, N. A. Serrano, J. L. Hernandez, R. L. aguilar Amador, E. T. Dieguez, and A. N. Garibay. 2007. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193: 413-421.

Arnon, D. I, 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in Beta vulgaris.*Plant Physiol*. 24, 1-15.

Aryan, H., M. Naseri, and S.H. Nemati. 1393. The Effect of Silica on Reducing the Effects of Salinity in Fenugreek. *Agriculture Research (Research & Development)*, No. 104. 172-165.

Carvalho-Zanão, M. P, L. A. Zanao junior, J. G. Barbosa, J. A. S. Groosi, and V. T. Avila. 2012. Yield and shelf life of chrysanthemum in response to the silicon application. *Horticultura Brasileira* 30: 403-408.

Chan, K., M. W. Islam, M. Kamil, R. Radhakrishnan, M. N. Zakaria, and M. Habibullah. 2000. The analgesic and anti-inflammatory effects of Portulaca oleracea L. subsp. Sativa (Haw.) Celak. J. Ethnopharmacol. Dec; 73 (3):445- 451.

Dighe, V., O. Dhotre, P. S. Gaurang, and A. Gursale. 2008. Quantification of Dopamine in Portulaca oleraceaLinn.by High-Performance Thin-Layer Chromatography. *Journal of Planar Chromatography*, 3: 183–186.

Epstein, E, 1994. The anomaly of silicon i n pl ant bi ology. *Proc NatlAcad Sci USA* 91: 11-17.

Fatemi Seidler, L., S. Tabatabai, and A. Fallahi. 1388. Effect of silicon on growth and yield of strawberry plant in conditions of salt stress *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Industries)* 23: 88-95

Goyal, A. 2012. Crop Plant. Chapter 2: Silicon the non-essential beneficial plant nutrient to enhanced drought tolerance in wheat. Utah State University. Pp. 1-240

Keramt, B., and F. Daneshmand. 2012. Dual role of methyl jasmonate in physiological responses of soybean (*Glycine max L.*) plant. *Journal of Plant Process and Function* 1(1): 26-38 (in Persian).

Korndorfer, G.H. and I. Lepsch. 2001. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: Silicon in Agriculture. (ed. Datnoff, L.E., Snyder, G. H. and Korndorfer, G. H.) . 133-147. Elsevier, Amsterdam.

Lee, A.S., Y. J. Lee, S. M. Lee, J. J. Yoon, J. S. Kim, D. G. Kang. 2012. An aqueous extract ofPortulaca oleracea ameliorates diabetic nephropathy through suppression of renal fibrosis andinflammation in diabetic db/db mice. *The American Journal of Chinese Medicine*, 40(3): 495-510

Linjuan. Z., J. Junping, W. Lijuin, L. Min. and Z. Fusoo. 1999. Effects of the silicon on the seedling growth of creeping bentgrass and zoysiagrass. In: Conference Silicon in Agriculture, Fort Lauderdale, Florida, USA.

Liu, L., P. Howe, Y.F. Zhou, Z.Q. Xu, C. Hocart, and R. Zhang. 2000. Fatty acids and βcarotene in Australian purslane (Portulaca oleracea) varieties. J. Chromat. A. 893: 207-213

Locarno, M., C. G. Fochi, and P. D. O. Paiva. 2011. Influence of silicate fertilization on chlorophylls of rose leaves.*Ciência e Agrotecnologia* 35: 287-290

Lu, K. X., B. H. Cao, X. P. Feng, Y. He, and D. A. Jiang. 2009. Photosynthetic response of salt-tolerant and sensitive soybean varieties. *Photosynthetica* 47: 381-387.

Ma, J. F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plant to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci*. 50:11-18.

Ma, J. F. and E. Takahashi. 2002. Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Nwugo, C. C. and A. J. Huerta. 2008. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. Plant Soil. 311: 73-86.

Parsa, M. and A. Zeinali. 2016. Effect of jasmonic acid and methyl jasmonate elisitors on the amount of atropine and scopolamine tropan alkaloids in hair and root roots of plant tissue culture. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30 (4).74-59

Piotrowska, A., A. Bajguz, B. Godlewska Zylkiewicz, and R. Czerpak. 2009. Jasmonic acid modulator of lead toxicity in aquatic plant Wolffia arrhizal (Lemnaceae). *Environmental and Experimental Botany* 66: 507-513.

Popova, L., E. Ananieva, V. Hristova, K. Christov, K. Georgieva, V. Alexieva, and Z.H. Stoinova. 2003. Salicylic acid and methyl jasmonate induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 18: 133-152.

Rang, H.P. 2003." Churchill Livingstone". Pharmacology. Edinburgh ISBN 0-443- 07145-4.167.

Romero-Aranda, M. R., O. Jurado, and J. Cuartero. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology* 163: 847-855.

Salunkhe, D.K. and S.S. Kadam. 1998. Handbook of Vegetable Science and Technology. Marcel Deker, INC. 727.

Savvas, D., D. Giotis, E. Chatzieustratiou, M. Bakea, and G. Patakioutas. 2009. Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany* 65: 11–17

Simopoulos, A.P. 2004. Omega-3 fatty acids and antioxidants in edible wild plants. Biol. Res. 37: 263-277.

Stephan, J.M, 1994. Purslane. Fact sheet HS-651. Florida Cooperative Extension Service Institute of Food and Agriculture Sciences. University of Florida. 7 pp.

Ueda, J. and M. Saniewski. 2006. Methyl jasmonate–induced stimulation of chlorophyll formation in the basal part of tulip bulbs kept under natural light conditions. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Reserch* 14: 199-210.

Vatankhah, E., B. Kalantari, and B. Andalibi. 2015. Effect of methyl jasmonate on some physiological and biochemical responses of peppermint (*Mentha piperita L.*) under salt stress. *Plant Functioning Process*.5(17).157-171.

Veena, V. and C. G. Taylor. 2007. "Agrobacterium rhizogenes: Recent developments and promising applications". In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant 43: 383-403

Watanabe, S., T. Fujiwara, T. Yoneyama, and H. Hayashi. 2002. Effects of silicon nutrition on metabolism and translocation of nutrients in rice plants. *Developments in Plant and Soil Sciences* 92: 174-175.

Yaghubi, K.h., N. Ghaderi, Y. Vafaee, and T. Javadi. 2016. Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on twostrawberry cultivars grown under soilless pot culture. *Scientia Horticulturae*, 213: 87-95.

Zhang, D.J., Yang Y.J., Liu C.Y., Zhang F., and Wu Q.S. 2018. Root Hair Growth and Development in Response to Nutrients and Phytohormones. In: Root Biology, pp. 65-84.

Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020
Research Paper

Effect of silicon and methyl jasmonate on some morphological traits and photosynthetic parameters in common purslane (*Portulaca oleracea* L.)

Mehdi Mohammadi Azni [1] **, *Hossein Moradi*** [2*] **, *Kamran Ghasemi*** [3] **, *Pourya Biparva*** [4]

1- Former MSc. Student. Department of Horticultural Sciences, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran.
mehdimohamadi917@gmail.com
2- Corresponding Author and Assistant Professor of Department of Horticultural Sciences, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran.
moradiho@yahoo.com
3- Assistant Professor of Department of Horticultural Sciences, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran.
kamranghasemi63@gmail.com
4- Associate Professor of Department of Basic Sciences, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran.
p.biparva@sanru.ac.ir

Received Date: 2019/09/11 Accepted Date: 2020/05/08

Abstract

Introduction: Common purslane is one of the valuable medicinal plants for its abundant effective substances (Stephan et al., 1994). Since the use of silicon as a beneficial element (Ma et al., 2000) and methyl jasmonate as an elicitor (Creelman and Mullet, 1997) can increase some of the most desirable traits of medicinal herbs, in this study, the effect of simultaneous treatment of methyl jasmonate and silicone on different growth characteristics and photosynthetic parameters of common purslane has been investigated.

Material and methods: This research carried out in a factorial format based on complete block randomized design with two factors and three replications in greenhouse conditions. The first factor was methyl jasmonate spray at three levels (M_0: control, M_{75}: 75 µm, M_{150}: 150 µm) and the second factor was silicon in five levels (S_0: control, S_{f1}: fertigation of 1 µm, S_{f2}: fertigation of 2 mM, S_{S1}: spray of 1 mM, S_{S2}: spray of 2 mM) in one step, when the plants had six developed true leave. Morphological traits including stem fresh weight (g), leaf fresh weight (g), length and width of leaf (cm) stem length (cm) and root length (cm), and photosynthetic parameters including leaf relative humidity (rh), transpiration rate (E), stomatal conductance (GH_2O), carbon dioxide absorption rate (A), photosynthetic active radiation in top surface of the leaf (PARtop), photosynthetic active radiation in bottom surface of the leaf (PARbot), Ambient photosynthetic active radiation (PARamb) and photosynthetic pigments including chlorophyll a, b, total chlorophyll and carotenoids. Data analysis was performed using SAS software and comparison of meanings by Duncan's multiple range test at 1 and 5 percent probability level.

Results and discussion: The results showed that M_0S_{s2}, M_0S_{f2}, $M_{150}S_0$ and $M_{150}S_{f2}$ treatments had the highest stem length with no significant difference among each other (Table 2). The fresh weight of the stem was significantly higher in $M_{75}S_{f1}$ and $M_{150}S_0$ compared to the control and all other treatments (Table 2). $M_{75}S_{s1}$ treatment showed the least fresh weight of leaf, however, it was not significantly different with M_0S_0 and $M_{150}S_{s1}$ treatments (Table 2). Transpiration rate (E) was significantly higher in treatments using 2 mM silicium fertilizer (M_0S_{f2}, $M_{75}S_{f2}$ and $M_{150}S_{f2}$) than control (Table 4). The lowest stomatal conductance (GH_2O), was seen in $M_{150}S_0$ treatment which was significantly less than control (Table 4). The highest chlorophyll a was observed in $M_{150}S_{s1}$ treatment which had no significant difference with $M_{75}S_0$ and $M_{150}S_0$, and all three treatments were superior to control (Table 6). The highest amount of chlorophyll b was observed in the treatment of $M_{150}S_{s1}$ which showed significant difference with $M_{75}S_{s2}$ and $M_{75}S_{f1}$ (Table 6). In terms of total chlorophyll content, $M_{150}S_{s1}$ was significantly higher and the highest amount of carotenoids was observed in M_0S_{s2} (Table 6).

Conclusions: As a whole, $M_{150}S_{s1}$ treatment has been shown to improve on yield and photosynthetic traits in common purslane and it is a suitable treatment for spraying on this plant.

Keywords: carbon dioxide, carotenoid, chlorophyll, transpiration rate.

Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020
Research Paper

Effects of zinc fertilizers on growth and quality of petunia plant under drought stress condition

Sakineh Ranjbari [1] ***, Esmaeil Chamani*** [2*] ***, Hassan Maleki Lajayer*** [3] ***, Hamid Adel Mahmood-Abad*** [4] ***, Younes Pourbeyrami-e-Hir*** [5]

1- MS.C graduate, Department of Horticultural Science, University of Mohaghegh ardabili, Ardabil, Iran.
ranjbari64@gmail.com
2- Corresponding Author and Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of agricultural Science and Natural Resources, University of Mohaghegh ardabili, Ardabil, Iran.
echamani@yahoo.com
3- Assistant professor, Faculty of agricultural Science (Meshkin-Shahr Campus), University of Mohaghegh ardabili, Ardabil, Iran.
malekih135@gmail.com
4- MS.C graduate, Department of Horticultural Science, Islamic Azad University of Miane, Miane, Iran.
hamidadelm64@gmail.com
5- Assistant professor , Department of Horticultural Science, Faculty of agricultural Science and Natural Resources, University of Mohaghegh ardabili, Ardabil, Iran.
younes_ph62@gmail.com

Received Date: 2019/12/31 Accepted Date: 2020/06/09

Abstract

Introduction: Drought stress is one of the major abiotic stresses which adversely affect crop productivity and plant growth. A good nutritional status of the plant could alleviate the adverse effects of drought stress. Zinc dificiency is one one the most predominant mineral dificiency especially in dry and semi-dry regions. Zinc has a critical role in protein metabolism, gene experssion, cell-wall integrity, other micro-nutrient content and carbon metabolism.

Hybrid Petunias are garden standbys developed from several South American Petunia species. These sun and heat-loving annuals or tender perennials were among the first ornamentals to be bred for the bedding plant market in the 1950s. Petunia is cultivated in flower beds and pots and requires full sunlight to produce plants and flowers with bright attractive colors. Petunias are as easy to grow as they are pretty. They require ample sun and grow best in rich soil with good drainage. They bloom best with regular fertilization and will continue to flower all seasons

Material and methods: seedlings grown on media containing 70: 30 garden soil: sand were spraed with diefferent concentrations (0, 5, 25 and 50 MgL^{-1}) of Nanoparticles and zinc- sulfate. Spraying repeated in two weeks interval on plants after drought stress implementation (50 and 100 percent of field capacity). Morphological and physiological traits were evaluated during the growing period and after final harvest.

