نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال دوازدهم، شماره ۴۶، تابستان ۱۳۹۶ / صفحات: ۵۶-۴۲

ارزیابی اثرات تنش آبی و کود کمپوست زباله شهری بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک و اجزای عملکردی گیاه عدس

راهله احمدپور و سعیدرضا حسین‌زاده

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۵

چکیده

کود کمپوست به سبب دارا بودن مواد مغذی فراوان، ظرفیت نگه‌داری آب بالا، تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و وجود ریزجانداران مفید می‌تواند خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک را بهبود و تأثیر مطلوب بر رشد و نمو گیاهان داشته باشد. به این منظور آزمایشی با هدف بررسی تأثیر کود کمپوست بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه عدس تحت تنش کمبود آب به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و در محیط باز در دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان به اجراء درآمد. تیمارهای آزمایش شامل ۵ سطح اختلاط کمپوست و خاک (با نسبت‌های وزنی ۱۰۰:۰، ۹۵:۵، ۸۵:۱۵، ۷۵:۲۵ و ۶۵:۳۵) و ۳ سطح تنش آبی شامل بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید (به‌ترتیب آبیاری در سطح ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) بود. نتایج نشان داد که بین سطوح مختلف کمپوست و تنش آبی در تمامی صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، استفاده از مخلوط کمپوست و خاک در سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، سطح برگ، تعداد برگ، وزن خشک ریشه، سطح ریشه، کلروفیل a و نسبت کلروفیل a/b در مقایسه با سطوح شاهد شد. در شرایط تنش شدید، کاربرد کمپوست در سطح ۳۵ درصد وزنی منجر به افزایش معنی‌دار تعداد برگ، سطح برگ، طول ریشه و میزان کلروفیل a شد. لذا استفاده از مخلوط کود کمپوست و خاک به‌خصوص با نسبت ۶۵:۳۵ به منظور بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و عملکردی گیاه عدس در شرایط تنش آبی ملایم (یا شدید) توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، تنش خشکی، خصوصیات ریشه، سطح برگ، محتوای کلروفیل

مقدمه

حبوبات پس از غلات دومین گروه مهم محصولات زراعی محسوب می‌شوند و از این میان عدس با میزان ۳۷/۱ درصد پروتئین، مقادیر قابل توجهی اسید فولیک، آهن، کلسیم، فسفر، پتاسیم و ویتامین‌های گروه A و B از مهمترین حبوبات به‌شمار می‌رود (Ahmadpour et al., 2016). کشورهای عمده تولیدکننده عدس به‌ترتیب هند، استرالیا، کانادا و ترکیه می‌باشند که در مجموع بیش از ۷۳ درصد عدس دنیا را تولید می‌کنند (Bohra et al., 2014). براساس آمار فائو، ایران با مجموع تولید حدود ۷۹۸۰۰ تن در رده یازدهم تولیدکننده‌های عدس در جهان قرار دارد (FAO, 2014). کشت این گیاه در ایران غالباً به‌صورت دیم انجام شده و بیشترین میزان کشت این گیاه به استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، خراسان، لرستان و خوزستان اختصاص دارد (Parsa and Bagheri, 2008). در شرایط دیم به دلیل پراکنش نامناسب بارندگی و اتمام بارندگی قبل از رسیدن گیاه

*نویسنده مسئول: ahmadpour@bkatu.ac.ir

به مرحله زایشی، تخلیه رطوبت خاک صورت گرفته و گیاه در حساس‌ترین مرحله زندگی خود با کمبود آب مواجه شده و لذا عملکرد آن به‌شدت کاهش می‌یابد (Parsa and Bagheri, 2008).

کمبود آب در سراسر جهان، یکی از عوامل محدود کننده تولید و عملکرد گیاهان است (Niakan and Habibi, 2016). پاسخ گیاهان نسبت به کمبود آب قابل دسترس در محیط کشت به مرحله رشد و شدت تنش وابسته است. تنش کمبود آب علاوه بر این که بر صفات مورفولوژیکی مانند ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، طول ریشه و صفات عملکردی مانند تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف، وزن تر و خشک گیاه تأثیر منفی شدید دارد، بر صفات فیزیولوژیک نیز موثر است، به طوری که رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها تحت شرایط کم‌آبی به شدت کاهش می‌یابد و متقابلاً این کاهش معنی‌دار رنگدانه‌ها، در کاهش مستقیم فتوسنتز گیاه نقش دارد (Ganjeali et al., 2011; Armand et al., 2015; Niakan and Habibi, 2016). با وجود اینکه تحمل گیاه عدس در مقایسه با دیگر حبوبات بالاتر است اما با توجه به گزارش‌های متعدد بر روی گیاه عدس، رطوبت کمتر از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، مهم‌ترین عامل کاهش برخی خصوصیات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، طول ریشه، سطح ریشه، حجم ریشه، سطح برگ، تعداد برگ) و اجزای عملکرد (وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، تعداد غلاف) در این گیاه محسوب می‌شود (Oweis et al., 2005; Panahyan-e-Kivi et al., 2009). در یک مطالعه بر روی ارقام پرکاربرد گیاه عدس تحت شرایط تنش کم‌آبی مشاهده شد که تنش آبی در سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه، طول، سطح، حجم و قطر ریشه در مقایسه با شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) شد (Ahmadpour et al., 2016). بنابراین اتخاذ راهکارهایی که بتواند اثرات منفی تنش آبی را در گیاه عدس کاهش داده و منجر به افزایش محصول گردد، بسیار اهمیت دارد.

کاربرد ضایعات آلی نظیر زباله‌های شهری، لجن فاضلاب و پسماندهای گیاهی و جانوری در خاک یک روش مناسب جهت افزایش و حفظ ماده آلی خاک و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان است (Mylavarapu et al., 2009). کمپوست‌ها مواد آلی غنی شده‌ای هستند که طی یک فرآیند هوازی از بازیافت مواد طبیعی به دست می‌آیند (Lakhdar et al., 2009). خاک‌های مناطق دیم کشور، که بیش از ۸۰ درصد کشت حبوبات (به ویژه عدس، نخود و لوبیا) را شامل می‌شود، از نظر مواد آلی فقیر هستند (Parsa and Bagheri, 2008). استفاده از کود کمپوست در این زمین‌ها علاوه بر افزایش ماده آلی، باعث افزایش میزان نیتروژن، فسفر و عناصر کم مصرف (نظیر آهن و روی) در خاک می‌شود که این امر بهبود حاصلخیزی خاک را به دنبال دارد (Hargreaves et al., 2008). پژوهش‌های متعدد نشان داده است که اصلاح خاک با مواد آلی، به دلیل تأثیر مثبت بر خصوصیات فیزیکی خاک شامل افزایش نفوذپذیری، کاهش وزن مخصوص، افزایش قدرت نگهداری آب، بهبود فعالیت میکروبی و افزایش میزان مواد غذایی موجود در خاک، منجر به افزایش پایداری تولیدات کشاورزی می‌گردد (Hornick, 1998; Marinari et al., 2000; Huerta et al., 2010). در بررسی بر روی گوجه فرنگی، کاهو و فلفل مشاهده شد که سطوح ۸ و ۱۰ درصد کمپوست زباله‌های شهری منجر به افزایش رشد (ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد برگ و شاخه جانبی) و عملکرد (وزن خشک بوته و محصول) در این گیاهان شد (Wilson et al., 1989). در یک مطالعه گزارش شد که در شرایط تنش خشکی، استفاده از کمپوست و ورمی‌کمپوست میزان کربن آلی،نیتروژن،

