

اثر سطوح ورمی کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیک و غلظت عناصر در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L. cv. Pirouz) تحت شرایط تنش آبی

سعید رضا حسین زاده^۱، حمزه امیری^{۲*}، احمد اسماعیلی^۳

۱. دانش‌آموخته دکتری، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲. دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۱

چکیده

کود آلی ورمی کمپوست می‌تواند نقش مهمی در رشد و تغذیه گیاهان ایفا کند. استفاده از آن می‌تواند اثرات منفی ناشی از تنش‌های محیطی را کاهش دهد. در این راستا، به منظور بررسی اثر کود ورمی کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیک و غلظت عناصر برگ و ریشه گیاه نخود (رقم پیروز) در شرایط تنش کم آبی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا بهبهان به اجراء درآمد. دو فاکتور مورد آزمایش عبارت بودند: کود آلی ورمی کمپوست با ۴ سطح شامل شاهد (بدون کاربرد ورمی کمپوست)، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و عامل کم آبی شامل بدون تنش کم آبی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش کم آبی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش کم آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) اعمال شد. نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش، کود ورمی کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار تمامی صفات مورد بررسی شد. در شرایط تنش ملایم، کاربرد ورمی کمپوست به صورت معنی‌داری ارتفاع بوته، تعداد برگ و غلاف در گیاه، وزن خشک ریشه، طول، سطح و حجم ریشه، غلظت پتاسیم و کلسیم در برگ و ریشه را افزایش داد. در شرایط تنش شدید، افزودن ورمی کمپوست به خاک منجر به افزایش معنی‌دار تعداد برگ و غلاف در گیاه، قطر ریشه، غلظت پتاسیم و کلسیم در برگ و ریشه شد. بر طبق نتایج این مطالعه، استفاده از مخلوط کود ورمی کمپوست و خاک به منظور بهبود شرایط تنش کم آبی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، خصوصیات رشدی، عناصر مغذی، کودهای آلی.

مقدمه

نخود زراعی در میان کلیه محصولات دانه‌ای جهان، رتبه پانزدهم را به خود اختصاص داده است (Guns et al., 2006). این گیاه، در بین بقولات، پس از لوبیا، بیشترین سطح زیر کشت جهانی را دارا بوده (Millan et al., 2006) و در دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی از نواحی نیمه‌گرمسیری تا مناطق مدیترانه‌ای غرب آسیا، شمال آفریقا، جنوب و جنوب غربی اروپا کشت می‌شود (Ganjeali et al., 2011).

خصوصیاتی همچون توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی عمیق و استفاده مؤثر از نزولات جوی سبب شده که این گیاه نقش مهمی در ثبات تولید نظام‌های زراعی ایفا کند (Hosseinzadeh et al., 2011). نخود یکی از مهم‌ترین منابع پروتئینی در رژیم غذایی بسیاری از کشورهای در حال توسعه است و در ایران پس از لوبیا مهم‌ترین محصول حبوبات است (Ganjeali et al., 2011). یکی از مهم‌ترین مشکلات تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشکل کمبود آب و نزولات جوی است (Oweis et al., 2005). با وجود اینکه تحمل نخود به تنش خشکی بیش از سایر حبوبات است ولی خشکی از مهم‌ترین عوامل کاهش خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد در این گیاه محسوب می‌شود (Porsa et al., 2001).

نخود زراعی در میان کلیه محصولات دانه‌ای جهان، رتبه پانزدهم را به خود اختصاص داده است (Guns et al., 2006). این گیاه، در بین بقولات، پس از لوبیا، بیشترین سطح زیر کشت جهانی را دارا بوده (Millan et al., 2006) و در دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی از نواحی نیمه‌گرمسیری تا مناطق مدیترانه‌ای غرب آسیا، شمال آفریقا، جنوب و جنوب غربی اروپا کشت می‌شود (Ganjeali et al., 2011). خصوصیاتی همچون توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی عمیق و استفاده مؤثر از نزولات جوی سبب شده که این گیاه نقش مهمی در ثبات تولید نظام‌های زراعی ایفا کند

خصوصیات مورفولوژیکی در محیط حاوی ورمی‌کمپوست، وجود مواد مغذی به‌ویژه نیتروژن در این کود گزارش شد (Samiran et al., 2010). برخی مطالعات در زمینه برهم-کنش استفاده از کود ورمی‌کمپوست و تنش شوری نشان داد که این کود آلی می‌تواند اثرات زیان‌آور تنش شوری را در گیاه آفتاب‌گردان کاهش دهد و در نهایت منجر به افزایش رشد و تولید محصول شود (Rafiq and Nusrat, 2009).

با توجه به ارزش غذایی و اقتصادی گیاه نخود که نقش اصلی در تأمین پروتئین گیاهی رژیم غذایی مردم دارد و نظر به اینکه یکی از مشکلات عمده کشاورزی در ایران کمبود آب بوده و مهم‌ترین اثر تنش کمبود آب کاهش معنی‌دار شاخص‌های مورفولوژیکی و عملکردی در گیاهان است. هدف از انجام این تحقیق تعیین تأثیر کود آلی ورمی‌کمپوست در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش کمبود آب بر خصوصیات مورفولوژیک و غلظت عناصر در گیاه نخود بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش کم‌آبی بر خصوصیات مورفولوژیک و غلظت عناصر گیاه نخود، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه در دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان در سال ۱۳۹۳ انجام شد. تیمارهای موردبررسی شامل مخلوط ورمی‌کمپوست و خاک در ۴ سطح ۱۰۰:۰، ۹۰:۱۰، ۸۰:۲۰ و ۷۰:۳۰ به ترتیب معادل ۲۵۰:۲۵۰، ۲۵۰:۲۵۰، ۲۵۰:۵۰۰ و ۲۵۰:۷۵۰ گرم (خصوصیات کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۱ ذکر شده است) و تیمار تنش آبی شامل شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش آبی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) بودند. سطوح تنش آبی بر اساس آزمایش‌های مقدماتی و نتایج سایر محققان انتخاب شد (Ganjeali et al., 2011; Rahbarian et al., 2011).

هر گلدان با گنجایش ۲/۵ کیلوگرم خاک به‌عنوان واحد آزمایشی در نظر گرفته شد و با آماده‌سازی نسبت‌های مختلف کود و خاک کاشت بذرهاى نخود انجام شد. بذرهاى نخود (رقم پیروز) به مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده شده تا جوانه-زنی ابتدایی صورت گیرد و سپس در چهار قسمت از گلدان کشت شدند که پس از سبز شدن به ۳ عدد گیاهچه در هر گلدان کاهش یافت. گلدان‌ها در اتاقک رشد در شرایط

(Ganjeali and Nezami, 2008). پژوهشگران متعددی گزارش کردند که تنش خشکی منجر به کاهش شاخص‌های مورفولوژیکی از قبیل ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، قطر و حجم ریشه می‌شود (Porsa et al., 2001; Zaferanieh et al., 2010;) (Ganjeali et al., 2011).

