DOI: 10.22059/ijswr.2021.309642.668730 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۲، اردیبهشت ۱۴۰۰ (ص ۴۹۵-۴۸۳)

Effect of Drought Stress and Consumption of Organic Fertilizers on Yield and Yield Components of Potato (Case Study of Isfahan Province)

MOJTABA YAHYAABADI[1*], MOHSEN DEHGHANI[1]

1. Soil and Water Research Division, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extention Organization (AREEO), Esfahan, Iran.

(Received: Sep. 8, 2020- Revised: Nov. 23, 2020- Accepted: Jan. 3, 2021)

ABSTRACT

In order to investigate the effect of different organic fertilizers on yield and some physiological characteristics of potato under drought stress conditions, an experiment was conducted in the form of split plots, based on randomized complete block design with three replications in 2018 at Baraan region in Isfahan. The applied treatments include drought stress based on the fraction of Allowable Water (AW) or Management allowed Deplition (MAD= 45% as a control, 55%, 65% and 75% in main plots) and organic fertilizers including vermicompost (7 ton ha^{-1}), municipal waste compost (15 ton ha^{-1}), cow manure (50 ton ha^{-1}) and control (without fertilizer application) were in the sub-plots. Results showed that the drought stress reduced yield and its components and reduced leaf chlorophyll content ($p\leq0.01$). Comparison of means showed that potato yield in vermicompost treatment without drought stress reached 33 tons per hectare. Intraction of vermicompost and irrigation after 65% depletion of AW (reduction of 20% in water consumption), led to the production of 23 tons per hectar potato. Under these stress conditions, compost treatment also resulted in potato production of 21 tons per hectar. The interaction of vermicompost and irrigation after 75% depletion of AW (30% reduction of water consumption), Leaf chlorophyll reached 12 mg/g, the same as situation at no application of vermicompost and drought stress. Also, the highest amount of proline was measured in the interaction of MAD=65% and compost and vermicompost treatments with 21.2 and 24 mg/g, respectively. In general, the application of organic fertilizers could help to reduce the negative effects of drought stress.

Keywords: Deficit Irrigation, Vermicompost, Compost, Cow Manure, Potato.

*Corresponding Author's Email: yahyabadi@gmail.com

اثر تنش خشکی و مصرف کودهای آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی (مطالعه موردی استان اصفهان)

مجتبی یحیی آبادی*[۱]، محسن دهقانی[۱]

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱۸- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۳- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱)

چکیده

به منظور بررسی تاثیر کودهای مختلف آلی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های یک بار خرد شده درقالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در منطقه برآآن اصفهان اجرا شد. تیمارهای اعمال شده، شامل تنش خشکی بر اساس کسری از ظرفیت زراعی و یا تخلیه مجاز رطوبتی (۴۵ درصد کاهش رطوبتی به عنوان شاهد، ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درصد کاهش رطوبتی درکرت‌های اصلی) و تیمار کودهای آلی شامل ورمی‌کمپوست (۷ تن در هکتار)، کمپوست زباله شهری (۱۵ تن در هکتار)، کود دامی (۵۰ تن در هکتار) و شاهد (بدون مصرف کود) در کرت‌های فرعی، قرار گرفتند. نتایج نشان داد تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و اجزای آن و کاهش میزان کلروفیل برگ شد ($p\leq$۰/۰۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد سیب‌زمینی در تیمار ورمی‌کمپوست و بدون تنش خشکی، به ۳۳ تن در هکتار رسید. برهمکنش تیمار ورمی‌کمپوست و آبیاری پس از ۶۵ درصد تخلیه ظرفیت زراعی (کاهش ۲۰ درصد از آب مصرفی)، منجر به تولید کل سیب‌زمینی (۲۳ تن در هکتار) شد. در این شرایط تنش، تیمار کمپوست نیز موجب تولید سیب‌زمینی به میزان ۲۱ تن در هکتار گردید. در برهمکنش ورمی‌کمپوست و آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک (کاهش ۳۰ درصد از آب مصرفی)، کلروفیل برگ به ۱۲ میلی‌گرم در گرم رسید که وضعیتی هم سطح با عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در تیمار بدون تنش خشکی ایجاد شد. همچنین بیشترین میزان پرولین در برهمکنش تیمار تنش خشکی ۶۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی و تیمارهای کمپوست و ورمی کمپوست بترتیب با ۲۱/۲ و ۲۴ میلی‌گرم در گرم اندازه گیری شد. در مجموع، با کاربرد کودهای آلی می‌توان به کاهش اثرات منفی تنش خشکی، کمک کرد.

واژه‌های کلیدی: کم آبیاری، ورمی کمپوست، کمپوست، کود دامی، سیب‌زمینی.

مقدمه

سیب‌زمینی بعد از گندم، برنج و ذرت چهارمین محصول زراعی مهم در سطح جهان می‌باشد. شرایط مطلوب برای رشد سیب‌زمینی، پتانسیل ماتریک نسبتاً ثابت و کم، سرعت بالای انتشار اکسیژن خاک، میزان تشعشع ورودی و کافی بودن مواد غذایی خاک از عوامل مؤثر بر عملکرد سیب‌زمینی می‌باشد و در بین عوامل محیطی، رطوبت خاک به عنوان یک عامل محدود کننده مهم در تولید و کیفیت این محصول محسوب می‌شود.

نتایج آزمایشات متعددی روی سیب‌زمینی، حساسیت این محصول به مقدار آبیاری را نشان داده است (Yactayo, *et al.*, 2013). در همین مورد Shock *et al.* (1998) تأثیر کم آبیاری را بر سیب‌زمینی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که اندازه غده‌ها و عملکرد با اعمال کم‌آبیاری کاهش می‌یابد. تنش خشکی یکی از شایع‌ترین و مخرب‌ترین تنش‌های غیر زنده می باشد که رشد گیاهان را در سراسر جهان و به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک محدود می‌کند و منجر به کاهش در عملکرد گیاهان می‌گردد (Wang, *et al.*, 2011 and Garcia, *et al.*, 2014). از دیدگاهی دیگر، عوامل غیر زنده بر تکامل گیاهان و در دسترس بودن آب، اثر گذار هستند (Bowden, *et al.*, 2010) و در شرایط تنش‌های غیر زنده، تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاهان رخ می‌دهد (Wang *et al.*, 2001). در این شرایط، افزایش غلظت املاح منجر به حرکت اسمزی آب به خارج از سلول گیاه می‌شود. نهایتاً تنش کم آبی باعث کاهش ارتفاع گیاه، سطح برگ و ریشه، طول ریشه و بیومس گیاه می‌شود (Ramegowda, *et al.*, 2014). خشکی همچنین میزان فتوسنتز، تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ و دیگر فرآیندهای بیوشیمیایی مرتبط با رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Fayez and Bazaid, 2014). در گیاهان عالی، کاهش فشار

* نویسنده مسئول: yahyabadi@gmail.com

تورژسانس طی تنش خشکی با کاهش رشد و نمو سلول‌ها، باعث کاهش رشد برگ، سطح برگ و سطح تعرق گیاه شد و در نتیجه سطح فتوسنتزی گیاه را کاهش داد و منجر به کاهش تولید ماده خشک و عملکرد شد (Shao, *et al*., 2008). تنش خشکی باعث تحریک تنش اکسیداتیو در برگ می‌گردد و گیاهان برای مقابله با تنش‌های اکسیداتیو، دارای سیستم‌های آنزیمی و غیر آنزیمی می‌باشند (Ali, *et al*., 2014 and Ahmad, *et al*., 2014). مشاهده شده که تنش خشکی منجر به افزایش چشمگیری در فعالیت آنزیم کاتالاز برگ‌های درخت کیوی گردید (Wang *et al*., 2011). همچنین دیده شده که تنش خشکی سبب افزایش میزان پرولین در درختان صنوبر شد (Lei, *et al*., 2006).

