

بررسی اثرات کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوجه فرنگی در یک خاک آلوده به کادمیوم

اکبر نعمتی^۱، احمد گلچین و حسین بشارتی

دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه زنجان؛ akbar_nemati67@yahoo.com

استاد گروه علوم خاک دانشگاه زنجان؛ agolchin2011@yahoo.com

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب؛ besharati1350@yahoo.com

دریافت: 92/8/6 و پذیرش: 93/9/19

چکیده

مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و تنش‌های حاصل از آلودگی خاک به فلزات سنگین از جمله علل استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی می‌باشد. همچنین برای حفظ محیط زیست و مقابله با تنش فلزات سنگین استفاده از این کودها ضروری می‌باشد. به همین منظور برای بررسی اثرات کودهای زیستی بر میزان عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوجه فرنگی تحت تنش کادمیوم، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار طراحی و انجام گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح آلودگی خاک به کادمیوم و تیمارهای تلقیح کود زیستی بودند. سطوح آلودگی خاک به کادمیوم شامل صفر، 5، 10، 20، 40 و 80 میلی گرم در کیلوگرم خاک بودند و شش ترکیب تلقیح کود زیستی شامل M_0 : بدون تلقیح، M_1 : باکتری حل کننده فسفات+ باکتری محرک رشد + ازتوباکتر، M_2 : قارچ میکوریز + ازتوباکتر + آزوسپریلوم، M_3 : باکتری محرک رشد + آزوسپریلوم + قارچ میکوریز، M_4 : باکتری حل کننده فسفات + قارچ میکوریز + باکتری محرک رشد + ازتوباکتر) و M_5 : باکتری محرک رشد + قارچ میکوریز + ازتوباکتر در این آزمایش به کار برده شد. نتایج نشان داد که کاربرد کودهای زیستی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوجه فرنگی را به جز در قطر و طول میوه و قطر ساقه، نسبت به تیمار شاهد بطور معنی‌داری افزایش داد. کود زیستی M_2 که شامل قارچ میکوریز، باکتری ازتوباکتر و باکتری آزوسپریلوم بود، میزان عملکرد گوجه فرنگی را 179/8% افزایش داد. بیشترین میزان عملکرد در اثر تیمار کود زیستی M_2 بدست آمد بطوری که با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت و در مقابل میزان عملکرد بدست آمده از تیمار کود زیستی M_1 در حدی بود که با تیمار شاهد کود زیستی تفاوت معنی‌دار نداشت. در مقابل آلودگی خاک به کادمیوم رشد گیاه را کاهش داد و با افزایش سطح آلودگی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، آلودگی فلزات سنگین، ازتوباکتر، قارچ میکوریز

^۱ نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

مقدمه

آلودگی خاک و آب با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده است که منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصولات گردیده و پایداری تولیدات کشاورزی را دچار مخاطره می‌کند. آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل کننده محیط زیست به‌شمار رفته و از میان آن‌ها فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات سوء آن‌ها بر سلامتی موجودات زنده و انسان، حائز اهمیت شناخته شده‌اند که از جمله این عناصر می‌توان به کادمیوم، سرب، روی، مس و نیکل اشاره کرد (بروکا و همکاران، 2005). از روش‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و کاهش اثر سوء آن‌ها بر گیاهان استفاده شده است که اغلب آن‌ها علاوه بر داشتن هزینه زیاد، سبب تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک شده‌اند. بنابراین بهتر است تا حد امکان از روش‌های بیولوژیکی و سازگار با محیط زیست برای کاهش تنش فلزات سنگین بر گیاهان استفاده شود (چن و همکاران، 2003).

کودهای زیستی با مکانیسم‌های متعدد از جمله تثبیت نیتروژن، کمک به آزاد شدن عناصر غذایی در خاک، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، افزایش کارایی جذب ریشه و اثرات آنتاگونیستی بر میکروارگانیسم‌های بیماریز، موجب رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (باشو و همکاران، 2008). از معروف ترین کودهای بیولوژیک می‌توان به مایه‌های تلقیح حاوی ازتوباکتر و فراورده‌های بیولوژیک حاوی قارچ میکوریز اشاره کرد (امیرآبادی و همکاران، 2006). افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید می‌تواند مقاومت گیاه به تنش‌های مختلف محیطی مانند کمبود آب، عناصر غذایی و سمیت عناصر سنگین را کاهش دهد (وو و همکاران، 2005). قارچ‌های میکوریزی از جمله میکرو ارگانیسم‌ها هستند که با ریشه گیاهان مختلف ایجاد همزیستی می‌کنند و از مهمترین فوائد آن‌ها می‌توان به افزایش جذب آب، کمک به کاهش تنش‌های محیطی مثل شوری و غلظت زیاد فلزات سنگین اشاره نمود (آزکون و الاطرش، 1997). بهل و همکاران (2006) گزارش نمودند که کاربرد ازتوباکتر عملکرد دانه، تعداد پنجه، عملکرد ماده خشک، جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در گندم به طور معنی داری افزایش داد. افزایش میزان تولید در گیاهان می‌تواند در نتیجه توانایی باکتری‌ها در حذف عوامل بیماریزای خاکزی، تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مانند جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها و اکسین‌ها، افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و توسعه سیستم ریشه‌ای به

منظور دستیابی بیشتر به منابع آب و مواد غذایی باشد (رودرشا و همکاران، 2005). از فواید تلقیح گیاه با باکتری‌های محرک رشد مثل آزوسپریلوم، می‌توان به افزایش رشد و عملکرد گیاه از طریق تثبیت نیتروژن، افزایش توسعه ریشه و جذب بیشتر مواد معدنی اشاره نمود. علاوه بر تثبیت نیتروژن، آزوسپریلوم با تولید مواد ارتقا دهنده رشد مثل ایندول استیک اسید و جیبرلیک اسید نقش مهمی در افزایش رشد گیاه ایفا می‌کند. ایندول استیک اسید تولید شده از آزوسپریلوم باعث افزایش هورمون‌های درونی گیاه که مسئول کرده افشانی و رشد عرضی هستند شده و در نهایت تولید میوه و دانه افزایش می‌یابد (پرمسکار و راجاشری، 2009).

زید و همکاران (2007) اظهار داشتند که سوبیه‌های آزوسپریلوم می‌توانند با ترشح هورمون‌های گیاهی، شرایط مناسبی برای رشد ذرت فراهم آورند. هدف از عملیات کشاورزی ارگانیک افزایش تنوع زیستی و ایجاد چرخه‌های بیولوژیک در سیستم‌های زراعی است به شکلی که از نظر اجتماعی، اکولوژیکی و اقتصادی پایدار باشد (سامان و همکاران، 2008). ترکیبات با توجه به رویکرد جهانی به سمت کشاورزی ارگانیک و به منظور کاهش واردات کودهای شیمیایی و اثرات زیانبار زیست محیطی آنها، در این تحقیق صرفاً از ترکیب‌های کودهای زیستی استفاده شده است. ضمن اینکه ترکیب کردن کودهای زیستی متنوع در تیمارهای مختلف کود زیستی برای تأمین عناصر غذایی تحت شرایط سمیت کادمیوم از جنبه‌های نوآوری این تحقیق می‌باشد. مطالعات محدودی در زمینه کاربرد کودهای زیستی برای کاهش اثر سوء فلزات سنگین بر رشد گیاه صورت گرفته است. در همین راستا و با توجه به نقش سودمند کودهای زیستی در رشد و نمو گیاه و کاهش تنش‌های محیطی، این تحقیق بمنظور بررسی تأثیر این کودها بر رشد و نمو گوجه‌فرنگی تحت تنش کادمیوم شکل گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی اثر کودهای زیستی بر عملکرد، اجزای عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش کادمیوم بصورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و به صورت گلدانی به اجرا درآمد. خاک مورد نظر از الک 2 میلیمتری عبور داده شد و به مقدار 5 کیلوگرم برای هر گلدان توزین گردید. سپس خاک گلدان‌ها با افزودن مقادیر مختلف سولفات کادمیوم به صورت مصنوعی آلوده گردیدند. سطوح آلودگی خاک با کادمیوم دارای سطوح صفر، 5، 10، 20، 40، 80 میلی-گرم در کیلوگرم خاک بودند که این سطوح از طریق