تولید ورمی‌کمپوست یک روش جدید برای تبدیل ضایعات آلی به مواد قابل‌استفاده است که در این فرآیند از گونه‌های معین کرم خاکی مانند *Eisenia fetida* جهت تثبیت ضایعات آلی استفاده می‌شود (Sallaku et al., 2009). بعضی از گونه‌های کرم خاکی به‌طور خاص در مواد آلی در حال فساد زندگی می‌کنند و می‌توانند این مواد را به ترکیباتی غنی از مواد مغذی قابل‌دسترسی، به‌عنوان محیط حمایت‌کننده خاک برای رشد گیاه، تبدیل نمایند (Beyk Khurmizi et al., 2010). ورمی‌کمپوست از خلل و فرج زیاد، ظرفیت بالای تهویه، زه‌کشی مناسب و ظرفیت نگهداری آب بالایی برخوردار است (Atiyeh et al., 2001). بالا بودن میزان عناصر غذایی مثل ازت، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در مقایسه با سایر کودهای آلی و به‌علاوه دارا بودن عناصر میکرو مانند آهن، روی، مس و منگنز از دیگر مزایای ورمی-کمپوست است (Hosseinzadeh et al., 2016). از ویژگی‌های دیگر ورمی‌کمپوست مواد هومیکی است که از مدفوع کرم خاکی در حال تجزیه شدن ناشی می‌شود. این مواد دارای اثرات مشابه تنظیم‌کننده‌های رشد و هورمون‌ها است (Bowden et al., 2010). پژوهش‌های متعدد نشان داده است که اصلاح خاک با مواد آلی، به دلیل دارا بودن خصوصیات مطلوبی نظیر قابلیت نگهداری بالای آب، ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش جذب عناصر غذایی و سایر مشخصه‌های سودمند فیزیکی، شیمیایی و زیستی، منجر به افزایش پایداری تولیدات کشاورزی در شرایط تنش‌های محیطی می‌گردد (Huerta et al., 2010). مطالعه تأثیر کودهای آلی بر خواص شیمیایی و بیوشیمیایی خاک در زمین‌های خشک مؤید این است که ورمی‌کمپوست، کمیت و کیفیت کربن آلی، نیتروژن، فسفر، زیست‌توده میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی کل را افزایش می‌دهد (Lakhdar et al., 2009).

در بررسی بر روی گوجه‌فرنگی، کاهو و فلفل مشاهده شد که سطوح ۶، ۸ و ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش رشد و عملکرد در این گیاهان شد (Wilson et al., 1989). در آزمایشی بر روی لوبیا و ذرت علت افزایش معنی‌دار در

به‌منظور حصول تصویر واضح و دقیق‌تر از ریشه‌ها، آن‌ها به مدت ۳ الی ۵ دقیقه در محلول بنفش‌رنگ پرمنگنات منیزیم قرار گرفتند، پس از مشاهده تغییر رنگ ریشه‌ها آن‌ها خارج و سپس توسط دستمال کاغذی کاملاً خشک شدند. سپس ریشه‌های رنگی در اسکنر قرار داده شد و در نهایت به کمک نرم‌افزار سطح، قطر و حجم ریشه‌ها محاسبه شد.

اندازه‌گیری میزان عناصر پتاسیم، کلسیم و سدیم در بافت برگ و ریشه، به‌وسیله دستگاه فلیم‌فتومتر (Sherwood Scientific, Cambridge, United Kingdom) انجام شد (Chapman and Patt, 1982). بدین‌صورت که در یک ارلن به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر، ۰/۰۵ گرم پودر حاصل از بافت برگ و ریشه خشک‌شده هر تیمار، به‌طور جداگانه با سه میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ مخلوط شدند. سپس به مدت ۷۲-۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند و در نهایت ارلن‌ها در زیر هود و در کوره دمایی به‌آرامی حرارت داده شد. تصاعد دود سفید و بی‌رنگ شدن محلول اسیدی، نشانه پایان عمل هضم بود. حجم محلول باقی‌مانده با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسید. سپس غلظت سدیم، پتاسیم و کلسیم با استفاده از منحنی استاندارد برحسب گرم در صد گرم وزن خشک بافت برگ محاسبه شد.

تجزیه‌های آماری به‌وسیله نرم‌افزار MASTAT-C انجام شد. به‌منظور تعیین سطح معنی‌داری شاخص‌های مورفولوژیک و غلظت عناصر برگ و ریشه در اثر کود ورمی-کمپوست و تنش آبی از تجزیه واریانس (ANOVA) استفاده شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) مقایسه شدند.

کنترل‌شده با درجه حرارت روز و شب به ترتیب ۲۵ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

برای اعمال تنش آبی، خاک خشک موجود در یک واحد آزمایشی تعیین شد و سپس به خاک خشک موجود در گلدان، به‌آرامی و تا حد اشباع، آب اضافه گردید و پس از خارج شدن کامل آب ثقیلی، گلدان توزین شد و پس از کسر وزن گلدان و خاک خشک مقدار آب نگهداری شده در ظرفیت زراعی تعیین شد و تیمارهای مختلف بر این اساس محاسبه شدند (Rahbarian et al., 2011; Hosseinzadeh et al., 2016). در پایان دوره رشد (حدود ۴۵ روز پس از کاشت) نمونه‌برداری به‌صورت تخریبی انجام شد و بخش هوایی از ریشه گیاه تفکیک شد. صفات مورفولوژی اندام هوایی شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته تعیین شدند. به‌منظور تعیین وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۲ درجه سانتی-گراد خشک شدند و سپس وزن آن‌ها با ترازوی AND مدل GT-300 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. صفات ریشه شامل سطح ریشه، طول ریشه اصلی، وزن خشک ریشه، قطر و حجم ریشه به‌وسیله دستگاه WinRHIZO Pro V ساخت کانادا اندازه‌گیری شد (Regent, Instruments Inc., QC, Canada). این دستگاه از یک اسکنر متصل به کامپیوتر و نرم‌افزار WinRHIZO تشکیل شده است. ویژگی این نرم‌افزار این است که صفات مختلفی از قبیل سطح، قطر، حجم، تعداد میان‌گره‌ها، تعداد ریشه‌های جانبی (در مراحل جوانه‌زنی و رویشی گیاهان که حجم ریشه کم است) و مجموع طول ریشه‌ها را با استفاده از اسکنر ریشه موردنظر، محاسبه می‌کند.

جدول ۱. خصوصیات خاک و کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Soil and vermicompost fertilizer characteristics used in the experiment.

خصوصیات Properties	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	منیزیم (درصد) Mg (%)	پتاسیم (درصد) K (%)	فسفر (درصد) P (%)	آهن (درصد) Fe (%)	کلسیم (درصد) Ca (%)	کربن/ نیتروژن C/N	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dS/m)	
								اسیدیته pH	
ورمی‌کمپوست Vermicompost	3	0.5	1.2	0.9	0.5	4.5	17.5	1.5	7.1
خاک Soil	1.5	0.01	0.4	0.03	0.004	1	14.9	0.4	7.8

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

تنش کمبود آب و کود آلی ورمی کمپوست اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها تحت تأثیر خشکی و سطوح مختلف ورمی کمپوست نشان داد که در شرایط بدون تنش آبی و تنش ملایم، کاربرد سطوح مختلف ورمی کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شد، اما در شرایط تنش شدید، اختلاف معنی‌داری بین سطوح کاربرد ورمی کمپوست و عدم کاربرد ورمی کمپوست مشاهده نشد (جدول ۳). ارتفاع بیشتر گیاه نشان‌دهنده گنجایش بیشتر ساقه گیاه به‌عنوان منبع ثانویه جهت ذخیره مواد فتوسنتزی و سپس انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در زمان پر شدن دانه‌ها و رسیدگی نهایی دانه‌ها است. بنابراین داشتن ارتفاع بیشتر در نخود به‌عنوان یک راهکار در راستای مقاومت به خشکی مطرح است (Ganjeali and Kafi, 2007).

