

بررسی تأثیر تنش خشکی و مصرف کودهای آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد پیاز (مطالعه موردی: استان اصفهان)

چکیده

کاربرد کودهای آلی می‌تواند شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود داده و در تحمل گیاهان به خشکی نقش مؤثری داشته باشد. در این پژوهش، تأثیر کودهای آلی بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی پیاز تحت تنش خشکی طی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و در منطقه اصفهان بررسی شد. آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای اصلی شامل سطوح مختلف تخلیه مجاز رطوبتی (۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درصد) و تیمارهای فرعی شامل ورمی‌کمپوست (۷ تن/هکتار)، کمپوست زباله شهری (۱۵ تن/هکتار)، کود دامی (۵۰ تن/هکتار) و شاهد (بدون کود) بودند. نتایج نشان داد تنش خشکی باعث کاهش عملکرد پیاز، اجزای عملکرد و کلروفیل برگ شد. بالاترین عملکرد در تیمار ورمی‌کمپوست و بدون تنش و بدون کود مشاهده شد. ترکیب ورمی‌کمپوست و آبیاری با ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک (کاهش ۳۰ درصد آب مصرفی) عملکردی مشابه با تیمار بدون تنش و بدون کود داشت. شاخص کلروفیل در تیمار بدون تنش و ورمی‌کمپوست (۳٫۸۱) و کمپوست (۳٫۷۹) به بیشترین مقدار رسید. همچنین، بالاترین میزان پرولین در تنش ۵۵ درصد تخلیه رطوبتی همراه با ورمی‌کمپوست (۵٫۱۸ میلی‌گرم/گرم) و کمپوست (۳٫۱۸ میلی‌گرم/گرم) اندازه‌گیری شد. این نتایج نشان داد که استفاده از کودهای آلی، به‌ویژه ورمی‌کمپوست، می‌تواند در شرایط کم‌آبی به کاهش اثرات منفی خشکی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: تنش محیطی، کم‌آبیاری، کمپوست، کود دامی، ورمی‌کمپوست

The Effect of Drought Stress and Organic Fertilizer Application on Yield and Yield Components of Onion (Case Study: Isfahan Province)

Abstract

The application of organic fertilizers can improve the physical and chemical properties of the soil, playing a significant role in enhancing plant drought tolerance. This study investigated the effects of organic fertilizers on the yield and physiological traits of onions under drought stress during 1401-1402 in the region of Isfahan. The experiment was conducted as a split-plot design within a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The main treatments included different levels of allowable soil moisture depletion (35%, 45%, 55%, and 65%), and the sub-treatments consisted of vermicompost (7 tons/ha), municipal solid waste compost (15 tons/ha), farmyard manure (50 tons/ha), and a control (no fertilizer). The results showed that drought stress reduced onion yield, yield components, and leaf chlorophyll content. The highest yield was observed in the vermicompost treatment under no drought stress conditions. The combination of vermicompost and irrigation at 65% allowable soil moisture depletion (30% water savings) resulted in a yield comparable to the no-stress condition without fertilizer application. The highest chlorophyll index was recorded in the no-stress treatment combined with vermicompost (3.81) and compost (3.79). Additionally, the highest proline content was observed under 55% allowable moisture depletion with vermicompost (5.18 mg/g) and compost (3.18 mg/g). These results suggest that the use of organic fertilizers, particularly vermicompost, can mitigate the adverse effects of drought and support crop performance under water-limited conditions.

Key words: Compost, Cow manure, Deficit irrigation, Environmental stress, Vermicompost

مقدمه

پیاز یکی از قدیمی‌ترین و مهمترین سبزی‌ها می‌باشد که از نظر دارا بودن موادی چون پروتئین، کلسیم، آهن، فسفر، پتاسیم، ویتامینها و خاصیت ضد قارچی، ضد باکتریایی و نیز طعم دهنده غذا اهمیت فراوان دارد (Pareek, et al., 2017). نتایج تحقیقات متعددی روی پیاز، حساسیت این محصول به مقدار آبیاری را نشان داده است (Gerjes, et al., 2021). در همین مورد (Kadayifci et al., 2005) تأثیر کم آبیاری را بر پیاز مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که پیاز خوراکی نسبت به کمبود آب در سراسر دوره رشد و تشکیل سوخ خیلی حساس بوده ولی حساسیت کمتری در مراحل رشد رویشی و رسیدن دارد و اندازه غده‌ها و عملکرد با اعمال کم آبیاری کاهش می‌یابد. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی غیرزنده است که با ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاهان، باعث کاهش عملکرد آنها شده و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wang, et al., 2011; Garcia, et al., 2014 and Seleiman, et al., 2021). تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه، سطح برگ و ریشه، طول ریشه و زیست توده گیاه می‌شود (Ramegowda, et al., 2014). شرایط خشکی محیطی منجر به کاهش سطح پتاسیم، نترق، رشد، و بهره‌وری محصولات می‌شود. علاوه بر این، خشکی میزان فتوسنتز، تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ و سایر فرآیندهای بیوشیمیایی مرتبط با رشد گیاه را کاهش می‌دهد. (Fayez and Bazaid, 2014). در شرایط تنش خشکی، کاهش فشار تورژسانس رخ می‌دهد که به کاهش رشد و توسعه سلولی، کاهش رشد و سطح برگ، و کاهش نترق در گیاهان عالی منجر می‌شود. این تغییرات در نهایت سطح فتوسنتزی گیاه را محدود کرده و موجب کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه می‌گردد (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 پیاز (Chaudhry, et al., 2021) و همچنین افزایش میزان پرولین در ارقام پیاز خوراکی شد (Semida, et al., 2020). کاربرد کودهای آلی به‌عنوان روشی برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند به افزایش تحمل گیاهان در برابر شرایط خشکی کمک کند (Moradi, et al., 2019). ورمی کمپوست نوعی کود آلی زیستی است که از فرآوری ضایعات آلی توسط کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌های خاک تولید می‌شود. این کود به دلیل محتوای بالای اسید هومیک، به‌عنوان یک کود زیستی موثر در تحریک رشد گیاه شناخته می‌شود (Garcia, et al., 2012; Joshi et al., 2015). مطالعات نشان داده‌اند که افزودن ورمی کمپوست یا کود دامی به خاک به‌طور قابل توجهی موجب افزایش تخلخل و ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود (Gopinath et al., 2008; Campitelli and Ceppi, 2008; Hidalgo et al., 2006; Lim et al., 2015). همچنین (2008) کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری و افزایش کل کربن آلی خاک را پس از کاربرد ورمی کمپوست در دو فصل رشد متوالی گزارش کردند. Ferreras et al. (2006) نیز نشان دادند که افزودن ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست به خاک کشاورزی، به افزایش تخلخل و پایداری خاکدانه‌ها منجر می‌شود. برخی تحقیقات بیانگر آن است که ورمی کمپوست تعداد منافذ بزرگ و کوچک خاک را که در نگهداری آب مؤثرند، به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (Marinari et al., 2000; Asghari et al., 2009). این تغییرات باعث بهبود دسترسی ریشه‌ها به آب و هوا شده و جوانه‌زنی بذر و رشد ریشه را تسهیل می‌کنند. علاوه بر این، ورمی کمپوست ویژگی‌های رشدی مانند جوانه‌زنی بذر، ارتفاع ساقه، تعداد و سطح برگ، وزن خشک برگ، طول و تعداد ریشه‌ها، میزان کلروفیل، غلظت مواد مغذی ماکرو و میکرو، درصد پروتئین و کربوهیدرات، و تعداد میوه گیاه را افزایش داده و بهبود عملکرد کلی و کیفیت محصول را به همراه دارد (Garcia et al., 2012). نتایج یک تحقیق نشان داد عملکرد پیاز تحت تأثیر استفاده از ورمی کمپوست قرار گرفت. همچنین مقدار و زمان ورمی کمپوست نیز بر بهره‌وری پیاز تأثیر داشت. ورمی کمپوست در خاک شنی-رسی عملکرد بهتری نسبت به خاک شنی-سیلتی داشت. تولید پیاز در خاک شنی رسی با میزان مصرف ورمی کمپوست ۲۰ تن در هکتار منجر به تولید بهینه شد (Coulibaly