باشد ادامه داشت و بدین طریق میزان عملکرد گوجه-فرنگی بدست آمد. قرائت کلروفیل برگ به روش SCMR و با استفاده از دستگاه (SPAD-502 (Minolta, japan) بر روی برگ‌های کاملاً توسعه یافته در حد فاصل رگبرگ میانی و حاشیه برگ انجام گرفت. به منظور اندازه‌گیری سطح کل برگ، در هنگام برداشت اندام هوایی، کلیه پهنک-های برگ از ساقه جدا و پس از تعیین وزن تر، سطح آنها با استفاده از دستگاه تعیین سطح برگ (leaf area meter) اندازه‌گیری شد (فاگاریا، 2005؛ سانگسریو همکاران، 2009). بعد از برداشت، تعداد برگ‌های هر بوته بطور جداگانه شمارش گردید. تعداد گوجه‌فرنگی‌های هر بوته شمارش گردید و همچنین با تقسیم کردن میزان عملکرد بدست آمده از آن بوته بر تعداد میوه‌ها، میانگین وزن میوه‌ها بدست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد و برای ترسیم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده گردید. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 1% انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر کودهای زیستی و سطوح آلودگی خاک به کادمیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جداول 1 و 2).

کاربرد کود زیستی بر عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی در سطح یک درصد معنی‌داری بود (جدول 1). بیشترین میزان عملکرد از تیمار کود زیستی M_2 و کمترین میزان آن از تیمار بدون تلقیح یا (شاهد) بدست آمد (شکل 1 الف). کود زیستی M_2 میزان عملکرد را 179/8% افزایش داد. احتمالاً تأثیر بیشتر کود زیستی M_2 بر افزایش تعداد بیشتری از اجزای عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی و همچنین جذب بیشتر عناصر غذایی، باعث حاصل شدن عملکرد بیشتر در اثر این تیمار کود زیستی شده است. در آزمایشی که توسط سانیهتا-گوپتا و همکاران (1995) انجام شد تلقیح بذرهای گوجه‌فرنگی با سه نوع باکتری آزوسپریلوم، ازتوباکتر و سودوموناس سبب افزایش رشد رویشی گیاه و در نهایت عملکرد گیاه شد. خان و زیدی (2007) اظهار داشتند که کاربرد همزمان مایه تلقیح ازتوباکتر و قارچ میکوریزی سبب افزایش عملکرد دانه در گندم شد.

امیر آبادی و همکاران (1391) نیز طی نتایج مشابهی گزارش کردند که کاربرد توأم (ازتوباکتر و قارچ میکوریز) بیشترین عملکرد ماده خشک را نسبت به شاهد و کاربرد انفرادی هر یک از آنها به خود اختصاص داد.

افزودن مقادیر مختلف نمک سولفات کادمیوم به یک خاک غیر آلوده تهیه گردیدند. بدین منظور، خاک گلدان‌ها بطور جداگانه بر روی نیلون پخش و برای آلوده کردن آنها به صورت مصنوعی، سولفات کادمیوم در حجم مشخصی آب مقطر حل و به صورت یکنواخت بر روی کل خاک هر گلدان اسپری شد. پس از آلوده ساختن خاک با کادمیوم و گذشت حدود یک ماه بمنظور ایجاد تبادل در آنها، نمونه‌های خاک آلوده به کادمیوم با کودهای زیستی تلقیح گردیدند. تیمارهای کود زیستی شامل M_1 : باکتری ازتوباکتر کروکوکوم + باکتری‌های حل‌کننده فسفات Phosphate Solubilizing Bacteria (باسیلوس) + باکتری‌های محرک رشد Rhizobacteria (سودوموناس فلورسنس)، M_2 : قارچ میکوریز Arbuscular mycorrhiza (AM) (از نوع گلوموس موسه) + باکتری آزوسپریلوم + باکتری ازتوباکتر کروکوکوم، M_3 : باکتری محرک رشد PGPR (سودوموناس فلورسنس) + باکتری آزوسپریلوم + قارچ میکوریز AM (از نوع گلوموس موسه)، M_4 : باکتری ازتوباکتر کروکوکوم + قارچ میکوریز AM (از نوع گلوموس موسه) + باکتری‌های محرک رشد PGPR (سودوموناس فلورسنس) + باکتری حل‌کننده فسفات PSB (باسیلوس) و M_5 : باکتری ازتوباکتر کروکوکوم + باکتری محرک رشد PGPR (سودوموناس فلورسنس) + قارچ میکوریز AM (از نوع گلوموس موسه) بودند که تلقیح این تیمارها پس از آلوده سازی یکنواخت تمام نمونه‌های خاک، در منطقه ریشه گیاه گوجه‌فرنگی انجام شد. یک سطح بدون تلقیح کود زیستی نیز به عنوان شاهد (M_0) در نظر گرفته شد.

در تیمار M_2 کود زیستی از باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلوم که توانایی تثبیت نیتروژن دارند استفاده شده است در حالی که باکتری محرک رشد مورد استفاده در سایر تیمارهای کود زیستی از نوع سودوموناس بود. روش مصرف کودهای زیستی به این صورت بود که این کودها به خاک اطراف ریشه گیاه اضافه شدند. برای این منظور مقداری از خاک وسط گلدان را بیرون آورده و کودهای زیستی به آن اضافه گردید، سپس خاک مجدداً به داخل گلدان برگردانیده شد. قارچ میکوریز مورد استفاده از کلنیک گیاه‌پزشکی ارگانیک در اسدآباد همدان خریداری گردید که این کلنیک بصورت تجارتي قارچ را تولید و عرضه می نماید. میوه‌ها پس از رسیدن (قرمز شدن) برداشت و جداگانه توزین شدند و همچنین قطر و طول آنها با کولیس اندازه‌گیری گردید. برداشت میوه‌ها تا زمانی که در هر بوته حداقل یک میوه رسیده وجود داشته

جدول 1- نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل تیمارهای مختلف آزمایشی بر عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی

| میانگین مربعات | | | | | | |
|--------------------------------|------------|------------|-------------------|----------|------------------|------------|
| منابع تغییرات | درجه آزادی | سطح برگ | تعداد برگ در بوته | قطر ساقه | میانگین وزن میوه | عملکرد |
| سطوح کادمیوم | 5 | 117726/3** | 8483** | 18/6ns | 201/5ns | 113212/7** |
| سطوح کود زیستی | 5 | 61762/7** | 8778/8** | 27/9* | 695/4* | 109726/9** |
| اثر متقابل کود زیستی × کادمیوم | 25 | 13861/1** | 1072/8** | 8/8ns | 319/8ns | 10975/3** |
| خطا | 72 | 4223/8 | 503/3 | 11/8 | 286/4 | 4835/08 |

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد - ns بدون معنی می‌باشد.