Results and discussion: results showed that drought stress affected all of the studied traits significantly. Spraying with zinc nanoparticle had significant and positive effects on all morphological and physiological trait except stomatal conductance. Spraying with zinc-sulfate enhanced plant growth, proline accumulation, flower and leaf number. In case of flower number, no significant difference were observed among treatments under drought strss condition, while, under normal condition, plants treated with 25 mg/l of each compound produced 7 more flowers than control.

Conclusions: spraying with zinc nanoparticles was more effective than zinc- sulfate on alleviation of drought stress and consequently on growth and flowering of petunia plants.

Keywords: chlorophyll content, flower diameter, flower number, plant height, foliar spraying.

Journal of Horticultural Plants Nutrition

Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020

Research Paper

Effect of density, biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of common chicory (*Cichorium intybus*)

Roghayeh Aminian [1*] ***, Ali Mehrabadi Arani*** [2] ***, Sudabeh Mafakheri*** [3]

1- Corresponding Author and Assistant Professor, Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources. Imam Khomeini International University, Qazvin. Iran.
aminian@eng.ikiu.ac.ir

2- M.Sc Graduated Student, Naragh Branch, Islamic Azad University, Agronomy Department, Naragh, Iran.
a_mehrabady@yahoo.com

3- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
mafakheri@eng.ikiu.ac.ir

Received Date: 2019/12/13 Accepted Date: 2020/04/18

Abstract

Introduction: Medicinal plants have been one of the main natural resources of Iran from ancient times. Nutritional management has a significant impact on the quantity and quality of plants. The fastest way to supply nutrients for plant is the use of mineral fertilizers. In spite of significant and positive effect of chemical fertilizer on crops production, excessive use of them can reduce crop yield due to loss of soil biological activity, loss of soil physical properties, soil acidification, and soil nutrient imbalance. In addition, the use of chemical fertilizers can cause environmental pollutions. The use of organic manures as alternative sources of chemical fertilizer increased the yield of many plants and reduced the adverse effect of chemical fertilizers. Organic fertilizers also increased soil moisture, reduced soil pH and increased the electrical conductivity and the ability of absorbing soil nutrients. Therefore to study the effects of biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of *Cichorium intybus* in different densities, this experiment was conducted.

Material and methods: This experiment was conducted as split split plots in a randomized complete block design with three replications. The treatments comprised of nitrogen at three levels (0, 50, 100 kg/ha) as the main plot, density at three levels (6, 9 and 12 plants/ m^2) as sub plot and bio-fertilizer in three levels (non- inoculation, inoculation with Mycorrhiza and inoculation with Azotobacter) as sub-sub plot. Several quantitative and qualitative traits were measured including leaf number, root length, fresh and dry weight, flavonoid content, nitrogen, phosphorous and potassium.

Results and discussion: Analysis of variance showed the significant effects of treatments on leaves, fresh and dry weight, root length and the amount of plant flavonoids, nitrogen, phosphorus and potassium. Nitrogen consumption based on 100% fertilizer recommendations increased all traits, while the effects of density and bio-fertilizer were different on quantitative and qualitative traits. Seed inoculated with mycorrhiza showed a better result for flavonoid, phosphorus and potassium than seed inoculated with Azotobacter. Among the two-way interaction effects, the density × bio fertilizer and density × the nitrogen fertilizer were significant for plant leaf number and root length. Mean comparison of density × bio fertilizer showed that the highest number of leaves per plant was obtained at density of 6 plant/ m^2 and Azotobacter inoculation and the highest root length was observed at density of 12 plant/ m^2 and Azotobacter inoculation. Mean comparison of density × the nitrogen fertilizer showed that the highest leaf number was observed at density of 6 plant. m^{-2} and 100 kg ha^{-1} nitrogen fertilizer and the highest root length was obtained at density of 12 plant m^{-2} and 100 kg ha^{-1} nitrogen fertilizer. The interaction effect of nitrogen fertilizer, density and bio-fertilizer was significant only for fresh weight. The maximum value of fresh weight (1848.8 g/ m^2) is related to the application of 100 kg/ha nitrogen fertilizer, the density of 12 plants/m2 and using Azotobacter. These conditions increased fresh weight to168 percent than conditions of lack of nitrogen and bio-fertilizers under the density of 6 plants/ m^2 (with 688.5 g/ m^2 fresh weight).

Conclusions: The results showed that the application of biological fertilizer had a significant effect on improving quantitative and qualitative yield of *Cichorium intybus*. Furthermore, the combined application of biological fertilizer and chemical fertilizer (based on 100% fertilizer recommendations) in the density of 12 plant/ m^2 significantly increased root length and weight of the plant. Therefore, biological fertilizers through the improvement of soil structure, and along with chemical fertilizers, increase greatly the quantitative and qualitative yield of plants.

Keywords: Azotobacter, Macro elements, Mycorrhiza, Nitrogen, Root and plant weight.

Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020
Research Paper

Morphophysiological and growth responses of sesame plant to combined use of sulfur and *Thiobacillus*

Alireza Gilani [1*] ***, Hamid Abbasdokht*** [2] ***, Ahmad Gholami*** [3]

1- Corresponding Author and Ph.D. Student of Agronomy, Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
aligilibili@gmail.com
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood. Iran. habbasdokht@yahoo.com
3- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. ahgholami273@gmail.com

Received Date: 2020/04/25 Accepted Date: 2020/06/22

Abstract

Introduction: Sesame is an annual plant with a history of 5,000 years, apparently the oldest oilseed in the world. Due to the climatic conditions and characteristics of Iranian soils, it is very important to pay attention to the consumption of sulfur in agricultural lands. Lack of sulfur fertilizer consumption (such as simple superphosphate) containing in the last few years, consistent and intense cultivation of agricultural lands, the existence of sodic and saline-sodic soils, abundance and affordability of sulfur are the most important reasons for paying attention to sulfur consumption in Iran. The importance of this element in oilseed plants is more important. Sulfur must first be converted to sulfate ions to be absorbed by plants, which is caused by microorganisms such as chemoaulytotrophs, which use elemental sulfur as a source of energy. The most important of these microorganisms are *Thiobacillus* bacteria (Zhi-Hui et al., 2010). The realization of this depends on the existence of a significant population of *Thiobacillus*.