استفاده از کودهای آلی به منظور بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، می‌تواند در تحمل به شرایط خشکی در گیاهان، مد نظر قرار گیرد. ورمی‌کمپوست یک کود آلی بیولوژیک است که از طریق تبدیل ضایعات آلی، طی یک فرآیند توسط عمل مشترک کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌های خاک تولید می‌شود (Joshi, *et al*., 2015) و با داشتن مقادیر زیاد اسید هومیک، یک کود زیستی محرک رشد گیاه محسوب می‌شود (Garcia, *et al*., 2012). گزارش‌هایی نیز مبنی بر افزایش معنی‌دار تخلخل و ظرفیت نگهداری آب در خاک پس از افزودن ورمی‌کمپوست یا کود دامی به خاک وجود دارد (Campitelli and Ceppi, 2008; Hidalgo, *et al*., 2006; Lim, and Wue, 2015). از سویی دیگر، Ferreras *et al*. (2006) ، مشاهده کردند که با افزایش ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به یک خاک کشاورزی، میزان تخلخل خاک و پایداری خاکدانه‌ها، افزایش قابل توجهی یافت (Marinari *et al*. 2009 and Asghari *et al*., 2000). برخی آزمایشات حاکی از آنست که پس از استفاده از ورمی کمپوست، تعداد منافذ و حفرات بزرگ و کوچک خاک که نقش مهمی در نگهداری آب در خاک دارند، بطور معنی‌داری افزایش یافته‌اند (Marinari, *et al*., 2000 and Asghari, *et al*., 2009). این تغییرات در کنار هم، دسترسی به آب و هوا را بهبود بخشیده و موجب افزایش جوانه‌زنی و رشد ریشه می‌شوند. بسیاری از نتایج تحقیقات تأکید کرده‌اند که کود ورمی‌کمپوست، اثرات مثبتی بر رشد گیاه دارد و این تحقیقات در طیف گسترده‌ای از محصولات شامل غلات، حبوبات، سبزیجات، گیاهان زینتی، گلها و محصولات زراعی انجام شده است (Atiyeh, *et al*., 2000). هیومیک اسید استخراج شده از ورمی‌کمپوست، هورمون‌های تنظیم کننده رشد گیاهی، مسیر رشد ریشه و متابولیسم ثانویه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Garcia, *et al*., 2012) و همچنین گیاهان را در برابر تنش شوری و خشکی محافظت می‌کند (Garcia, *et al*., 2014). این ماده در برخی گونه‌های تحت تنش خشکی، با افزایش بیومس، رشد و عملکرد گیاه (Rashtbari, *et al*., 2012) و یا با اثر بر برخی عملکردهای آنتی اکسیدانی، موجب کنترل رادیکال‌های آزاد و در نتیجه موجب حفاظت گیاه در برابر تنش خشکی شد (Garcia, *et al*., 2012). تنش خشکی از طریق تأثیر بر روی فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و رشد گیاه، مانند فتوسنتز و جذب عناصر، متابولیسم رشد را کاهش می‌دهد و گیاه نیز متقابلا از طریق تولید برخی مواد مانند پرولین، سعی در تخفیف این تنش‌ها دارد (Ashraf, *et al*., 2010). نقش اساسی پرولین محافظت سلول‌ها از تاثیرات منفی انباشتگی نمک، تبادل اسمزی، پایداری ساختار سلول از قبیل غشاء و پروتئین‌ها می‌باشد (Sabry *et al*., 1995). به علت کاهش شدید آب در جهان، هر روشی که باعث کاهش اثرات منفی خشکی گردد، ممکن است اثر مثبت و معنی‌داری بر تولید محصولات کشاورزی داشته باشد. این آزمایش نیز با هدف بررسی اثر و کارایی کودهای آلی بر برخی از شاخص‌های عملکردی (غده‌های درشت، متوسط و ریز) و فیزیولوژیکی گیاه سیب‌زمینی (میزان نیتروژن، کلروفیل و پرولین) در شرایط تنش خشکی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۷ در منطقه براآن اصفهان در مزرعه‌ای واقع در ۲۷ کیلومتری شرق اصفهان با ارتفاع ۱۵۱۰ متر از سطح دریا، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و دارای آب‌وهوای گرم و خشک با میانگین بارندگی سالیانه ۱۱۰ میلی‌متر اجرا شد. برای اجرای آزمایش ابتدا قطعه زمینی با شیب یکنواخت انتخاب شد. پس از مراحل تهیه زمین، چند روز قبل از اجرای آزمایش، آماده‌سازی شامل تسطیح و مرزبندی انجام و جویچه‌ها با فواصل موردنظر آماده شدند. سپس تیمارهای آزمایشی پیاده گردید. آب آبیاری مورد نیاز از چاه مزرعه بوسیله کانال بتنی تا سر زمین انتقال می‌یافت. قبل ازاجرای تحقیق، از لایه‌های خاک تا عمق ۶۰ سانتیمتری با فواصل ۲۰ سانتیمتری نمونه‌برداری و جهت تعیین ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید. این پژوهش به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده و بر پایه بلوکهای کاملا تصادفی در سه تکرار به منظور بررسی تأثیر کودهای آلی در تنش‌های خشکی بر عملکرد سیب‌زمینی انجام شد. عامل اصلی شامل تیمار تنش خشکی بر اساس تخلیه رطوبتی (شامل ۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی به عنوان شاهد، ۵۵ ، ۶۵ ، ۷۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی به ترتیب با I_1، I_2، I_3 و I_4 و عامل فرعی شامل سه تیمار کودی شامل کود

ورمی‌کمپوست (معادل ۷ تن در هکتار)، کود کمپوست زباله (معادل ۱۵ تن در هکتار) و کود پوسیده دامی (معادل ۵۰ تن در هکتار) بر اساس توصیه موسسه تحقیقات خاک و آب (Malakouti and Balali, 2004)، به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. کودهای ورمی کمپوست و کمپوست زباله از سازمان مدیریت پسماند شهرداری اصفهان تهیه شد. زمان آبیاری هر تیمار پس از کاهش رطوبت خاک در روزهای بعد از هر آبیاری تا رسیدن به سطح رطوبت مورد نظر(سطح تنش) و به کمک دستگاه TDR مدل Trase6050X1 در نظر گرفته شد. میزان رطوبت خاک در این روش براساس سرعت حرکت امواج الکترومغناطیسی در خاک محاسبه می‌گردد. در این پژوهش برای هر کرت آزمایشی، شش ردیف کشت با طول ۲۰ متر در نظر گرفته شد. رقم سیب‌زمینی مورد استفاده، مارفونا و از ارقام رایج و غالب در منطقه بود. فواصل ردیف‌ها، ۷۰ سانتیمتر و فاصله بوته‌ها روی هر ردیف ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. مقادیر مناسب کودهای مورد نیاز بر اساس آزمون خاک شامل ۱۵۰ کیلوگرم اوره، ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار محاسبه و اعمال گردید. تاریخ کاشت نیمه اول اسفند ماه و زمان برداشت نیمه دوم تیرماه بود. از ابتدای کاشت تا استقرار گیاهچه‌ها، تیمارها به طور یکسان آبیاری شده و پس از استقرار گیاهچه‌ها تیمارهای تنش خشکی اعمال گردید. در زمان برداشت و در انتهای فصل عملکرد و اجزای عملکرد برای هر تیمار محاسبه گردید. به همین منظور از دو ردیف وسط هر تیمار با حذف دو متر از ابتدا و انتهای جویچه‌ها تعداد ۲۰ بوته انتخاب شد و پارامترهای عملکردی غده (درشت، متوسط و ریز)، محاسبه گردید. برخی صفات فیزیولوژیک شامل اندازه‌گیری میزان نیتروژن، کلروفیل و پرولین برگ نیز در نمونه‌ها از هر تیمار اندازه‌گیری شد. میانگین ویژگی‌های خاک محل آزمایش، تا عمق ۶۰ سانتیمتری در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک زمین مورد آزمایش قبل از کاشت

عمق خاک	EC	pH	کربن آلی	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب
	cm	(dSm^{-1})		٪	($mgkg^{-1}$)
(۰-۲۰)	۴/۶	۷/۲	۰/۷۴	۱۷/۲	۲۵۰
(۲۰-۴۰)	۴/۲	۷/۴	۰/۷۵	۱۸/۵	۲۶۳
(۴۰-۶۰)	۳/۱	۷/۴	۰/۳۲	۱۳/۴	۲۱۸