پاسخ‌های گیاهان مختلف به تنش کم‌آبی با توجه به شدت و مدت‌زمان تنش متغیر است و به‌طور کل می‌توان در دو بخش آن را شرح داد: الف) تنش کم‌آبی در شدت‌های پایین از یک‌سو با کاهش ترشح هورمون‌های رشد و افزایش مواد بازدارنده رشد، کاهش تعرق و اختلال در فرآیند انتقال آب از ریشه به اندام هوایی منجر به کاهش محتوای آب نسبی در اندام‌های فتوسنتز کننده شده و از سوی دیگر با بستن روزنه‌ها و کاهش ورود CO_2 به سلول‌های مزوفیل در برگ منجر به کاهش فعالیت سیستم فتوسنتزی و در نهایت کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌ها شده که این رخداد، کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک را به دنبال دارد (Gamze et al., 2005; Bayoumi et al., 2008). کود ورمی کمپوست دارای هومیک، فولویک و دیگر اسیدهای آلی است که توسط میکروارگانیسم‌ها تولید شده و می‌تواند موجب تحریک رشد گیاهان شود (Hosseinzadeh et al., 2016). در مطالعه بر روی اثرات ورمی کمپوست بر گیاهان مشاهده شد که ورمی کمپوست منجر به تولید موادی شبیه به اکسین شد (1999 Muscolo et al.). با توجه به اینکه اسیدآمینو تریپتوفان پیش ماده سنتز هورمون اکسین است، وجود عنصر روی در ساختمان این اسیدآمینو ضروری است (Amiri et al., 2017). ورمی کمپوست غنی از مواد مغذی از جمله روی است، بنابراین این کود می‌تواند با تأثیر بر روی سنتز هورمون‌ها به‌ویژه اکسین باعث افزایش رشد و متعاقب آن ارتفاع گیاه

شود. در مطالعه بر روی برخی گیاهان از قبیل تربچه (*Raphanus sativus*)، گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*)، کلم (*Brassica rapa*) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) نیز گزارش شده که سطوح مختلف ورمی کمپوست منجر به افزایش رشد و ارتفاع گیاهان شد (Archana et al., 2009; Warman and AngLopez, 2010; Gajalakshmi and Abbasi, 2002). در این مطالعه مشاهده شد که در شرایط تنش ملایم استفاده از کود ورمی کمپوست به دلیل خصوصیات مثبت نظیر ظرفیت نگهداری آب بالا، هومیک اسید، افزایش غلظت عناصر، تنظیم اسمزی در سلول‌های ریشه توانسته است اثرات منفی ناچیز آب را جبران نماید. ب) تنش کم‌آبی در شدت‌های بالا که از یک‌سو با تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (ROS)، تخریب پروتئین D_1 در فتوسیستم نوری II و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و فتوسنتزی منجر به تخریب سیستم‌های فتوسنتزی و کاهش شدید تولید مواد فتوسنتزی شده و از سوی دیگر با کاهش شدید جذب آب از خاک توسط ریشه‌ها، روند انتقال شیره پرورده در آوند آبکش دچار اختلال شده که در نهایت علاوه بر تأثیر شدید بر ویژگی‌های مورفولوژیک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ریشه و غلظت عناصر موردنیاز در برگ و ریشه به‌منظور تنظیم اسمزی را نیز به‌شدت کاهش می‌دهد (Hu and Schmidhalter, 2005; Hosseinzadeh et al., 2016). در پژوهش حاضر، در شرایط تنش شدید با توجه به اثرات ذکر شده استفاده از کود ورمی کمپوست مؤثر نیست چون در گیاه علاوه بر اثرات کمبود آب در شرایط تنش ملایم یکسری واکنش‌های تخریبی نیز رخ می‌دهد (Rahbarian et al., 2011) که حتی استفاده از تیمار مناسبی مانند کودهای آلی نیز نمی‌تواند اثرات منفی تنش را بهبود دهد.

تعداد برگ در گیاه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ورمی کمپوست و تنش آب تأثیری معنی‌داری ($p \leq 0.01$) بر تعداد برگ در گیاه نخود داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش ورمی کمپوست و تنش خشکی نشان داد که در شرایط بدون تنش استفاده از کود ورمی کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار تعداد برگ در تمامی سطوح نسبت به شاهد شد. در شرایط تنش ملایم، سطح ۲۰ درصد وزنی ورمی کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار تعداد برگ (۲۳٪+) و در شرایط تنش شدید، سطح

تنش خشکی منجر به افزایش معنی‌دار صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، سطح و تعداد برگ در گوجه‌فرنگی شد (Bender Ozenc, 2008). در مطالعه دیگر که بر روی توت‌فرنگی انجام شد محققان علت افزایش سطح و تعداد برگ در صورت استفاده از ورمی‌کمپوست را به افزایش جمعیت میکروبی در ورمی‌کمپوست، نسبت دادند (Arancon et al., 2004).

۳۰ درصد وزنی به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد تعداد برگ (۲۲٪) را افزایش داد (جدول ۳). کاهش سطح و تعداد برگ در زمان تنش به پیری زودرس که خود عاملی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه در شرایط تنش خشکی است مربوط می‌شود (Gunes et al., 2006). ورمی‌کمپوست با بهبود خواص فیزیکی محیط، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و افزایش ظرفیت نگهداری آب در شرایط

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک نخود تحت تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و تنش آبی

Table 2. Analysis of variance of morphological traits of chickpea under different levels of vermicompost and water stress

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	Mean Square / میانگین مربعات			
			ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branches	تعداد غلاف در بوته Number of pod
Vermicompost	ورمی‌کمپوست	3	30.436 **	447.185 **	1.667 *	24.028 **
Water stress	تنش آبی	2	453.001 **	2183.028 **	10.111 **	49.750 **
Vermi. × Stress	ورمی × تنش	6	12.397 *	11.657 *	0.333 ns	1.528 *
Error	خطای آزمایش	24	2.141	7.111	0.500	0.750

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	Mean Square / میانگین مربعات					
			وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	طول ریشه اصلی Tap root length	سطح ریشه Root area	قطر ریشه Root diameter	حجم ریشه Root volume
Vermicompost	ورمی‌کمپوست	3	0.443 **	0.786 **	39.282 **	8.440 **	0.066 *	0.002 *
Water stress	تنش آبی	2	3.658 **	9.590 **	192.548 **	83.854 **	0.421 **	0.005 **
Vermi. × Stress	ورمی × تنش	6	0.142 *	0.243 *	12.181 *	2.267 ns	0.010 *	0.0002 ns
Error	خطای آزمایش	24	0.051	0.070	3.778	1.834	0.004	0.0001

ns, *, **, به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: Non-significant, * and **: significant at P 0.05 & P 0.01, respectivel

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی نخود تحت تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و تنش آبی

Table 3. Comparison of morphological traits of chickpea under different levels of vermicompost and water stress