Material and methods: This study was conducted as complete randomized blocks design for factorial experiment with 3 replications on a farm in Karaj city (Alborz province) in the 2017-2018 agronomic year. In this experiment, sulfur fertilizer was used at three levels (including control level (S_0), 100 Kg.ha-1 (S_1) and 300 Kg.ha-1 (S_2)); Thiobacillus bacteria was used at two levels (including no inoculation (T_0) and inoculation with bacteria (T_1)). Then plant height, yield and yield components and harvest index were calculated. To determine the content of chlorophyll and carotenoids before the end of the growing season, sampling of plant leaves was performed. Analysis of variance and mean comparisons of data (at a 5% probability level based on LSD test) were performed using SAS software (Ver. 9.4). MS Excel was also used to plot the diagrams.

Results and discussion: The results showed that all the studied traits were significantly affected by the main effect of sulfur fertilizer and except for the plant height, all the studied traits were affected by the main effect of *Thiobacillus*. So that the highest amount of all the tested properties of sulfur fertilizer was 300 Kg.ha-1 in sesame. The use of *Thiobacillus* bacteria also significantly increased all the studied characteristics in sesame plants except plant height. The interaction of sulfur fertilizer and *Thiobacillus* bacterium also had significant effects on the number of capsules per plant, the number of seeds per capsule, grain yield, biological yield, chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll.

Conclusions: Due to the high level of lime in the soils of our country and the cheapness of sulfur resources in Iran, to reduce soil pH use sulfur fertilizer and to facilitate access to sulfur resources, increase oxidation of this fertilizer and increase the activity of beneficial soil microorganisms using bacteria *Thiobacillus* is recommended.

Keywords: Sesame, sulfur, *Thiobacillus*, yield, yield component, chlorophyll, carotenoid.

Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020
Research Paper

Microscopic study of the effect of Boron foliar application on pollen tube penetration and fruit set in apricot cultivars

Masoumeh Eftekhari [1] **,** ***Yavar Sharafi*** [2*]

1- Respectively Master student of fruit trees of Department of Horticultural science, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
mhb.eftekhari1126@gmail.com
2- Corresponding Author and Assistant Professor of Department of Horticultural science, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
y.sharafi@shahed.ac.ir

Received Date: 2019/12/20 Accepted Date: 2020/04/27

Abstract

Introduction: The amount of nutrients in fruit trees and their proper nutrition is one of the most important determinants of yield. Among the micronutrients, due to the effective role of boron in germination and growth of pollen tube, it has an important role in pollination, fertilization and finally fruit set (Sharafi, 2019).

Usually, the concentration of Boron (B) in plants is comparatively higher in flower, anthers, ovary and stigma as compared to vegetative parts which suggests a particular biological role of B in the reproductive phases of plants (Agens et al., 1997; Alva et al., 2015). The B necessity for normal pollen germination and tube growth has been well known in fruit trees (Yang et al., 1999).

Material and methods: In this study, the effects of Boron foliar application at three concentrations of 0, 1000 and 2000 mg / l on flower buds of two cultivars of Beigi and Shahroodi apricots were investigated. After foliar application two weeks before flowering, the effect of foliar application on germination percentage, pollen tube growth, primary and final fruit set were evaluated.

Results and discussion: The results were showed that 2000 mg / L Boron had the most effect on the rate of initial and final fruit set. The percentage of initial and final fruit set was 1000 mg / l Boron. The results also showed that the effect of Boron on germination percentage at stigma level and penetration rate of pollen tubes at the beginning of pistil, middle style and ovarian inlet was significant at 1% probability level. The germination percentage with 1000 mg / L Boron with 61.82% germination and the lowest germination with 57.91% was related to control. Also, 1000 mg / l sulfate increased the penetration of pollen tubes into the beginning and middle parts of the styles and so ovary.

Conclusions: Overall foliar application of Boron increased the primary and final fruit set, and so increased germination and penetration of pollen tube to the ovary in apricot cultivars.

Keywords: Apricot, Boron, germination, pollen tube, fruit set.

Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020
Research Paper

Effect of nitrogen and plant density on morphological traits and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa L.*) in Iranshahr Climatic Conditions

Seyyed Gholamreza Moosavi [1*] ***, Hamed Javadi*** [2] ***, Mohamad Javad Seghatoleslami*** [3] ***, Mojtaba Salavati***[4]

1- Corresponding Author and Associate Professor, Department of Agronomy, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran. s_reza1350@yahoo.com
2- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University (PNU), Iran. h_javadi@pnu.ac.ir
3- Associate Professor, Department of Agronomy, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran. mjseghat@yahoo.com
4- Former M.Sc. Student of Department of Agronomy Sciences, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran. Mojtaba.sa57@gmail.com

Received Date: 2019/12/23 Accepted Date: 2020/06/02

Abstract

Introduction: Roselle is the English name for Hibiscus sabdariffa L. that is an annual or perennial medicinal plant. Roselle is specific to the warm and indigenous climate of Africa (Rahbarian et al., 2011). Roselle is one of the most important crop plants due to its medicinal properties and use in local and industrial foods (Sanoussi et al., 2011) in some countries. Also, its leaves as edible vegetable and its seeds have been used as enhancers and a rich source of protein (Maksoud and Hosni, 1997). Sepal is the most important part of the plant that can be green, red or dark red and in traditional medicine use to treat hypertension, liver lesions, cancer, fever, and inflammatory diseases. Nutrients, including nitrogen, have effects on vegetative and reproductive growth and economical yield of medicinal plants. Moreover, nitrogen affect on quantity and quality of its ingredients. Plants' need for this nutrient varies according to plant type, climatic and field conditions, including plant density per unit area. Proper plant density is one of the most important factors affecting the growth and production of medicinal plants and is an effective factor in achieving optimum yield through maximum use of light and other resources (Omidbeigi and Hasani Malayeri, 2007).

Material and methods: The experiment was carried out in a farm located 6 km east of Iranshahr near Iranshahr-Abtar road with 60 degrees 45 minutes east longitude and 27 degrees 13 minutes north latitude with a height of 580 meters above sea level in 2014. This research was conducted as split-plot experiment on the basis of a randomized complete block design with three replications. In this research nitrogen set as main factor with four levels (0, 100, 200 and 300 kg N ha-1) and plant density set as sub factor with four levels (5, 6.7, 10 and 20 plants per m2). The studied traits were plant height, number of branch per main stem, stem diameter, fruit length, number of fruit per plant, number of fruits per m2, dry weight of sepal in fruit, dry yield of sepal, biological yield and harvest index of sepal. In the end, all data were analyzed by MSTAT-C statistical software and means were compared by Duncan multiple range test at 5% level.