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی کودهای آلی

کود آلی	نسبت کربن به نیتروژن	اسیدیته	هدایت الکتریکی	پتاسیم	نیتروژن کل	فسفر کل	کربن آلی
			$dS.m^{-1}$	٪	٪	٪	٪
ورمی‌کمپوست	۱۰/۹	۷/۷	۳/۶	۰/۸۴	۲/۲	۱/۲	۲۴
کمپوست	۱۸/۳	۸/۱	۳/۸	۱/۱	۱/۸	۱/۵	۳۳
کود دامی	۱۵/۲	۸/۱	۴	۰/۹۵	۲/۳	۱/۵	۳۵

خصوصیات شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده نیز در جدول (۲) آورده شده است که در آن بیشترین مقدار نسبت کربن به نیتروژن، در کمپوست زباله مشاهده شد. در این پژوهش علاوه بر اندازه گیری عملکرد سیب‌زمینی در اندازه‌های مختلف، برخی فاکتورهای فیزیولوژیک گیاه نیز اندازه گیری شد. کلروفیل برگ‌ها به روش Lichtenthaler (1987) در اواخر تنش خشکی توسط حلال استون ۱۰۰٪ استخراج گردید. ۰/۱ گرم نمونه برگی از جوان‌ترین برگ‌های توسعه یافته در هاون چینی قرار داده و ۱۰ میلی لیتر استون ۱۰۰٪ طی دو مرحله به هاون اضافه شد. نمونه‌ها کاملا مخلوط و عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ شد. از محلول هر لوله، ۴ میلی لیتر درون کووت دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-600) ریخته و میزان جذب نور در طول موج‌های ۴۶۶/۸ و ۶۶۱//۶ نانومتر خوانده شد. در نهایت میزان کلروفیل کل از طریق رابطه‌های زیر محاسبه شد.

$C_a=11.24\times A_{661.6}-2.04\times A_{644.8}$

$C_b=20.13\times A_{644.8}-4.19\times A_{661.6}$

$C_{a+b}=7.05\times A_{661.6}-2.04\times A_{644.8}$

در این روابط C_a: غلظت کلروفیل a، C_b: غلظت کلروفیل b، C_{a+b}: میزان کلروفیل کل، $A_{661.6}$: جذب در طول موج ۶۶۱/۶، $A_{644.8}$: جذب در طول موج۶۴۴/۸ می‌باشد. میزان پرولین بر اساس روش Bates و همکاران (1973) اندازه گیری شد. ابتدا ۰/۱ گرم از نمونه‌های برگی هر تکرار وزن شد. سپس با اضافه کردن ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد، پرولین نمونه‌ها استخراج و نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دور ۲۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. نین هیدرین، به عنوان معرف در این آزمایش استفاده شد. برای نمونه‌های مورد نظر، ۱/۲۵ گرم نین هیدرین در ۲۰ میلی

لیتر اسیدفسفریک ۶ مولار و ۳۰ میلی لیتر اسید استیک خالص حل شد. سپس دو میلی لیتر از عصاره حاصل در لوله آزمایش ریخته و به آن به ترتیب دو میلی لیتر معرف نین هیدرین و دو میلی لیتر اسید استیک خالص اضافه شد و به مدت یک ساعت در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از خارج کردن نمونه‌ها از حمام و سرد شدن آنها، به هر کدام چهار میلی لیتر تولوئن اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه بهم زده شد. پس از تشکیل دو فاز در لوله آزمایش، با پیپت دو میلی‌لیتر از فاز بالایی را در کووت دستگاه اسپکتروفتومتر ریخته و در طول موج ۵۲۰ نانومتر، عدد دستگاه خوانده شد. برای صفر کردن دستگاه از تولوئن و برای تهیه استاندارد پرولین از غلظت‌های مختلف پرولین استفاده شد. غلظت پرولین از نمودار استاندارد تعیین شده و بر اساس فرمول زیر محاسبه شد و نتایج حاصله با استفاده از نرم افزار SAS آنالیز آماری و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد.

[(mg proline/ml)=پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)
× ml toluene)/11.5]/ [g samples/5]

اندازه‌گیری نیتروژن در برگ گیاه نیز به روش کجلدال انجام شد. در این روش، اندازه‌گیری نیتروژن در سه مرحله کلی هضم گیاه توسط اسید، تقطیر و تیتراسیون صورت پذیرفت.

نتایج

جدول (۳) نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش را نشان می‌دهد. بر اساس جدول مذکور، تیمارهای تنش خشکی بر عملکرد کل، غده‌های درشت و غده‌های ریز در سطح احتمال یک درصد و بر عملکرد غده‌های متوسط در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و اثر تیمار کود آلی بر همه صفات مورد نظر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. از طرفی اثر برهمکنش تیمار تنش و تیمار کود آلی، بر عملکرد کل، غده‌های درشت و غده‌های ریز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و بر عملکرد غده‌های متوسط در سطح پنج درصد معنی‌دار شد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه گیری شده (عملکرد)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد کل	غده‌های درشت (بزرگتر از ۵۵ میلی‌متر)	غده‌های متوسط (۵۵-۳۵ میلی‌متر)	غده‌های ریز (کوچکتر از ۳۵ میلی‌متر)
تکرار	۲	۱۱۲/۸	۲۶/۲	۱۰۸/۱	۳۴/۶
تیمارتنش (I)	۳	۱۲۶/۴**	۴۹۸/۵**	۱۳۲/۱*	۴۸۵/۱**
خطای I	۶	۲۵/۲	۱۵/۷	۱۲/۱	۱۱/۶
تیمار کود آلی(F)	۳	۱۰۱/۳**	۱۱۰/۱**	۱۰۸/۳**	۱۱۰/۷**
اثر متقابل (I*F)	۹	۲۲/۲**	۸/۷**	۵۳/۷*	۸/۶۵**
خطای F	۲۴	۲۱/۶	۱۰/۳	۸/۵	۹/۳

*** و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشند.**

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمارهای تنش خشکی باعث کاهش عملکرد سیب‌زمینی شدند و تولید کل در بالاترین تنش خشکی (I_4) به میزان ۴۳ درصد کاهش یافت (جدول ۴). در این میان، غده‌های بزرگ نزدیک به ۵۹ درصد و غده‌های متوسط، ۵۰ درصد نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) کاهش عملکرد نشان دادند. اگرچه تیمار I_4 باعث کاهش تولید کل گردید، با این حال باعث شد غده‌های ریز نسبت به غده‌های بزرگ و متوسط، بخش بیشتری از تولید کل نسبت به شاهد را به خود اختصاص دهد. در مجموع نتایج نشان داد با افزایش میزان آب آبیاری تا آبیاری کامل، عملکرد غده‌ها میتواند تا نزدیک شدن به پتانسیل تولید، افزایش پیدا کند و تیمار آبیاری کامل دارای بیشترین عملکرد است و تنش شدید به گیاه باعث کاهش معنی دار محصول می‌شود. این کاهش عملکرد را میتوان به دلیل اعمال تنش طولانی مدت به گیاه نسبت داد که سطح فتوسنتزکننده گیاه را کاهش میدهد و از این طریق موجب کم شدن رشد گیاه و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود (Kalfountzos, *et al*., 2007). برخی نیز دلیل کاهش عملکرد را حساسیت به تنش آبی، کم‌عمق بودن ریشه و رشد سیب‌زمینی در خاکهایی با ظرفیت رطوبتی پایین می‌دانند (King and Stark., 1997). با این نتایج مشخص میشود که عملکرد کل در سیب‌زمینی به شدت تحت اثر سطوح آبیاری قرار می‌گیرد و امکان اینکه در تنش خشکی، اختلال در فرآیند غده سازی به ناهنجاری رشد و ریزشدن غده‌ها نیز منجر شود، وجود دارد. بطورکلی کمبود رطوبت خاک موجب افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ، کاهش میزان فتوسنتز برگ، کاهش رشد غده و در نتیجه کاهش عملکرد غده گردید. تحقیقات انجام گرفته توسط برخی محققین هم نشان داد که با افزایش میزان آب مصرفی عملکرد محصول سیب‌زمینی افزایش پیدا می‌کند و تیمار بدون تنش خشکی دارای بیشترین عملکرد است (Demelash,