(et al., 2020). نتایج تحقیق دیگری نشان داد رشد گیاه پیاز به طور قابل توجهی تحت تاثیر تیمار ترکیبی مخلوط ورمی کمپوست و NPK قرار گرفت. تعداد و طول پنجه‌ها در هر پیاز، وزن تازه پیاز بیشتر شده و پنجه‌ها و برگ‌های پیاز رشد بیشتری داشتند (Asgele et al., 2018). هیومیک اسید استخراج شده از ورمی کمپوست با تأثیر بر هورمون‌های تنظیم کننده رشد گیاه، مسیر رشد ریشه و متابولیسم ثانویه، نقشی مهم در بهبود سازگاری گیاهان با تنش‌های محیطی ایفا می‌کند (Garcia et al., 2012). این ترکیب گیاهان را در برابر تنش شوری و خشکی محافظت کرده و در برخی گونه‌ها تحت تنش خشکی با افزایش زیست توده، رشد و عملکرد گیاه، اثرات مثبتی نشان داده است (Garcia et al., 2014; Rashtbari et al., 2012). همچنین، هیومیک اسید با تأثیر بر عملکردهای آنتی اکسیدانی، رادیکال‌های آزاد را کنترل کرده و از گیاه در برابر آسیب ناشی از خشکی محافظت می‌کند. (Garcia et al., 2012)

تنش خشکی، فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، جذب عناصر و رشد گیاه را کاهش می‌دهد. در پاسخ، گیاهان با تولید ترکیباتی نظیر پرولین، تلاش می‌کنند اثرات این تنش را کاهش دهند. (Ashraf et al., 2010) پرولین، یک اسید آمینه محلول است که به طور طبیعی در سلول‌های گیاهی در شرایط استرس تجمع یافته و با حفظ تعادل اسمزی، پایداری غشا و پروتئین‌ها، از سلول‌ها در برابر اثرات منفی خشکی و شوری محافظت می‌کند (Mansour et al., 2017). این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر کودهای آلی بر شاخص‌های عملکردی و فیزیولوژیکی گیاه پیاز در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در منطقه برآن استان اصفهان با عرض جغرافیایی $31^{\circ}32'$ شمالی، طول جغرافیایی $51^{\circ}51'$ شرقی و ارتفاع متوسط 1510 متر از سطح دریا اجرا شد. منطقه دارای اقلیم گرم و خشک و میانگین بارندگی سالانه 110 میلی متر است. پژوهش در سال زراعی $1401-1402$ به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. زمین مورد نظر پس از عملیات آماده سازی شامل تسطیح و مرزبندی، برای اجرای تیمارها آماده گردید. هر کرت آزمایشی مساحتی معادل 18 مترمربع (6×3 متر) داشت و آب آبیاری از چاه مزرعه از طریق کانال بتنی تأمین می‌شد.

پیش از آغاز آزمایش، نمونه برداری خاک تا عمق 60 سانتی متر (در فواصل 20 سانتی متری) انجام و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه بررسی گردید. داده‌های اولیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است. 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.

تیمارهای اصلی شامل سطوح مختلف تنش خشکی بر اساس تخلیه مجاز رطوبتی 35% به عنوان شاهد، و 25% ، 55% و 65% به ترتیب با کدهای I1، I2، I3 و I4 بودند. تیمارهای فرعی شامل سه نوع کود آلی (ورمی کمپوست معادل 7 تن در هکتار، کمپوست زباله 15 تن در هکتار و کود پوسیده دامی 50 تن در هکتار) در نظر گرفته شدند.

زمان آبیاری بر اساس کاهش رطوبت خاک تا سطح تعیین شده تنش، با استفاده از دستگاه TDR مدل Trase6050X1، (شکل ۱) از روز سوم پس از هر آبیاری تنظیم می‌شد. برای اندازه گیری رطوبت با استفاده از این دستگاه ابتدا سنسورهای مخصوص در عمق‌های مختلف (10 ، 20 ، 30 ، 40 و 50 سانتی متری از سطح خاک) نصب گردیده و با اتصال به دستگاه رطوبت در آن عمق قرائت می‌گردید. زمانی که رطوبت در هر تیمار به اندازه مورد نظر برای انجام آبیاری می‌رسید، با استفاده از رابطه 1 عمق آبیاری محاسبه و سپس برای هر کرت حجم آب مورد نیاز محاسبه می‌گردید جدول ۳ مقدار آب آبیاری در هر نوبت را نشان می‌دهد. برای انجام آبیاری از یک پمپ کوچک که آب را از حوضچه مجاور زمین با لوله به هر کرت انتقال می‌داد و کنتور بعد از آن نصب شده بود استفاده گردید. گیاه مورد استفاده در این تحقیق، پیاز رقم نیاگارا زرد، یکی از ارقام رایج منطقه، با میزان بذر برای 10 کیلوگرم در هکتار بود. کودهای شیمیایی

شامل ۱۵۰ کیلوگرم اوره، ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار بر اساس آزمون خاک اعمال گردید.

$$d_i = (F_c - P_{wp})z / E_a$$

رابطه (۱)

که در آن: d_i عمق آب آبیاری، F_c و p_{wp} ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی داریم، z عمق ریشه و E_a راندمان بودند.

تاریخ کاشت در نیمه اول اسفندماه و زمان برداشت در نیمه اول شهریورماه بود. تمامی تیمارها تا زمان استقرار گیاهچه‌ها به‌طور یکسان آبیاری شدند و پس از آن تیمارهای تنش خشکی اعمال گردید. در زمان برداشت، عملکرد و اجزای آن با برداشت سه ناحیه یک مترمربعی از هر کرت محاسبه شد. همچنین با استفاده از مقدار آب مصرفی و عملکرد نمایه بهره‌وری فیزیکی و با در نظر گرفتن قیمت محصول و عملکرد و آب مصرفی نمایه بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری به صورت زیر محاسبه گردید (مولدن و همکاران، ۱۹۹۸) و (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶).

$$WP_s = \frac{R}{CW}$$

رابطه (۲)

که در آن: R سود ناخالص تولید (هزار ریال بر هکتار) و CW آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) است.

علاوه بر این، برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی نظیر میزان نیتروژن، کلروفیل و پرولین برگ برای نمونه‌های هر تیمار اندازه‌گیری گردید.

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

عمق خاک cm	EC (dSm ⁻¹)	pH	بافت	کربن آلی %	فسفر قابل جذب (mgkg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب
(۲۰-۰)	۳/۸	۷/۱	لوم رسی	۰/۷۱	۱۷/۷	۲۶۱
(۴۰-۲۰)	۳/۲	۷/۳	لوم رسی	۰/۷۳	۱۷/۵	۲۶۷
(۶۰-۴۰)	۲/۸	۷/۳	لوم رسی	۰/۴۷	۱۴/۳	۲۳۹



شکل ۱- دستگاه رطوبت سنج

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی کود های آلی

کود آلی	نسبت کربن به نیتروژن	اسیدیته	هدایت الکتریکی	پتاسیم	نیتروژن کل	فسفر کل	کربن آلی
		dS.m ⁻¹	%	%	%	%	%
ورمی کمپوست	۱۲/۲	۷/۷	۳/۵	۰/۸۷	۲/۴	۱/۳	۲۶
کمپوست	۱۹/۵	۸/۱	۳/۸	۱/۳	۱/۹	۱/۶	۳۵
کود دامی	۱۶/۱	۸/۱	۳/۹	۰/۹۸	۲/۴	۱/۶	۳۷