تیمارها / ورمی‌کمپوست Treatments/ Vermicompost (%)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در گیاه Leaf number per plant	تعداد غلاف در بوته Number of pod	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g/plant)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g/plant)	طول ریشه اصلی Tap root length (cm)	قطر ریشه Root diameter (mm)
بدون تنش آبی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) / Non water stress (100% field capacity)							
شاهد / Control	28.67 ^c	72.67 ^{cd}	6 ^e	1.75 ^c	3.24 ^{bc}	32.37 ^{bc}	0.57 ^c
10	36.60 ^a	80.3 ^b	9 ^{cd}	2.79 ^a	4.18 ^a	40.17 ^a	0.87 ^a
20	34.67 ^{ab}	88 ^a	10.67 ^{ab}	2.67 ^a	4.51 ^a	41.5 ^a	0.80 ^a
30	34.33 ^{ab}	87.67 ^a	11 ^a	2.42 ^{ab}	4.32 ^a	38.83 ^a	0.69 ^b
تنش آبی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) / Moderate water stress (75% field capacity)							
شاهد / Control	25.83 ^d	59.11 ^e	6.33 ^e	1.76 ^c	2.95 ^c	30.93 ^c	0.46 ^{cd}
10	29.17 ^c	69.67 ^d	8.66 ^d	2.10 ^{bc}	3.64 ^b	35.33 ^b	0.56 ^c
20	32.17 ^b	77 ^{bc}	9.33 ^{bcd}	2.08 ^{bc}	3.34 ^{bc}	33.33 ^{bc}	0.52 ^{cd}
30	29.17 ^c	75.33 ^{bcd}	10.33 ^{abc}	1.94 ^c	3.18 ^{bc}	31.33 ^c	0.54 ^c
تنش آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) / Severe water stress (25% field capacity)							
شاهد / Control	21.50 ^e	46 ^f	4 ^f	1.24 ^d	2.15 ^d	29.83 ^c	0.21 ^e
10	21.17 ^e	58 ^e	5.66 ^e	1.35 ^d	2.47 ^d	30.67 ^c	0.41 ^d
20	21.33 ^e	58.33 ^e	6 ^e	1.33 ^d	2.29 ^d	31.50 ^c	0.40 ^d
30	21.67 ^e	58.67 ^e	6 ^e	1.32 ^d	2.19 ^d	29.67 ^c	0.41 ^d

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with similar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%).

سهم شاخه‌ها از عملکرد نهایی را تغییر دهد (Bagheri et al., 2001). در بررسی اثرات ورمی‌کمپوست بر روی گیاه لوبیا مشاهده شد که مخلوط ورمی‌کمپوست و خاک در سطح ۷۵ درصد منجر به افزایش تعداد شاخه‌های فرعی شد، این محققان علت این امر را افزایش عناصر معدنی خاک از قبیل فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در اثر استفاده از این کود بیان کردند (Beyk Khurmizi et al., 2010).

تعداد غلاف در بوته

تجزیه واریانس داده‌های مرتبط با تعداد غلاف نشان داد که برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) بر این صفت داشتند (جدول ۲). نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌ها در این صفت نشان داد که در تمامی تیمارهای تنش خشکی، سطوح ورمی‌کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با سطوح شاهد شد. جدول ۳ نشان می‌دهد که سطح ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست در کلیه تیمارهای تنش خشکی بیشترین میزان تعداد غلاف

تعداد شاخه جانبی در بوته

جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر ورمی‌کمپوست و تنش کم‌آبی بر تعداد شاخه جانبی در هر بوته نخود معنی‌دار است. نتایج مقایسه میانگین‌ها در اثرات ساده کود ورمی‌کمپوست نشان داد که کلیه سطوح ورمی‌کمپوست مورد استفاده منجر به افزایش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی در هر بوته در مقایسه با شاهد شد و در مقایسه بین سطوح ورمی‌کمپوست (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). در بررسی بین سطوح تنش آبی نیز نتایج نشان داد که تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) منجر به کاهش معنی‌دار این صفت در مقایسه با سایر سطوح تنش آبی شد (جدول ۵). از مهم‌ترین خصوصیات کود آلی ورمی‌کمپوست بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک است (Beyk Khurmizi et al., 2010). در مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های مختلف گیاه نخود گزارش شد که شاخه‌دهی در گیاه نخود به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی به‌ویژه خصوصیات فیزیکی خاک و یا تنش خشکی قرار می‌گیرد، بنابراین شرایط محیطی می‌تواند

راش (*Fagus orientalis*) شد (Atik, 2013). در مطالعه بر روی گوجه‌فرنگی نیز مشاهده شد که کاربرد ورمی‌کمپوست در تمامی سطوح منجر به افزایش محصول گوجه‌فرنگی و وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش کم‌آبی شد (Bender Ozenç, 2008). به نظر می‌رسد که کود ورمی‌کمپوست با افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید و نیز افزایش ترکیباتی از قبیل هومیک و فولویک اسید در افزایش تعداد غلاف و محصول نهایی نقش داشته باشد.

را داشت. گزارش شده است که تنش خشکی منجر به کاهش اجزای عملکردی نظیر تعداد غلاف در بوته در حبوبات شد (Parsa and Bagheri, 2008) که با نتایج این مطالعه منطبق است. در مطالعه‌ای بر روی سویا مشاهده شد با افزایش هومیک اسید به‌عنوان یک ماده آلی به محیط کشت، گلدهی، تعداد غلاف و عملکرد دانه افزایش یافت (Tan and Tantiwiramanond, 1983). در آزمایشی دیگر مشاهده شد که استفاده از کود ورمی‌کمپوست منجر به افزایش خصوصیات عملکردی از قبیل وزن دانه و تعداد دانه در گیاه

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی نخود تحت تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست

Table 4. Comparison of morphological traits of chickpea under different levels of vermicompost

تیمارها/ ورمی کمپوست Treatments/ Vermicompost (%)	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branches	سطح ریشه Root area (mm ²)	حجم ریشه Root volume (cm ³)
شاهد/ Control	2.66 ^b	8.59 ^c	0.018 ^b
10	3.33 ^a	10.59 ^{bc}	0.045 ^a
20	3.66 ^a	12.05 ^{ab}	0.048 ^a
30	3.66 ^a	14.87 ^a	0.042 ^a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with similar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%)

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی نخود تحت تأثیر سطوح مختلف تنش آبی

Table 5. Comparison of morphological traits of chickpea under different levels of water stress

تیمارها/ تنش آبی Treatments/Water stress	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branches	سطح ریشه Root area (mm ²)	حجم ریشه Root volume (cm ³)
بدون تنش آبی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) Non stress (100% field capacity)	4.33 ^a	12.57 ^a	0.057 ^a
تنش آبی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) Moderate water stress (75% field capacity)	3.66 ^a	9.94 ^b	0.040 ^a
تنش آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) Severe water stress (25% field capacity)	2.33 ^b	7.08 ^c	0.017 ^b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with similar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%).

وزن خشک اندام هوایی

در تیمارهای تنش ملایم و شدید، سطوح ورمی‌کمپوست با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). در تحقیقی که بر روی ژنوتیپ‌های نخود انجام گرفت، مشاهده شد با افزایش شدت تنش خشکی، بدون توجه به حساسیت یا مقاومت رقم، وزن خشک بخش هوایی کاهش معنی‌داری یافت (Ganjeali et al., 2011). در این مطالعه نیز تنش

آنالیز واریانس داده‌ها در این صفت نشان داد که اثرات متقابل ورمی‌کمپوست و تنش آبی معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مربوط به وزن خشک بخش هوایی گیاهچه‌های نخود نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، سطوح ورمی‌کمپوست مورد استفاده به‌صورت معنی‌داری این صفت را افزایش داد، اما

مشاهده نشد. تنش خشکی شدید با تغییر در فعالیت‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی در گیاهان منجر به کاهش صفات عملکردی و مورفولوژیکی می‌شود (Porsa et al., 2001). زیست‌توده ریشه ارتباط مستقیم با مجموع طول ریشه‌ها دارد (Ganjeali and Kafi, 2007). کاهش شدید آب قابل‌دسترس در محیط کشت منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه در گیاه نخود شد که محققان علت را کاهش شدید خصوصیات ریشه از قبیل طول، سطح و قطر ریشه‌ها بیان کردند (Ganjeali and Kafi, 2007). در این مطالعه نیز تنش کم‌آبی شدید منجر به کاهش وزن خشک ریشه در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. در بررسی بر روی گیاه گل همیشه‌بهار مشاهده شد که با افزایش میزان ورمی‌کمپوست برخی از خصوصیات ریشه از قبیل طول، وزن تر و خشک ریشه نیز افزایش می‌یابد (Pritam and Garg, 2010). به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که احتمالاً افزایش ورمی‌کمپوست در محیط ریشه، شرایط بهتری را برای جذب آب و عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی ملایم فراهم کرد و در نتیجه منجر به افزایش خصوصیات ریشه مانند وزن خشک ریشه می‌شود.