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل تیمارهای مختلف آزمایشی بر اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی

| میانگین مربعات | | | | | |
|--------------------------------|------------|------------------|------------|----------|----------|
| منابع تغییرات | درجه آزادی | شاخص کلروفیل برگ | تعداد میوه | طول میوه | قطر میوه |
| سطوح کادمیوم | 5 | 885/1** | 247/5** | 54/3* | 212/7** |
| سطوح کود زیستی | 5 | 112/1** | 45/6** | 35/1ns | 58/9ns |
| اثر متقابل کود زیستی × کادمیوم | 25 | 50/3* | 7/4ns | 44/6** | 36/2ns |
| خطا | 72 | 28/9 | 12/8 | 17/7 | 26/03 |

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد - ns بدون معنی می‌باشد.

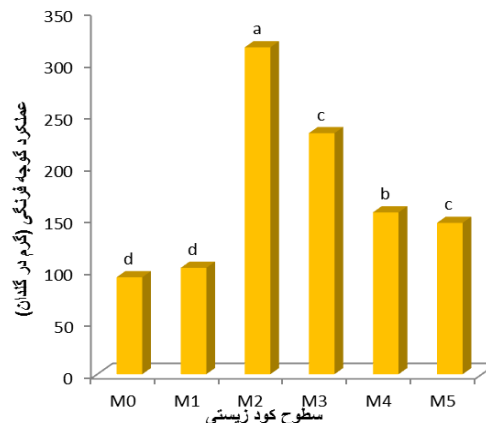
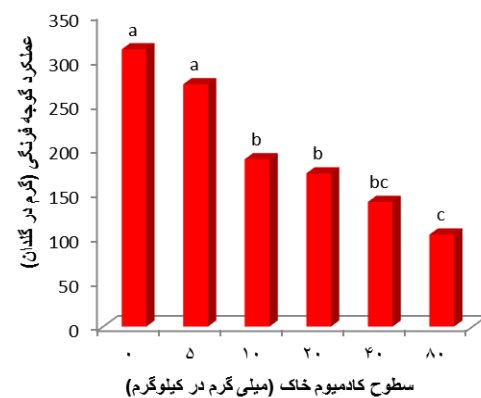
کادمیوم در سطوح بالای آلودگی کادمیوم با ایجاد برهمکنش باعث کاهش جذب عناصر کم مصرف شده و با ایجاد ترکیبات فسفات کادمیوم و نیترات کادمیوم جذب عناصر پرمصرف را نیز کاهش داده و سبب کاهش شاخص‌های رشد مانند قطر و طول میوه، تعداد میوه و بدنبال آن کاهش عملکرد می‌شود (بناویدیس و همکاران، 2005). اثر متقابل کود زیستی و سطوح کادمیوم نیز در سطح احتمال 1 درصد بر میزان عملکرد معنی‌دار بود (جدول 1). بیشترین مقدار عملکرد از سطح بدون کاربرد کادمیوم (شاهد) و کود زیستی M_4 و کمترین مقدار عملکرد از تیمار 80 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و عدم استفاده از کود زیستی (M_0) حاصل شد (جدول 3). علی‌رغم اینکه سطح M_2 کود زیستی تأثیر بیشتری بر میزان عملکرد نشان داد اما در اثر متقابل مشاهده می‌شود که بیشترین میزان عملکرد از سطح M_4 کود زیستی و سطح شاهد کادمیوم بدست آمد و این امر می‌تواند بدلیل حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات به همراه قارچ میکوریز در این تیمار کود زیستی باشد که این تیمار کود زیستی (M_4) سبب افزایش برخی از شاخص‌های رشد و غلظت برخی از عناصر شده و همین امر افزایش عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی را به دنبال داشته است. ضمن اینکه عملکرد به دست آمده از تیمار M_4 کود زیستی با دیگر تیمارهای کود زیستی، تفاوت معنی‌داری

ارداکانی (1379) طی تحقیقی نشان داد که تلقیح گندم با آزوسپیریوم برازیلنس موجب افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت شد. عملکرد بدست آمده از تیمار کود زیستی M_1 با عملکرد بدست آمده از تیمار بدون کاربرد کود زیستی (شاهد) تفاوت معنی‌داری نداشت. این امر را می‌توان بدلیل عدم حضور قارچ میکوریز در تیمار کود زیستی M_1 دانست. در دو آزمایشی که به طور جداگانه در شرایط مزرعه روی گیاهان گوجه‌فرنگی و نعنای (*Mentha arvensis L.*) صورت گرفت، مشخص شد که گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزی دارای عملکرد و جذب عناصر غذایی بالاتری بودند (گوپتا و همکاران، 2002). چنان که مشاهده می‌شود تیمارهای کود زیستی که دارای باکتری ازتوباکتر می‌باشند عملکرد بیشتری نسبت به تیمار حاوی باکتری آزوسپیریوم دارند. این مشاهدات با نتایج دردی پور و همکاران (1389) که گزارش کردند تلقیح باکتری ازتوباکتر نسبت به آزوسپیریوم تأثیر بیشتری در بهبود عملکرد گیاه نشان داد، مطابقت داشت.

سطوح کادمیوم عملکرد گیاه را بطور معنی‌داری و در سطح احتمال 1% کاهش داد (جدول 1). بیشترین مقدار عملکرد از سطح صفر میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کمترین میزان آن از سطح 80 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بدست آمد (شکل 1 ب). غلظت زیاد

معنی‌داری کاهش داد و باعث مقاومت گیاه آفتاب گردان به آلودگی گردید و میزان عملکرد این گیاه را افزایش داد. افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت به وسیله کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات، توسط ویاز و همکاران (2009) تأیید شده است. در آزمایشی دیگر که اثر کاربرد توأم باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار بر عملکرد گندم بررسی شد، نتایج نشان داد که میزان عملکرد دانه در اثر کاربرد توأم قارچ و باکتری حل‌کننده فسفات افزایش یافت (راجا و همکاران، 2002).

داشت. آزاد شدن بیشتر یون‌های فسفات در اثر تیمار M₄ و بلوکه کردن غلظت‌های بالای عنصر کادمیوم، سبب جلوگیری از بروز اثرات منفی غلظت کادمیوم و بدین طریق باعث ایجاد عملکرد بیشتر توسط این کود زیستی گردیده است. آدول و همکاران (2010) با بررسی اثرات قارچ‌های میکوریزی بر توانایی گیاه پالایی محصول گیاه آفتاب‌گردان در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین سرب و کادمیم نشان دادند که میکوریز میزان جذب عناصر کادمیم و سرب را در ریشه‌های خشک آفتاب‌گردان به طور



شکل 1- اثرات سطوح کود زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر میزان عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی

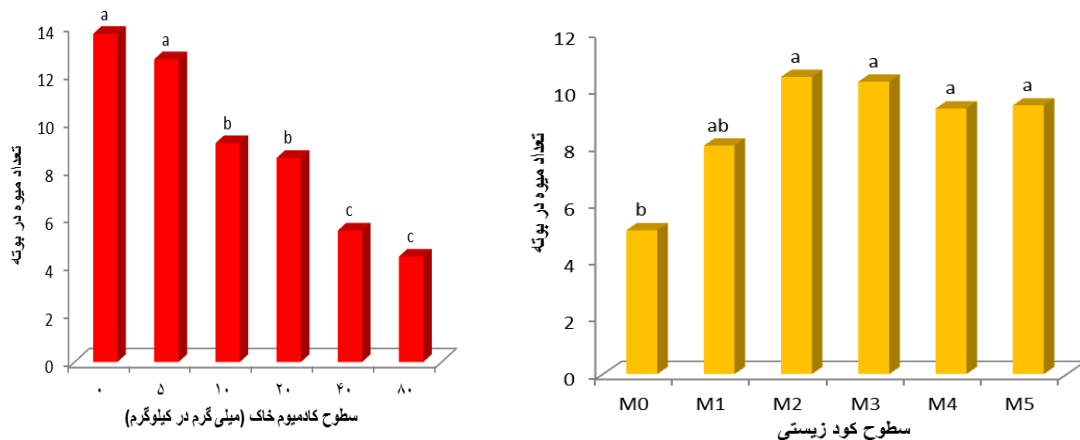
است. اثر متقابل سطوح کود زیستی و کادمیوم بر تعداد میوه در گیاه گوجه‌فرنگی معنی‌دار نبود (جدول 2). کاربرد کود زیستی بر میزان طول میوه گیاه گوجه‌فرنگی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول 2). سطوح آلودگی خاک میزان طول میوه گیاه گوجه‌فرنگی را بطور معنی‌داری (در سطح احتمال 5%) کاهش داد (جدول 2). بیشترین میزان طول میوه از سطح شاهد کادمیوم و کمترین میزان آن از سطح 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بدست آمد (شکل 3). بر اساس نتایج این تحقیق هر چند تعداد میوه‌ها با افزایش سطوح کادمیوم بشدت کاهش پیدا کردند ولی در میوه‌های تولید شده در سطوح بالای آلودگی خاک با کادمیوم، طول میوه‌های گوجه‌فرنگی افزایش پیدا کردند. این در حالی بود که قطر میوه‌ها در سطوح بالای کادمیوم کاهش پیدا کرد. این مورد را می‌توان به کاهش رشد و جذب عناصر غذایی و بدنال آن کاهش آبداری میوه‌های گوجه‌فرنگی در سطوح بالای کادمیوم نسبت داد.

تلفیح کودهای زیستی تعداد میوه در گیاه گوجه‌فرنگی را بطور معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد افزایش داد (جدول 2). بیشترین تعداد میوه از کاربرد کودهای زیستی M₂ و کمترین تعداد میوه از تیمار فاقد کود زیستی (M₀) بدست آمد (شکل 2الف). کود زیستی M₂ تعداد میوه گیاه گوجه‌فرنگی را به میزان 67/8 درصد افزایش داد. سطوح آلودگی کادمیوم تعداد میوه گیاه را بطور معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد کاهش داد (جدول 2). بیشترین تعداد میوه از سطح بدون کاربرد کادمیوم (شاهد) و کمترین تعداد میوه از سطح 80 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بدست آمد (شکل 2ب). سمیت بالای کادمیوم در سطح 80 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک تا حدی بوده است که گیاه توانایی ادامه فرایندهای جذب و انتقال عناصر غذایی از ریشه به اندام‌های هوایی را از دست داده است و بدین ترتیب توانی برای تولید میوه در قلمه‌های گوجه‌فرنگی باقی نمانده

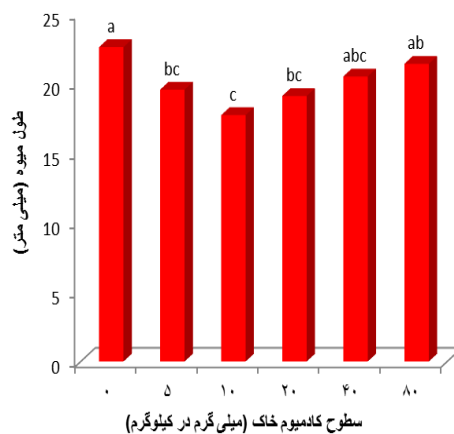
کودهای زیستی بر روی قطر میوه نیز داشته‌اند به حدی نباشد که سبب معنی‌داری آن شود. کاربرد سطوح کادمیوم میزان قطر میوه گیاه گوجه‌فرنگی را بطور معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد کاهش داد (جدول 2). بیشترین میزان قطر میوه از سطح 10 میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و کمترین میزان قطر میوه از سطح 80 میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم بدست آمد (شکل 4). اثر متقابل سطوح کود زیستی و کادمیوم بر میزان قطر میوه در گیاه گوجه‌فرنگی معنی‌دار نبود (جدول 2).

اثر متقابل کود زیستی و سطوح کادمیوم در سطح احتمال 1 درصد بر میزان طول میوه گیاه گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود (جدول 2). بیشترین میزان طول میوه از تیمار 5 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کود زیستی M₁ و کمترین میزان طول میوه از تیمار 80 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کود زیستی (M₅) حاصل شد (جدول 3).

کاربرد کود زیستی بر میزان قطر میوه گیاه گوجه‌فرنگی معنی‌دار نبود (جدول 2). همان‌طور که گفته شد اندازه‌های تقریباً یکسان میوه‌های گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف کودهای زیستی باعث شده تا تأثیری که



شکل 2- اثرات سطوح کود زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر تعداد میوه در گیاه گوجه‌فرنگی

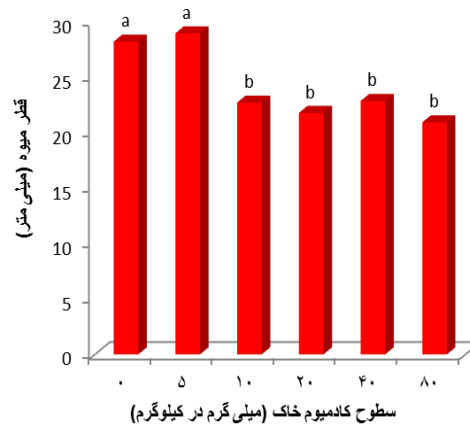


شکل 3- اثرات سطوح کادمیوم خاک بر طول میوه در گیاه گوجه‌فرنگی

جدول 3- اثرات متقابل سطوح مختلف کادمیوم و تیمارهای کود زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه گوجه‌فرنگی