Results and discussion: Analysis of variance revealed that number of branch per main stem, number of fruits per plant, number of fruits per m2 and biological yield were significantly influenced by simple and interaction effects of nitrogen and plant density. Also, stem diameter and dry yield of sepal were significantly influenced by simple effects of nitrogen and plant density. Means comparison showed that increasing of nitrogen application from 0 to 300 kg N ha-1, stem diameter, branches number of main stem, fruit number per plant, fruit number per m2, dry yield of sepal and biological yield significantly increased by 15.8, 135.8, 104.4, 108.8 and 30.5%, respectively. Moreover, increasing of density from 5 to 20 plants m-2, stem diameter, branch number of main stem and fruit number per plant significantly decreased by 24.1, 76.6 and 37.3% respectively, but fruit number per m2, dry yield of sepal and biological yield significantly increased by125.6, 105.7 and 88.5%, respectively. It seems that the reason of significant increase in number of fruit per m2 and sepal yield per unit area with increasing application of nitrogen fertilizer can be development of shoots and increasing branch number thus more uptake of sunlight and finally the assimilates production in the plant. Also, significant increase in dry yield of sepal with increasing plant density per m2 was mainly due to significant increase in number of fruits per m2.

Conclusions: In general, according to the results of current study, application of 300 kg N. ha-1 and density of 20 plants m-2 can be suggested for roselle cultivation in Iranshar, Iran.

Keywords: Roselle, urea, density, fruit number, sepal, number of main branch.

Journal of Horticultural Plants Nutrition

Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020

Research Paper

Effect of organic and chemical fertilizers on growth indices, yield and yield components of Guar in different plant densities

Sayyed Jalaloddin Jazayeri [1*] ***, Sayyed Mohsen Mousavinik*** [2] ***, Babak Bahreininejad*** [3] ***, Sayyed Ahmad Ghanbari*** [4]

1- Corresponding Author and Phd. graduated, Department of Agriculture, Zabol university, Zabol, Iran. Jazayeri88@yahoo.com

2- Professor of Department of Agriculture, Zabol university, Zabol, Iran. Mohsen_372001@yahoo.com

3- Assistant Professor of Research Center of Agricultural and Natural Resources, Isfahan Department, Isfahan, Iran. b_bahreininejad@yahoo.com

4- Professor of Department of Agriculture, Zabol university, Zabol, Iran. ghanbari@yahoo.com

Received Date: 2020/02/02 Accepted Date: 2020/06/07

Abstract

Introduction: Guar or cluster bean belongs to leguminosae family. It is an annual plant and tolerant to salinity and drought. Guar is a drought resistant plant which is cultivated as a forage and seed crop and vegetable in warm and dry regions of Asia and Africa (Momen Keykha et al., 2018). The use of organic matters as fertilizer on agricultural soils can reduce the effects of soil compaction and provide the nutrients for the plants (Mohammadnejad et al., 2015). The research on the use organic fertilizers on guar under different plant densities has been scant. Thus the present study was carried out in order to assess and survey the effects of nutritious factors and density on growth indices, yield and yield components of Guar under Isfahan climatic conditions.

Material and methods: Experiment was conducted as factorial using randomized complete blocks design with three replications. This research was carried out during the growing season of 2015-2016 in the center of agricultural research of Isfahan province. First factor included: chemical fertilizer (two levels of 60, 70, 70 and the other 90, 100, 100, kilograms per hectare respectively nitrogen, potassium and phosphorous), animal manure (in two levels 10 and 20 tons per hectare) and vermicompost (at two levels of 300 and 600 kilograms per hectare) and density as the second factor consists of three levels of 60, 75 and 90 plants / m2. Growth indices were LAI, CGR and RGR. Also plant height, number of branches, pod number per plant, grain number per pod, length of pod, 1000-grain weight and grain yield were measured. The data were statistically analyzed by SAS software. Comparison of means was performed using LSD test at the 0.05 level of significant.

Results and discussion: The highest LAI belonged to chemical fertilizer 2 and the lowest to vermicompost 1. 60 and 90 plants per square meter had the highest and lowest LAI respectively. The highest and lowest CGR belonged to chemical fertilizer and vermicompost respectively. CGR peaked in all the treatments by appearance of pods and reduced while pods were filling. This can be due to increasing shades and lack of light (Emam and Niknejad, 2011). RGR was almost linear and declining. They decreased to zero and negative

The results showed that the effect of factors were significant on all traits except grain number per pod and 1000-grain weight. Based on the results, the plant height, number of sub branches, number of pods, pod length and grain yield in nutritious treatments and plant density were significant, but the interaction between fertilizer levels and density, except for the number of pods, were not significant. The maximum number of sub branches (6.13), pod number per plant (46.32), 1000-grain weight (33.55 g) and grain yield (3646.3 kg/h) was observed in density of 60 plants per square meter. Rezvani Moghaddam et al., (2010) reported that the seed yield was increased by increasing plant density, but decreased the plant height, number of capsule per plant, plant biomass, seed yield and weight and number of seed per plant, significantly. 1000-seed weight, harvest index and weight of seed per capsule had no affected by treatments. Asadi et al., (2013) reported that organic input application could be considered as a sustainable approach for improving growth and yield of medicinal plants such as isabgol in agroecosystems that will increase nitrogen efficiency and reduce environmental pollutions due to slow release of nutrients.

Conclusions: As a whole the density of 60 pl/m2 was preferred in most of traits. In most of the yield components, preference is to chemical fertilizer, but in the some traits, vermicompost was at the same level or sometimes superior to other treatments. So at the same condition, it is advisable to use 60 plants per square meter and to get a better result in cropping and to decrease the negative environmental effects, it is advisable to use a combination of chemical fertilizer and vermicompost.

Keywords: Animal manure, LAI, Vermicompost, 1000-grain weight.

Journal of Horticultural Plants Nutrition

Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020

Research Paper

Study of nitrate concentration in Varamin plain leafy vegetables and evaluation of its risk for human

Mohsen Seilsepour [1*]

1- Corresponding Author and Assistant Professor of Greenhouse Cultivation Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Varamin, Iran.
mseilsep@yahoo.com