طول ریشه اصلی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که طول ریشه اصلی در گیاه نخود تحت تأثیر برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش آبی قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌های طول ریشه اصلی در برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و تنش خشکی نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، طول ریشه با کاربرد ورمی‌کمپوست در خاک نسبت به سطح بدون استفاده از ورمی‌کمپوست افزایش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش ملایم، فقط سطح ۱۰ درصد حجمی طول ریشه را افزایش داد، اما در شرایط تنش شدید، سطوح ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند (جدول ۳). سامانه ریشه‌ای به دلیل نزدیکی به آب، به‌عنوان اولین حس‌گر تنش خشکی محسوب می‌شود، بنابراین در ایجاد مقاومت نسبت به تنش خشکی نقش مهمی دارد (Ganjeali et al., 2004). طول ریشه اصلی از جهت بهره‌برداری ریشه از رطوبت و عناصر غذایی موجود در خاک می‌تواند برای گیاه مفید باشد (Amiri et al., 2017). کود ورمی‌کمپوست با بهبود شرایط خاک، افزایش قابلیت دسترسی عناصر مغذی و مواد هومیکی نقش اصلی در افزایش رشد سامانه ریشه‌ای دارد (Huerta et al., 2010). در مطالعه بر روی گوجه‌فرنگی مشاهده شد که

خشکی شدید منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با شرایط بدون تنش خشکی شد که دلیل اصلی آن بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی و کاهش فتوسنتز خالص بود (Ahmadpour et al., 2016). از ویژگی‌های بارز کود ورمی‌کمپوست ظرفیت نگهداری آب بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش جذب عناصر غذایی است که منجر به کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی و افزایش فتوسنتز خالص در گیاه نخود شد (Hosseinzadeh et al., 2016). در شرایط تنش ملایم، باینکه میزان وزن خشک اندام هوایی در سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد افزایش داشت اما معنی‌دار نبود که دلیل آن را می‌توان به اندازه‌گیری برگ و ساقه به‌عنوان اندام هوایی نسبت داد. ساقه و برگ دو اندام مجزا می‌باشند که هر کدام می‌توانند واکنش‌های متفاوتی به تیمارهای این آزمایش داشته باشند (Huerta et al., 2010; Amiri et al., 2017). بنابراین اگر وزن خشک برگ و ساقه به‌تنهایی موردسنجش قرار می‌گرفت، ممکن بود در شرایط تنش ملایم استفاده از ورمی‌کمپوست تأثیر معنی‌داری داشته باشد. در شرایط تنش شدید به علت کاهش شدید آب و یکسری فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی که اثرات منفی شدیدی بر گیاه دارد (Ganjeali et al., 2011)، استفاده از کود آلی ورمی‌کمپوست مؤثر نبود. در یک آزمایش مشاهده شد که وزن تر و خشک گیاه گوجه‌فرنگی با افزایش سطوح کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش یافت که این محققین علت افزایش وزن تر و خشک گیاه را به دلیل تغییر در شرایط فیزیکی، شیمیایی و خصوصیات میکروبی و زیستی محیط کشت گزارش کردند (Bender Ozenc, 2006). تحقیقات دیگر نیز افزایش وزن خشک گیاه خیار (Sallaku et al., 2009)، توت‌فرنگی (Atiyeh et al., 2004) و یولاف (Arancon et al., 2001) را در صورت استفاده از ورمی‌کمپوست گزارش کردند.

صفات مربوط به ریشه

وزن خشک ریشه

ورمی‌کمپوست و تنش کم‌آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشتند (جدول ۲). نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که تیمارهای ورمی‌کمپوست در شرایط بدون تنش و تیمار ۱۰ درصد حجمی ورمی‌کمپوست در شرایط تنش ملایم موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه در مقایسه با شاهد شد، اما در شرایط تنش شدید تفاوت معنی‌داری بین تیمارها

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل کود آلی ورمی کمپوست و تنش کم‌آبی بر قطر ریشه گیاهچه‌های نخود معنی‌دار است (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش کود ورمی کمپوست و تنش آبی برای قطر ریشه نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش آبی شدید، تیمارهای ورمی-کمپوست مورد استفاده در مقایسه با شاهد منجر به افزایش معنی‌دار این صفت شد اما در شرایط تیمار تنش آبی ملایم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که ورمی کمپوست و تنش آبی هر کدام به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر حجم ریشه گیاهچه‌های نخود دارد. جدول ۴ نشان می‌دهد که تمامی تیمارهای ورمی-کمپوست مورد استفاده (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی) موجب افزایش معنی‌دار حجم ریشه در مقایسه با شاهد شد. در اثرات ساده تنش آبی نیز نتایج نشان داد که تنش آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) منجر به کاهش معنی‌دار حجم ریشه در مقایسه با سایر سطوح تنش شد (جدول ۵). در مطالعه برای تعیین ارقام مقاوم و حساس نخود در پاسخ به تنش خشکی مشاهده شد که قطر و حجم ریشه در شرایط تنش خشکی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) کاهش معنی‌داری دارد (Ganjeali et al., 2004). این محققان بیان کردند که رشد و توسعه گیاه در مراحل رشدی، افزایش سطح تعرق کنندگی و به‌طور کلی افزایش نیاز آبی گیاه باعث تخلیه بیشتر رطوبت خاک می‌گردد که منجر به کاهش برخی خصوصیات ریشه از قبیل وزن خشک، قطر و حجم ریشه می‌گردد. به نظر می‌رسد که در شرایط تنش خشکی راهبرد گیاه حفظ طول ریشه برای جذب بیشتر رطوبت و عناصر غذایی به هزینه کاهش وزن، قطر و حجم ریشه بوده است. بنابراین کاهش قطر و حجم ریشه در سطوح مختلف خشکی را می‌توان به کاهش وزن خشک ریشه در این سطوح و افزایش نسبی طول ریشه در تنش خشکی ملایم نسبت داد. یکی از مزایای استفاده از کودهای کمپوست و ورمی کمپوست در زمین‌های زراعی افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در خاک است (Atick, 2013). از مهم‌ترین فعالیت‌های این میکروارگانیسم‌ها تبدیل نیتروژن آمونیومی به نیترات است و از جمله اثرات مثبت نیترات افزایش در قطر و حجم ریشه است (Huerta et al., 2010). در مطالعه بر روی گل همیشه‌بهار نیز مشاهده شد که استفاده از کودهای کمپوست و ورمی-کمپوست منجر به افزایش نیترات و قطر ریشه شد (Atiyeh et al., 2001).

استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست و ورمی کمپوست منجر به افزایش طول ریشه در شرایط تنش کم‌آبی شد (Bender Ozenc, 2008). در آزمایشی دیگر که بر روی لوبیا و ذرت انجام شد، گزارش شد که در اثر کاربرد ورمی کمپوست طول ریشه لوبیا افزایش یافت، اما طول ریشه ذرت روند خاصی را نشان نداد (Samiran et al., 2010). در این تحقیق به جز سطح ۱۰ درصد ورمی کمپوست در شرایط تنش ملایم، سایر سطوح ورمی کمپوست در تیمارهای تنش ملایم و شدید با سطوح شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند که علت اصلی واکنش‌های متفاوت گیاهان به غلظت‌های مختلف ورمی-کمپوست را می‌توان به تنوع الگوی جذب عناصر مغذی در ریشه‌های گیاهان مختلف نسبت داد.

سطح ریشه

جدول ۲ نشان می‌دهد که ورمی کمپوست و تنش کم‌آبی هر کدام به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر سطح ریشه داشتند ($p \leq 0.01$). مقایسه بین سطوح ورمی کمپوست نشان داد که سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی در مقایسه با شاهد به صورت معنی‌داری سطح ریشه را افزایش داد اما در سطح ۱۰ درصد وزنی تفاوت معنی‌داری بین این سطح و شاهد مشاهده نشد (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات ساده تنش آبی نشان داد که با افزایش تنش آبی از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی سطح ریشه کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۵). افزایش سطح ریشه از طریق افزایش نقاط ورودی آب و عناصر غذایی و همچنین افزایش سطح جذب می‌تواند کارایی جذب آب و عناصر غذایی را افزایش دهد (Ganjeali et al., 2004). گزارش‌های متعددی نشان می‌دهد استفاده از کود ورمی کمپوست منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده است (Beyk Khurmizi et al., 2016; Hosseinzadeh et al., 2010)، بنابراین با در دسترس قرار گرفتن آب، عناصر غذایی و ایجاد شرایط مناسب جهت رشد سلول، افزایش سطح ریشه گیاه نخود منطقی به نظر می‌رسد. در آزمایشی بر روی گوجه‌فرنگی مشاهده شد که استفاده از کود ورمی کمپوست منجر به افزایش برخی خصوصیات ریشه از قبیل طول، سطح و قطر ریشه شد (Bender Ozenc, 2008).

قطر و حجم ریشه

جدول ۶. تجزیه واریانس غلظت عناصر برگ و ریشه نخود تحت تأثیر سطوح مختلف ورمی کمپوست و تنش آبی

Table 6. Analysis of variance of root and leaf nutrient concentration of chickpea under different levels of vermicompost and water stress

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	Mean Squire / میانگین مربعات					
			سدیم برگ Leaf Na	پتاسیم برگ Leaf K	کلسیم برگ Leaf Ca	سدیم ریشه Root Na	پتاسیم ریشه Root K	کلسیم ریشه Root Ca
	ورمی کمپوست Vermicompost	3	0.032 ^{ns}	4.642 ^{**}	2.262 ^{**}	0.393 [*]	3.025 ^{**}	2.047 ^{**}
	تنش آبی Water stress	2	0.020 ^{ns}	2.337 [*]	0.844 [*]	32.789 ^{**}	4.776 ^{**}	0.004 ^{**}
	ورمی × تنش Vermi×Stress	6	0.025 ^{ns}	0.033 ^{ns}	0.094 ^{ns}	0.042 ^{ns}	0.591 ^{ns}	0.019 ^{ns}
	خطای آزمایش Error	24	0.034	0.419	0.072	0.251	0.051	0.045

^{ns}, ^{*}, ^{**} به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: Non-significant, * and **: significant at $P \leq 0.05$ & $P \leq 0.01$, respectively.

غلظت عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم در برگ

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ورمی کمپوست و تنش کم‌آبی هرکدام به‌تنهایی بر غلظت عناصر پتاسیم و کلسیم معنی‌دار بودند اما بر غلظت سدیم برگ این اثرات معنی‌دار نبودند (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات ساده ورمی کمپوست بر غلظت پتاسیم برگ نشان داد که سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی منجر به افزایش معنی‌دار این غلظت در مقایسه با شاهد (عدم استفاده از کود ورمی کمپوست) شد. بین سطوح ۱۰ درصد وزنی و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). در مقایسه بین سطوح تنش آبی، نتایج نشان داد که تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با شرایط بدون تنش منجر به کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم برگ شدند (جدول ۸). مقایسه میانگین‌ها در اثرات ساده ورمی-کمپوست بر غلظت کلسیم برگ نشان داد که سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی در مقایسه با سایر سطوح ورمی کمپوست به‌صورت معنی‌داری غلظت کلسیم برگ را افزایش داد. غلظت کلسیم برگ در سطح ۱۰ درصد وزنی ورمی کمپوست نیز نسبت به سطح شاهد افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۷). در اثرات ساده تنش آب نیز تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) منجر به کاهش معنی‌دار غلظت این عنصر در مقایسه با سطوح بدون تنش و تنش ملایم شد (جدول ۸). یکی از علائم تنش حاصل از خشکی یا شوری در گیاهان، پژمرده شدن آن‌ها به دلیل کمبود عناصر مغذی است (Cakmak,

2005). تنش خشکی جذب مواد غذایی به‌وسیله ریشه‌ها و انتقال این مواد به ساقه را کاهش می‌دهد که این کاهش به دلیل محدود شدن سرعت تعرق، آسیب رساندن به انتقال فعال و کاهش قابلیت نفوذ غشایی است. جذب مواد غذایی از خاک با وضعیت آب موجود در خاک ارتباط مستقیم دارد، به‌طوری‌که با کاهش رطوبت خاک جریان انتشاری مواد غذایی از خاک به سطح ریشه‌ها کاهش می‌یابد (Arndt et al., 2001). در مطالعه اثرات تنش خشکی و شوری بر گیاهان گزارش کردند که با کاهش محتوای آب خاک، تحرک پتاسیم کاهش و قابلیت دسترسی پتاسیم برای ریشه‌های گیاه نیز کاهش می‌یابد (Hu and Schmidhalter, 2005) اسگاوو و همکاران (Osuagwu et al., 2010) گزارش کردند که تنش خشکی میزان عناصر پتاسیم و کلسیم را در برگ‌های گیاه *Ocimum gratissimum* کاهش داد که ممکن است به دلیل حرکت این عناصر از برگ‌ها به ریشه باشد، زیرا که در این شرایط این دو عنصر به‌عنوان محافظت‌کننده‌های اسمزی عمل می‌کنند. یون کلسیم به‌عنوان پیک ثانویه در گیاهان عمل می‌کند و در انتقال پیام انواع وسیعی از علائم شرکت دارد، بنابراین ممکن است جزء مهمی از پاسخ گیاهان به خشکی باشد (Sharma and Banik, 2014). بندراوزنک (Bender Ozenc et al., 2008) گزارش کرد که اغلب خاک‌های خشک با کمبود نیتروژن، فسفر، کلسیم و پتاسیم مواجه هستند. اضافه کردن کمپوست در چنین خاک‌هایی باعث غنی شدن ریزوسفر با عناصر غذایی ماکرو و میکرو شده

گیاه عناب (*Ziziphus rotundifolia*) افزایش داد و ورمی-کمپوست‌ها دارای هورمون‌های رشد گیاهی از جمله سیتوکینین‌ها هستند (Arndt et al., 2001). بنابراین ورمی‌کمپوست با دارا بودن مواد مغذی فراوان، هورمون‌های گیاهی و ظرفیت نگهداری آب بالا، می‌تواند باعث بهبود جذب عناصر غذایی در برگ و کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی شود.