فسفر، زیست‌توده میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی کل را افزایش می‌دهد (Gajalakshmi and Abbasi, 2002). در یک آزمایش محققان علت افزایش معنی‌دار در خصوصیات مورفولوژیکی گیاهان لوبیا و ذرت را افزودن نسبت مناسب از کود کمپوست به خاک و افزایش مواد مغذی به ویژه نیتروژن گزارش کردند (Samiran et al., 2010).

با توجه به ارزش غذایی و اقتصادی گیاه عدس و نظر به اینکه کشت این گیاه در شرایط دیم (کمبود آب قابل دسترس) معمولاً منجر به کاهش خصوصیات مورفولوژیکی و عملکردی می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی مهمترین صفات مورفولوژیکی (نظیر ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، طول، سطح، قطر و حجم ریشه)، اجزای عملکردی (نظیر تعداد غلاف، وزن خشک ریشه و اندام هوایی)، صفات فیزیولوژیکی (نظیر کلروفیل a، b، کاروتنوئید، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a/b) در گیاه عدس انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی برهم‌کنش کود کمپوست و تنش آبی بر ویژگی‌های عملکردی و مورفوفیزیولوژیک بذرهای عدس (رقم گچساران) آزمایشی در سال ۱۳۹۵ در دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان اجراء گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و از طریق کشت گلدانی در محیط باز انجام شد. مکان آزمایش در ۳۰ درجه عرض شمالی و ۵۰ درجه طول شرقی قرار داشت که به طور متوسط ۳۲۰ متر ارتفاع از سطح دریا دارد. میانگین بارندگی و دما در ماه‌های مهر، آبان به‌ترتیب ۵۰/۱۰، ۵٤/۲۰ میلی‌متر و ۱۵/۲۳، ۹/۲٦ سانتی‌گراد بود. فاکتور اول ۵ نسبت وزنی کود کمپوست با خاک (شنی لومی) شامل: ۱۰۰:۰؛ ۹۵:۵؛ ۸۵:۱۵؛ ۷۵:۲۵ و ٦۵:۳۵ (به‌ترتیب معادل ۲۵۰۰:۰، ۲۳۷۵:۱۲۵، ۲۱۲۵:۳۷۵، ۱۸۷۵:٦۲۵ و ۱٦۲۵:۸۷۵ گرم) بود و فاکتور دوم سطوح تنش کمبود آب شامل بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید (به ترتیب معادل ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) در نظر گرفته شد. خصوصیات کود کمپوست زباله شهری و خاک مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۱ ذکر شده است. کود کمپوست زباله‌های تر شهری از شرکت آرمان کاران زبده در تهران تهیه شد.

جدول ۱: خصوصیات خاک و کود کمپوست مورد استفاده در آزمایش

اسیدیته	نیتروژن کل (درصد)	منیزیم (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (درصد)	آهن (درصد)	کلسیم (درصد)	کربن/ نیتروژن	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	خصوصیات
۷/۰۸	۳	۱/۳	۱/۵	۱/۳	۰/٦	۵/۵	۲۱/۱	۲/۵	کمپوست
۷/٤۰	۱/۵	۰/۰۵	۰/٤	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۱	۱۷/٤	۱/٤	خاک

از گلدان‌هایی با ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر، قطر ۲۰ سانتی‌متر و با حجم ۲/۵ کیلوگرم خاک به عنوان یک واحد آزمایشی استفاده شد و با آماده‌سازی نسبت‌های مختلف کود و خاک کاشت بذرهای عدس (رقم گچساران) در چهار قسمت از گلدان انجام شد و گلدان‌ها در محیط باز قرار گرفتند. به‌منظور اعمال تیمار تنش آبی در گلدان، ابتدا وزن خاک خشک تعیین شد و در مرحله بعد به آرامی و تا حد اشباع، آب به خاک اضافه شد و پس از خارج شدن کامل آب ثقلی، 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; Ganjeali et al., 2011; Hosseinzadeh et al., 2016). آبیاری

گلدان‌ها هر سه روز یکبار و بر اساس درصد رطوبت وزنی خاک انجام شد. در پایان دوره رشد (٦٥ روز پس از کاشت) و زمان برداشت، بخش هوایی از ریشه تفکیک شد (جهت خارج نمودن ریشه‌ها از خاک، ابتدا هر گلدان به صورت مایل نگه داشته شد و سپس با استفاده از فشار متوسط آب، خاک گلدان نرم شد و در نهایت با خارج کردن خاک، ریشه‌ها به طور کامل و سالم خارج شدند).

صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، خصوصیات ریشه (طول، سطح، قطر و حجم ریشه) و صفات عملکردی نظیر تعداد غلاف، وزن خشک ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شدند. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به‌مدت ٤٨ ساعت در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سطح برگ‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ انجام گردید (KR3000 Leaf Area Meter; Korea Tech Inc. Suwon., Korea). صفات ریشه شامل سطح، قطر و حجم ریشه بوسیله 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 و حجم را با استفاده از اسکن ریشه مورد نظر محاسبه می‌کند.

برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaller and Wellburn (۱۹۸۳) استفاده شد. نمونه‌برداری ٦٤ روز پس از کاشت (مرحله غلاف دهی) انجام شد و به منظور ایجاد شرایط یکنواخت در تمامی تیمارها، از برگ‌های دوم و سوم گیاهچه‌ها استفاده شد. ابتدا ۰/۱ گرم برگ با ٤ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد در هاون چوبی سائیده شد و سپس محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شده و سپس جذب محلول رویی جهت تعیین میزان کلروفیل و کارتنوئید توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل ۲۱۰۰ در طول موج‌های ٦٤٧، ٦٦٤ و ٤٧٠ نانومتر قرائت گردید. جهت صفر کردن دستگاه از استن ۸۰ درصد استفاده شد. میزان کل کلروفیل، کلروفیل a، b و کارتنوئید از طریق معادله‌های (۱) تا (٤) محاسبه گردید.