| سطوح کود زیستی | سطوح کادمیوم خاک | عملکرد | طول میوه | تعداد برگ | شاخص کلروفیل | سطح برگ |
|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | (میلی گرم بر کیلوگرم) | (گرم در کلدان) | (میلی متر) | | | (ساتی متر مربع) |
| M ₀ | Cd ₀ | 126/9 ^{f-j} | 21/04 ^{a-g} | 33/6 ^{i-l} | 39/9 ^{b-f} | 87/08 ^{g-i} |
| | Cd ₅ | 134/4 ^{f-j} | 19/4 ^{a-g} | 40/7 ^{g-l} | 35/4 ^{c-g} | 110/2 ^{f-h} |
| | Cd ₁₀ | 102/4 ^{h-j} | 13/4 ^{c-g} | 37/3 ^{h-l} | 31/4 ^{e-h} | 90/2 ^{g-i} |
| | Cd ₂₀ | 97/1 ^{h-j} | 17/1 ^{d-h} | 29/6 ^{j-l} | 27/1 ^{g-k} | 78/9 ^{hi} |
| | Cd ₄₀ | 53/1 ^j | 14/1 ^{g-h} | 32/2 ^{i-l} | 23/1 ^{i-k} | 69/3 ^{hi} |
| | Cd ₈₀ | 46/5 ^j | 17/5 ^{d-h} | 22/2 ^l | 19/5 ^{jk} | 48/06 ⁱ |
| M ₁ | Cd ₀ | 132/8 ^{f-j} | 20/08 ^{a-g} | 68/4 ^{d-k} | 45/8 ^{a-c} | 142/6 ^{e-h} |
| | Cd ₅ | 140/08 ^{f-j} | 27/4 ^a | 99/08 ^{b-e} | 37 ^{b-g} | 181/4 ^{c-h} |
| | Cd ₁₀ | 107/4 ^{h-j} | 23/8 ^{a-e} | 82/4 ^{b-g} | 28/4 ^{f-j} | 193/2 ^{c-h} |
| | Cd ₂₀ | 106/8 ^{h-j} | 18/9 ^{a-g} | 77/04 ^{b-i} | 36/8 ^{b-g} | 161/4 ^{d-h} |
| | Cd ₄₀ | 69/9 ^{ij} | 20/3 ^{a-g} | 65/9 ^{d-l} | 35/9 ^{c-h} | 70/4 ^{h-i} |
| | Cd ₈₀ | 57/9 ^j | 21/9 ^{a-g} | 34/5 ^{i-l} | 23/9 ^{i-j} | 95/1 ^{g-i} |
| M ₂ | Cd ₀ | 426/8 ^{ab} | 21/8 ^{a-g} | 114/4 ^b | 43/8 ^{a-d} | 316/3 ^b |
| | Cd ₅ | 457/6 ^a | 21/6 ^{a-g} | 96 ^{b-e} | 37/4 ^{b-g} | 212/7 ^{b-g} |
| | Cd ₁₀ | 343/2 ^{b-d} | 15/2 ^{e-h} | 64 ^{e-l} | 37/2 ^{b-g} | 186/2 ^{e-g} |
| | Cd ₂₀ | 297/4 ^{c-e} | 21/4 ^{a-g} | 76/6 ^{e-h} | 35/4 ^{c-g} | 117/7 ^{f-i} |
| | Cd ₄₀ | 228/8 ^{e-g} | 18/8 ^{b-h} | 47/3 ^{f-l} | 31/8 ^{e-g} | 126/2 ^{f-h} |
| | Cd ₈₀ | 136/9 ^{f-j} | 23/1 ^{a-f} | 34/6 ^{i-l} | 23/9 ^{i-k} | 99/4 ^{g-i} |
| M ₃ | Cd ₀ | 392/5 ^{a-c} | 21/5 ^{a-g} | 108/6 ^{b-d} | 50/5 ^a | 477/4 ^a |
| | Cd ₅ | 389 ^{a-c} | 13/5 ^{gh} | 82/6 ^{b-g} | 35/1 ^{e-h} | 265/9 ^{b-e} |
| | Cd ₁₀ | 204/9 ^{e-h} | 19/9 ^{a-g} | 79/6 ^{b-h} | 33/9 ^{e-h} | 148/9 ^{e-h} |
| | Cd ₂₀ | 136/6 ^{f-j} | 20/6 ^{a-g} | 60/6 ^{e-l} | 42/6 ^{a-e} | 161/3 ^{d-h} |
| | Cd ₄₀ | 168/6 ^{f-j} | 23/6 ^{a-f} | 58/3 ^{e-l} | 39/6 ^{b-e} | 143/3 ^{f-j} |
| | Cd ₈₀ | 102/4 ^{h-j} | 25/4 ^{a-d} | 58/6 ^{e-l} | 17/4 ^k | 67/5 ^{hi} |
| M ₄ | Cd ₀ | 426/8 ^{ab} | 24/8 ^{a-d} | 191 ^a | 47 ^{ab} | 563/5 ^a |
| | Cd ₅ | 138/9 ^{f-j} | 17/09 ^{d-h} | 113/3 ^{bc} | 36/9 ^{b-g} | 291/9 ^{bc} |
| | Cd ₁₀ | 110/2 ^{g-j} | 19/2 ^{a-g} | 86/4 ^{b-f} | 39/2 ^{b-f} | 188/5 ^{c-h} |
| | Cd ₂₀ | 102/6 ^{h-j} | 17 ^{d-h} | 81/3 ^{b-h} | 30/6 ^{f-i} | 187/4 ^{c-h} |
| | Cd ₄₀ | 94/5 ^{h-j} | 26/5 ^{ab} | 59 ^{e-l} | 33/5 ^{d-i} | 151/4 ^{e-h} |
| | Cd ₈₀ | 62/7 ^j | 14/7 ^{f-h} | 70 ^{e-h} | 30/7 ^{f-i} | 125/7 ^{f-h} |
| M ₅ | Cd ₀ | 190/8 ^{e-i} | 25/8 ^{a-c} | 90 ^{b-f} | 43/8 ^{a-d} | 278/8 ^{b-d} |
| | Cd ₅ | 240/2 ^{d-f} | 18/2 ^{b-h} | 68/4 ^{e-k} | 36/2 ^{b-g} | 235/2 ^{b-f} |
| | Cd ₁₀ | 98/9 ^{h-j} | 10/9 ^h | 70/8 ^{b-h} | 24/9 ^{h-k} | 126/9 ^{f-h} |
| | Cd ₂₀ | 133/7 ^{f-j} | 19/7 ^{a-g} | 50/3 ^{f-l} | 31/7 ^{e-i} | 146/7 ^{e-h} |
| | Cd ₄₀ | 98/9 ^{h-j} | 19/9 ^{a-g} | 50/3 ^{f-l} | 38/9 ^{b-f} | 135/9 ^{f-h} |
| | Cd ₈₀ | 112/8 ^{g-j} | 26/3 ^{ab} | 25/08 ^{kl} | 24/8 ^{h-k} | 88/3 ^{g-i} |

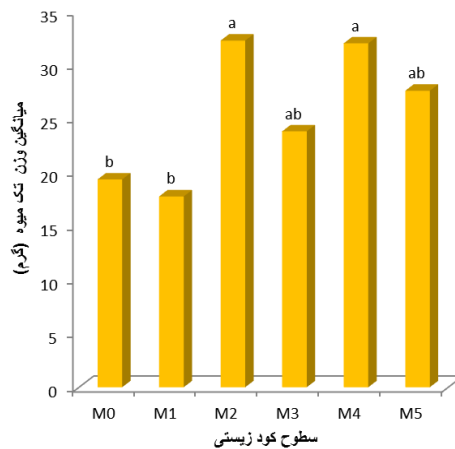
* در هر ستون اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری آزمون دانکن در سطح 5% اختلاف معنی دار ندارند.



شکل 4- اثرات سطوح کادمیوم خاک بر قطر میوه در گیاه گوجه‌فرنگی

اینکه تعداد میوه‌ها در سطوح دارای غلظت کم کادمیوم بیشتر بوده و در غلظت‌های بالای کادمیوم تعداد میوه‌ها بسیار کاهش یافته است لذا میانگین وزن میوه‌ها کاهش معنی‌داری با افزایش سطوح کادمیوم نداشته‌اند و همین امر سبب عدم معنی‌داری تأثیر سطوح کادمیوم بر میانگین وزن میوه‌ها گشته است. اثر متقابل کاربرد سطوح کود زیستی و کادمیوم بر میانگین وزن میوه‌ها در گیاه گوجه‌فرنگی معنی‌دار نبود (جدول 1).