Received Date: 2019/11/23 Accepted Date: 2020/04/29

Abstract

Introduction: Among the plant nutrients required, nitrogen is the most limiting plant growth factor and the key nutrient for achieving optimum yield in most crops, especially in arid regions (Seilsespour and Momayezi, 2005). Therefore, the most widely used fertilizer among the fertilizers is nitrogen-containing fertilizers. Nitrogen is present in the structure of amino acids, nucleic acids, purine bases, alkaloids and chlorophylls. The amount of nitrogen needed by plant depends on the species of plant and soil. It is absorbed by the plant in the form of ammonium and nitrate. Plants mainly prefer nitrate ions for uptake (Dordas and Sioulas, 2008). Nitrate in the human body is converted to nitrite and, in combination with amines, is converted to nitrosamine, which is one of the main causes of cancer. In the neonatal stomach, nitrate is resuscitated to nitrite and, in the bloodstream, oxidizes hemoglobin iron and converts divalent iron to trivalent iron. Thus, hemoglobin pigments disrupt oxygen delivery to the infant's body and eventually lead to choking and death of the infant (Fewtrell, 2004). Nitrate accumulation in vegetables is often dependent on the amount and type of nutrients in the soil and is closely related to the amount and timing of fertilizer use, so that the amount of chemical fertilizer applied is one of the factors affecting it. Vegetable and vegetable products, including leafy vegetables, are of great importance in many countries because of their high nutritional value (Menard, 2008). Vegetables have been suggested by the World Health Organization to prevent no communicable diseases such as cardiovascular disease, cancer, obesity, and type 2 diabetes (FAO / WHO, 2003). However, despite the importance and nutritional value of vegetables, research has shown that about 80% of the nitrates that enter the human body are from vegetables and fruits (Kiani and Gheytasi, 2016). Due to the adverse effects of nitrate on human health, much attention has now been paid to the accumulation of this ion in vegetables and has been considered as a qualitative biological indicator in vegetables (Chen et al., 2004). Due to the lack of information on the nitrate concentration of leafy vegetables produced in the major vegetable production areas of Varamin plain, this study was conducted to determine of nitrate concentration in leafy vegetable and evaluation of nitrate risk assessment for vegetables consumers.

Material and methods: To investigate the nitrate concentration in leafy vegetables, this study was conducted in 2014 in the agricultural lands of Varamin district (Varamin, Pishva, Pakdasht), which are the hub of vegetable production in Tehran province. The leafy vegetables studied were savory, parsley, coriander, fenugreek, leek, cress, dill, mint, cabbage, celery, spinach and lettuce. Sampling was done for each crop from 30 different farms.. Di azo method (Emami, 1996) was used to determine nitrate concentration. The mean nitrate concentration in each leafy vegetable (at 30 field level) was compared with the maximum permissible nitrate level (National Standard No. 16596) by means of T-test. According to the World Health Organization (Human Health Fact Sheet, 2005) guidelines, which set the daily nitrate uptake for humans to be 3.6 mg.kg-1 body weight, the maximum daily allowable nitrate uptake through each leafy vegetable for a person with 80 kg weight was calculated.

Results and discussion: Among the leafy vegetables, lettuce with average 3909 mg/kg fresh weight had the highest accumulation of nitrate and fenugreek with an average of 641 mg/kg fresh weight had the lowest nitrate accumulation per kg. The mean nitrate concentration of each vegetable was compared by T-test with maximum nitrate concentration for each vegetable. In all samples of lettuce, spinach and celery studied, nitrate concentration was significantly higher than the maximum, while in all fenugreek and coriander samples, nitrate concentration was significantly lower than Maximum allowed. Considering the maximum allowable daily intake of nitrate for humans (3.86 mg/kg body weight) and the average nitrate content in the studied vegetables, the maximum daily intake of each vegetable species were calculated. The results showed that daily consuming of 76 grams of lettuce or 94 grams of spinach by a person with 80 kg weight, would maximize the amount of nitrate in the body and increase the risk to health.

Conclusions: The results of this study showed that some of the leafy vegetables such as lettuce and spinach contained high levels of nitrate base on the national standard of Iran. The average nitrate concentration in the leafy vegetables was 1458 mg/kg fresh weight. Maximum daily uptake of nitrate for adults is about 190 mg and more uptake, can cause harmful on the body. It is worth noting that this issue is more important for children. Therefore, it seems that the use of nitrogen fertilizers should be revised in the leafy vegetables fields. In this regard, nitrogen fertilizer application based on soil test and soil nitrate is recommended.

Keywords: Celery, Lettuce, Maximum permitted consumption, Spinach.

Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020
Research Paper

Effect of irrigation interval, bio and non-biofertilizers on yield components and some of biochemical compounds in Thyme (*Thymus vulgaris* L.)

Farideh Goshasbi [1] ***, Mostafa Heidari*** [2*] ***, Seyed Kazem Sabbagh*** [3] ***, Hassan Makarian*** [4]

1- PhD student of Physiology, Department of Agronomy, Shahrood University, Shahrood, Iran. faridehgoshasbi@gmail.com
2- Corresponding Author and Associate Prof. in Agronomy- Department of Agronomy-Shahrood University, Shahrood, Iran. haydari2005@gmail.com
3- Associate Prof. in Department of Bioligy, Yazd University, Yazd, Iran. sksabbagh@yazd.ac.ir
4- Associate Prof. in Agronomy,Department of Agronomy, Shahrood University, Shahrood, Iran. h.makarian@yahoo.com

Received Date: 2020/01/16 Accepted Date: 2020/06/20

Abstract

Introduction: Aromatic Thyme (*Thymus vulgaris* L; Lamiaceae) is a valuable and common medicinal plant in traditional medicine. Due to its main composition, thymol, is used in the food, pharmaceutical, health and cosmetic industries. Among the different species of Thyme, *Thymus vulgaris* is cultivated and produced in many parts of the world, including Iran (Omidbaigi, 2000). Water stress can decrease leaf height, number and leaf area, dry weight, stomata closure, chlorophyll content reduction and root growth in medicinal plants. Therefore, it is important to deal with the damaging effects of drought in different ways such as the use of biofertilizers.

Material and methods: To investigate the effects of irrigation interval at three levels including w_1 =7(Control), w_2 =12 and w_3=17 days irrigation interval as a main plot and bio and non – bio fertilizers at five levels including B_1 = control (without fertilizer), B_2 = Endo mycorrhizal (Glomus), B_3 = Azospirillum bacteria , B_4 = Pseudomonas bacteria and B_5 = chemical fertilizer(NPK) were considered as a sub plot on flowering branches yield , percentage of essential oil and some biochemical compounds in *Thymus vulgaris*, An experiment was conducted in a split plot design with randomized complete block design with three replications in 2017 in Asgarya agricultural field in Yazd. Finally, the data were analyzed through SAS statistical software and Excel software was used to draw charts. Means comparison was performed through LSD test at 5% probability level.