معادله (۱) $Chl_a=12/21(A_{664})-2/79(A_{647})$

معادله (۲) $Chl_b=21/21(A_{647})-5/1(A_{664})$

معادله (۳)

$$Carotenoid = (1000\ A_{470}-1/8Chl_a-85/02Chl_b)/198$$

معادله (٤) $Chl_T= Chl_a + Chl_b$

$A_{٦٤٧}$: میزان جذب نوری در طول موج ٦٤٧ نانومتر، $A_{٦٦٤}$: میزان جذب نوری در طول موج ٦٦٤ نانومتر و $A_{٤٧٠}$: میزان جذب نوری در طول موج ٤٧٠ نانومتر می‌باشد.

آنالیزهای آماری توسط نرم‌افزار MASTAT-C انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج

بررسی خصوصیات اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس صفات اندام هوایی نشان داد که اثرات ساده کود کمپوست و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ، تعداد غلاف و وزن خشک اندام هوایی داشت اما برهم‌کنش کمپوست و تنش کم‌آبی فقط بر صفات ارتفاع بوته، سطح و تعداد برگ معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل بر ارتفاع بوته نشان داد که در شرایط بدون تنش آبی (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)، سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی کمپوست به‌ترتیب با ۳۲/۵۰ و ۳۳/۳۳ سانتی‌متر بیشترین میزان ارتفاع بوته را داشتند که در

مقایسه با سطح شاهد (۲۹/٦۷ سانتی‌متر) این افـزایش معنـی‌دار بـود. در شـرایط تـنش ملایـم (۵۰ درصـد ظرفیت زراعی)، کاربرد کود کمپوست در سـطوح ۲۵ و ۳۵ درصـد وزنـی (بـه‌ترتیـب بـا ۲۷/۸۳ و ۲۹/٦۵ سانتی‌متر) در مقایسه با شاهد (۲۵/۲۷ سانتی‌متر) منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته گردیـد امـا در شـرایط تنش آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعـی) اخـتلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت (جدول ٦).

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس برخی خصوصیات مورفولوژیکی و عملکردی گیاه عدس در سطوح مختلف کمپوست زباله شهری و تنش آبی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد غلاف در بوته	سطح برگ	تعداد برگ در بوته	سطح ریشه	طول ریشه	قطر ریشه	حجم ریشه
کود کمپوست	٤	٤/۷۷۳**	٦/۸٦۷**	۱۷۱۱/۸۳۳**	۳۰/۸۳۳**	۳/۱۵۲**	۹/۲۵۰**	۰/۰۰٤**	۰/۰۰۰۳*
تنش آبی	۲	۳٦٤/۱۹۸**	٦٤/٦۲۲**	۵۵۳۲۱/۳۵٦**	۱۰۳۳/٤۸۹**	۵۵/۳۲۱**	۱۱۷/۷۸۹**	۰/۱٤۱**	۰/۰۰۱**
کمپوست×تنش	۸	۳/۰۸۹*	۰/۵٦۷^{ns}	٦۰۷/۰۵۰*	٦/۰۱۷*	۰/٦۰٤**	۱/۹۷۲**	۰/۰۰۰٤^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
خطای آزمایش	۳۰	۱/۳۳٦	۰/۵۷۸	۹۱/٦۸۹	۱/٤٦۷	۰/۰٤۳	۰/٤۳۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱
ضریب‌تغییرات	–	٤/۳۹	۸/۱۹	۱/۳۰	۳/۵۷	۳/۰٤	۳/٦۰	۳/۳۷	٤/۱۲

^{ns} ، *، ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه عدس در سـطوح مختلـف کمپوسـت زبالـه شهری و تنش آبی

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	مجموع کلروفیل	نسبت کلروفیل a/b
کود کمپوست	٤	۰/۱۰۵**	۰/۲۳٦**	۰/۱٦۳**	۰/۰۰۳**	۰/۰٤۰**	۰/۲۱۰**	۰/۰۱۷**
تنش آبی	۲	۱/۰۵۵**	۵۱/۸۱۹**	۵/۸۷۰**	۰/۲٦۷**	۰/۷۹۲**	۸/٦۳۱**	۰/۳۷۸**
کمپوست × تنش	۸	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۸۰*	۰/۰۲۰*	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰٤^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۰۰۵*
خطای آزمایش	۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات	–	٤/۱٤	٤/۷۹	۱/۹۱	۱/۲۹	۳/۱٦	۱/٤۰	۲/۰۸

^{ns} ، * ، ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

نتایج بررسی اثـرات سـاده کمپوسـت بـر تعـداد غلاف در بوته نشان داد که سـطوح ۲۵ و ۳۵ درصـد وزنی در مقایسه با تیمار شاهد به صورت معنـی‌داری تعداد غـلاف در بوتـه را افـزایش داد (جـدول ٤). در مقایسه بین سطوح تنش آبی نیز مشاهده شد که تـنش شدید در مقایسه با دیگر سطوح، تعداد غلاف در بوته را بـه صـورت معنـی‌داری کـاهش داد (جـدول ۵). مقایسه میانگین‌ها در اثرات متقابل بر روی تعداد برگ در بوته نشان داد که بیشـترین میـزان تعـداد بـرگ در سطح ۳۵ درصد وزنی کمپوست در شرایط بدون تنش آبی بود که با سطوح ۲۵ و ۱۵ درصد وزنی کمپوست در این شرایط اختلاف معنی‌داری نداشت اما کمتـرین میزان این صفت نیز به سطح بدون کـاربرد کمپوسـت در شرایط تنش شدید اختصاص داشت که با سـطوح ۵، ۱۵ و ۲۵ درصـد وزنـی در شـرایط تـنش شـدید تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ٦). نتـایج مقایسـه میانگین‌ها در اثرات متقابل نشان داد که بیشترین میزان سطح برگ به سطح ۲۵ درصد وزنی کود کمپوست در شرایط بدون تنش اختصاص داشت که با سـطوح ۱۵ و ۳۵ درصد وزنی در این شرایط اختلاف معنـی‌داری

نداشت. کمترین مقدار این صفت نیز در سطح عدم کاربرد کود کمپوست و در شرایط تنش آبی شدید مشاهده شد که با به جز با سطوح ۵ و ۱۵ درصد وزنی کمپوست، در مقایسه با دیگر سطوح کاهش معنی‌داری داشت (جدول ٦). مقایسه میانگین‌ها در اثرات ساده کود کمپوست بر وزن خشک اندام هوایی نشان داد که تیمار ۳۵ درصد وزنی کود کمپوست با ۱/۳۵۲ گرم در مقایسه با سطوح شاهد و ۵ درصد وزنی (به‌ترتیب ۱/۰۸۸ و ۱/۲٦٤ گرم) افزایش معنی‌داری داشت (جدول ٤). در بررسی اثرات ساده تنش کم‌آبی نتایج نشان داد که افزایش شدت تنش کم‌آبی کاهش معنی‌داری در وزن خشک اندام هوایی را به‌دنبال داشت (جدول ۵).