تأثیر کاربرد کودهای زیستی بر میانگین وزن میوه‌ها در گیاه گوجه‌فرنگی در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار بود (جدول 1). بطوری که بیشترین میانگین وزن میوه‌ها از کاربرد کود زیستی M_2 و کمترین میزان آن از تیمار کود زیستی M_1 بدست آمد (شکل 5). کود زیستی M_2 میانگین وزن میوه‌ها را در گیاه گوجه‌فرنگی به میزان 81/6 درصد افزایش داد. کاربرد سطوح آلودگی خاک بر میانگین وزن میوه‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول 1). با توجه به



شکل 5- اثرات سطوح کود زیستی بر میانگین وزن میوه‌ها در گیاه گوجه‌فرنگی

22/7 درصد افزایش داد. سادات و همکاران (1389) بیان کردند تلقیح مشترک قارچ و باکتری میزان کلروفیل گندم را به طور معنی‌داری نسبت به تلقیح مجزای قارچ افزایش داد. در پژوهشی تاسانگ و مائوم (1999) گزارش کردند که گیاه *Strophostyles helvala* تلقیح شده با قارچ گلموس موسه به طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی و ریشه و

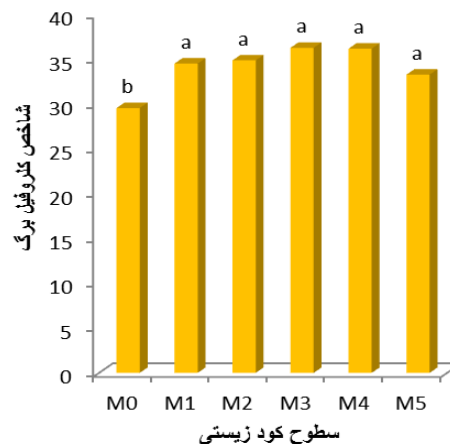
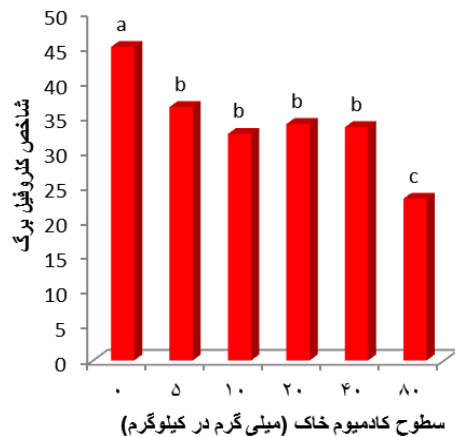
اثر کاربرد کود زیستی بر شاخص کلروفیل برگ گیاه گوجه‌فرنگی در سطح 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 2). بیشترین میزان شاخص کلروفیل از تیمار کود زیستی M_4 و کمترین میزان آن از تیمار بدون تلقیح یا (شاهد) بدست آمد (شکل 6 الف). کود زیستی M_4 شاخص کلروفیل برگ را در گیاه گوجه‌فرنگی به میزان

کلروفیل برگ از سطح شاهد (بدون کاربرد کادمیوم) و کمترین میزان آن از سطح 80 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بدست آمد (شکل 6 ب). بررسی‌ها نشان داده است که کادمیوم سبب کاهش مقدار کلروفیل کل، کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها در گیاهان عالی می‌شود (سینگ و میر، 1998).

اثر متقابل کود زیستی و سطوح کادمیوم نیز در سطح احتمال 5 درصد بر شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار بود (جدول 2). بیشترین مقدار شاخص کلروفیل برگ از تیمار صفر میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کود زیستی M_3 و کمترین مقدار شاخص کلروفیل از تیمار 80 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کود زیستی (M_0) حاصل شد (جدول 3). با افزایش سطوح کادمیوم جذب عناصر غذایی بکار رفته در ساختمان کلروفیل کاهش یافته و آثار زردی و خشکی در گیاه پدیدار می‌گردد. به همین دلیل کمترین میزان شاخص کلروفیل در اثر بالاترین سطح آلودگی خاک و تیمار شاهد (بدون تلقیح) کود زیستی مشاهده گردید.

کلروفیل بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی داشتند. دمیر (2004) نشان داد که هم‌زیستی میکوریزی سبب افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های گیاه فلفل می‌شود. نتایج به دست آمده با نتایج آقابابایی و رئیسی (1390) که گزارش کردند هم‌زیستی میکوریزی باعث افزایش 20 درصدی غلظت کلروفیل کل در برگ‌های گیاه بادام گردید، مطابقت داشت.

همچنین آنها بیان کردند افزایش میزان کلروفیل برگ‌ها در اثر هم‌زیستی میکوریزی می‌تواند به دلیل افزایش جذب فسفر از خاک توسط این قارچ‌ها باشد. در تحقیق دیگری آقابابایی و رئیسی (1388) بیان کردند قارچ‌های میکوریزی با افزایش غلظت فسفر در گیاه تا 40% باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های بادام شدند. جهان و همکاران (1386) اظهار داشتند که تلقیح بذور ذرت با قارچ میکوریز، انواع باکتری‌ها از جمله ازتوباکتر و آزوسپریلوم شاخص کلروفیل را بصورت معنی‌داری افزایش می‌دهد. کاربرد سطوح کادمیوم شاخص کلروفیل برگ در گیاه گوجه‌فرنگی را بطور معنی‌داری در سطح 1 درصد کاهش داد (جدول 2). بیشترین میزان شاخص

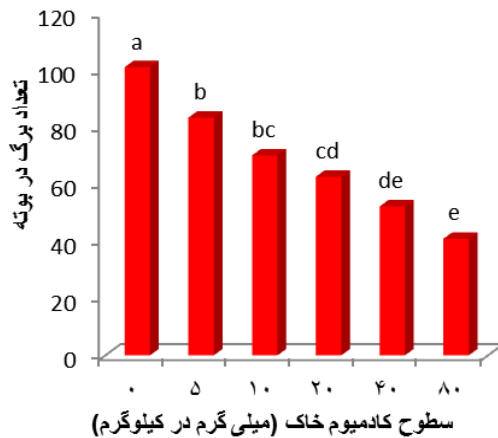


شکل 6 - اثرات سطوح کود زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر شاخص کلروفیل برگ در گیاه گوجه‌فرنگی

معنی‌دار گزارش کردند، مطابقت نداشت. اثر آلودگی خاک به کادمیوم بر تعداد برگ در بوته گیاه در سطح 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 1). بیشترین تعداد برگ از سطح صفر کادمیوم (شاهد) و کمترین تعداد برگ از سطح 80 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بدست آمد (شکل 7 ب). یعقوب‌زاده و همکاران (1390) همچنین در تحقیق خود نشان دادند تعداد برگ در بوته با افزایش سطح کادمیوم

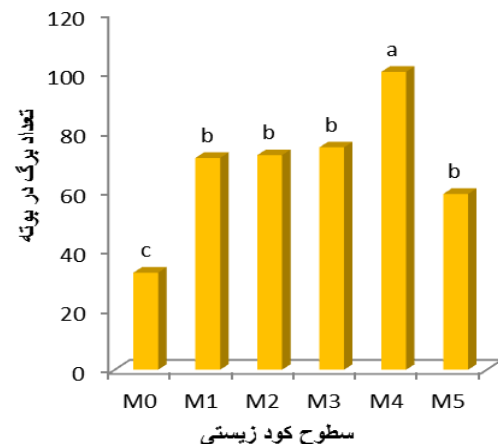
تأثیر تلقیح کودهای زیستی بر تعداد برگ در بوته گیاه گوجه‌فرنگی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 1). بیشترین تعداد برگ در بوته در اثر کاربرد کود زیستی (M_4) و کمترین تعداد آن از تیمار (M_0) یا بدون تلقیح بدست آمد (شکل 7 الف). نتایج این آزمایش با نتایج حمیدی و همکاران (1389) که اثر تلقیح گیاه ذرت با ازتوباکتر و آزوسپریلوم را بر تعداد برگ غیر

زیستی M_0 (تیمار شاهد) حاصل شد (جدول 3). حضور چهار نوع کود زیستی در کنار یکدیگر در ترکیب کودی M_4 سبب افزایش جذب عناصر مغذی شده و باعث حاصل شدن بیشترین تعداد برگ توسط این ترکیب کودی همراه با سطح بدون کاربرد کادمیوم (شاهد) گردید.