جدول ۳- میانگین آب مصرفی تیمارهای آبیاری

۳۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی		۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی		۵۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی		۶۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی	
تاریخ آبیاری	مقدار آب آبیاری (m ³ .ha ⁻¹)	تاریخ آبیاری	مقدار آب آبیاری (m ³ .ha ⁻¹)	تاریخ آبیاری	مقدار آب آبیاری (m ³ .ha ⁻¹)	تاریخ آبیاری	مقدار آب آبیاری (m ³ .ha ⁻¹)
۱۴۰۱/۱۲/۱۰	۹۰۰ (خاک آب)	۱۴۰۱/۱۲/۱۰	۹۰۰ (خاک آب)	۱۴۰۱/۱۲/۱۰	۹۰۰ (خاک آب)	۱۴۰۱/۱۲/۱۰	۹۰۰ (خاک آب)
۱۴۰۱/۱۲/۱۶	۴۰۰ (پی آب)	۱۴۰۱/۱۲/۱۶	۴۰۰ (پی آب)	۱۴۰۱/۱۲/۱۶	۴۰۰ (پی آب)	۱۴۰۱/۱۲/۱۶	۴۰۰ (پی آب)
۱۴۰۱/۱۲/۲۵	۴۰۰	۱۴۰۱/۱۲/۲۵	۴۰۰	۱۴۰۱/۱۲/۲۵	۴۰۰	۱۴۰۱/۱۲/۲۵	۴۰۰
۱۴۰۲/۱/۵	۴۵۰	۱۴۰۲/۱/۵	۴۵۰	۱۴۰۲/۱/۵	۴۵۰	۱۴۰۲/۱/۵	۴۵۰
۱۴۰۲/۱/۱۰	۴۲۰	۱۴۰۲/۱/۱۶	۵۶۰	۱۴۰۲/۱/۲۰	۶۳۰	۱۴۰۲/۱/۲۲	۷۳۰
۱۴۰۲/۱/۱۶	۴۲۰	۱۴۰۲/۱/۲۲	۵۶۰	۱۴۰۲/۲/۷	۶۳۰	۱۴۰۲/۲/۷	۷۳۰
۱۴۰۲/۱/۲۲	۴۲۰	۱۴۰۲/۱/۳۱	۵۶۰	۱۴۰۲/۲/۲۰	۶۳۰	۱۴۰۲/۲/۲۰	۷۳۰
۱۴۰۲/۱/۳۱	۴۲۰	۱۴۰۲/۲/۱۰	۵۶۰	۱۴۰۲/۳/۲	۷۵۰	۱۴۰۲/۳/۸	۸۳۰
۱۴۰۲/۲/۷	۴۲۰	۱۴۰۲/۲/۲۰	۶۳۵	۱۴۰۲/۳/۱۶	۷۵۰	۱۴۰۲/۳/۲۲	۸۳۰
۱۴۰۲/۲/۱۴	۵۱۰	۱۴۰۲/۲/۳۱	۶۳۵	۱۴۰۲/۳/۲۸	۷۵۰	۱۴۰۲/۴/۷	۸۳۰
۱۴۰۲/۲/۲۳	۵۴۰	۱۴۰۲/۳/۱۰	۶۳۵	۱۴۰۲/۴/۷	۸۰۰	۱۴۰۲/۴/۲	۹۰۰
۱۴۰۲/۲/۳۱	۵۴۰	۱۴۰۲/۳/۲۲	۶۳۵	۱۴۰۲/۴/۱۸	۸۰۰	۱۴۰۲/۵/۱	۹۰۰
۱۴۰۲/۳/۸	۵۴۰	۱۴۰۲/۴/۱	۶۹۰	۱۴۰۲/۵/۲	۸۶۰	۱۴۰۲/۴/۱۵	۹۰۰
۱۴۰۲/۳/۱۶	۵۴۰	۱۴۰۲/۴/۱۳	۶۹۰	۱۴۰۲/۵/۱۵	۸۶۰		
۱۴۰۲/۳/۲۲	۵۴۰	۱۴۰۲/۴/۲۲	۶۹۰				
۱۴۰۲/۴/۱	۵۸۵	۱۴۰۲/۵/۱	۷۵۰				
۱۴۰۲/۴/۷	۵۸۵	۱۴۰۲/۵/۱۵	۷۵۰				
۱۴۰۲/۴/۱۳	۵۸۵						
۱۴۰۲/۴/۱۸	۵۸۵						
۱۴۰۲/۴/۲۵	۵۸۵						
۱۴۰۲/۵/۱	۷۱۰						
۱۴۰۲/۵/۸	۷۱۰						
۱۴۰۲/۵/۱۵	۷۲۰						
مجموع	۱۲۵۲۵	۱۰۵۰۰	۹۶۱۰	۹۵۳۰			

در این پژوهش علاوه بر اندازه گیری عملکرد پیاز در اندازه های مختلف، برخی فاکتورهای فیزیولوژیک گیاه نیز اندازه گیری شد. کلروفیل برگ ها به روش Lichtenthaler (1987) در اواخر تنش خشکی استخراج گردید. نمونه برگي از جوان ترین برگ های توسعه یافته در مرحله غده دهی را درون هاون چینی قرار داده و پس از اضافه کردن ۱۰ میلی لیتر استون ۱۰۰٪ طی دو مرحله و انجام عصاره گیری،

نمونه‌ها سانتریفیوژ شدند. 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 قرائت گردید. در نهایت میزان کلروفیل کل از طریق روابط زیر محاسبه شد.

$$C_a = 11.24 \times A_{661.6} - 2.04 \times A_{644.8} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$C_b = 20.13 \times A_{644.8} - 4.19 \times A_{661.6} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$C_{a+b} = 7.05 \times A_{661.6} - 2.04 \times A_{644.8} \quad \text{رابطه (۵)}$$

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 موج ۶۴۴/۸ می‌باشد.

اندازه‌گیری میزان پرولین برگ‌ها بر اساس روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. برای این منظور ابتدا نمونه‌های برگ‌ها از هر تکرار توزین شده و سپس با استفاده از محلول اسید سولفوسالیسیلیک ۳٪ پرولین از آنها استخراج گردید. نمونه‌های حاصل به‌منظور جداسازی اجزاء سانتریفیوژ شدند. عصاره به‌دست‌آمده در محلول اسید فسفریک ۶ مولار و اسید استیک خالص حل شد. برای انجام واکنش، دو میلی‌لیتر از عصاره به همراه دو میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک خالص به لوله آزمایش اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در بن‌ماری یا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم شدند.

پس از اتمام واکنش و خنک شدن نمونه‌ها، چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله افزوده شد و نمونه‌ها به مدت ۳۰ ثانیه هم زده شدند. به‌دنبال تشکیل دو فاز در لوله آزمایش، دو میلی‌لیتر از فاز بالایی جدا شده و در کووت دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت. جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر ثبت شد. برای کالیبراسیون دستگاه از تولوئن استفاده شد و منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف پرولین تهیه گردید. غلظت پرولین بر اساس داده‌های جذب نوری و استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد.

$$\text{رابطه (۶)} \quad \text{پرولین (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)} = [(mg \text{ proline/ml} \times ml \text{ toluene}) / 11.5] / [g \text{ samples} / 5]$$

نتایج حاصله با استفاده از نرم افزار SAS آنالیز آماری و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد گیاه

جدول ۳ نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش را نشان می‌دهد. بر اساس جدول مذکور، تیمارهای تنش خشکی و تیمار کود آلی بر عملکرد کل، عملکرد بازاری، قطر سبزه، ارتفاع سبزه و قطر گردن سبزه در سطح احتمال یک درصد و تیمار تنش خشکی بر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. از طرفی اثر برهمکنش تیمار تنش و تیمار کود آلی، بر بهره‌وری آب آبیاری، عملکرد کل، قطر سبزه، ارتفاع سبزه و قطر گردن سبزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی بر عملکرد بازاری، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی معنی‌دار نبود.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه گیری شده پیاز تحت تاثیر تنش خشکی و کودهای آلی

درجه آزادی	بهره وری آب آبیاری	بهره وری اقتصادی	عملکرد کل	عملکرد بازارپسند	میانگین مربعات		
					قطر گردن سوخ	ارتفاع سوخ	قطر گردن سوخ
تکرار	۲	۰/۷۴ *	۰/۰۵۳ *	۵۹/۱۰ **	۶۱/۳۶ **	۰/۹۶۰ **	۰/۸۱ **
تیمار تنش (A)	۳	۱۸/۲۳ *	۰/۰۸۳۳ *	۷۱۱/۶۷ **	۵۴۵/۴۹ **	۱۹/۰۷ **	۱۷/۵۷ **
خطای A	۶	۱/۱	۰/۸۲	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۱	۱/۳	۱/۰
تیمار کود آلی (B)	۳	۶۳۸/۱۲ **	۹۸۸/۴۳ **	۰/۰۷۳۴ **	۶/۰۸ **	۷۳۶/۰۴ **	۶۰۸/۳۶ **
اثر متقابل (A*B)	۹	۱۳/۳۲ **	۱۰/۵۲ **	۰/۰۰۱۶۹ **	۰/۱۱ NS	۱۴/۰۹ **	۱۲/۱۴ **
خطای B	۲۴	۰/۷۴۸۵	۰/۸۵۶	۰/۰۰۰۴۵	۰/۰۷۰	۰/۶۳۴۵	۰/۴۴۲۳۴
ضرب تغییرات	-	۱/۸۷	۰/۶۸	۴/۴۷	۵/۰۲	۲/۴۷	۱/۶۷

NS، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می باشند.

نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد که تیمارهای تنش خشکی باعث کاهش عملکرد پیاز شدند و تولید کل در بالاترین تنش خشکی (I4) به میزان ۳۲/۷ درصد کاهش یافت. همچنین عملکرد بازارپسند نیز ۳۱/۹ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). در این میان، قطر سوخ ۴۲/۵ درصد، ارتفاع سوخ ۴۱/۲ درصد و قطر گردن سوخ نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) ۳۲/۲ درصد کاهش عملکرد نشان دادند. در مجموع نتایج نشان داد با افزایش میزان آب آبیاری تا آبیاری کامل، عملکرد می تواند 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 می شود. این کاهش عملکرد را می توان به دلیل اعمال تنش طولانی مدت به گیاه نسبت داد که سطح فتوسنتز کننده گیاه را کاهش می دهد و از این طریق موجب کم شدن رشد گیاه و در نهایت کاهش عملکرد می شود (Kalfountzos, et al., 2007). برخی نیز دلیل کاهش عملکرد را حساسیت به تنش آبی، کم عمق بودن ریشه و رشد پیاز در خاکهایی با ظرفیت رطوبتی پایین می دانند (Doorenbos and Kassam, 1979). با این نتایج مشخص می شود که عملکرد کل در پیاز به شدت تحت اثر سطوح آبیاری قرار می گیرد و امکان اینکه در تنش خشکی، اختلال در فرآیند غده سازی به ناهنجاری رشد و ریزش سوخ ها نیز منجر شود وجود دارد. بطور کلی کمبود رطوبت خاک موجب افزایش مقاومت روزنه ای برگ، کاهش میزان فتوسنتز برگ، کاهش رشد سوخ و در نتیجه کاهش عملکرد گردید. تحقیقات انجام گرفته توسط برخی محققین هم نشان داد که با افزایش میزان آب مصرفی عملکرد محصول پیاز افزایش پیدا می کند و تیمار بدون تنش خشکی دارای بیشترین عملکرد است (ابراهیمی پاک، ۱۳۹۰؛ Piri and Naserin, 2020).

بهره وری مصرف آب یکی از شاخص های ارزیابی مصرف بهینه آب است. معمولاً بهره وری فیزیکی و اقتصادی آب، با هم در تحلیل ها و تصمیم گیری ها مورد استفاده قرار می گیرند. بهره وری فیزیکی مقدار محصول تولید شده به ازای یک متر مکعب آب (kg.m^{-3}) و بهره وری اقتصاد میزان ارزش محصول تولید شده به ازای یک متر مکعب آب است (Abbasi و همکاران، 2017). نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد هرچند بیشترین عملکرد در تخلیه رطوبتی ۳۵ درصد بدست آمد ولی بالاترین مقدار بهره وری آب آبیاری که از نسبت عملکرد به آب مصرفی محاسبه می شود در تخلیه مجاز رطوبتی ۴۵ درصد حاصل گردید. کمترین مقدار بهره وری آب آبیاری هم در تخلیه مجاز رطوبتی ۶۵ درصد بدست آمد. بیشترین مقدار بهره وری آب آبیاری هم در تیمار کودی ورمی کمپوست و کمترین مقدار هم در تیمار شاهد بدست آمد.

همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بالاترین مقدار بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری که از حاصلضرب عملکرد در قیمت ناخالص محصول به آب مصرفی محاسبه می‌شود در تخلیه مجاز رطوبتی ۴۵ درصد بدست آمد. کمترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری هم در تخلیه مجاز رطوبتی ۶۵ درصد بدست آمد. بیشترین مقدار بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری هم در تیمار کودی ورمی کمپوست و کمترین مقدار هم در تیمار شاهد بدست آمد. در جدول ۵ مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمار تنش خشکی و تیمار نوع کود آلی بر عملکرد پیاز نیز تیمار تخلیه مجاز رطوبتی ۴۵ درصد و کود ورمی کمپوست بیشترین مقدار را داشتند. تیمار آبیاری ۳۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی بیشترین مقدار آب و عملکرد را داشت ولی با توجه به نمایه‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی، این تیمار در مقایسه با تیمار ۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی اولویت دوم می‌باشد. نتایج تحقیقات دیگر هم مبین این موضوع می‌باشد. نتایج یک بررسی بهره‌وری آب کشاورزی محصولات مهم زراعی در دشت مشهد، نشان داد که کشت‌های با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پائین مانند یونجه باید از الگوی کشت حذف شود. این کار هم باعث کاهش مصرف و استحصال آب شده و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره برداران کشاورزی است (کریمی و جولینی، ۱۳۹۶).

در بین تیمارهای کودی، در مجموع، ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار ۳۶/۲ درصد و کمپوست باعث افزایش معنی‌دار ۲۹/۳ درصد تولید کل نسبت به تیمار بدون کود (شاهد) شدند. کود دامی نیز ۲۰ درصد افزایش داشت. همچنین تیمارهای کودی ورمی کمپوست، کمپوست و کود دامی نسبت به تیمار بدون مصرف کود به ترتیب باعث افزایش ۳۴/۵، ۲۶/۷ و ۱۵/۸ درصد عملکرد بازاریسند گردیدند. افزایش قطر سوخ، ارتفاع سوخ و قطر گردن سوخ در تیمار ورمی کمپوست بترتیب ۲۵/۲، ۳۰/۹ و ۳۲/۱ درصد بود. همچنین در اثر کاربرد کود کمپوست افزایش قطر سوخ، ارتفاع سوخ و قطر گردن سوخ نسبت به شاهد برابر ۱۶/۴، ۲۲/۸ و ۲۵/۵ درصد بدست آمد. افزایش این پارامترها برای تیمار کود دامی به ترتیب ۹/۷، ۱۴/۳ و ۱۵/۵ درصد بود (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تنش خشکی و نوع کودهای آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد پیاز

تیمار	بهره وری آب آبیاری (kg.m ⁻³)	بهره وری اقتصادی (1000Rial.m ⁻³)	عملکرد کل (ton.ha ⁻¹)	عملکرد بازاریسند (ton.ha ⁻¹)	قطر سوخ (cm)	ارتفاع سوخ (cm)	قطر گردن سوخ (cm)
۳۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی	۴/۴۳ c	۰/۴۴ c	۵۵/۴۶ a	۴۶/۷۳ a	۶/۵۲ a	۲/۷۷ a	۰/۵۹ a
۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی	۴/۷۳ a	۰/۴۷ a	۴۹/۷۰ b	۴۲/۲۷ b	۵/۹۷ b	۵/۹۵ b	۰/۴۹ b
۵۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی	۴/۶۴ b	۰/۴۶ b	۴۴/۶۴ c	۳۶/۴۱ c	۵/۲۵ c	۴/۷۳ c	۰/۴۲ c
۶۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی	۳/۹۲ d	۰/۳۹ d	۳۷/۳۲ d	۳۱/۸۳ d	۴/۶۷ d	۳/۸۳ d	۰/۴۰ d
ورمی کمپوست	۵/۵۱ a	۰/۵۵ a	۵۵/۹۷ a	۴۷/۶۲ a	۶/۸۲ a	۶/۲۵ a	۰/۵۶ a
کمپوست	۵/۰۱ b	۰/۵۰ b	۵۰/۵۶ b	۴۲/۵۱ b	۶/۱۰ b	۵/۶۰ b	۰/۵۱ b
کود دامی	۴/۳۹ c	۰/۴۴ c	۴۴/۶۵ c	۳۷/۰۱ c	۵/۶۵ c	۵/۰۴ c	۰/۴۵ c
شاهد (بدون کود)	۳/۵۲ d	۰/۳۵ d	۳۵/۷۱ d	۳۱/۱۷ d	۵/۱۰ d	۴/۳۲ d	۰/۳۸ d

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 پیاز در جدول ۵ آمده است. مقایسه عملکرد پیاز در مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری و مصرف کودهای آلی مختلف نشان داد که بیشترین تولید کل پیاز در واحد سطح، در برهمکنش تیمار