جدول ٤: مقایسه میانگین خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه عدس در سطوح مختلف کود کمپوست زباله شهری

کود کمپوست	تعداد غلاف در بوته	وزن خشک اندام هوایی(گرم)	قطر ریشه (میلی‌متر)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	کاروتنوئیدها (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	مجموع کلروفیل a+b (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)
شاهد	۳/۲۲ c	۱/۰۸۸ c	۰/۳٤٤ d	۰/۰۵۳ c	۲/۳۰۲ b	۲/۱۰ c	٦/٦٤ c
٪۵	۳/٤٤ c	۱/۲٦٤ b	۰/۳٦۵ c	۰/۰۵٤ bc	۲/۳۰۷ b	۲/۱٤ bc	٦/۷٤ bc
٪۱۵	٤/۱۱ bc	۱/۳۲٤ ab	۰/۳۷٤ bc	۰/۰۵٤ bc	۲/۳۱۱ b	۲/۲۱ ab	٦/۷۸ b
٪۲۵	٤/۸۸ ab	۱/۳۳۲ ab	۰/۳۸٦ ab	۰/۰۵۸ ab	۲/۳۲۲ ab	۲/۲۲ ab	٦/۹۷ a
٪۳۵	۵/۲۲ a	۱/۳۵۲ a	۰/۳۹۵ a	۰/۰٦۱ a	۲/۳٤۷ a	۲/۲۷ a	٦/۹۹ a

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵: مقایسه میانگین خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه عدس در سطوح مختلف تنش آبی

تنش کمبود آب	تعداد غلاف در بوته	وزن خشک اندام هوایی(گرم)	قطر ریشه (میلی‌متر)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	مجموع کلروفیل a+b (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)
بدون تنش کم‌آبی	٦/۱۳a	۱/۵٤۷a	۰/٤٦۱a	۰/۰٦٤a	۲/٤٦٤a	۲/٤۲a	۷/٦۲a
تنش کم‌آبی ملایم	٤/٤۰ b	۱/۲۵۳ b	۰/۳۸۸ b	۰/۰۵۵ b	۲/۲۹۵ b	۲/۱۷ b	٦/۷۵ b
تنش کم‌آبی شدید	۲c	۱/۰۱۷c	۰/۲٦۹c	۰/۰٤۹c	۲/۲۰۱c	۱/۹۷c	٦/۱۱c

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

بررسی خصوصیات ریشه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کود کمپوست و تنش آبی تأثیر معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد بر خصوصیات ریشه نظیر وزن خشک ریشه، طول، سطح، قطر و حجم ریشه داشت اما برهمکنش کود کمپوست و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه، طول و سطح ریشه داشت (جدول ۲ و ۳). مقایسه میانگین داده‌ها در برهم‌کنش کمپوست و تنش بر وزن خشک ریشه نشان داد که بیشترین میزان این صفت به با ۵/٤۰ گرم به تیمار ۳۵ درصد وزنی کمپوست در شرایط بدون تنش اختصاص داشت که به جز سطوح ۱۵ و ۲۵ درصد وزنی کمپوست در این شرایط نسبت

به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری داشت. کمترین میزان وزن خشک ریشه (۱/۵۲ گرم) نیز در سطوح صفر و ۵ درصد وزنی کمپوست در شرایط تنش آبی شدید مشاهده شد که با سایر سطوح کمپوست مورد بررسی در شرایط تنش شدید اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ٦). نتایج مقایسه میانگین‌ها در برهم‌کنش کمپوست و تنش آبی نشان داد که بیشترین میزان سطح ریشه با ۹/۹۵ میلی‌مترمربع به سطح ۳۵ درصد وزنی کمپوست در شرایط بدون تنش اختصاص داشت که در مقایسه با سایر سطوح افزایش معنی‌داری داشت. کمترین میزان این صفت نیز به سطح شاهد کمپوست در شرایط تنش آبی شدید تعلق داشت که با سایر سطوح کمپوست مورد بررسی در این شرایط اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷). جدول ۷ نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش کم‌آبی، طول ریشه در تمامی سطوح کمپوست مورد استفاده در این آزمایش افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت اما در شرایط تنش ملایم و شدید، سطوح ۳۵ درصد وزنی کمپوست به‌ترتیب با ۱۸/٦۷ و ۱۷/۳۳ سانتی‌متر افزایش معنی‌داری نسبت به سطوح شاهد داشتند. مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات ساده کمپوست زباله شهری بر قطر ریشه نشان داد که سطح ۳۵ درصد وزنی بیشترین میزان این صفت را داشت که به جز سطح ۲۵ درصد، با دیگر سطوح اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین میزان قطر ریشه به سطح شاهد اختصاص داشت که در مقایسه با دیگر سطوح کاهش معنی‌داری داشت (جدول ٤). مقایسه سطوح کمپوست زباله شهری در حجم ریشه نشان داد که سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی کمپوست زباله شهری موجب افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با شاهد شد اما از طرف دیگر سطح شاهد اختلاف معنی‌داری با سطوح ۵ و ۱۵ درصد وزنی کمپوست زباله شهری نداشت (جدول ٤).

جدول ٦: مقایسه میانگین خصوصیات مورفولوژیکی و عملکردی گیاه عدس تحت تأثیر سطوح کمپوست زباله شهری و تنش آبی

تنش آبی	کود کمپوست زباله شهری	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	تعداد برگ	وزن خشک ریشه (گرم)
بدون تنش کم‌آبی (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)	شاهد	۲۹/٦۷^{cd}	۷۵۳/۷^{c}	۳۸/۰۰^{b}	۵/۰۷^{b}
	٪۵	۲۹/۸۳ ^{cd}	۷۹۹/۳ ^{b}	۳۹/۰۰ ^{b}	۵/۳٤ ^{ab}
	٪۱۵	۳۰/٦۷^{bc}	۸۱٦/۰^{a}	٤۳/۳۳^{a}	۵/۳۹^{a}
	٪۲۵	۳۲/۵۰^{ab}	۸۲۳/۷^{a}	٤۵/۰۰^{a}	۵/٤۰^{a}
	٪۳۵	۳۳/۳۳^{a}	۸۲۳/۰^{a}	٤۵/۳۳^{a}	۵/٤۲^{a}
تنش کم‌آبی ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)	شاهد	۲۵/۲۷^{f}	۷۰۰/۲^{ef}	۳۲/۳۳^{e}	۳/۳۵^{d}
	٪۵	۲٦/۳۷ ^{ef}	۷۱۵/۰ ^{d}	۳۳/۰۰ ^{de}	۳/۳۳ ^{d}
	٪۱۵	۲٦/۰۰^{ef}	۷۲۰/۳^{d}	۳٤/۳۳^{cde}	۳/۳۷^{d}
	٪۲۵	۲۷/۸۳^{de}	۷۲۲/۳^{d}	۳٤/٦۷^{cd}	۳/۹۳^{c}
	٪۳۵	۲۹/٦۵^{cd}	۷۲۲/۰^{d}	۳۵/٦۷^{c}	۳/۹۵^{c}
تنش کم‌آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)	شاهد	۲۰/۹۳^{g}	٦۷۲/۷^{g}	۲٤/۳۳^{g}	۱/۵۲^{e}
	٪۵	۲۱/٤۷ ^{g}	٦۸٦/۰ ^{fg}	۲۵/۰۰ ^{fg}	۱/۵۲ ^{e}
	٪۱۵	۲۱/٦۷^{g}	٦۸۳/۰^{fg}	۲٦/۰۰^{fg}	۱/٦۷^{e}
	٪۲۵	۲۱/۳۳^{g}	٦۹۲/۰^{ef}	۲۵/٦۷^{fg}	۱/٦٦^{e}
	٪۳۵	۲۱/۳۳^{g}	٦۹۵/۰^{ef}	۲٦/٦۷^{f}	۱/٦۸^{e}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات ساده تنش آبی بر میزان قطر و حجم ریشه نشان داد که این تیمارها هر کدام در گروه آماری جداگانه‌ای قرار گرفتند، به‌طوری‌که کمترین و بیشترین میزان قطر و حجم ریشه به‌ترتیب به شرایط تنش شدید و بدون تنش اختصاص داشت (جدول ۵).