2013; Alva *et al*., 2012; Ebrahimi pak, 2011). در بین تیمارهای کودی، در مجموع، ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار ۴۰درصد و کمپوست باعث افزایش معنی‌دار ۲۴ درصد تولید کل نسبت به تیمار شاهد بدون کود، شدند. کود دامی در این مورد، افزایش معنی‌دار نشان نداد. غده‌های درشت و متوسط در تیمار ورمی‌کمپوست بترتیب با ۸۰ و ۱۸ درصد افزایش نسبت به شاهد روبرو شدند. افزایش وزن این اجزا در تیمار کمپوست بترتیب، ۴۸ و ۱۰ درصد بود. غده‌های ریز در هر سه کود آلی بطور میانگین با کاهش معنی‌دار ۳۰ درصدی نسبت به شاهد مواجه شدند (جدول۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تنش خشکی و نوع کودهای آلی بر عملکرد سیب زمینی (تن در هکتار)

تیمار	تولید کل	غده‌های درشت	غده‌های متوسط	غده‌های ریز
	($ton.ha^{-1}$)			
I_1	۳۳/۳۴ a	۱۹/۰۴ a	۱۲/۶۷ a	۱/۶۳ c
I_2	۳۰/۵۶ b	۱۶/۲۴ b	۱۲/۴۸ a	۱/۸۴ bc
I_3	۲۶/۰۴ c	۱۲/۸۵ c	۱۰/۵۵ b	۲/۶۴ b
I_4	۱۸/۷۴ d	۷/۷۶ d	۶/۱۸ c	۴/۸۰ a
شاهد (بدون کود)	۲۳/۲۲ c	۱۱/۲۴ c	۹/۸۲ b	۲/۱۶ b
کود دامی	۲۲/۵۵ c	۱۱/۰۵ c	۱۰/۰۴ b	۱/۴۶ c
کمپوست	۲۹/۱۲ b	۱۶/۷۴ b	۱۰/۸۵ b	۱/۵۳ c
ورمی‌کمپوست	۳۳/۷۰ a	۲۰/۵۵ a	۱۱/۶۳ a	۱/۵۲ c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش خشکی و تیمار نوع کود آلی بر عملکرد سیب‌زمینی در جدول (۵) آمده است. مقایسه عملکرد سیب‌زمینی در مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری و مصرف کودهای آلی مختلف نشان داد که بیشترین تولید کل سیب‌زمینی در واحد سطح، در برهمکنش تیمار آبیاری شاهد، یعنی پس از ۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک (I_1) و تیمار کودی ورمی‌کمپوست به میزان ۳۳ تن در هکتار و کمترین مقدار تولید کل در برهمکنش تیمار آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی (I_4) و تیمار شاهد بدون کود به میزان ۱۳/۷ تن در هکتار بدست آمد (جدول ۵). بررسی روند تولید کل سیب-زمینی در تیمارهای تنش خشکی نشان داد که با افزایش تنش از I_1 تا I_3، تیمارهای حاوی کودهای کمپوست و ورمی‌کمپوست، با اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد (بدون کود) و تیمار کود دامی، باعث افزایش تولید کل شده‌اند و در این میان، ورمی‌کمپوست باعث بیشترین تولید کل شده است. با این حال در شدیدترین تیمار تنش خشکی (I_4)، کودهای آلی مورد استفاده، اختلاف معنی‌داری از نظر تولید کل سیب‌زمینی با یکدیگر نداشتند. از دیدگاهی دیگر، در تیمار ورمی‌کمپوست و تیمار آبی I_3 (کاهش ۲۰ درصد از آب مصرفی)، تولید کل سیب-زمینی، وضعیتی هم سطح و قابل رقابت با عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در تیمار بدون تنش خشکی I_1 ایجاد شد. در این شرایط، تیمار کمپوست نیز موجب تولید سیب‌زمینی، هم سطح با شرایط تنش خشکی I_2 گردید و این مهم، نشان دهنده تاثیر مثبت و معنی‌دار این دو کود در شرایط تنش خشکی بر تولید سیب‌زمینی میباشد. بیشترین تولید غده درشت، از اثر متقابل تیمار بدون تنش شاهد و مصرف کود ورمی‌کمپوست و کمترین تولید غده درشت نیز از اثرمتقابل تنش خشکی I_4 و تیمار شاهد بدون کود حاصل شد و پس از آن، کمترین تولید غده‌های درشت در تیمار تنش خشکی I_4 و کودهای آلی بدست آمد و نشان داد در شرایط تنش شدید، هیچ یک از کودهای آلی نسبت به یکدیگر قادر به تخفیف اثرات خشکی نبودند. بیشترین غده متوسط سیب-زمینی هم حاصل کاربرد کود کمپوست در شرایط بدون تنش خشکی دیده شد و مصرف ورمی‌کمپوست با اختلاف معنی‌دار در مقام دوم قرار گرفت. با این حال، تیمار تنش خشکی I_4 باعث بیشترین تولید غده‌های ریز در تیمار کودی شاهد گردید و حاکی از تأثیر کاهش رطوبت خاک بر اندازه غده‌های سیب‌زمینی بود. Rezadoost *et al.* (2009) نشان دادند که با افزایش تنش خشکی، عملکرد گیاه کلزا کاهش می‌یابد. آنها معتقدند که وقوع تنش خشکی از طریق کاهش فتوسنتز و انتقال شیره پرورده به بخش‌های مختلف گیاه، باعث کاهش عملکرد گیاه شد. همچنین از آنجایی که سوخت و ساز گیاه در شرایط تنش خشکی به میزان زیادی توسط دو عامل اصلی سطح برگ و فتوسنتز در هر واحد سطح برگ کنترل می‌شود، در شرایط کمبود آب، افزایش میزان اسید آبسزیک از طریق کاهش میزان تکثیر سلول در مریستم برگ و کاهش فعالیتهای حل کنندگی دیواره سلولی که لازمه طویل شدن برگ می‌باشد، از توسعه سطح برگ جلوگیری می‌کند (Edmeades, *et al*. 1996 and Banziger, *et al.*, 2000). از طرفی، افزایش رشد گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است به

دلیل بهبود حاصله در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، در نتیجه کاربرد کودهای کمپوست و ورمی‌کمپوست باشد (Rahbarian, *et al*., 2010). از آنجایی که رشد و نمو گیاه شدیدا وابسته به پارامترهای حاصلخیزی خاک میباشد (Chanda, *et al.*, 2011)، بنظر می‌رسد که بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به وسیله کمپوست زباله شهری (Bachman and Metzger, 2007) و ورمی‌کمپوست (Chanda, *et al.*, 2011)، دلیل افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد باشد. Ostos, *et al.* (2008) نیز در بررسی خود، افزایش طول بوته گیاه را با استفاده از کمپوست زباله شهری گزارش نمودند، این محققین دلیل این امر را وجود مقادیر زیاد عناصر غذایی بویژه نیتروژن و فسفر در کمپوست زباله شهری دانستند. از طرفی میتوان دلیل مزیت نسبی ورمی‌کمپوست به کمپوست زباله شهری در افزایش عملکرد را به علت تولید مواد هومیک و سایر مواد محرک رشد نظیر هورمون‌های رشد گیاهی، در طول فرآیند تولید ورمی کمپوست توسط میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه افزایش زیست توده، فعالیت و تنوع زیستی میکروبی و بهبود حاصلخیزی خاک دانست (Uma and Malathi, 2009). کارایی کمپوست و ورمی‌کمپوست در افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی عموما به اثرات سودمند کاربرد آنها در خاک و گیاه نسبت داده می‌شود، زیرا اجزای تشکیل دهنده کمپوست و ورمی‌کمپوست نقش مهمی در تحریک فرآیندهای متابولیک، افزایش رشد و افزایش تولید و تجمع متابولیت‌ها در بافتهای گیاهی در شرایط تنش‌های محیطی دارند. بهبود در رشد گیاه و اجزای عملکردی محصول، در نتیجه کاربرد ورمی‌کمپوست را می‌توان به افزایش دسترسی به عناصر غذایی و بهبود شرایط فیزیکی خاک نسبت داد که به نوبه خود باعث ایجاد تعادل در محیط تغذیه‌ای در ریزوسفر خاک و در سیستم گیاه می‌شود (Reddy *et al*., 1998). این نتایج در هماهنگی با آزمایشات Arancon *et al*., 2003 نیز می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار تنش خشکی و تیمار نوع کود آلی بر عملکرد سیب‌زمینی (تن در هکتار)