آبیاری شاهد، یعنی پس از ۳۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک (I1) و تیمار کودی ورمی کمپوست به میزان ۶۴/۶ تن در هکتار و کمترین مقدار تولید کل در برهمکنش تیمار آبیاری پس از ۶۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی (I4) و تیمار شاهد بدون کود به میزان ۲۶/۵ تن در هکتار بدست آمد (جدول ۵). بررسی روند تولید کل پیاز در تیمارهای تنش خشکی نشان می‌دهد که با افزایش تنش از I1 تا I4، تیمارهای حاوی کودهای ورمی کمپوست، کمپوست و کود دامی با اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد (بدون کود) باعث افزایش تولید کل شده‌اند و از این ۳ نوع کود، ورمی کمپوست باعث بیشترین تولید کل شده است. از دیدگاهی دیگر، در تیمار ورمی کمپوست و تیمار آبی I4 (کاهش ۳۰ درصد از آب مصرفی)، تولید کل پیاز، وضعیتی هم سطح و قابل رقابت با عدم کاربرد ورمی کمپوست در تیمار بدون تنش خشکی I1 ایجاد شد. در این شرایط، تیمار کمپوست نیز موجب تولید پیاز، هم سطح با شرایط تنش خشکی I2 گردید و این مهم، نشان دهنده تأثیر مثبت و معنی‌دار این دو کود در شرایط تنش خشکی بر تولید پیاز می‌باشد. بیشترین تولید عملکرد بازارپسند، از اثر متقابل تیمار بدون تنش شاهد و مصرف کود ورمی کمپوست و کمترین عملکرد بازارپسند نیز از اثر متقابل تنش خشکی I4 و تیمار شاهد بدون کود حاصل شد و پس از آن، کمترین عملکرد بازارپسند در تیمار تنش خشکی I4 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 قطر سوخ پیاز هم حاصل کاربرد کود ورمی کمپوست در شرایط بدون تنش خشکی دیده شد و مصرف کمپوست با اختلاف معنی‌دار در مقام دوم قرار گرفت. با این حال، تیمار تنش خشکی I4 باعث کمترین تولید عملکرد، عملکرد بازارپسند، قطر سوخ، ارتفاع سوخ و قطر گردن سوخ در تیمار کودی شاهد گردید و حاکی از تأثیر کاهش رطوبت خاک بر این پارامترها بود. رضادوست و همکاران (۱۳۸۷)، نشان دادند که با افزایش تنش خشکی، عملکرد گیاه 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 آسبزیک از طریق کاهش میزان تکثیر سلول در مریستم برگ و کاهش فعالیتهای حل کنندگی دیواره سلولی که لازمه طولی 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 خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، در نتیجه کاربرد کودهای کمپوست و ورمی کمپوست باشد (Rahbarian, et al., 2010). از آنجایی که رشد و نمو گیاه شدیداً 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 ورمی کمپوست (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 ورمی کمپوست 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). بهبود در رشد گیاه و اجزای عملکردی محصول، در نتیجه کاربرد ورمی کمپوست 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 ریشه و سیستم گیاه می‌شود (Chanda, et al., 2011).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمار تنش خشکی و تیمار نوع کود آلی بر عملکرد پیاز

تیمار تنش رطوبت	تیمار کود	بهره‌وری آب آبیاری	بهره‌وری اقتصادی	عملکرد کل	عملکرد بازارپسند	قطر سوخ	ارتفاع سوخ	قطر گردن سوخ
-----------------	-----------	--------------------	------------------	-----------	------------------	---------	------------	--------------

	(cm)	(ton.ha ⁻¹)	(1000Rial.m ⁻³)	(kg.m ⁻³)			
۳۵ درصد	۰/۶۵ a	۷/۲۹ a	۷/۵۱ a	۵۲/۷۷ a	۶۴/۶۲ a	۰/۵۷ ab	۵/۷۵ ab
تخلیه مجاز	۰/۶۱ b	۶/۸۴ b	۶/۱۸ b	۴۸/۵۰ c	۵۹/۷۰ c	۰/۵۳۰ bc	۵/۳۰ bc
رطوبتی	۰/۶۱ b	۶/۵۵ b	۵/۶۱ c	۴۶/۴۰ d	۵۳/۱۵ e	۰/۴۷ d	۴/۷۳ d
	۰/۴۷ e	۵/۳۹ cd	۴/۲۴ d	۳۹/۵۰ f	۴۴/۳۶ gh	۰/۳۹ f	۳/۹۵ f
۴۵ درصد	۰/۵۸ c	۶/۷۸ b	۶/۲۰ b	۵۰/۱۰ b	۶۱/۴۱ b	۰/۵۹ a	۵/۹۵ a
تخلیه مجاز	۰/۵۳ d	۶/۵۳ b	۵/۸۷ bc	۴۶/۴۰ d	۵۴/۶۲ d	۰/۵۳ c	۵/۲۹ c
رطوبتی	۰/۴۵ ef	۵/۵۷ c	۵/۱۶ cd	۴۱/۶۰ e	۴۵/۳۸ g	۰/۴۴ e	۴/۳۸ e
	۰/۴۲ gh	۴/۲۹ ef	۴/۱۶ d	۳۵/۳۰ g	۳۷/۳۶ j	۰/۳۶ fg	۳/۶۱۶ fg
۵۵ درصد	۰/۵۱ d	۵/۳۶ cd	۵/۴۲ cd	۴۷/۵۰ cd	۵۳/۵۰ de	۰/۵۴ b	۵/۴۰ b
تخلیه مجاز	۰/۴۵ ef	۵/۰۶ de	۴/۴۴ cd	۴۰/۶۰ ef	۴۷/۲۸ f	۰/۴۸ cd	۴/۷۸ cd
رطوبتی	۰/۳۸ hi	۴/۴۵ gh	۴/۱۹ d	۳۱/۸۰ f	۴۳/۱۵ h	۰/۴۳ e	۴/۳۵ e
	۰/۳۲ j	۴/۰۸ h	۴/۱۳ d	۲۵/۷۰ j	۳۴/۶۱ k	۰/۳۶ fg	۳/۶۱ fg
۶۵ درصد	۰/۵۰ d	۴/۵۴ fg	۵/۰۳ cd	۴۰/۶۰ ef	۴۴/۳۴ gh	۰/۴۸ cd	۴/۸۴ cd
تخلیه مجاز	۰/۴۲ fg	۴/۱۳ gh	۴/۲۴ d	۳۴/۳۰ g	۴۱/۵۲ i	۰/۴۵ de	۴/۵۲ de
رطوبتی	۰/۳۵ i	۳/۵۰ i	۴/۰۱ ef	۲۸/۳۰ i	۳۶/۹۲ j	۰/۳۹ ef	۳/۹۲ ef
	۰/۳۲ j	۳/۱۴ i	۳/۴۹ f	۲۴/۲۰ k	۲۶/۴۸ i	۰/۲۹ g	۲/۸۸ g

نتایج حاصله، همچنین حاکی از تغییرات معنی دار برخی شاخص های فیزیولوژیکی گیاه در اثر تنش خشکی و تأثیر کاربرد کودهای آلی بر این شاخص ها بود. در این تحقیق، شاخص هایی همچون نیتروژن، کلروفیل و پرولین گیاه در تیمارهای مختلف اندازه گیری شدند.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه گیری شده بر میزان نیتروژن، کلروفیل و پرولین گیاه

درجه آزادی	میانگین مربعات	پرولین	شاخص کلروفیل	نیتروژن کل
تکرار	۲	۳/۴۳۵۹۹ **	۶۸/۸۹۱۹ **	۱۰۲/۹۲۴ **
تیمار تنش (A)	۳	۱۲/۳۳۴۵ **	۱۲۹/۹۲۵ **	۱۲۰/۲۳۷ **
خطای A	۶	۰/۳۵۰۱۵	۱/۰۷۷۷	۱/۰۷۲۲
تیمار کود آلی (B)	۳	۱۱/۰۰۷۵ **	۴۰۴/۶۷ **	۱۴۱۰/۲۵ **
اثر متقابل (A*B)	۹	ns/۰/۳۲۰۰	۸/۹۶۰۲ **	۲۰/۳۹۱۲ **
خطای B	۲۴	۰/۴۳۶۶	۱/۹۶۸۶	۲/۵۱۶۴
ضرب تغییرات	-	۳/۸۵	۱/۹۲	۱/۴۷

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می باشند.

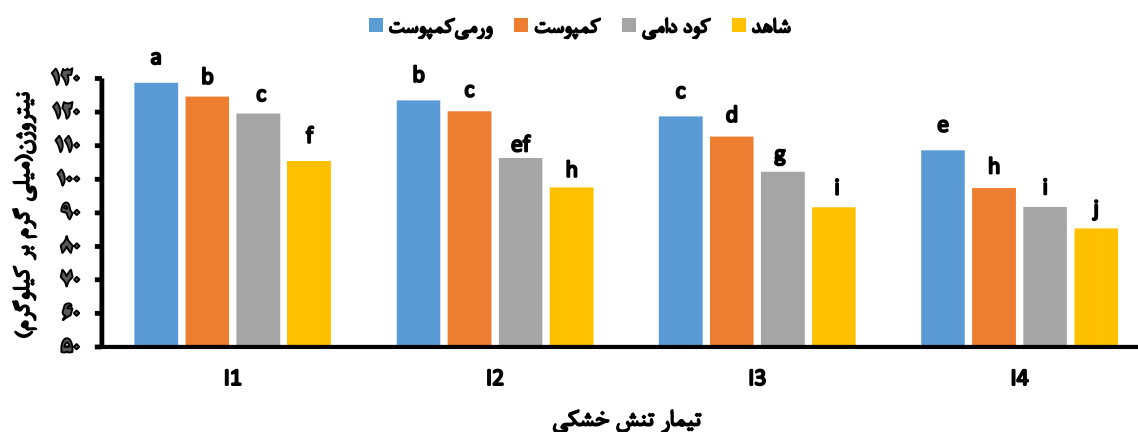
جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار آبیاری و نوع کود آلی بر میزان نیتروژن، کلروفیل و پرولین گیاه