بررسی رنگدانه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۳ نشان می‌دهد که تیمارهای کود کمپوست زباله شهری و تنش آبی به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل a، b، کاروتنوئید، محتوای کلروفیل کل (a+b) و نسبت کلروفیل a به b دارد. اثرات متقابل تیمارهای مورد استفاده تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل a و نسبت کلروفیل a به b در سطح احتمال ۵ درصد داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها در برهم‌کنش کمپوست و تنش آب نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a به با ۵/۲۷ (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) به تیمار ۳۵ درصد وزنی کمپوست در شرایط بدون تنش اختصاص داشت که در مقایسه با سطوح ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد وزنی در شرایط بدون تنش تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما در مقایسه با سایر سطوح افزایش معنی‌داری داشت. کمترین میزان این صفت با ۳/۷۵ (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در تیمار بدون کاربرد کمپوست زباله شهری و در شرایط تنش شدید مشاهده شد که به جز تیمار ۵ درصد وزنی در شرایط تنش آبی شدید، نسبت به دیگر تیمارها کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۷). در بررسی اثرات کود کمپوست زباله شهری بر میزان کلروفیل b نتایج نشان داد که بیشترین میزان این صفت در سطح ۳۵ درصد وزنی کمپوست مشاهده شد که به جز سطح ۲۵ درصد وزنی، با دیگر سطوح تفاوت معنی‌داری داشت. کمترین میزان کلروفیل b به سطح شاهد اختصاص داشت که با سطوح ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد وزنی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ٤). در بررسی اثرات ساده تنش آبی بر کلروفیل b نیز مشاهده شد که تنش آبی ملایم و شدید به صورت معنی‌داری میزان کلروفیل b را کاهش دادند (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها بر روی محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید برگی نشان داد که در بین تیمارهای کمپوست زباله شهری، سطوح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی منجر به افزایش معنی‌دار محتوای کاروتنوئید در مقایسه با شاهد شدند. سطح ۵ درصد وزنی کمپوست تفاوت معنی‌داری با سطح شاهد در این صفت نداشت (جدول ٤). افزودن کمپوست زباله شهری به خاک در سطوح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی منجر به افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل کل نسبت به شاهد شد. با توجه به جدول ٤ مشاهده می‌شود که کلروفیل کل در سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی نسبت به سطوح ۵ و ۱۵ درصد وزنی نیز افزایش معنی‌داری دارد (جدول ٤). مقایسه میانگین‌ها در اثرات تنش آبی بر محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید نشان داد که شرایط بدون تنش و تنش آبی شدید به ترتیب کمترین و بیشترین میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید را داشتند که در مقایسه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵). در بررسی برهم‌کنش کود کمپوست و تنش آبی بر نسبت کلروفیل a/b، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان این نسبت در تیمار ۲۵ درصد وزنی کمپوست زباله شهری و در شرایط بدون تنش بود که در مقایسه با دیگر تیمارهای کمپوست (۵، ۱۵ و ۳۵ درصد وزنی) در این شرایط تفاوت معنی‌داری نداشت اما در مقایسه با سایر تیمارهای مورد بررسی افزایش معنی‌داری داشت. کمترین نسبت کلروفیل a/b در تیمار بدون کاربرد کمپوست زباله شهری و در شرایط تنش آبی شدید مشاهده شد که با سایر سطوح کمپوست در این شرایط اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

جدول ۷: مقایسه میانگین برخی خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه عدس تحت تأثیر سطوح کمپوست زباله شهری و تنش آبی

تنش آبی	کود کمپوست	سطح ریشه (میلی‌مترمربع)	طول ریشه (سانتی‌متر)	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)	نسبت کلروفیل a/b
بدون تنش کم‌آبی (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)	شاهد	۷/۶۸^{d}	۱۸/۳۳^{cd}	٤/۹۵^{b}	۲/۰۳^{c}
	٪۵	۸/۱۵ ^{c}	۲۱/٤۳ ^{b}	۵/۱۲ ^{a}	۲/۱۰ ^{abc}
	٪۱۵	۹/۰۶^{b}	۲۲^{b}	۵/۱۸^{a}	۲/۱۱^{ab}
	٪۲۵	۹/۳۰^{b}	۲۱/۸۳^{b}	۵/۲۶^{a}	۲/۱۲^{a}
	٪۳۵	۹/۹۵^{a}	۲۳/۵۰^{a}	۵/۲۷^{a}	۲/۱۱^{ab}
تنش کم‌آبی ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)	شاهد	۵/۶۸^{f}	۱۶/۷۷^{def}	٤/۳۱^{d}	۱/۸۹^{d}
	٪۵	۵/۷۶ ^{f}	۱۷/۳۳ ^{cde}	٤/۳۰ ^{d}	۱/۸۹ ^{d}
	٪۱۵	۶/۹٤^{e}	۱۸^{cd}	٤/۳۱^{d}	۱/۸۸^{d}
	٪۲۵	۷/۱٤^{e}	۱۷/۶۷^{cd}	٤/۶۸^{c}	۲/۰٤^{bc}
	٪۳۵	۷/۳۱^{de}	۱۸/۶۷^{c}	٤/۶۷^{c}	۲/۰۲^{b}
تنش کم‌آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)	شاهد	٤/۸٤^{g}	۱۵/۵۰^{f}	۳/۷۵^{f}	۱/۷۳^{e}
	٪۵	٤/۹۹ ^{g}	۱۵/۵۵ ^{f}	۳/۸۸ ^{ef}	۱/۷۸ ^{e}
	٪۱۵	۵/۰٤^{g}	۱۶^{ef}	۳/۹۲^{e}	۱/۷۹^{e}
	٪۲۵	۵/۰۶^{g}	۱۵/۸۳^{ef}	۳/۹۷^{e}	۱/۷۹^{e}
	٪۳۵	۵/۱۱^{g}	۱۷/۳۳^{cde}	٤/۰۱^{e}	۱/۸۰^{e}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