تیمار تنش رطوبت	تیمار کود	تولید کل	غده‌های درشت	غده‌های متوسط	غده‌های ریز
I_1	شاهد	۲۳/۶۲ ef	۱۲/۸۱ c	۷/۵۱ e	۳/۲۹ b
	کود دامی	۲۴/۰۸ e	۱۲/۰۶ cd	۱۰/۱۸ c	۱/۸۴ cd
	کمپوست	۳۰/۱۵ b	۱۵/۸۹ b	۱۲/۶۱ a	۱/۶۵ d
	ورمی کمپوست	۳۳/۰۶ a	۲۰/۱۴ a	۱۱/۲۴ b	۱/۶۸ d
I_2	شاهد	۲۱/۶۴ g	۱۲/۱۶ cd	۶/۶۰ ef	۲/۸۸ b
	کود دامی	۲۴/۷۷ de	۱۲/۵۲ c	۱۰/۸۷ b	۱/۳۸ de
	کمپوست	۲۵/۴۵ d	۱۳/۴۵ c	۱۰/۷۶ b	۱/۲۴ e
	ورمی کمپوست	۲۸/۰۴ c	۱۶/۳۳ b	۱۰/۴۶ bc	۱/۲۵ e
I_3	شاهد	۱۸/۳۱ h	۹/۷۷ f	۵/۴۲ g	۳/۱۲ b
	کود دامی	۱۷/۱۴ hi	۱۰/۶۴ e	۴/۴۴ h	۲/۰۶ c
	کمپوست	۲۱/۰۷ g	۱۱/۷۲ de	۷/۲۹ e	۲/۰۶ c
	ورمی کمپوست	۲۳/۶۴ ef	۱۲/۲۳ c	۹/۵۳ cd	۱/۸۸ cd
I_4	شاهد	۱۳/۷۲ j	۷/۴۶ g	۲/۶۳ i	۴/۶۳ a
	کود دامی	۱۷/۴۶ hi	۸/۲۴ f	۷/۰۴ e	۲/۱۸ c
	کمپوست	۱۷/۰۷ hi	۸/۳۵ f	۶/۵۱ ef	۲/۲۱ bc
	ورمی کمپوست	۱۶/۵۵ i	۸/۸۸f	۵/۴۹ g	۲/۱۸ c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج حاصله، همچنین حاکی از تغییرات معنی‌دار برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه در اثر تنش خشکی و تأثیر کاربرد کودهای آلی بر این شاخص‌ها بود. در این تحقیق، شاخص‌هایی همچون نیتروژن، کلروفیل و پرولین برگ گیاه در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شدند.

نیتروژن

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که همه تیمارهای کود آلی بکار رفته در این تحقیق، به گونه‌ای معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد، موجب افزایش درصد نیتروژن گیاه شدند و کود ورمی‌کمپوست در این میان، باعث حصول بیشترین نیتروژن در برگ گیاه شد و نسبت به تیمار شاهد بدون کود، اختلاف معنی-داری نزدیک به ۱۰۰ درصد بدست داد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی نشان داد که درصد نیتروژن گیاه در تیمارهای تنش I_3 و I_4 کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بدون تنش I_1 یافته است. بررسی اثرات متقابل تیمارهای کود آلی و تیمارهای تنش خشکی بر درصد نیتروژن گیاه نشان داد بیشترین درصد نیتروژن اندازه‌گیری شده در تیمار

آبیاری شاهد، یعنی پس از ۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک (I_1) و تیمار کودی ورمی‌کمپوست به میزان ۲/۱۸ درصد و کمترین آن، در تیمار آبیاری پس از ۷۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی (I_4) و تیمار شاهد بدون کود به میزان ۰/۶۵ درصد بدست آمد (شکل a-۱). تحت شرایط تنش خشکی بازیابی مواد و به ویژه نیتروژن کاهش می‌یابد، و از آنجایی که کلروپلاست‌ها برای ساخت کلروفیل نیازمند نیتروژن می‌باشند، سرعت تولید کلروفیل نیز کاهش یافته و کندتر می‌گردد (Paknejad, *et al*., 2007). نتایج، حاکی از نقش مثبت و معنی‌دار کودهای آلی در همه تیمارهای تنش خشکی، بر نیتروژن گیاه است. افزایش مقادیر جذب نیتروژن احتمالا به دلیل مقدار بالاتر آن در این کودهای آلی می‌باشد (Jat and Ahlawat, 2008). بعلاوه استفاده از ورمی‌کمپوست، اثرات مثبتی روی میزان پروتئین، جذب عناصر غذایی توسط گیاه دارد. اثر مطلوب ورمی‌کمپوست احتمالا به دلیل مقادیر نسبتا بالاتر عناصر غذایی و از این رو افزایش فراهمی عناصر غذایی ماکرو و میکرو می‌باشد (Jat and Ahlawat, 2008). در آزمایشی دیگر، Kumar *et al*., (2011) گزارش کردند که افزایش کاربرد میزان ورمی‌کمپوست، موجب افزایش عملکرد می‌شود. این افزایش عملکرد احتمالا بدلیل وجود مقادیر بالاتر نیتروژن قابل دسترس می‌باشد که برای تولید پروتئین‌های ساختاری ضروری هستند. علاوه بر عناصر غذایی و مواد آلی، کمپوست و ورمی کمپوست دارای مقادیر زیادی مواد هیومیکی می‌باشند، که این مواد از طریق بهبود زیست فراهمی عناصر غذایی خاص، بویژه آهن و روی (Chen, *et al*., 2004) و اثر مستقیم بر متابولیسم گیاهی (Nardi, *et al*., 2002) باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (Tartoura, 2010).

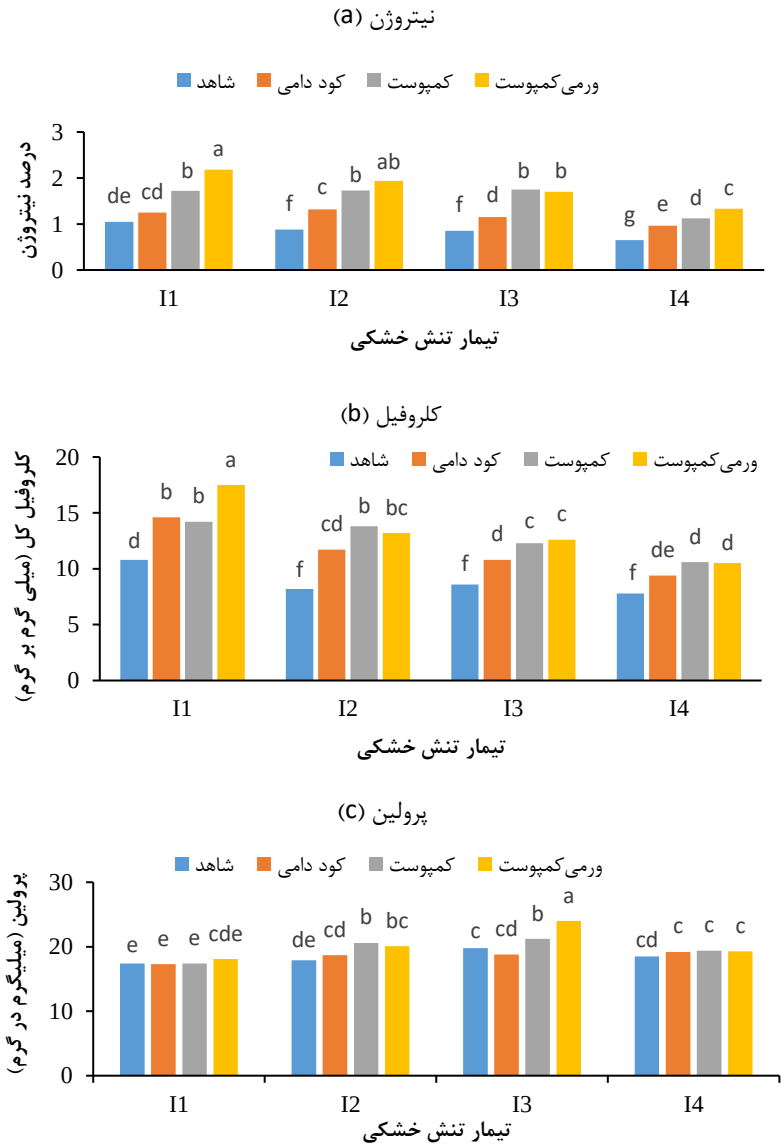
جدول ۶-مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار آبیاری و نوع کود آلی بر میزان نیتروژن، کلروفیل و پرولین گیاه