تیمار	نیتروژن گیاه (mg.kg ⁻¹)	شاخص کلروفیل	پرولین (mg.gr ⁻¹)
۳۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی	۱۱۹/۵۶ a	۷۶/۲۶ a	۱۶/۱۳ c
۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی	۱۱۱/۸۸ b	۷۴/۸۳ b	۱۶/۵۱ c
۵۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی	۱۰۶/۳۶ c	۷۱/۷۳ c	۱۷/۵۴ b
۶۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی	۹۵/۷۶ d	۶۸/۸۸ d	۱۸/۳۶ a
ورمی کمپوست	۱۱۹/۸۷ a	۷۸/۸۹ a	۱۵/۸۱ c

۱۷/۲۵ b	۷۵/۸۸ b	۱۱۳/۷۴ b	کمپوست
۱۷/۳۹ b	۷۱/۳۹ c	۱۰۱/۴۳ c	کود دامی
۱۸/۰۱ a	۶۵/۵۴ d	۱۰۴/۹۵ d	شاهد (بدون کود)

نیتروژن

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تمامی تیمارهای کود آلی مورد استفاده در این تحقیق به‌طور معناداری نسبت به تیمار شاهد مقدار نیتروژن در گیاه را افزایش دادند. در این میان، کود ورمی‌کمپوست بیشترین افزایش نیتروژن را در گیاه ایجاد کرد و نسبت به تیمار شاهد بدون کود تفاوت معناداری حدود ۱۲,۴ درصد داشت (جدول ۷). بررسی اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی نیز نشان داد که مقدار نیتروژن گیاه در تیمارهای تحت تنش خشکی به‌طور معناداری کاهش یافت نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش). همچنین، بررسی اثرات متقابل تیمارهای کود آلی و تنش خشکی نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن در تیمار شاهد آبیاری، با ۳۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک (I1) و تیمار کودی ورمی‌کمپوست به میزان ۱۲۸,۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بدست آمد، در حالی که کمترین مقدار نیتروژن در تیمار آبیاری با ۶۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی (I4) و تیمار شاهد بدون کود به میزان ۸۵,۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم ثبت شد (شکل ۲).



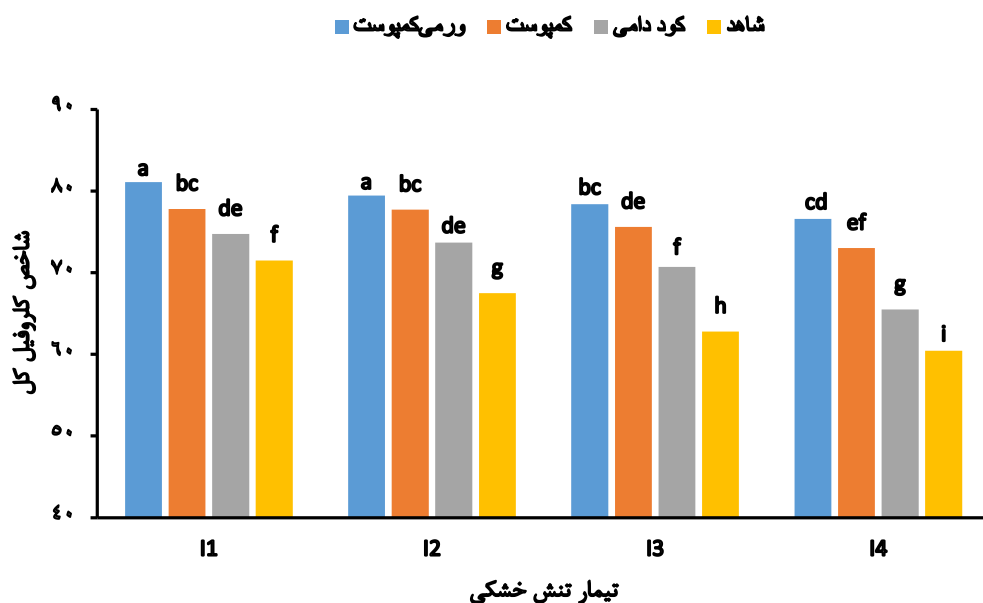
شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش تنش آبی و کود آلی بر میزان نیتروژن گیاه (میانگین‌های با حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند)

در شرایط تنش خشکی، بازدهی مواد، به‌ویژه نیتروژن، کاهش می‌یابد، و از آنجایی که کلروپلاست‌ها برای تولید کلروفیل نیازمند نیتروژن هستند، سرعت تولید کلروفیل نیز کاهش می‌یابد و این امر موجب کند شدن فرآیند فتوسنتز می‌شود (Paknejad et al., 2007). این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنادار کودهای آلی بر افزایش مقدار نیتروژن گیاه در تمامی تیمارهای تحت تنش خشکی است. افزایش جذب نیتروژن به احتمال زیاد به دلیل مقادیر بالاتر این عنصر در کودهای آلی می‌باشد (Jat and Ahlawat, 2008). علاوه بر این، استفاده از ورمی‌کمپوست تأثیرات مثبتی بر میزان پروتئین و جذب عناصر غذایی توسط گیاه دارد. تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست احتمالاً به دلیل مقادیر بالاتر عناصر غذایی در این کودها و به تبع آن افزایش دسترسی به عناصر غذایی ماکرو و میکرو است (Jat and Ahlawat, 2008). در آزمایشی دیگر Kumar et al. (2011) گزارش کردند که افزایش کاربرد ورمی‌کمپوست موجب بهبود عملکرد محصول می‌شود. این افزایش عملکرد احتمالاً به دلیل وجود مقادیر بالاتر نیتروژن قابل دسترس

است که برای تولید پروتئین‌های ساختاری ضروری می‌باشد. علاوه بر عناصر غذایی و مواد آلی، کمپوست و ورمی‌کمپوست حاوی مقادیر زیادی مواد هیومیکی هستند که با بهبود زیست‌دستیابی عناصر غذایی خاص، به‌ویژه آهن و روی (Chen et al., 2004) و تأثیر مستقیم بر متابولیسم گیاهی (Nardi et al., 2002)، موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (Tartoura, 2010).

کلروفیل

میزان شاخص کلروفیل گیاه نیز تحت تأثیر کودهای آلی قرار گرفت و در بیشترین مقدار در تیمار ورمی‌کمپوست با اختلاف معنی‌دار ۱۶/۹ درصد نسبت به شاهد، اندازه‌گیری شد. این مقدار برای تیمارهای کود کمپوست و دامی به ترتیب ۱۳/۶ و ۸/۲ درصد بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاه نشان داد که میزان شاخص کلروفیل در تیمارهای تنش I2، I3 و I4 کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بدون تنش I1 یافته است (جدول ۶). میزان این کاهش در تیمار تنش I2، I3 و I4 نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۲، ۶ و ۱۰ درصد محاسبه شد. در مجموع، بیشترین میزان شاخص کلروفیل گیاه در برهمکنش 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 (شکل ۳).



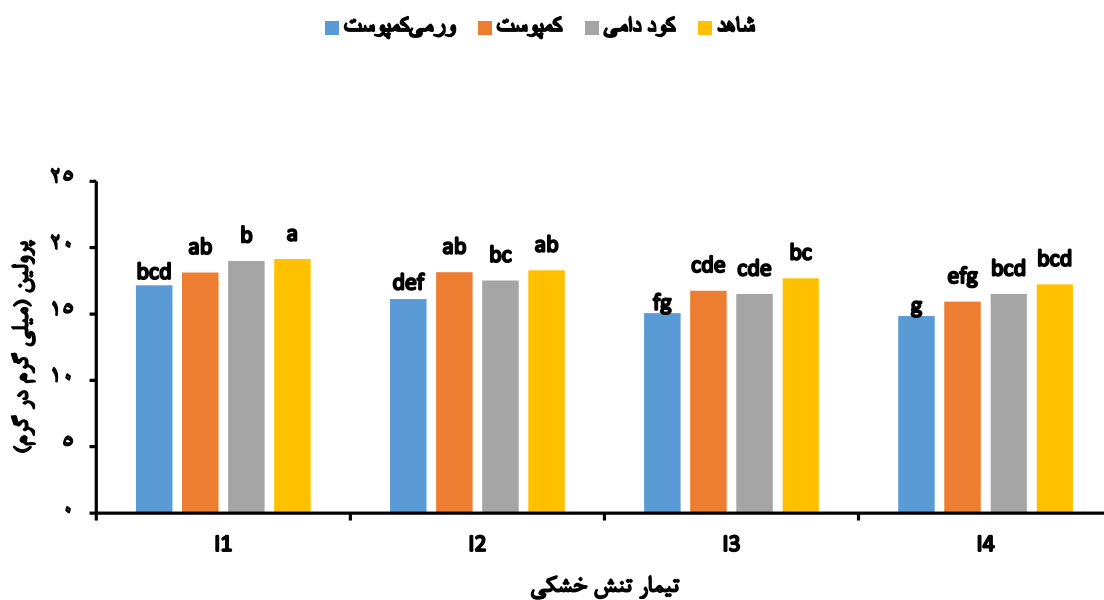
شکل ۳-مقایسه میانگین برهمکنش تنش آبی و کود آلی بر میزان کلروفیل گیاه (میانگین‌های با حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند)