Results and discussion: The results showed that the highest of flowering branches yield and total phenol were observed in control of irrigation (w_1) and NPK treatment (B_5), the highest of biological yield and number of lateral branches were observed in control of irrigation (w_1) and mycorrhiza treatment (B_2) , the highest of protein was observed in control of irrigation (w_1) and Azospirillum treatment (B_3), the highest of soluble carbohydrates was observed in w_2 and pseudomonas treatment (B_4), the highest of height was observed in control of irrigation (w_1) , The highest of proline and the percentage of essential oil were observed in W3.In terms of fertilizer treatment, the highest of height, proline and the percentage of essential oi were observed in pseudomonas treatment (B_4), NPK (B_5) and mycorrhiza (B_2). In general, the results in this experiment can be expressed, in terms of water deficit stress, use of biological fertilizers, especially mycorrhizal, can partly reduce the adverse effects on this plant.

Conclusions: In general, it can be concluded that the use of bio fertilizers, especially mycorrhiza, can reduce the side effects of this plant in water deficit conditions. According to the results of this study, it is concluded that accumulation of proline and carbohydrates in Thyme aerial parts in the face of water deficit stress, is one of the mechanisms of drought resistance in this plant. Rapid accumulation of osmotic pressure-regulating substances such as proline and carbohydrate decrease the osmotic potential of plant cells and thus water absorption of the plant. Also, similarity of yield increase and yield components of flowering shoots in Thyme with biofertilizers especially Mycorrhiza under stress conditions has positive effects of this fertilizer by improving physiological traits in the plant. Therefore, it seems that if the water deficit stress does not lead to a significant decrease in the economic performance of this plant, biofertilizers can be reduced on this plant.

Keywords: *Pseudomonas*, *Azospirillum*, Mycorrhiza, Carbohydrates, Phenolic compounds.

Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020
Research Paper

Study the effect of different mycorrhizal fungi on some growth indices, photosynthetic pigments, flavonoids and carotenoid content of pot marigold flower

Zahra Kheyri [1] **, *Mohammad Moghaddam*** [2*] **, *Mehdi Moradi*** [3]

1- Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. zahrakheyri1364@gmail.com
2- Corresponding Author and Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. m.moghadam@um.ac.ir
3- Plant Production Department, High Educational Society of Agriculture and Animal Husbandry, Torbat Jam, Iran. moradi.ob@gmail.com

Received Date: 2019/12/17 Accepted Date: 2020/02/08

Abstract

Introduction: Studying the fertilizer requirement and replacing biological fertilizers (mycorrhizal fungi) instead of chemical fertilizers is one of the great valuable issues in sustainable agriculture. Mycorrhizal fungi as biological fertilizer has applied to absorb nutriotion elements from the soil to increase plant growth. The researchers indicated that mycorrhizal fungi cause to change the metabolism of host plant by mycorrhizal inoculation and this modification in metabolism, produce defensive compounds in plant. Furthermore, mycorrhizal fungi improve plant growth by enhancing nutritional and water conditions of plant with changing the root morphology and increasing absorption area with their root development in the soil and stimulating gas interchanging via enhancing the sink capacity, which can be in consequence of nutritional conditions and water relationship enhancement by that fungus. *Calendula officinalis* is an annual plant from Asteraceae family, one of the well-known medicinal plants that nowadays uses lot in pharmaceutical, cosmetic and hygienic industries. The aim of this study was to evaluate the effect of various mycorrhizal fungi species on some growth characteristics, photosynthetic pigments, secondary metabolites amount (flavonoid and carotenoid) in maigold flower.

Material and methods: This study was performed as a completely randomized design with three replications. The treatments comprised inoculation of different mycorrhizal fungi species included *Glomus fasciculatum* ,*Glomus claroideum*, *Glomus versiform*, *Glomus geosporum*, *Glomus caledonium*, *Glomus mosseae*, *Glomus intraradicese* *Glomus etanicatum*, *Glomus gigaspora* and without fungal inoculation. The inoculation media of mycorrhizal fungi included vegetative organs and the spores of mycorrhizal fungi. In the experimental treatments 200 g of this media used for 5 Kg soil each pot.
The seeds of pot marigold were cultivated in the cultivation tray containing equal ratio of perlite and cocopeat, then at four leaves stage, three seedlings were transferred to each pot. After about three months from applying the treatments and at flowering stage, the plants harvested and the studied characteristics included plant height, branchlet number, inflorescence number, stem diameter, flower dry weight, photosynthetic pigments (chlorophyll a, b, carotenoid and total chlorophyll), relative water content, flavonoid and carotenoid of flowers were measured. The data were subjected to statistical analysis by Minitab 18 software and the means were compared with Bonferroni test at $P < 0.05$

Results and discussion: The results of analysis of variance showed that the effect of different types of mycorrhizal fungi on all of the studied characteristics in this experiment were significant at 1% probability level. Among the nine mycorrhizal fungi species that used in this study, application of *G. mosseae* had the highest effect on improving the most growth indices of pot marigold such as plant height, branchlet number, inflorescence number and flower dry weight. Also it had positive effect on enhancing photosynthetic pigments, so that total chlorophyll content increased 67% in this treatment compare to control. The highest relative water content and flower carotenoid also observed in this treatment. After that *G. etanicatum* and *G. geosporum* fungi provided the best conditions for pot marigold. Furthermore, the highest fungus colonization percentage (76.7%) with marigold root was observed at *G. intraradicese* and there was no significant differences with *G. mosseae* (71%) and *G. geosporum* (70.66%) and the lowest colonization percentage (33%) was obtained at control and after that among different mycorrhiza species *G. gigaspora* showed 53% colonization. Therefore, among the studied mycorrhiza species in this research, *G. mosseae*, *G. etanicatum* and *G. geosporum* can provide the best conditions for growth and desirable production of secondary metabolites in pot marigold as medicinal plant and suitable replacement for chemical fertilizers in the most organic agriculture.

Conclusions: Most mycorrhizal fungi species used in this research had high symbiosis with pot marigold root, therefore the measured characteristics in the most inoculated plants with mycorrhizal fungi significantly increased in comparison with control that can be in consequence of improving water relationships of plant and probably better nutrition absorption by mycorrhizal fungi. Of course *G. gigaspora* and *G. claroideum* in comparison with the other mycorrhizal fungi species that studied in this experiment, could not create good colonization with pot marigold root and therefore had not good effect on growth improvement and yield of marigold. Based on the obtained results of this study, *G. mosseae*, *G. etanicatum* and *G. geosporum* can provide the best conditions for desirable growth and production for pot marigold and as biological fertilizer are suitable replacement for chemical fertilizers.

Keywords: *Glomus etanicatum*, Total chlorophyll, *Glomus mosseae*, Flower dry weight.