تیمار	درصد نیتروژن گیاه	کلروفیل (میلی‌گرم در گرم)	پرولین (میلی‌گرم در گرم)
I_1	۱/۸۵ a	۱۵/۲ a	۱۵/۴ c
I_2	۱/۸۰ a	۱۵/۶ a	۱۸/۷ b
I_3	۱/۱۲ b	۱۱/۳ b	۲۲/۶ a
I_4	۱/۰۶ b	۸/۵ c	۱۶/۲ c
شاهد (بدون کود آلی)	۰/۹۵ d	۱۱/۶ b	۱۶/۸ a
کود دامی	۱/۲۸ c	۱۵/۸ a	۱۷/۲ a
کمپوست	۱/۴۳ b	۱۲/۴ b	۱۷/۷ a
ورمی‌کمپوست	۱/۹۲ a	۱۶/۶ a	۱۶/۵ a

کلروفیل

میزان کلروفیل گیاه نیز تحت تأثیر کودهای آلی قرار گرفت و در بیشترین مقدار در تیمار ورمی‌کمپوست با اختلاف معنی‌دار ۴۳ درصد نسبت به شاهد، اندازه‌گیری شد. کود دامی در این حالت، اختلاف معنی‌دار با ورمی‌کمپوست نداشت. با این حال، در تیمار کمپوست، میزان کلروفیل برگ نسبت به شاهد اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاه نشان داد که میزان کلروفیل در تیمارهای تنش I_3 و I_4 کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بدون تنش I_1 یافته است (جدول ۶). میزان این کاهش در تیمار I_4 و I_3، نسبت به تیمار شاهد، بترتیب ۴۴ و ۲۵ درصد محاسبه شد. در مجموع، بیشترین میزان کلرفیل گیاه در بر همکنش تیمار کودی ورمی‌کمپوست و تیمار آبیاری بدون تنش محاسبه شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمارهای ورمی‌کمپوست، کمپوست و کود دامی موجب افزایش میزان کلروفیل کل در برگ در همه تیمارهای آبیاری شدند. تیمار ورمی‌کمپوست، بطور موثرتری میزان کلروفیل کل را در سطح بالاتری نسبت به شاهد (بدون کود آلی) در تیمارهای خشکی حفظ کرد (شکلb-۱). افزایش میزان کلروفیل کل در تیمار کودهای آلی مخصوصا در شرایط تنش شدیدتر حاکی از بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک در شرایط سخت در گیاه سیب زمینی و گیاهان مشابه از نظر نیاز آبی می باشد. بنابراین در شرایطی که محدودیت پتانسیل مکش آب در خاک وجود داشته باشد، کودهای آلی با کارآیی بیشتر به جذب آب و مواد غذایی در گیاه کمک کرده و به طور غیر مستقیم با تأمین شرایط لازم در بیوسنتز کلروفیل، به گیاه در تولید زیست توده لازم برای ادامه فعالیت‌های حیاتی و گذر از تنش کمک می‌کنند. در واقع، ورمی کمپوست در جلوگیری از کاهش زیاد محتوای رنگدانه‌های فتوسنتز در شرایط تنش خشکی اثر گذار بوده است. در شرایط تنش خشکی محیط، گونه‌های یونی اکسیژن که از مولکول‌های اکسیژن مشتق می‌شوند، در برگها تجمع می‌یابند که نتیجه این عمل، اکسیداسیون ترکیبات سلولی مانند نوکلوئیک اسیدها، پروتئین‌ها، کلروفیل و چربی‌ها است (Miller *et al*., 2010). دانشمندان اعلام کردند که هیومیک اسید موجود در کودهای آلی

بویژه ورمی‌کمپوست، اثرات تنش را در گیاهان کاهش داده و منجر به افزایش جذب آب و عناصر غذایی و انتقال مواد فتوسنتزی می‌شود و در نتیجه میزان کلروفیل a و b را افزایش می‌دهند (Razavinasab, *et al*., 2015).



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش تنش آبی و کود آلی بر میزان نیتروژن، کلروفیل و پرولین گیاه (میانگین‌های با حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند)

تحقیقات نشان داده است که با کاربرد ورمی‌کمپوست، میزان کلروفیل در لیلیوم (Mirakalaei *et al*., 2013) و کلروفیل a و b در تاج خروس (Uma and Malathi, 2009) افزایش یافت. ورمی‌کمپوست، همچنین موجب افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در نهال‌های گوجه فرنگی رشد یافته در شرایط شوری شدند (Chinsamy *et al*., 2013). مطالعات زیادی نشان داده اند که تنش خشکی میزان کلروفیل گیاه را کاهش می‌دهد (Beltrano and Ronco, 2008; Nikolaeva, *et al*., 2010). همچنین Akha *et al*. 2011 نشان دادند که میزان کلروفیل برگ با افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابد. Nikolaeva, *et al*., 2010 نیز کاهش ۱۵ درصدی میزان کلروفیل برگ در گیاهان تحت تنش خشکی نسبت به شاهد را گزارش کردند. میزان فتوسنتز در پاسخ به تنش خشکی به دلیل عوامل روزنه‌ای (بسته شدن روزنه) و غیر روزنه‌ای (نقص در فرآیندهای متابولیک) محدود شده و در کل میزان کلروفیل کاهش می‌یابد (Mafakheri *et al*. 2010).

پرولین

نتایج نشان داد اثرات اصلی تیمارهای کود آلی بر میزان پرولین گیاه که در شرایط تنش در گیاه افزایش می‌یابد، معنی‌دار نبود. با این حال، میزان پرولین گیاه که نقش کلیدی در تنظیم