و در نتیجه باعث جبران کمبود مواد غذایی می‌شود. در آزمایشی با مقایسه کود ورمی‌کمپوست و خاک مشاهده شد که میزان پتاسیم موجود در ورمی‌کمپوست ۲-۳ برابر بیشتر از پتاسیم خاک بود (Jat and Ahlawt, 2006). مطالعات نشان داده است که هورمون سیتوکینین جذب پتاسیم را در

جدول ۷. مقایسه میانگین غلظت عناصر برگ و ریشه نخود تحت تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست

Table 7. Comparison of root and leaf nutrient concentration of chickpea under different levels of vermicompost

تیمارها/ ورمی کمپوست Treatments/ Vermicompost (%)	پتاسیم برگ Leaf K	کلسیم برگ Leaf Ca	سدیم ریشه Root Na	پتاسیم ریشه Root K	کلسیم ریشه Root Ca
شاهد/ Control	2.48 ^b	0.710 ^c	4.66 ^a	1.09 ^b	2.29 ^c
10	3.67 ^{ab}	1.391 ^b	4.10 ^b	2.11 ^a	3.18 ^b
20	3.88 ^a	1.573 ^a	4.08 ^b	2.30 ^a	3.14 ^b
30	4.08 ^a	1.620 ^a	3.92 ^b	2.23 ^a	3.35 ^a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with similar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%).

کمترین میزان این صفت نیز به سطح شاهد اختصاص داشت که نسبت به سایر سطوح تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۷). در میان اثرات ساده تنش آبی، سطوح تنش آبی ملایم و شدید در مقایسه با شرایط بدون تنش منجر به کاهش معنی‌دار غلظت کلسیم ریشه شدند (جدول ۸). در این مطالعه کمبود آب در خاک محیط اطراف ریشه پتاسیم ریشه را کاهش داد. علت کاهش پتاسیم در شرایط تنش کم‌آبی، کاهش میزان حلالیت پتاسیم و متعاقباً کاهش جذب آن توسط ریشه‌های گیاه است (Osugwu et al., 2010). از طرف دیگر کلونیدهای خاک با قدرت بیشتری پتاسیم را جذب می‌کنند و مانع جذب آن توسط ریشه می‌شوند (Osugwu et al., 2010). در این مطالعه استفاده از کود ورمی‌کمپوست با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی مناسب جهت اصلاح بستر کشت گیاهان منجر به افزایش جذب بیشتر پتاسیم و کلسیم توسط ریشه نسبت به سطح بدون کاربرد ورمی‌کمپوست شد. جات و احوالت (Jat and Ahlawt, 2006) گزارش کردند که استفاده از کود ورمی‌کمپوست منجر به افزایش کلسیم و پتاسیم در ریشه گیاه نخود شد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. غلظت زیاد سدیم در ریشه و برگ بروز مشکلات

غلظت عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم در ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نشان داد که اثرات کود ورمی‌کمپوست و تنش آبی به‌تنهایی بر غلظت عناصر مورد بررسی در ریشه معنی‌دار بودند اما اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود. نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که استفاده از کود ورمی‌کمپوست در تمامی تیمارها موجب کاهش معنی‌دار غلظت سدیم در ریشه نسبت به سطح شاهد شد. در بین تیمارهای تنش آبی، سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی موجب افزایش معنی‌دار غلظت این یون در مقایسه با سایر سطوح شد (جدول ۸). مقایسه میانگین‌ها در اثرات ساده ورمی-کمپوست نشان داد که سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد (بدون مصرف کود) غلظت پتاسیم ریشه را افزایش دادند (جدول ۷). نتایج اثرات ساده تنش آب نشان داد که کاهش آب از حد ظرفیت زراعی منجر به کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم ریشه در مقایسه با شرایط بدون تنش شد (جدول ۸). در ارتباط با غلظت کلسیم ریشه، مقایسه میانگین‌ها در اثرات ساده ورمی‌کمپوست نشان داد که سطح ۳۰ درصد وزنی بیشترین میزان کلسیم ریشه را داشت که نسبت به سایر سطوح افزایش معنی‌داری داشت.

واکوتل فرستادن آن دارد (Sharma and Banik, 2014). در این تحقیق مشاهده شد که در شرایط تنش ملایم و شدید میزان سدیم ریشه افزایش یافت. اضافه کردن ورمی کمپوست به محیط ریشه، منجر به کاهش جذب سدیم توسط ریشه شد اما این کاهش معنی‌دار نبود.

اسمزی و متابولیک را در گیاه موجب شده و سمیت ناشی از تجمع بیش از حد این عنصر در گیاه منجر به کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود (Tester and Davenport, 2003). مطالعات نشان می‌دهد که در هنگام تنش خشکی، میزان سدیم در ریشه ذرت (*Zea Mays*) افزایش می‌یابد و برای جلوگیری از سمیت آن، گیاه سعی در خروج و یا به

جدول ۸. مقایسه میانگین غلظت عناصر برگ و ریشه نخود تحت تأثیر سطوح مختلف تنش آبی.

Table 8. Comparison of root and leaf nutrient concentration of chickpea under different levels of water stress

تیمارها/ تنش آبی Treatments/Water stress	پتاسیم برگ	کلسیم برگ	سدیم ریشه	پتاسیم ریشه	کلسیم ریشه
	Leaf K	Leaf Ca	Root Na	Root K	Root Ca
	(g/100g root Dw)				
بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) Non stress (100% field capacity)	3.98 ^a	1.613 ^a	2.54 ^b	2.65 ^a	2.97 ^a
تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) Moderate water stress (75% field capacity)	3.44 ^b	1.582 ^a	3.53 ^b	1.78 ^b	2.46 ^b
تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) Severe water stress (25% field capacity)	3.08 ^c	1.231 ^b	5.77 ^a	1.42 ^c	2.01 ^c

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری باهم ندارند (دانکن ۵ درصد).

The means with similar letter in each column are not significantly different (Duncan 5%).

کلسیم ریشه (۳۰٪ و ۳۳٪) شدند. در شرایط تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) نیز سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی ورمی کمپوست به صورت معنی‌داری تعداد برگ در گیاه (به ترتیب ۲۱٪ و ۲۲٪)، تعداد غلاف (۳۴٪ و ۳۳٪)، قطر ریشه (۴۷٪ و ۴۸٪)، پتاسیم برگ (۴۰٪ و ۴۵٪)، کلسیم برگ (۵۴٪ و ۶۳٪)، پتاسیم ریشه (۳۶٪ و ۳۶٪) و کلسیم ریشه (۲۸٪ و ۳۳٪) را افزایش داد. با توجه به نتایج این مطالعه، استفاده از مخلوط کود ورمی کمپوست و خاک در تمامی سطوح به‌ویژه ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی، در شرایط تنش آبی به‌خصوص تنش-های آبی ملایم جهت بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه نخود پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از کود ورمی کمپوست در شرایط بدون تنش آبی منجر به افزایش معنی‌دار تمامی صفات موردبررسی شد. در بررسی تیمار تنش ملایم مشاهده شد که سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی ورمی کمپوست در مقایسه با سطح عدم اعمال ورمی کمپوست موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته (به ترتیب ۱۹٪ و ۱۱٪)، تعداد برگ (۲۳٪ و ۲۱٪)، تعداد غلاف (۳۲٪ و ۳۸٪)، سطح ریشه (۲۳٪ و ۱۶٪)، حجم ریشه (۶۹٪ و ۶۸٪)، محتوای کلسیم برگ (۵۴٪ و ۶۷٪)، محتوای پتاسیم ریشه (۳۷٪ و ۴۵٪) و محتوای