بحث

بررسی رنگدانه‌های فتوسنتزی: رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها و مجموع کلروفیل‌های a+b) به‌عنوان یکی از مهمترین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در گیاهان محسوب می‌شود، به‌عبارت دیگر گیاهانی که در مواجه با تنش‌های محیطی (نظیر خشکی و شوری) بتوانند کاهش کمتری در رنگدانه‌های فتوسنتزی داشته باشند، از گیاهان مقاوم به تنش به‌شمار می‌روند (Flexas and Medrano, 2008; Amiri et al., 2017). نتایج این پژوهش نیز نشان داد که تنش آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) موجب کاهش معنی‌دار کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها و مجموع کلروفیل های a+b در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی در گندم (Bayoumi et al., 2009)، زیتون (Guerfel et al., 2008) و نخود (Rahbarian et al., 2011) نیز گزارش شده است. در مطالعات متعدد، یکی از دلایل کاهش کلروفیل در شرایط تنش آبی اختلال در جذب منیزیم از خاک گزارش شد که کاهش بیوسنتز کلروفیل را به‌دنبال دارد (Keles and Onsel, 2004; Flexas and Medrano, 2008). کود کمپوست با تخلخل بالا علاوه بر حفظ رطوبت و آب محدود موجود در خاک، با افزایش عناصر مغذی نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و عناصر میکرو مانند آهن، روی، مس و منگنز نقش مهمی در حفظ انتقال مواد غذایی از ریشه به برگ و حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی در برگ دارند (Mylavarapu

and Zinati, 2009). در این راستا نتایج این پژوهش نیز نشان داد که کاربرد کمپوست زباله شهری در سطوح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی منجر به افزایش معنی‌دار محتوای کاروتنوئید و مجموع کلروفیل a+b شد (جدول ٤). در یک مطالعه بر روی رنگدانه‌های فتوسنتزی مشاهده شد که کلروفیل‌ها نسبت به اکسیداسیون و بازدارندگی نوری حساس بوده در حالی که نقش کاروتنوئیدها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان و حفاظت کننده از کلروفیل‌ها مطرح است. مشخص شده است با اینکه کاروتنوئیدها نسبت به کلروفیل‌ها پایدارترند اما تحت تنش خشکی کاهش می‌یابند (Loggini et al., 1999). مقدار کلروفیل معمولاً متناسب با میزان کاروتنوئیدی است که از آن محافظت می‌کند (Loggini et al., 1999). بنابراین افزایش محتوای کاروتنوئیدها در سطوح ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی کمپوست نسبت به سطح شاهد را می توان به افزایش محتوای کلروفیل کل در این سطوح نسبت داد (جدول ۳). به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که افزایش کمپوست در محیط ریشه منجر به افزایش ظرفیت نگه‌داری آب بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی و شرایط بهتر برای جذب آب و عناصر غذایی در شرایط تنش کمبود آب می‌گردد که نقش مهمی در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش بر رنگدانه‌های فتوسنتزی دارد. نتایج این پژوهش نیز در برهم‌کنش تیمارها (کمپوست زباله شهری×تنش آبی) نشان داد که سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی کمپوست زباله شهری در تمامی سطوح تنش آبی مورد بررسی در مقایسه با سطح بدون کاربرد کمپوست موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل a شد (جدول ۷).

بررسی خصوصیات ریشه: اولین سیستم درک‌کننده کمبود آب قابل دسترس در خاک، ریشه‌های گیاهان هستند که نقش مهمی در ایجاد مقاومت نسبت به تنش خشکی دارند (Amiri et al., 2017). وجود رطوبت کافی و مناسب در محیط کشت منجر به افزایش صفاتی نظیر طول، سطح، قطر و حجم ریشه می‌شود که در نهایت بهره‌برداری ریشه از رطوبت و عناصر غذایی موجود در خاک را افزایش می‌دهد (Ganjeali and Bagheri, 2011). افزایش شدت تنش کم‌آبی در خاک موجب محدودیت رشد ریشه و گسترش آن به لایه‌های بالایی خاک می‌شود، در نتیجه پیری زودرس ریشه را به‌دنبال دارد (Ahmadpour et al., 2016). از طرف دیگر در این شرایط علاوه بر تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش سطح و تعداد برگ، ورود دی‌اکسید کربن نیز به داخل سلول‌های روزنه کاهش یافته و منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود که در نهایت منجر به کاهش شدید وزن خشک ریشه می‌گردد (Siva et al., 2007; Saeidi and Abdoli, 2015).

تغییرات فشار آماس در سلول‌های ریشه تحت تنش خشکی، از مهمترین دلایل کاهش خصوصیات مورفولوژیکی ریشه در حبوبات گزارش شده است (Parsa and Bagheri, 2008; Rahbarian et al., 2011; Ahmadpour et al., 2016). مطابق با گزارش‌های این محققان، نتایج این پژوهش نیز نشان داد که تنش آبی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) به صورت معنی‌داری در مقایسه با شرایط بدون تنش خصوصیات ریشه مورد بررسی در این مطالعه مانند طول ریشه، سطح ریشه، قطر ریشه، حجم ریشه و وزن خشک ریشه را کاهش داد (جداول ۵، ٦ و ۷).

کود کمپوست با بهبود شرایط خاک، افزایش قابلیت دسترسی عناصر مغذی و مواد هومیکی نقش اصلی در افزایش رشد سیستم ریشه‌ای دارد (Aggelides and Londra, 2000). در این زمینه، مطالعه بر روی گیاه عدس نشان داد که با محلول‌پاشی چای‌کمپوست برخی از خصوصیات ریشه از قبیل طول و وزن تر و خشک ریشه افزایش می‌یابد

(Ahmadpour and Bahrami, 2016). در آزمایشی دیگر بر روی گوجه‌فرنگی گزارش شد که در شرایط تنش آبی، کاربرد کمپوست به‌دلیل افزایش ظرفیت نگه‌داری آب و عناصر غذایی (نیتروژن و فسفر) منجر به افزایش معنی‌دار طول و سطح ریشه می‌گردد (Bender Ozenç, 2006). در این مطالعه مشاهده شد که افزودن کمپوست به خاک در سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر حجم و قطر ریشه دارد (جدول ٤) که این افزایش را می‌توان به فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در خاک با کاربرد کودهای آلی مانند کمپوست، ورمی‌واش و ورمی‌کمپوست نسبت داد. از مهمترین فعالیت‌های این میکروارگانیسم‌ها تبدیل نیتروژن آمونیومی به نیترات است و از جمله اثرات مثبت نیترات افزایش در قطر و حجم ریشه است (Arancon et al., 2007; Huerta et al., 2010). به‌طورکلی در بررسی خصوصیات ریشه مشاهده شد که استفاده از تیمارهای مناسب نظیر کودهای آلی می‌تواند اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی به خصوص در شرایط تنش ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) را جبران کند، به‌طوری‌که نتایج در این مطالعه نشان داد که در شرایط تنش آبی ملایم سطح ۳۵ درصد وزنی کمپوست زباله شهری موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه، طول ریشه و سطح ریشه شد اما در شرایط تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، سطح ۳۵ درصد وزنی فقط منجر به افزایش معنی‌دار طول ریشه شد (جداول ٦ و۷).