افزایش میزان کلروفیل کل در تیمار کودهای آلی مخصوصاً در شرایط تنش شدیدتر حاکی از بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک در شرایط سخت در گیاه پیاز و گیاهان مشابه از نظر نیاز آبی می‌باشد. بنابراین در شرایطی که محدودیت پتانسیل مکش آب در خاک وجود داشته باشد، کودهای آلی با کارایی 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، ورمی‌کمپوست در جلوگیری از کاهش زیاد محتوای رنگدانه‌های فتوسنتز در شرایط تنش خشکی اثر گذار بوده است (Moradi, et al., 2019). 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 نوکلئیک اسیدها، پروتئین‌ها، کلروفیل و چربی‌ها است (Miller et al., 2010). پژوهشگران 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 (Akha et al., 2011). مطالعات زیادی نشان داده اند که تنش خشکی میزان کلروفیل گیاه را کاهش می‌دهد (Beltrano and Ronco, 2008; Nikolaeva, et al., 2010; 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 بدلیل 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 گردید. به عبارت دیگر 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، نسبت به تیمار شاهد بدون تنش افزایش معنی‌دار یافته است (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها در برهمکنش تنش خشکی و کودهای آلی نشان داد که تیمار شاهد بدون کود، در تنش خشکی (I4) بیشترین میزان پرولین موجود در برگ را دارا بود (شکل ۴). با افزایش تنش خشکی میزان پرولین در تیمارهای کودی افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان دادند. بیشترین میزان پرولین در برهم کنش تیمار تنش خشکی (I4) و در تیمارهای شاهد با ۱۹/۱۳ میلی گرم در گرم اندازه گیری شد.



شکل ۴-مقایسه میانگین برهمکنش تنش آبی و کود آلی بر میزان پرولین گیاه (میانگین‌های با حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD ندارند)

Franco et al. (2006) گزارش کردند که کاهش فشار تورژسانس عامل اصلی تجمع پرولین تحت تنش‌های شوری و خشکی است. کاهش فشار تورژسانس باعث فعال شدن یک سری فرایندهای پیچیده تطبیقی 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. بسیاری از گیاهان با افزایش تولید و ذخیره‌سازی پرولین، پتانسیل اسمزی خود را برای مقاومت در برابر تنش‌های غیرزنده، افزایش می‌دهند (Ghaffari et al., 2019). از طرف دیگر، کاربرد کودهای آلی مانند ورمی کمپوست باعث افزایش اسید آمینه‌های ضروری، به‌ویژه گلوتامات و آرژنین که از پیش‌سازهای تولید پرولین هستند، در برگ‌های کلم تحت تنش خشکی شده و در نتیجه افزایش تجمع پرولین باعث افزایش تحمل کلم به تنش‌های محیطی مانند شوری و خشکی می‌شود (Wang et al., 2011).

در تحقیق موسوی و همکاران (۲۰۱۸)، استفاده از ورمی کمپوست در بستر کشت نهال‌های زیتون، با کاهش بیشتر اثرات تخریبی تنش خشکی بر کلروفیل و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و مقدار پرولین، موجب مقاومت بیشتر به خشکی و بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه گردید. به‌طور کلی، افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی با استفاده از کودهای آلی در شرایط تنش خشکی بالا، احتمالاً به دلیل تأثیر آن در افزایش عناصر غذایی خاک و فراهم آوردن قابلیت جذب آن‌ها توسط گیاه است (Arancon et al., 2004a)، که کارایی جذب عناصر را افزایش می‌دهد. همچنین نتایج پژوهش‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که خواص شیمیایی و فیزیکی هیومیک اسید موجود در کودهای آلی، از طریق افزایش نگهداری عناصر غذایی و افزایش هورمون‌های تنظیم‌کننده 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 بهبود می‌بخشد. بر اساس نتایج این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که مصرف کودهای آلی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی دارد و تا حدی اثرات منفی تنش خشکی را جبران می‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک و از طرفی نیاز آبی بالای محصول پیاز که یکی از مهمترین محصولات زراعی (سبزیجات) می‌باشد، ناگزیر باید روش‌هایی اتخاذ شود که بهره‌وری مطلوب از منابع آبی موجود حاصل شود و همچنین به پایداری تولید این محصول صدمه‌ای وارد نشود. 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 پیاز، نیتروژن گیاه و کلروفیل کل نسبت به تیمار بدون تنش، کاهش و میزان پرولین گیاه افزایش یافت. در این حال کاربرد کودهای آلی بویژه ورمی کمپوست سبب افزایش فاکتورهای رشد و مقاومت به تنش خشکی شد. استفاده از ورمی کمپوست 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 ورمی کمپوست، به‌ویژه ورمی کمپوست در افزایش رشد، زیست توده و عملکرد پیاز و بهره‌وری آب آبیاری در هر دو شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی، دارای اثرات مثبت می‌باشند. در کل نیز کاربرد تیمار ورمی کمپوست نسبت به کمپوست از مزیت نسبی بیشتری در افزایش عملکرد پیاز برخوردار بود. با توجه به نقش مهم کودهای آلی در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، زیستی و حاصلخیزی خاک، تامین سطوح مناسب این مواد در خاک در راستای تحقق اهداف کشاورزی پایدار به منظور دستیابی به یک عملکرد پایدار ضروری می‌باشد. 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.

منابع

ابراهیمی پاک، نیازعلی. (۱۳۹۰). اثر کمبود آبیاری بر کمیت و کیفیت محصول سیبزمینی در شهرکرد. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران. گزارش نهایی شماره ۱۶۹۵. ۵۶ صفحه.

رضادوست، سعید، رشدی، مهدی، و حاجی‌حسنی، نوید. (۱۳۸۷). تأثیر آبیاری محدود بر عملکرد دانه و روغن ارقام کلزا در منطقه خوی. نشریه تحقیقات علوم زراعی، ۲(۶)، ۱۱-۱.

عباسی، فریبرز، عباسی، نادر و توکلی، علیرضا. (۱۳۹۶). بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها. آب و توسعه پایدار، ۴(۱)، ۱۴۱-۱۴۴.

کریمی، محمد و جلیلی، محمد. (۱۳۹۶). بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دشت مشهد (یادداشت فنی). آب و توسعه پایدار، ۴(۱)، ۱۳۸-۱۳۳.

Abbasi, F, N. Abbasi and A. Tavakoli. (2017). Water productivity in agriculture; challenges and perspectives. *Water and Sustainable Development*, 4(1): 144-141 (in Persian).

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

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

Ali, A., Ali, Z., Quraishi, U.M., Kazi, A.G., Malik, R.N., Sher, H., & Mujeeb-Kazi, A. (2014). Integrating physiological and genetic approaches for improving drought tolerance in crops. *Emerging technologies and management of crop stress tolerance*, 2, 315-345.

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

Asgele, K., Woldetsadik, K., & Gedamu, F. (2018). Effect of inorganic NP fertilizers and vermicompost on growth, seed yield and yield components of onion (*Allium cepa* L.) at Maitsebri, Northern Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry*, 10(6), 89-96.

Asghari, S., Neyshabouri, M.R., Abbasi, F., Aliasgharzad, N., & 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, 47-55.

Ashraf, M., Akram, N., Arteca, R., & 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., & Metzger, J. (2001). Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource technology*, 78, 11-20.

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

Banziger, M., Edmeades, G.O., Beck, D., & 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.

Bates, G. W., & Schlabach, M. R. (1973). The reaction of ferric salts with transferrin. *Journal of Biological Chemistry*, 248(9), 3228-3232.

Beltrano, J., & 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.