اسمزی در شرایط تنش خشکی داشته و موجب افزایش تحمل به خشکی گیاه می‌شود؛ در همه تیمارهای تنش خشکی، افزایش معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد بدون تنش، یافته است (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها در برهمکنش تنش خشکی و کودهای آلی نشان داد که تیمار شاهد بدون کود، در تنش خشکی (I_1) کمترین میزان پرولین موجود در برگ را دارا بود (شکل ۱). هیچیک از تیمارهای کودی در این حالت، اختلاف معنی‌دار با شاهد در سطح احتمال ۵ درصد نشان ندادند. با افزایش تنش خشکی (I_2)، میزان پرولین در تیمارهای کودی کمپوست و ورمی‌کمپوست افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان دادند. بیشترین میزان پرولین در برهم کنش تیمار تنش خشکی (I_3) و در تیمارهای کمپوست و ورمی‌کمپوست بترتیب با ۲۱/۲ و ۲۴ میلی‌گرم در گرم اندازه گیری شد. در تیمار تنش شدید (I_4)، میزان پرولین کاهش یافته و اثر تیمارهای کودی در این حالت نسبت به شاهد بدون کود، معنی‌دار نبود. Franco *et al*., 2006 گزارش کردند که کاهش در تورژسانس عامل اولیه تجمع پرولین تحت تنش‌های شوری و خشکی می‌باشد. کاهش تورژسانس باعث فعال شدن یک توالی پیچیده از فرایندهای تطابقی مرتبط با سطح تحمل گیاه به تنش می‌شود. در این شرایط، اسید آمینه پرولین برای سازگاری با شرایط اسمزی، از تخریب پروتئین‌ها سنتز می‌شود و گزارش شده که پرولین نقش مهمی در تعادل اسمزی گیاه تحت تنش خشکی ایفا می‌کند (Fedina *et al*., 2002). معمولا برای مقاومت در برابر تنش‌های غیرزنده، بسیاری از گیاهان با افزایش تولید و ذخیره سازی پرولین، پتانسیل اسمزی خود را افزایش می‌دهند (Ghaffari *et al*., 2019). از سویی دیگر، کاربرد کودهای آلی مانند ورمی کمپوست، باعث افزایش اسید آمینه های ضروری و بویژه گلوتامات و آرژینین که از پیش‌سازهای تولید پرولین می‌باشند در برگ‌های کلم در شرایط تنش خشکی شده و از این رو افزایش تجمع پرولین توانست سبب افزایش تحمل در کلم در مواجهه با تنش‌های محیطی مثل شوری و خشکی شود (wang *et al*., 2011). در آزمایشات Mousavi *et al*. (2018) ، کاربرد ورمی‌کمپوست در بستر کشت نهال‌های زیتون، با کاهش بیشتر اثرات تخریبی تنش خشکی بر کلروفیل و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و مقدار پرولین، باعث ایجاد مقاومت بیشتر به خشکی و بهبود خصوصیات موفولوژیک گیاه گردید. در مجموع، افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی با استفاده از کودهای آلی در سطح بالای تنش خشکی می تواند مربوط به تأثیر آن در افزایش عناصر غذایی خاک و فراهم آوردن قابلیت جذب آن ها توسط گیاه باشد (Arancon *et al*., 2004a) که کارایی جذب عناصر را افزایش می‌دهد. همچنین کودهای آلی در بهبود خلل و فرج خاک و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک موثر هستند (Azizi *et al*., 2008). بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که اثرات مطلوب کمپوست به دلیل بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی محیط کاشت (Atiyeh *et al*., 2000) و همچنین تنظیم pH و افزایش معنی‌دار ظرفیت نگهداری آب در محیط ریشه گیاه است (Mcginnis *et al*., 2003). همچنین افزایش عملکرد و بهبود اجزای عملکرد در سال‌های بعد، حاکی از باقیماندن اثر مصرف کودهای آلی در خاک و تأثیر بر رشد گیاه در سال‌های بعدی می باشد (Eghbal *et al*., 2004). به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً خواص شیمیایی و فیزیکی هیومیک اسید موجود در کودهای آلی، از طریق افزایش نگهداری عناصر غذایی و افزایش هورمون‌های تنظیم کننده رشد (Arancon *et al*., 2005) و همچنین افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها (Arancon *et al*., 2004b) باعث افزایش تجمع نیتروژن، فسفر و سایر عناصر مورد نیاز در گیاه شده و عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان را نیز بهبود می‌بخشد. بنابراین، مصرف کودهای آلی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان بویژه در شرایط تنش خشکی داشته و تا حدی اثرات منفی تنش خشکی را نیز جبران می کند.

نتیجه‌گیری

یکی از روش‌های ممکن در استفاده بهینه از منابع آبی موجود، استفاده از کودهای آلی با ظرفیت جذب بالای آب است. با اعمال تنش خشکی مشاهده شد که عملکرد کلی سیب‌زمینی، نیتروژن گیاه و کلروفیل کل نسبت به تیمار بدون تنش، کاهش و میزان پرولین گیاه افزایش یافت. در این حال کاربرد کودهای آلی بویژه ورمی‌کمپوست سبب افزایش فاکتورهای رشد و مقاومت به تنش خشکی شد. استفاده از ورمی‌کمپوست توانست بطور موثرتری از تخریب کلروفیل تحت تنش جلوگیری کند و باعث سنتز بیشتر پرولین نسبت به شاهد گردد. نتایج این پژوهش نشان داد که کودهای کمپوست و ورمی‌کمپوست، به ویژه ورمی‌کمپوست در افزایش رشد، زیست توده و عملکرد سیب‌زمینی در هر دو شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی، دارای اثرات مثبت می‌باشند. همچنین کاربرد تیمار ورمی کمپوست نسبت به کمپوست از مزیت نسبی بیشتری در افزایش عملکرد سیب‌زمینی برخوردار بود. بنابراین، مصرف کودهای آلی در مدیریت منابع غذایی و رطوبتی در بلند مدت و در شرایط تنش خشکی جهت حصول عملکرد کمی و کیفی مطلوب‌تر در راستای اهداف کشاورزی ارگانیک و پایدار قابل توصیه می‌باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Ahmad, P., Jamsheed, S., Hameed, A., Rasool, S., Sharma, I., Azooz, M. and Hasanuzzaman, M. (2014). *Drought Stress Induced Oxidative Damage and Antioxidants in Plants*. Elsevier, New York. (pp. 345-367).

Akha, A., Boutra, T. and Alhejely, A. (2011). The rates of photosynthesis, chlorophyll Content, dark respiration, proline and abscicic acid (ABA) in wheat (*Triticum durum*) under water deficit conditions, *International. Journal of Agriculture and Biology*. 13(2), 215–221.

Alva, A. K., Ren, H. and Moore, A. D. (2012).Water and nitrogen management effects on biomass accumulation and partitioning in two potato cultivars. *American Journal of Plant Sciences* 3: 64-170.

Arancon, N., Edwards, C. A., Bierman, P. and Metzger, J. (2003). Effect of vermicompost on growth and marketable fruits of field grown tomatoes, peppers and strawberries. *Pedobiologia*. 47: 731–735.

Arancon, N., Edwards, C. Bierman, P., Welch, C. and Metzger, J. (2004a) Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource technology*. 93: 145-153.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atiyeh, R.M., and Metzger, J.D. (2004b). Effect of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology*. 93: 139-143.

Arancon, N.Q., Galvis P.A., and Edwards, A. (2005). Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts. *Bioresource Technology*. 96(10): 1137-1142.

Asghari, S., Neyshabouri, M.R., Abbasi, F., Aliasgharzad, N., and Oustan, S. (2009). The effects of four organic soil conditioners on aggregate stability, pore size distribution, and respiration activity in a sandy loam soil. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 33(1):47–55.

Ashraf, M., Akram, N., Arteca, R. and Foolad, M. (2010) The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 29: 162-190.

Atiyeh, R., Edwards, C., Subler, S. and Metzger, J. (2000) Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource technology*. 78: 11-20.

Azizi, M., rezwanee, F., Hassanzadeh Khayat, M., Lakzian, A., and Neamati, H. (2008). The effect of different levels of vermicompost and irrigation on morphological properties and essential oil content of German chamomile (Matricaria recutita variety Goral). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 24(1): 82-93. (In Persian)

Bachman, G.R. and Metzger, J. (2007). Physical and chemical characteristics of a commercial potting substrate amended with vermicompost produced from two different manure sources. *Horticulture Technology*. 17: 336-340.

Banziger, M., Edmeades, G.O., Beck, D. and Bellon, M., (2000). Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize, from theory to practice. CIMMYT, Mexico DF. Bates, L. Waldren, R. and Teare, I. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil* .39: 205-207.

Beltrano, J. and Ronco, MG. (2008). Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum L*.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus claroideum: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 20: 29–37.

Bowden, C., 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.

Campitelli, P., and Ceppi, S. (2008). Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: a chemometric study. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 90 (1):64–71.

Chanda, G.K., Bhunia, G. and Chakraborty, S.K. (2011). The effect of vermicompost and other fertilizerson cultivation of tomato plants. *Journal of Horticulture and Forestry*. 3(2): 42-45.

Chen, Y., Denobili, M. and Aviad, M. (2004). Stimulatory effects of humic substances on plant growth. *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida. (pp: 103-129).