منابع

- Arancon, N., Edwards, C., Bierman, P., Welch, C., Metzger J.D., 2004. Influence of vermicompost on field strawberries. *Bioresource Technology*. 93, 145-153.
- Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R., Armand, N., 2016. Evaluation of Methanol role in reducing the negative effects of water deficit stress in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Journal of Plant Process and Function*. 5 (17), 1-13.
- Amiri, H., Ismaili, A., Hosseinzadeh, S.R., 2017. Influence of vermicompost fertilizer and

- water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. karaj). *Compost Science and Utilization* 25(3), 152-165.
- Archana, P.P., Theodore, J.K.R., Ngyuen, V. H., Stephen, T.T., Kristen, A.K., 2009. Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai) grown under vermicompost and chemical fertilizer. *Journal of Science, Food and Agriculture*. 89, 2383-2392.
- Arndt, S.K.K., Clifford, S.C., Wanek, W., Jones, H.G., Popp, M., 2001. Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree Physiology*. 21, 705-715.
- Atik, A., 2013. Effects of planting density and treatment with vermicompost on the morphological characteristics of Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky.). *Compost Science and Utilization*. 21, 87-98.
- Atiyeh, R.M., Arancon, N., Edwards, C., Metzger, J.D., 2001. The influence of earthworm processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Bioresource Technology*. 81(2), 103-108.
- Bagheri, A., Mahmoudi, A., Ghezeli, F., 2001. Common Bean: Research for Crop Improvement. Publications Jahad University of Mashhad. [In Persian].
- Bayoumi, T.Y., Eid, M., Metwali, E.M., 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*. 7, 2341-2352.
- Bender Ozenç, D., 2006. Effects of composted hazelnut husk on growth of tomato plants. *Compost Science and Utilization*. 14, 271-275.
- Bender Özenç, D., 2008. Growth and transpiration of tomato seedlings grown in Hazelnut Husk compost under water-deficit stress. *Compost Science and Utilization*. 16, 125-13.
- Beyk Khurmizi, A., Ganjeali, A., Abrishamchi, P., Parsa, M., 2010. The effect of vermicompost on salt tolerance of bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agroecology*. 23, 474-485. [In Persian with English Summary].
- Bowden, C.L., Evanylo, G.K., Zhang, X., Ervin, E.H., Seiler, J.R., 2010. Soil carbon and physiological responses of corn and soybean to organic amendments. *Compost Science and Utilization*. 18, 162-173.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168, 521-530.
- Chapman, H.D., Pratt, P.F., 1982. *Method of Analysis for Soil, Plants and Water*. Chapman Publisher: Riverside, CA.
- Gajalakshmi, S., Abbasi, S.A., 2002. Effect of the application of water hyacinth compost/vermicompost on the growth and flowering of *Crassandra undulaefolia*, and on several vegetables. *Bioresource Technology*. 85, 197-199.
- Gamze, O., Mehmet Demir, K.A., Mehmet A.T., 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 29, 237-242.
- Ganjeali, A., Kafi, M. 2007. Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot characteristics in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 39, 1523-1531.
- Ganjeali, A., Nezami, A. 2008. *Ecophysiology and Determinatives Yield of Pulses*. Publications Jahad University of Mashhad. [In Persian].
- Ganjeali, A., Kafi, M. Bagheri, A., Shahriyari, F., 2004. Allometric relationship between root and shoot characteristics of chickpeas seedling (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 18, 67-80. [In Persian with English Summary].
- Ganjeali, A., Porsa, H., Bagheri, A., 2011. Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. *Agriculture Water Management*. 98, 1477-1484.
- Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri E., Guzelordu, T., 2006. Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Plant Soil Environment*. 52, 868-876.

- Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., Ismaili, A., 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*. 54 (1), 87-92.
- Hosseinzadeh, S.R., Salimi, A., Ganjeali, A., 2011. Effects of foliar application of methanol on morphological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Environmental stresses in crop science*. 4, 140-150. [In Persian with English Summary].
- Hu, Y.C., Schmidhalter, U., 2005. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168, 541-549.
- Huerta, E., Vidal, O., Jarquin, A., Geissen, V., Gomez, R., 2010. Effect of vermicompost on the growth and production of Amashito Pepper, Interactions with Earthworms and Rhizobacteria. *Compost Science and Utilization*. 18, 282-288.
- Jat, R.S., Ahlawat, I.P.S., 2006. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *Journal of Sustainable Agriculture*. 28, 41-54.
- Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., Abdelly, C., 2009. Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Hazardous Materials*. 171(3), 29-37.
- Millan, T., Clarke, H.J., Siddique, K.H.M., Buhariwalla, H.K.B., Gaur, P.M., Kumar, J., Gil, J., Kahl, G., Winter, P., 2006. Chickpea molecular breeding, New tools and concepts. *Euphytica*. 147, 81-103.
- Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F., Nardi, F., 1999. Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry*. 31, 1303-1311.
- Osuagwu, G.G.E., Edeoga, H.O., Osuagwu, A.N., 2010. The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves of *Ocimum gratissimum* L. *Recent Research in Science and Technology*. 2, 27-33.
- Oweis, T., Hachum A., Pala, M., 2005. Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. *Agriculture Water Management*. 68, 251-265.
- Parsa, M., and Bagheri, A. 2008. Legumes. Publications Jahad University of Mashhad. [In Persian].
- Porsa, H., Bagheri, A., Nezami, A., Mohammadabadi, A.A., Langari, M., 2001. Evaluation of fall winter planting of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in dryland conditions of North Khorasan. *Iranian Journal of Science and Ind*. 16, 143-152. [In Persian with English Summary].
- Pritam, S.V.K., Garg, C.P.K., 2010. Growth and yield response of marigold to potting media containing vermicompost produced from different wastes. *Environmentalist*. 30, 123-130.
- Rafiq, A., Nusrat, J., 2009. Demonstration of growth improvement in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by the use of organic fertilizers under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*. 41, 1373-1384.
- Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri A.R., Najafi, F., 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Acta Biologica Cracoviensia*. 53, 47-56.
- Sallaku, G., Babaj, I., Kaciu, S., Balliu, A., 2009. The influence of vermicompost on plant growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under saline conditions. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 7, 869-872.
- Samiran, R., Kusum, A., Biman, K.D., Ayanadar, A., 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. *Applied Soil Ecology*. 45, 78-84.
- Sharma, R.C., Banik, P., 2014. Vermicompost and fertilizer application: effect on productivity and profitability of Baby Corn (*Zea Mays* L.) and soil health. *Compost Science and Utilization*. 22, 83-92.
- Tan, K.H., Tantiwiranond, D., 1983. Effect of humic acids on nodulation and dry matter production of soybean, peanut, and clover. *Soil Science Society of America Journal*. 47, 1121-1124.
- Tester, M., Davenport, R., 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*. 91, 503-505.

- Warman, P.R., AngLopez, M.J., 2010. Vermicompost derived from different feedstocks as a plant growth medium. *Bioresource Technology*. 101, 4479–4483.
- Wilson, D.P., Carlile, W.R., Vidal, O., 1989. Plant growth in potting media containing worm-worked duck waste. *Acta Horticulturae*. 238, 205-220.
- Zaferanieh, M., Nezami, A, Parsa, M., Porsa, H., Bagheri, A., 2010. Evaluation of fall sowing of cold tolerant chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms under supplementary irrigation in Mashhad condition: 1- Phenological and morphological characteristics. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 7(2), 473-482. [In Persian with English Summary].