بررسی خصوصیات اندام هوایی

از مهمترین اثرات تنش کم‌آبی در گیاهان کاهش رشد اندام هوایی نظیر ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در بوته و سطح و تعداد برگ است که دلایل اصلی آن کاهش ترشح هورمون‌های رشد، افزایش مواد بازدارنده رشد، کاهش تقسیم سلولی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، کوتاه شدن دورهٔ رشد گیاه و مکانیسم‌های گریز از تنش گزارش شده است (Bayoumi et al., 2008; Hosseinzadeh et al., 2016). شاخص سطح برگ بیشتر در یک گیاه موجب ظرفیت فتوسنتزی بیشتر و افزایش ارتفاع بوته نشان‌دهنده گنجایش بیشتر ساقه گیاه به‌عنوان منبع ثانویه جهت ذخیره مواد فتوسنتزی است (Rahbarian et al., 2011). کاهش خصوصیات مورفولوژیکی و عملکردی در شرایط کمبود آب قابل دسترس در سایر حبوبات از جمله لوبیا (Armand et al., 2015)، نخود فرنگی (Games et al., 2005)، نخود (Ganjeali et al., 2011) و عدس (Panahyan-e-Kivi et al., 2009) نیز گزارش شده است. نتایج این پژوهش نیز نشان می‌دهد که تنش آبی شدید منجر به کاهش معنی‌دار خصوصیات مورفولوژیک و عملکردی (ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، تعداد غلاف، وزن خشک اندام هوایی) گیاه عدس (رقم گچساران) شد (جداول ۵ و٦).

کود کمپوست دارای تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نظیر اکسین است که در تحریک رشد گیاهان نقش مهمی دارد (Muscolo et al., 1999). در مطالعات متعدد بر روی برخی گیاهان از قبیل گل همیشه بهار (Gajalakshmi and Abbasi, 2002)، کلم راپا (Archana et al., 2009) و گوجه‌فرنگی (Bender Ozenç, 2006) مشاهده شد که سطوح مختلف کمپوست در افزایش معنی‌دار برخی شاخص‌های مورفولوژیکی و عملکردی نظیر ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن خشک بوته و سطح برگ موثر بود. این محققان گزارش کردند که استفاده از کود کمپوست در خاک با بهبود خواص فیزیکی خاک نظیر افزایش ظرفیت نگه‌داری آب، افزایش هیومیک اسید و افزایش فعالیت میکروارگانیزم‌ها نقش مهمی در افزایش این صفات دارند. مواد هومیکی شامل هیومیک اسید و

فولویک اسید به صورت مستقیم با افزایش میکروارگانیزم‌های مفید خاک، افزایش فعالیت آنزیمی، آزادسازی عناصر مغذی، بهبود رشد ریشه از طریق اصلاح ساختار فیزیکی خاک به صورت مستقیم و با بهبود ویژگی‌های خاک نظیر خاکدانه سازی، تهویه، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب و انتقال عناصر کم مصرف به صورت غیرمستقیم در افزایش رشد رویشی گیاهان نقش دارد (Tan, 2003). در یک مطالعه بر روی گیاه عدس مشاهده شد که محلول‌پاشی چای کمپوست در شرایط تنش خشکی منجر به افزایش معنی‌دار برخی خصوصیات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، تعداد غلاف و وزن خشک اندام هوایی شد (Ahmadpour and Bahrami, 2016). یکی از مزایای اثبات شده کودهای کمپوست و ورمی‌کمپوست وجود تنظیم کننده‌های رشد گیاهی نظیر اکسین است که نقش اصلی آن افزایش رشد اسیدی در دیواره‌های سلولی است که در نهایت منجر به افزایش رشد طولی گیاه می‌شود. از دیگر نقش‌های هورمون اکسین نیز می‌توان به تأخیر در پیری برگ و ساقه، تنظیم مرحله زایشی به خصوص نمو دانه و میوه، تسریع تشکیل ریشه‌های جانبی که نقش مهمی در افزایش جذب آب و مواد غذایی در گیاه دارد، اشاره نمود (Ahmadpour and Bahrami, 2016; Amiri et al., 2017). نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد کمپوست زباله شهری در سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی موجب افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته و وزن خشک اندام هوایی شد (جدول ٤).

کود کمپوست به دلیل تخلخل زیاد و ظرفیت بالای نگه‌داری آب با کاهش اثرات تنش آبی مانند کاهش بسته شدن روزنه‌ها و افزایش فتوسنتز خالص می‌تواند منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی در گیاهان شود (Bender Ozenç, 2008). افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک نیز در شرایط کمبود آب می‌تواند نقش مهمی بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکردی گیاهان داشته باشد، به‌طوری‌که این میکروارگانیسم‌ها نقش مهمی در تثبیت نیتروژن، تولید هورمون های گیاهی از جمله اکسین، سیتوکینین و ژیبرلین، تولید و ترشح آنزیم های تجزیه کننده دیواره سلولی قارچ ها و رقابت با میکروارگانیسم‌های مضر دارند. از دیگر مزیت‌های فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکزی این است که با هوادیدگی سنگ‌ها و کانی‌ها منجر به آزادسازی عناصر مورد نیاز گیاهان مانند روی، آهن، منگنز و غیره شده و آن‌ها را در دسترس گیاه قرار می‌دهد (Davison, 1988). در این مطالعه مشاهده شد که در شرایط تنش آبی ملایم و شدید، استفاده از کود کمپوست توانست اثرات منفی تنش را جبران نماید، به‌طوری‌که در شرایط تنش آبی ملایم، اختلاط کمپوست زباله شهری با خاک در سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته و سطح برگ و تعداد برگ شد. در شرایط تنش آبی شدید نیز سطح ۳۵ درصد وزنی کمپوست زباله شهری تعداد و سطح برگ را به صورت معنی‌داری افزایش داد (جدول ٦).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه نشان داد کاربرد کود کمپوست در خاک تأثیر مثبت و معنی‌داری بر صفات مورفولوژیک و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه عدس داشت، به‌طوری‌که سطوح ۲۵ و ۳۵ درصد وزنی منجر به افزایش معنی‌دار تعداد غلاف، وزن خشک اندام هوایی، محتوای کاروتنوئیدهای برگی، مجموع کلروفیل a+b، حجم و قطر ریشه گیاه عدس در مقایسه با سطح بدون کاربرد کمپوست در خاک شد. بررسی اثرات متقابل نتایج نشان داد که در شرایط تنش ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، افزودن