Chinsamy, M. Kulkarni, M. G. and Van Staden, J. (2013). Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. *Plant Growth Regulation*. 71: 41-47.

Demelash, N. (2013). Deficit irrigation scheduling for potato production in North Gondar, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*. 8 (11): 1144-1154.

Ebrahimi pak, N. (2011). The effect of Deficit irrigation on the quantity and quality of potato crop in Shahrekord. *Soil and water research institute*, Karaj, Iran. Final report No. 1695. 56 p.

Edmeades, G.O., Banziger, M., Mickelson, H.R. and Pena-Valdivia, C.B. (1996). Developing drought and low N tolerant maize. P. 1-558. *Proceedings of a symposium sustainable maize and wheat systems for the poor*, 25-29 March 1996. CIMMYT, El Batan, Mexico.

Eghball, B., Ginting, D. and Gilley, J.E. (2004). Residual effects of manure and compost

applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*. 96: 442-7.

Fayez, K. A. and Bazaid, S. A. (2014). Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 13: 45-55.

Fedina, I., Georgieva, K. and Grigorova, I. (2002). Light-dark changes in proline content of barley leaves under salt stress. *Biologia plantarum*. 45: 59-63.

Ferreras, L., Gomez, E., Toresani, S., Firpo, I., and Rotondo, R. (2006). Effect of organic amendments on some physical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology*. 97, 63-640.

Franco, J., Martínez-Sánchez, J. Fernández, J. and Bañón, S. (2006). Selection and nursery production of ornamental plants for landscaping and xerogardening in semi-arid environments. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 81: 3-17.

Garcia, A. C. Santos, L. A. Izquierdo, F. G. Rumjanek, V. M. Castro, dos Santos, F. S. de Souza, L. G. A. and Berbara, R. L. L. (2014). Potentialities of vermicompost humic acids to alleviate water stress in rice plants (Oryza sativa L.). *Journal of Geochemical Exploration*. 136: 48-54.

García, A. C., Santos, L. A., Izquierdo, F. G., Sperandio, M. V. L., Castro, R. N. and Berbara, R. L. L. (2012). Vermicompost humic acids as an ecological pathway to protect rice plant against oxidative stress. *Ecological Engineering.* 47: 203-208.

Ghaffari, H., Tadayon, M.R. and Nadeem, M. (2019). Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. *Acta Physiologia Plantarum*. 23:119-128.

Hidalgo, P.R., Matta, F.B., Harkess, R.L. (2006). Physical and chemical properties of substrates containing earthworm castings and effects on marigold growth. *HortScience*. 41:1474–1476.

Jat, R.S. and Ahlawat, I.P.S. (2008). Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea maize sequence. *Journal of Sustainale Agriculture*. 28(1): 41-54.

Joshi, R., Singh, J., and Vig, A. P. (2015). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 14(1), 137-159.

Kalfountzos, D., Alexiou, I., Kotsopoulos, S., Zavakos, G. and Vyrlas, P. (2007). Effect of subsurface drip irrigation on cotton plantations. *Water Resource Management*. 21: 1341–1351.

King, B. A. and Stark, G. C. (1997). *Potato irrigation management*. University of Idaho Cooperative Extension System. bulletin No. 789, 16p.

Kumar, G.A., Bishwas, R., Mahendra, P.S., Vibha, U. and Chandan, K.S. (2011). Effect of fertilizers and vermicompost on growth, yield and biochemical changes in abelmoschus esculentus, *Plant Archives.* 11(1): 285-287.

Lei, Y., Yin, C. and Li, C. (2006) Differences in some morphological, physiological and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. *Physiologia Plantarum*. 127: 182-191.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. PP. 350-382. In: R. Douce L.Packer (eds). *Methods in Enzymology*. Academic Press Ins, New York.

Lim, S.L. and Wu, T.Y. (2015). Determination of maturity in the vermicompost produced from palm oil mill effluent using spectroscopy, structural characterization and thermogravimetric analysis. *Ecological Engineering*. 84:515–519.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, C. and Sohrabi, E. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*. 4(8):580-585.

Malakouti, M. J. and Balali, M. R. (2004). Balanced fertilization towards sustainable crop production. *Soil and water research institute*. Tehran. 575p.

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

Mcginnis, M., Cooke, A., Bilderback, T., and Lorscheider, M. (2003). Organic fertilizers for basil transplant production. *Acta Horticulturea*. 491: 213- 218.

Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S. and Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, cell and environment*. 33: 453-467.

Mirakalaei, S. Ardebill, Z. and Mostafavi, M. (2013). The effects of different organic fertilizers on the growth of lilies (*Lillium longiflorum*). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 4: 181-186.

Mouavi, S. Z., Gholami, M. and Baninasab, B. (2018). Effect of vermicompost fertilizer on growth and drought tolerance of olive (*Olea europaea*). *Journal of Plant Process and Function*. 7(23). 1-19.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 34:1527-1536.

Nikolaeva, M.K., Maevskaya, S.N., Shugaev, A.G. and Bukhov, N.G. (2010). Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*. 57: 87–95.

Ostos, J.C., Lopez-Garrido, R., Murillo, J.M. and Lopez, R. (2008). Substitution of peat for municipal solid waste and sewage sludge-based composts in nursery growing media: Effects on growth and nutrition of the native shrub *Pistacia lentiscus* L. *Bioresource Technology*. 99. 1793–1800.

Paknejad, F., Nasri, M., Tohidi, H., and Moghadam, H.R.(2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *Journal of Biological Science*. 7(6): 841-847.

Rahbarian, P., Afsharmanesh, G. and Shirzadic, M.H. (2010). Effects of drought stress and manure on relative water content and cell membrane stability in dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Plant Ecophysiology*. 2: 13-19.

Ramegowda, V., Basu, S., Krishnan, A. and Pereira, A. (2014). Rice growth under drought kinase is required for drought tolerance and grain yield under normal and drought stress conditions. *Plant Physiology*. 166:1634-1645.

Rashtbari, M. Alikhani, H. and Ghorchiani, M. (2012). Effect of vermicompost and municipal solid waste compost on growth and yield of canola under drought stress. *International Journal of Agriculture: Research and Review*. 2: 395-402.

Reddy, R., Redby, M., Reddy, N. S. & Anjnappa, M. (1998). Effect of organic and inorganic sources of NPK on growth and yield of pea (*Pisum sativum*). *Legume Resources*. 21: 57–60.

Rezadoost, S., Roshdi, M. and Hajihasani, M. (2009). The effect of deficit irrigation on grain and oil yield of rapeseed cultivars in Khoy region. *Journal of research in crop sciences*. 2(6), 1-11. (In Farsi)

Razavinasab, A., Fotovat, R., Astaraie, A. and Tajabadipour, A. (2015). The biennial effect of humic acid application methods on growth and chemical composition of pistachio seedlings in field conditions. In: Proceedings of *14th Iranian soil science congress*, 6-8 Sep. Rafsanjan University, Iran.

Sabry, S. R. S., Smith, L. T. and Smith, G.M. (1995). Osmoregulation in spring wheat under drought and salinity stress. *Journal. of Genetics and Breeding*. 49(1): 55–60.

Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A. and Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologies*. 331: 215-225.

Shock, C.C., Feibert, E.B.G. and Saunders, L.D. (1998). Potato yield and quality response to deficit irrigation. *Horticultural Science*. 33 (4): 655–659.

Tartoura, A.H. (2010). Alleviation of oxidative-stress induced by drought through application of compost in wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *American-Eurasian Journal of. Agriculture and Environment Science*. 9(2): 208-216.

Uma, B. and Malathi, M. (2009). Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of Amaranthus species. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 5: 1054-1060.

Wang, W.X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2001). Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Horticulturae*. 560:285-292.

Wang, Y. Ma, F. Li, M. Liang, D. and Zou, J. (2011). Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. *Plant Growth Regulation*. 64: 63-74.

Yactayo, W., Ramírez, D.A., Gutiérrez, R., Mares, V., Posadas, A. and Quiroz, R. (2013). Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. *Agriculture Water Management*. 123, 65–70.