شکل 7- اثرات سطوح کود زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر تعداد برگ در گیاه گوجه‌فرنگی

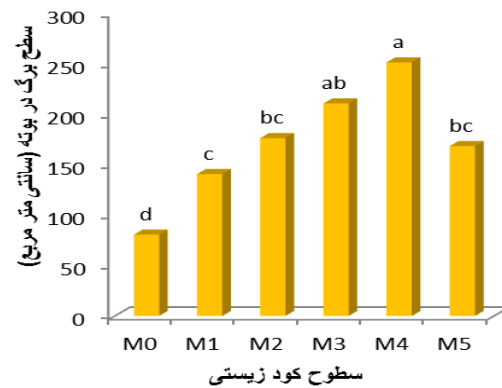
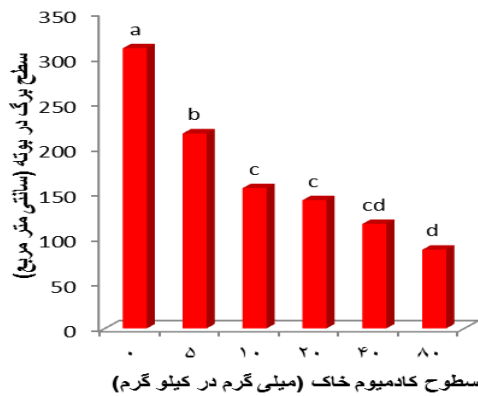
خاک روند کاهشی داشت. اثر متقابل کودهای زیستی و سطوح کادمیوم بر تعداد برگ گیاه گوجه‌فرنگی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 1). بیشترین تعداد برگ از تیمار صفر میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک (سطح شاهد) و کود زیستی M_4 و کمترین تعداد برگ از تیمار 80 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کود



از سطح صفر میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و کمترین میزان آن از سطح 80 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بدست آمد (شکل 8 ب). اثر متقابل سطوح کادمیوم و کودهای زیستی بر میزان سطح برگ در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 1). بیشترین میزان سطح برگ از تیمار کود زیستی M_4 و سطح صفر کادمیوم و کمترین میزان سطح برگ از تیمار بدون کود زیستی (M_0) و سطح 80 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بدست آمد (جدول 3). همانطور که مشاهده می‌شود تأثیر بیشتر تیمار کودی زیستی M_4 بر افزایش تعداد برگ، سبب حاصل شدن بیشترین میزان سطح برگ توسط همین تیمار کود زیستی گردیده است. سمیت کادمیوم در اثر افزایش این عنصر به محیط رشد گیاه به شکل‌های مختلف دیده شده است که شامل کاهش عملکرد، کاهش رشد ریشه و برگ، بازدارندگی فعالیت برخی آنزیم‌ها، تولید موتازن‌ها، کاهش سطح برگ و ماده خشک گیاه می‌باشد (استاپلر، 1991).

کاربرد کودهای زیستی بر میزان سطح برگ در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 1). بیشترین میزان سطح برگ در تیمار کود زیستی M_4 و کمترین میزان آن در تیمار بدون تلقیح (M_0) مشاهده شد (شکل 8 الف). گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر اینکه قارچ میکوریز سطح برگ را مستقیماً افزایش نمی‌دهد بلکه روی دوام سطح برگ و وزن مخصوص برگ تأثیر می‌گذارد (جهان و همکاران، 1386). با این حال تاکور و پانوار (1997) در گیاه لوبیا، پولاتون و همکاران (2002) در گوجه‌فرنگی و مهربان و همکاران (2009) در گیاه سورگوم اظهار داشتند که کاربرد قارچ میکوریزی به ترتیب سبب افزایش سطح برگ در گیاه لوبیا، گوجه‌فرنگی و سورگوم می‌گردد.

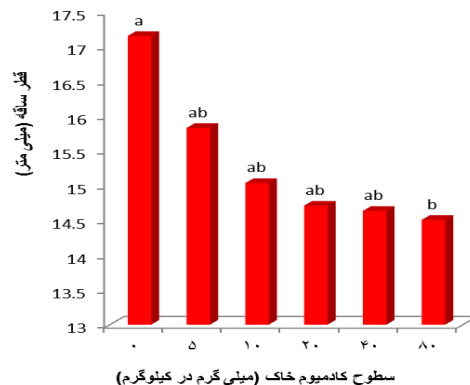
خرمدل و همکاران (1387) گزارش کردند حداکثر و حداقل شاخص سطح برگ 82 روز پس از سبز شدن به ترتیب در تیمار حاوی آزوسپیریلوم + قارچ میکوریز و شاهد مشاهده شد و شاخص سطح برگ این تیمار نسبت به شاهد 68/2 درصد افزایش داشت. اثر سطوح کادمیوم بر میزان سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 1). بیشترین میزان سطح برگ



شکل 8- اثرات سطوح کود زیستی (الف) و کادمیوم (ب) بر سطح برگ در بوته در گیاه گوجه‌فرنگی

سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار بود (جدول 1). بیشترین میزان قطر ساقه از سطح شاهد (بدون کاربرد کادمیوم) و کمترین میزان آن از سطح 80 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بدست آمد (شکل 9). اثر متقابل سطوح آلودگی خاک به کادمیوم و کاربرد سطوح کودهای زیستی بر میزان قطر ساقه معنی‌دار نبود (جدول 1).

تلقیح کودهای زیستی بر میزان قطر ساقه گیاه گوجه‌فرنگی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول 1). نتایج به دست آمده با نتایج نیتو و فرانکبرگر (1991) که افزایش 1/46 برابری قطر ساقه ذرت در اثر کاربرد باکتری ازتوباکتر کروکوکوم را مشاهده کردند، مطابقت نداشت. آلودگی خاک به کادمیوم بر میزان قطر ساقه گیاه گوجه‌فرنگی در



شکل 9- اثرات سطوح کادمیوم خاک بر قطر ساقه در گیاه گوجه‌فرنگی

افزایش سطوح کادمیوم خاک کاهش معنی‌داری نشان دادند. سطح و تعداد برگ در بوته، تعداد میوه، شاخص کلروفیل برگ و قطر ساقه گیاه که از اجزای با اهمیت عملکرد گیاه می‌باشند، در اثر تلقیح با کودهای زیستی افزایش معنی‌داری نشان دادند. همین‌طور عملکرد گوجه-فرنگی نیز در اثر کاربرد کودهای زیستی نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) افزایش معنی‌داری داشت. نتایج این

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، غلظت‌های بالای کادمیوم برای گیاه گوجه‌فرنگی سمی بود و همه شاخص‌های رشد مورد مطالعه از جمله: تعداد و سطح برگ، شاخص کلروفیل برگ، طول و قطر میوه، تعداد و میانگین وزن میوه‌ها و در نتیجه عملکرد گیاه با

پژوهش نشان داد که با افزایش میزان آلودگی خاک، میزان کاهش پارامترهای مورد اندازه‌گیری نیز بیشتر شد. در پژوهش حاضر کودهای زیستی بصورت مصرف خاکی (Soil Inoculation) مورد استفاده قرار گرفتند، فلذا نتایج بدست آمده مربوط به این روش کاربرد بوده و مصرف آنها با روش‌های دیگر ممکن است در نتایج اثر بگذارد.