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

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

Chaudhry, U. K., Gökçe, Z. N. Ö., & Gökçe, A. F. (2021). Drought and salt stress effects on biochemical changes and gene expression of photosystem II and catalase genes in selected onion cultivars. *Biologia*, 76(10), 3107-3121.

Chen, Y., Denobili, M., & 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.

Coulibaly, S. S., Ndegwa, P. M., Soro, S. Y., Koné, S., Amoin, E., Kouamé, A. E., & Zoro Bi, J. A. (2020). Vermicompost application rate and timing for optimum productivity of onion (*Allium cepa*). *International Journal of Agriculture and Agricultural Research*, 16, 38-52.

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. (in Persian)

Eghball, B., Ginting, D., & 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., & 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., & 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., & Rotondo, R. (2006). Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology*, 97, 63-640.

Franco, J., Martínez-Sánchez, J., Fernández, J., & 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., & 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., & Berbara, R.L.L. (2012). Vermicompost humic acids as an ecological pathway to protect rice plant against oxidative stress. *Ecological Engineering*, 47, 203-208.

Geries, L.S.M., El-Shahawy, T.A., & Moursi, E.A. (2021). Cut-off irrigation as an effective tool to increase water-use efficiency, enhance productivity, quality and storability of some onion cultivars. *Agricultural Water Management*, 244, 106589.

Ghaffari, H., Tadayon, M.R., & Nadeem, M. (2019). Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41, 23. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2815-z>

Gopinath, K.A., Supradip, S., Mina, B.L., Pande, H., Kundu, S., & Gupta, H.S. (2008). Influence of organic amendments on growth, yield and quality of wheat and on soil properties during transition to organic production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 82(1), 51–60.

- 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., & Ahlawat, I.P.S., (2008). Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 28(1), 41-54.
- Joshi, R., Singh, J., & 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.
- Kadayifci, A., Tuylu, G.I., Ucar, Y., & Cakmak, B. (2005). Crop water use of onion (*Allium cepa*) in Turkey. *Agricultural Water Management*, 72, 59-68.
- Kalfountzos, D., Alexiou, I., Kotsopoulos, S., Zavakos, G., & Vyrlas, P. (2007). Effect of subsurface drip irrigation on cotton plantations. *Water Resource Management*, 21, 1341–1351.
- Karimi, M. and M. Jolaini. (2017). Evaluation of agricultural water productivity indices in major field crops in Mashhad Plain (technical note). *Water and Sustainable Development*, 4(1): 133-138 (in Persian).
- Kumar, G.A., Bishwas, R., Mahendra, P.S., Vibha, U., & Chandan, K.S., (2011). Effect of fertilizers and vermicompost on growth, yield and biochemical changes in abelmoschus esculentus. *Plant Archives*, 11(1), 285-287.
- 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 Inc, New York.
- Lim, S.L., & 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., & 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.
- Mansour, M.M.F., & Ali, E. F. (2017). Evaluation of proline functions in saline conditions. *Phytochemistry*, 140, 52-68.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., & 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., & Lorscheider, M. (2003). Organic fertilizers for basil transplant production. *Acta Horticulturae*, 491, 213- 218.
- Miller, G. Suzuki, N. Ciftci-Yilmaz, S., & Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, cell & environment*, 33, 453-467.
- Molden D. J., Sakthivadivel R., Perry C. J., and Fraiture C. de. 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research Report No. 20, Colombo, Sri Lanka: International Wate Management Institute.
- Moridi, A., Zarei, M., Moosavi, A. A., & Ronaghi, A. (2019). Influence of PGPR-enriched liquid organic fertilizers on the growth and nutrients uptake of maize under drought condition in calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 42(20), 2745-2756.
- Mouavi, S. Z., Gholami, M., & 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., & 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., & 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., & 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., & Moghadam, H.R. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *Journal of Biosciences*, 7(6), 841-847.
- Pareek, S., Sagar, N. A., Sharma, S., & Kumar, V. (2017). Onion (*allium cepa* L.). Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health, 2nd Edition, 1145-1162.
- Piri, H., & Naserin, A. (2020). Effect of different levels of water, applied nitrogen and irrigation methods on yield, yield components and IWUE of onion. *Scientia Horticulturae*, 268, 109361.
- Rahbarian, P., Afsharmanesh, G., & Shirzadic, M.H. (2010). Effects of drought stress and manure on relative water content and cell membrane stability in dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.), *Plant Ecophysiol*, 2, 13-19.
- Ramegowda, V., Basu, S., Krishnan, A., & 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., & 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.
- Rezadoost, S., Roshdi, M., & Hajihasani, N. (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 Persian)
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259.
- Semida, W. M., Abdelkhalik, A., Rady, M. O., Marey, R. A., & Abd El-Mageed, T. A. (2020). Exogenously applied proline enhances growth and productivity of drought stressed onion by improving photosynthetic efficiency, water use efficiency and up-regulating osmoprotectants. *Scientia Horticulturae*, 272, 109580.
- Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A. & Zhao, C.X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologiques*, 331, 215-225.
- 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 Agricultural & Environmental Sciences*, 9(2), 208-216.
- Tolossa, T.T. (2021). Onion yield response to irrigation level during low and high sensitive growth stages and bulb quality under semi-arid climate conditions of Western Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 7(1), 1859665.
- Uma, B., & 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, Y., Ma, F., Li, M., Liang, D., & Zou, J. (2011). Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. *Plant Growth Regulation*, 64, 63-74.

The Effect of Drought Stress and Organic Fertilizer Application on Yield and Yield Components of Onion (Case Study: Isfahan Province)

Abstract

Background and Aim: Precise planning and proper utilization for optimal use of available water resources are essential. Reduced irrigation and applying drought stress are methods used to increase agricultural productivity. On the other hand, the use of organic fertilizers to improve the physical and chemical conditions of soil can play a significant role in enhancing plants' tolerance to drought conditions. Given that onions are one of the most important vegetables cultivated in various provinces of the country, conducting this research with the aim of studying the impact of organic fertilizers and drought stress on onion yield is essential.

Method: To evaluate the impact of various organic fertilizers on the yield and certain physiological characteristics of onions under drought stress conditions, a comprehensive experimental study was conducted in 2022 at the Baraan region in Isfahan. The experimental design utilized a split-plot arrangement within a randomized complete block design (RCBD), with three replications. The primary experimental factor involved different levels of drought stress, which were implemented based on the concept of allowable water depletion (AWD). Specifically, four AWD levels were tested: 35% AWD, serving as the control (without drought stress), and 45%, 55%, and 65% AWD, which represented increasing levels of drought stress, applied in the main plots. In the sub-plots, various organic fertilizers included vermicompost (7 tons per hectare), municipal solid waste compost (15 tons per hectare), and cow manure (50 tons per hectare), and a control treatment (no fertilizer application) were applied. This design allowed for the assessment of both individual and interactive effects of organic fertilization and drought stress on the growth, yield, and physiological responses of the onion crop.

Results: The results showed that drought stress reduced yield and its components and reduced leaf chlorophyll content. Comparison of means showed that onion yield had the highest level in vermicompost treatment without drought stress. Interaction of vermicompost and irrigation after 65% of AWD (reduction of 30% of water consumption), led to the production of potato at a competitive level with non-application of vermicompost in drought-free treatment. Under these stress conditions. The results showed that the treatment of organic fertilizers, in the most severe irrigation stress treatment, did not reduce plant nitrogen. In the interaction of vermicompost and irrigation after 65% of AWD (30% reduction of water consumption), chlorophyll content, was the same as situation with non-application of vermicompost in no drought stress. Also, the highest amount of proline were measured in the interaction of 55% of AWD and vermicompost and compost and treatments with 18.5 and 18.3 mg/g, respectively.

Conclusion: Compost fertilizers and especially vermicompost have positive effects in increasing the growth, biomass and yield of onion in both normal irrigation conditions and drought stress. Due to the important role of organic fertilizers in improving the physical, chemical, biological and fertility properties of the soil, it is necessary to provide the appropriate levels of these substances in the soil in order to achieve the goals of sustainable agriculture in order to achieve a sustainable performance.

Author contributions

Conceptualization, M.D; Methodology, M.D and M.Y; Software, M.D. and P.M; Validation, M.D and MY; Formal analysis, M.D and P.M.; Investigation; M.D; Resources, M.D.; Data curation, M.D. and M.Y; Writing—original draft preparation, M.D and M.Y; Writing—review editing, P.M.; Supervision, M.D; Project

administration, M.D and M.Y; Funding acquisition, M.D. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data availability statement

The datasets analyzed during the current study can be available from the corresponding author on reasonable request.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct. This article does not contain any studies with human participants or animals.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

پیراستای نشده