Journal of Horticultural Plants Nutrition

Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020

Research Paper

Morphological and phytochemical response of garlic (*Allium sativum*) to sulphur, humic acid and vermiwash nutrition

Kamran Ghasemi [1*] ***, Vahid Akbarpour*** [2] ***, Mehdi Mohammadi*** [3]

1- Corresponding Author and Assistant Professors of Horticultural Sciences and Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. kamranghasemi63@gmail.com

2- Assistant Professors of Horticultural Sciences and Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. v_akbarpour60@yahoo.com

3- Former M.Sc. Student of Department of Horticultural Sciences and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. mehdimohamadi917@gmail.com

Received Date: 2019/07/16 Accepted Date: 2020/02/26

Abstract

Introduction: Sulphur is an important element for garlic because all the species of the Aliaceae family, including the garlic, are sulphur friend. Garlic accumulats this element in a large extent, and respond to sulphur nutrition remarkably. Elemental sulphur requires oxidation by Thiobacillus bacteria to be absorbable for plants root and the population of these bacteria has a positive correlation with soil organic matter (Sabbagh et al, 2016). Therefore, the addition of organic matter increases the oxidation of sulphur and ultimately increases the sulphur content of the plant.

Material and methods: Regarding the role of soil organic matter in increasing sulphur oxidation, a factorial experiment was carried out with two factors of sulphur (Control: S0, 3lit/ ha: S1 and 6 lit/ha S2) and organic amendments (Control: C, Humic Acid: H, and vermiwash: V). Various traits including yield and yield components, photosynthetic parameters, nutrient elements, total antioxidant activity, total phenol, total flavonoid and caffeic acid were measured. Antioxidant activity and caffeic acid were determined based on Ebrahimzadeh et al, (2010) and Hu and Kitts, (2000) respectively. Data analysis was performed using SAS software and mean comparison by Duncan's multiple range test at 1 and 5 percent probability levels.

Results and discussion: The results showed that the highest total yield of garlic plant was observed in S_1V treatment, although, had no significant difference with S_1C and S_2C treatments. The highest single garlic weight was obtained in S_1C treatment, which was significantly more than all other treatments. The maximum garlic length was observed in S_2C treatment, which did not show significant differences with S_1V and S_1C. The highest photosynthesis rate (A) was recorded in S_1C treatment, which was significantly higher than all other studied treatments. The highest amount of sulphur in the edible part of garlic was observed in S_1H treatment, which was significantly higher than control and all other treatments. The highest amount of antioxidant capacity in the edible part of garlic was observed in S_2C treatment. The content of total phenol in the three treatments S_0V, S_1V and S_1C was significantly lower than the control, while the rest of the treatments did not differ in comparison with the control. The concentration of caffeic acid varied from 11.36 to 20.46 mg/kg; which had the highest amount of caffeic acid in the organic amendments factor were control and vermiwash with no significant difference. It seems that with increasing soil organic matter, some natural stresses in soil may be reduced and, as a result, the amount of some antioxidant-related substances such as caffeic acid decreased.

Conclusions: In general, the use of sulphur with a moderate concentration and no organic amendment increased the yield of garlic. In order to generalize the results of this study to other farms, it should be noted that the soil used in this experiment contained a fairly high percentage of organic matter (3.80%). So in soils with the same amount of organic matter there is no need for extra organic modifiers and sulphur nutrition alone is sufficient. As the results indicated, increased nitrogen and phosphorus absorption took place in humic acid and vermiwash treatments that is very important from a nutritional point of view.

Keywords: Antioxidants, Caffeic Acid, Edible Garlic, Organic modifier.

Journal of Horticultural Plants Nutrition
Vol.3, No.1, Spring and Summer 2020
Research Paper

Effect of some symbiotic fungi and iron nanoparticles on morphological and physiological traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) under cadmium stress

Zahra Nouri Akandi [1] ***, Hassan Makarian*** [2*] ***, Hemmatollah Pirdashti*** [3] ***, Mohammad Reza Amerian*** [4] ***, Mehdi Baradaran Firozabadi*** [5] ***, Mohammad Ali Tajik Ghanbary*** [6]

1- Ph.D. Student of Agronomy - Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Noori11zahra@gmail.com
2- Corresponding Author and Associate Professor of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. h.makarian@shahroodut.ac.ir
3- Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. h.pirdashti@sanru.ac.ir
4- Associate Professor of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. amerianuk@yahoo.co.uk
5- Associate Professor of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. m.baradaran.f@gmail.com
6- Associate Professor, Department of Plant protection, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. m.tajick@gmail.com

Received Date: 2020/01/30 Accepted Date: 2020/05/31

Abstract

Introduction: Nowadays, the soil contamination by heavy metals including cadmium (Cd) is one of the environmental problems which not only damage the animal and plant species but also diminish plant function, enters the food chain and endanger human health and other organisms (Sheoran et al., 2016). Phytoremediation is one of the most important methods that have been developed in the last two decades to address soil contamination, including heavy metals in various countries where planting of suitable plants is used to clean and absorb pollutants from the soil (Shahgholi et al., 2012). On the other hand, many studies have shown that the use of beneficial microorganisms such as fungi can significantly reduce the toxicity of heavy metals by bonding metals to their cell walls and consequently their immobilization (Akhtar et al., 2007). The aim of the research was to investigate the effect of application of some symbiotic fungi and iron nanoparticles on morphological and physiological traits of purslane (Portulaca oleracea L.) under cadmium stress.

Material and methods: The factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The experimental factors included cadmium chloride in four levels (0, 25, 50 and 75 mg/kg soil from cadmium chloride source), four levels of fungal symbiosis (uninoculated and inoculated with fungi *Chaetomium subaffine* (SF), *Trichoderma atroviride* (SN) and *Trichoderma longibrachiatum*) and foliar spraying of iron nanoparticles in three levels (0, 0.15 and 0.3 g/l).

Results and discussion: The results showed that the plant height and stem diameter linearly decreased (with 69.6 and 56.6%, respectively) when the cadmium levels incresed. Leaf area increased at zero cadmium level in plants inoculated with *T. longibrachiatum*, 18.4% as compared to the uninoculated control . When 25 mg/kg of Cd was added to the soil, purslane plants which inoculated with *Chaetomium subaffine* (SF) showed 11.4% more leaf area than those uninoculated plants. At all foliar concentrations of iron nanoparticles, the highest content of chlorophyll *a+b* was obtained at 25 mg/kg soil cadmium.

Conclusions: Overall, the interaction of symbiotic fungi and foliar spraying of iron nanoparticles (especially at a concentration of 0.15 g/l) showed a synergistic effect, hence some growth parameters and chlorophyll concentrations markedly increased in the purslane plants.

Keywords: Stress, Phytoremediation, Heavy metals, Nanoparticles.