کمپوست به خاک در سطوح (۲۵ و ۳۵ درصد وزنی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، سطح برگ، تعداد برگ، وزن خشک ریشه، کلروفیل a، نسبت کاروفیل a/b، طول و سطح ریشه در مقایسه با سطح بدون کاربرد کمپوست (شاهد) شد. در حالت کلی استفاده از مخلوط کمپوست زباله شهری و خاک با نسبت (۶۵:۳۵) به ترتیب در شرایط تنش آبی ملایم و شدید منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته (۱۱٪+، ۱۴٪+)، سطح برگ (۸/۵٪+، ۳٪+)، تعداد برگ (۱۶٪+، ۹/۵٪+)، وزن خشک ریشه (۶/۵٪+، ۱۵٪+)، طول ریشه (۲۲٪+، ۱۰٪+)، سطح ریشه (۲۳٪+، ۲۲٪+)، کلروفیل a (۶٪+، ۸٪+) و نسبت کلروفیل a/b (۴٪+، ۶/۵٪+) نسبت به سطوح شاهد شد. بر مبنای نتایج این پژوهش، استفاده از کود کمپوست زباله شهری در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش آبی ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) موثر است و از این‌رو در شرایط تنش خشکی یا کم‌آبی ملایم کاربرد کمپوست در خاک محیط کشت گیاه عدس توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بجا و شایسته است از دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان به‌دلیل حمایت مالی در اجرای این طرح تشکر نمایم.

References

Aggelides, S.M. and Londra, P.A. (2000). Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a lomy and clay soil. Bioresource Technology. 71: 235-259.

Ahmadpour, R. and Bahrami, T. (2016). Influence foliar application of compost tea under water deficit stress of lentil plant by assessment of morphological parameters. Iranian Journal of Plant Physiology and Biochemistary. 1(2): 40-51.

Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S. R. and Chashiani, S. (2016). Study of root morpho-physiological and biochemical characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to moisture stress. Journal of Iranian Plant Echophysiological Resarch. 2(2): 123-135. (In Persian with English abstract).

Amiri, H., Ismaili, A. and 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. 26: 1-14.

Arancon, N. Q., Edwards, C., Dick, R. and Dick, L. (2007). Compost tea production and plant growth impacts. Biocycle. 48:51-52.

Archana, P.P., Theodore, J.K.R., Ngyuen., V.H., Stephen, T.T. and Kristen, A.K. (2009). Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai) grown under compost and chemical fertiliser. Journal of Science, Food and Agriculture. 89: 2383-2392.

Armand, N., Amiri, H. and Ismaili, A. (2015). Effects of foliar application of methanol on yield and yield components of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit stress conditions. Journal of Crop Ecophysiology 9(2): 231-242. (In Persian with English abstract).

Arndt, S.K.K., Clifford. S.C., Wanek. W., Jones, H.G. and Popp, M. (2001). Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. Tree Physiology. 21: 705-715.

Bayoumi, T.Y., Eid, M. and 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 Özenç, 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: 125-131.

Bohra, A., Pandey, M.K., Singh, B., Singh. I.P., Datta, D., Nadarajan, N. and Varshney, R.K. (2014). Genomics-assisted breeding in four major pulse crops of developing countries: present status and prospects. Theoretical and Applied Genetics. 127: 1263-1291.

Davison, J. (1988). Plant beneficial bacteria. Biotechnology 6:282-286.

FAO. (2014). http://www.fao.org.

Flexas, J. and Medrano, H. (2008). Drought-inhibition of photosynthesis in C_3-plants: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. Annual of Botany. 183: 183-189.

Gajalakshmi, S. and 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. and 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 Foresty. 29: 237-242.

Ganjeali, A. and Bagheri, A. (2011). Evaluation of morphological characteristics of root chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. Iranian Journal of Pulses Research. 1(2): 101-110. (In Persian with English abstract).

Ganjeali, A., Porsa, H. and Bagheri, A. (2011). Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. Agriculture Water Management. 98: 1477-1484.

Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Cha, W. and Zarrouk, M. (2008). Impacts of water stress on gas exchange, water elations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Scientia Horticulturae. 1: 1-7.

Hargreaves, J.C., Adl, M.S. and Warman, P.R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. Agriculture Ecosystem and Environment. 123: 1-14.

Hornick, S.B. (1998). Use of organic amendments to increase the productivity of sand and gravel soils: Effect on yield and composition of sweet corn. American Journal of Alternative Agriculture. 3:156-62.

Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H. and Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica. 54 (1): 87-92.

Huerta, E., Vidal, O., Jarquin, A., Geissen, V. and 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.

Keles, Y. and Oncel, I. (2004). Growth and solute composition on two wheat species experiencing combined influence of stress conditions. Russian Journal of Plant Physiology. 51: 203-208.

Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N. and Abdelly, C. (2009). Effectiveness of compost use in salt-affected soil. Hazardous Materials. 171(3): 29-37.

Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1983). Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. Biology and Soceity Transcription. 11: 591-592.

Loggini, B., Scartazza, A., Brugonli, E., and Navari-Izzo, F. (1999). Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to water. Plant Physiology. 119: 1091-1099.

Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B. and Grego, S. (2000). Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. Bioresource Technology. 72: 9-17.

Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F. and 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.

Mylavarapu, R.S. and Zinati, G.M. (2009). Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. Scientia Horticulturae. 120: 426-430.

Niakan, M. and Habibi, M. (2016). The effect of cytokinin on growth indicators and photosynthesis of *Cucurbita maxima* L. under different levels of drought. Journal of Iranian Plant Echophysiological Resarch. 11(42): 56-65.

Oweis, T., Hachum, A. and Pala, M. (2005). Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. Agriculture Water Management. 68: 251-265.

Panahyan-e-Kivi, M., Ebadi, A., Tobeh, A. and Jamaati-e-Somarin, S.H. (2009). Evaluation of yield and yield components of lentil genotypes under drought stress. Research Journal of Environmental Sciences. 3: 456-460.

Parsa, M. and Bagheri, A. (2008). Legumes. Mashhad University Jahad Press. (In Persian).

Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R. and 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.

Saeidi, M. and Abdoli, M. (2015). Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables, and some physiological traits of wheat cultivars. Journal of Agricaltural and Tecnology. 17 (4): 885-898.

Samiran, R., Kusum, A., Biman, K.D. and 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.

Siva, M.A., Da Silva, J.A. and Sharma, S. (2007). Use of physiology parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian Journal of Plant Physiology. 19: 193-201.

Tan, K.H. (2003). Humic Matter in Soil and Environment: Principles and Controversies. CRC Press, New York, 408 p.

Wilson, D.P., Carlile, W.R. and Vidal, O. (1989). Plant growth in potting media containing worm-worked duck waste. Acta Horticulturae. 238: 205-220.