فهرست منابع:

1. آقابابایی، ف. و رئیس، ف. 1390. اثر همزیستی میکوریزایی بر میزان کلروفیل، فتوسنتز و راندمان مصرف آب در چهار ژنوتیپ بادام در استان چهارمحال و بختیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. 15 (56): 91-101.
2. امیر آبادی، م.، سیفی، م.، رجالی، ف. و اردکانی، م. ر. 1391. بررسی غلظت عناصر معدنی پرمصرف در ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*) (رقم سینگل کراس 704) تحت تأثیر تلقیح قارچ میکوریزی و *Azotobacter chroococcum* در سطوح مختلف نیتروژن. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. 4 (1): 33-40.
3. امیر آبادی، م.، اردکانی، م.، رجالی، ف. و محسن، ب. 1385. تعیین تأثیر کارایی میکوریزا و ازتوباکتر تحت سطوح مختلف فسفر بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت علوفه ای (704). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بجنورد. ص: 9-18.
4. اردکانی، م. 1379. بررسی کارایی کودهای بیولوژیک در زراعت پایدار گندم. رساله دکتری دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات. ص: 85-89.
5. سادات، ع.، ثوابقی، غ.، رجالی، ف.، فرحبخش، م.، خواوازی، ک. و شیرمردی، م. 1389. تأثیر چند نوع قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد و عملکرد دو رقم گندم در یک خاک شور. نشریه آب و خاک علوم و صنایع کشاورزی. 24 (1): 53-62.
6. جهان، م.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. 1386. رشد، فتوسنتز و عملکرد ذرت در پاسخ به تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری‌های آزادی تثبیت کننده نیتروژن در نظام‌های زراعی رایج اکولوژیک. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. 5 (1): 53-69.
7. حمیدی، آ. اصغرزاده، ا.، چوکان، ر. دهقان شعار، م. قلاوند، ا. و ملکوتی، م. ج. 1389. تأثیر کاربرد باکتری‌های افزایشنده رشد گیاه (PGPR) بر تسهیم ماده خشک و برخی ویژگی‌های رشد ذرت در شرایط گلخانه. مجله پژوهش‌های علوم خاک و آب. 24 (1): 55-67.
8. خرمدل، س.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. و قربانی، ر. 1387. اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر شاخص‌های رشدی سیاهدانه. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، 6 (2): 285-293.
9. دردی پور، ا. فرزانی راد، ا. و فرزانش، م. ح. 1389. تأثیر *Azospirillum lipoferum* و *Azotobacter chroococum* بر آزادسازی پتاسیم خاک در کشت گلدانی سویا (*Glycine max var. Williams*) نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. 2 (4): 593-599.
10. یعقوب زاده، ف. ارادتمند، د. و یوسفی راد، م. 1390. مقایسه دو گیاه آفتابگردان و ذرت در گیاه پالایی کادمیوم از خاک. اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی دانشگاه زنجان، 19 الی 21 شهریور 1390. ص: 1-4.
11. Adewole, M. B., Awotoye, O. O., Ohiembor, M. O. and Salami, A. O. 2010. Influence of mycorrhizal fungi on phytoremediation potential and yield of sunflower in Cd and Pb polluted soils. *Journal of Agricultural Sciences*, 55: 17-28.
12. Azcon, R. and El-Atrash, F. 1997. Influence of Arbuscular mycorrhizae and phosphorus fertilization on growth, nodulation and fixation (N15) in *Medicago sativa* at four salinity levels. *Biology and Fertility of Soils*, 24: 81-86.

13. Basu, M., Bhadoria, P.B.S. and Mahapatra, S.C. 2008. Growth, nitrogen fixation, yield and kernel quality of peanut in response to lime, organic and inorganic fertilizer levels. *Bioresource Technology*, 99: 4675-4683
14. Behl, R. K., Narula, N., Vasudeva, M., Sato, A., Shinano, T. and Osaki, M. 2006. Harnessing wheat genotype x *Azotobacter* strain interactions for sustainable wheat production in semi-arid tropics. *Tropics*, 15(1): 123-133.
15. Boruvka, L., Vacak, O. and Jeilicka, J. 2005. Principle component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soil. *Geoderma*, 28: 289-300.
16. Benavides, M. Gallego, P. S. M. and Tomaro., M. L. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1): 21-34.
17. Demir, S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turk. Journal of Biology*, 28:85-90.
18. Fagaria, N. K. 2005. Soil fertility and plant nutrition research under controlled conditions: basic principle and methodology. *Journal of Plant Nutrition*, 28(11): 1975-1999.
19. Gupta, M. L., Prasad, A., Ram, M. and Kumar, S. 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal 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(2): 77-79.
20. Khan, M. S. and Zaidi, A. 2007. Synergistic effects of the inoculation with plant growth promoting rhizobacteria and an Arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat. *Agriculture and Forestry*, 31(6): 355-362.
21. Mehraban, A., Vazan, S. Naroui-Rad, M. R. and Ardakany, M. R. 2009. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza (VAM) on yield of sorghum cultivars. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7:461- 463.
22. Nieto, K. F. and Frankenberger, W. T. 1991. Influence of adenine, isopentyl alcohol and *Azotobacter chroococcum* on the vegetative growth of *Zea mays*. *Plant Soil*, 135:213- 221.
23. Premsekhar, M. and Rajashree, V. 2009. Influence of bio-fertilizers on the growth characters, yield attributes, yield and quality of tomato. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 3(1): 68-70.
24. Raja, A. R., Shah, K. H., Aslam, M. and Memon, M. Y. 2002. Response of phosphobacterial and mycorrhiza inoculation in wheat. *Asian Journal of Plant Science*, 4: 322-323.
25. Rudresha, D. L., Shivaprakasha, M. K. and Prasad, R. D. 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium L.*). *Applied Soil Ecology*, 28:139-146.
26. Samman, S., Chow, J. W. Y., Foster, M. J., Ahmad, Z. I., Phuyal, J. L. and Petocz, P. 2008. Fatty acid composition of edible oils derived from certified organic and conventional agricultural methods. *Food Chemistry*, 109: 670-674.
27. Sanhita-Gupta, D., Dilp, K., Arora, K. D. and Srivastava, K. 1995. Growth promotion of tomato plants by rhizobacteria and imposition of energy stress on *rhizoctonia solani*. *Soil Biology Biochemistry*, 27:1051-1058.
28. Singh, B. and Myhr, K. 1998. Cadmium uptake by barley as affected by Cd sources pH levels. *Geoderma*, 84: 185-194.
29. Songsri, P., Jogloy, S., Holbrook, C. C., Kesmala, T. and N. Vorasoot., 2009. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. *Agricultural Water Management*, 96: 790-798.

30. Stoepler, M. 1991. Cadmium , in metals and their compounds in the environment. Life Science, 3: 219-232.
31. Tasang, A. and Maum, M. A. 1999. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastal foredunes. University of Waterloo, Canada. Plant Ecology, 144:159–166.
32. Thakur, A. k. and Panwar, J. D. S. 1997. Responce of Rhizobium-vesicular arbuscular mycorrhizal symbionts on photosynthesis, nitrogen metabolism and sucrose translocation in green gram (*phaseolus radiatus*). Indian Journal of Agricultural Sciences, 67 (6):245-248.
33. Vyas, P., Rahi, P. and Gulati, A. 2009. Stress tolerance and genetic variability of phosphate solubilizing fluorescent *Pseudomonas* from the cold deserts of the trans-Himalayas. Microbial Ecology, 58:425-434.
34. Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G. and Cheung, K. C. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: greenhouse trial. Geoderma, 125: 155-166.
35. Zaied, K. A., Abd El-Hady, A. H., Sharief, A. E., Ashour, E. H., Nassef, M. A. 2007. Effect of horizontal DNA transfer in *Azospirillum* and *Azotobacter* strains on biological and biochemical traits of non-legume plants. Journal of Applied Sciences Research, 3(1): 73-86.