فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۹، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۱۰۵-۱۳۹
https://doi.org/10.22034/14.69.105

مقاله پژوهشی

اثر کودهای زیستی نیتروژن و فسفر (ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲) بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکردی دو رقم نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) در سطوح مختلف آبیاری

نیما یداللهی فارسانی، مجتبی کریمی*، محمودرضا تدین و محمد رفیعی‌الحسینی
گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰)

چکیده
این پژوهش به‌منظور ارزیابی اثر کودهای زیستی نیتروژن و فسفر بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکردی دو رقم نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) تحت سطوح مختلف آبیاری، به‌صورت دو ساله طراحی و اجرا شد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل تیمارهای آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A)، عامل فرعی شامل منابع مختلف کود زیستی در چهار سطح (بدون کود، ازتوبارور۱، فسفات‌بارور-۲ و ازتوبارور۱ + فسفات‌بارور-۲) و عامل فرعی‌فرعی شامل ارقام مختلف نخودفرنگی (رقم ولف هلندی و مجارستانی) بود. تنش خشکی با کاهش وزن خشک شاخساره، محتوای نسبی آب برگ و افزایش غلظت مالون دی‌آلدئید و نشت الکترولیت‌های برگ سبب کاهش عملکرد بیولوژیک در هر دو رقم به‌ویژه رقم ولف هلندی شد. رقم مجارستانی با به‌کارگیری بهتر سیستم‌های دفاعی؛ مانند: افزایش غلظت پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحمل بیش‌تری در برابر تنش خشکی داشت. کودهای زیستی در کاهش آثار زیانبار تنش خشکی نقش مؤثری داشتند؛ به‌گونه‌ای که در هر دو رقم به‌ویژه رقم مجارستانی، کودهای زیستی با افزایش وزن خشک شاخساره، محتوای نسبی آب برگ، محتوای پرولین برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان منجربه بهبود عملکرد بیولوژیک شدند. در مجموع، رقم مجارستانی به‌دلیل سازگاری بیش‌تر در برابر تنش خشکی، جهت توسعه کشت در مناطق با غالبیت تنش خشکی انتهای فصل توصیه می‌شود. استفاده از کودهای زیستی (به‌ویژه تلفیق کودهای زیستی نیتروژن و فسفر تحت شرایط تنش خشکی ملایم و شدید) نیز ره‌یافتی راه‌گشا جهت سازگاری با شرایط تنش خشکی در چنین مناطقی است.

کلمات کلیدی: آنزیم آنتی‌اکسیدان، پرولین، تنش خشکی، ژنوتیپ

مقدمه
کشور ایران به‌دلیل کمی ریزش‌های جوی و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی آن، در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد. خشکی را می‌توان از دیدگاه‌های مختلفی تعریف کرد. خشکی کشاورزی به دوره خشک در فصل زراعی گفته می‌شود که سبب ایجاد تنش در گیاه زراعی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m.karimi@sku.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

و کاهش محصول تولیدی می‌شود. معمولاً تأثیر خشکی بر کشاورزی ناشی ازکمبود آب خاک است (تدین، ۱۳۸۸).

کمبود آب سبب کاهش جریان توده‌ای و دسترسی به عناصر غذایی می‌شود که بر روی کلیه فعالیت‌های متابولیکی گیاه اثرگذار است و در نهایت عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (Samadi *et al*., 2024). پاسخ لگوم‌های دانه‌ای به تنش خشکی متفاوت است. در لگوم‌های دانه‌ای، خشکی طی دوره زایشی و پرشدن دانه (خشکی انتهای فصل) سبب کاهش قابل‌توجه عملکرد می‌شود؛ زیرا سبب تسریع فرایندی پیری برگ، آسیب اکسیداتیو به دستگاه فتوسنتزی، کاهش میزان تثبیت کربن، کاهش انتقال آسیمیلات‌ها، عقیمی دانه گرده، کاهش تشکیل و توسعه دانه‌ها و کاهش ظرفیت مقاصد می‌شود (Farooq *et al*., 2017). اگرچه تنش خشکی در هر زمانی از چرخه زندگی گیاهان زراعی بر رشد آن‌ها اثر گذار است و سبب کاهش عملکرد می‌شود؛ اما کمبود آب در فاز زایشی گیاه (خشکی انتهای فصل) به مراتب آثار زیانبار بیش‌تری دارد (Pushpavalli *et al*., 2014). خشکی انتهای فصل در زمان کاهش رطوبت خاک اتفاق می‌افتد. این نوع خشکی اغلب در زمان پرشدن غلاف‌ها است؛ اگر چه حتی قبل از گلدهی نیز می‌تواند اتفاق افتد (Subbarao *et al*., 1995; Fang *et al*., 2010; Pushpavalli *et al*., 2014). خشکی متوسط تا شدید می‌تواند سبب کاهش تولید بیوماس گیاهی، عملکرد دانه و اجزای آن در لگوم‌ها شود (Siddique *et al*., 2001). میزان کاهش عملکرد دانه به شدت و طول مدت تنش، مرحله نموی گیاه و تفاوت‌های ژنوتیپی بستگی دارد. بنابراین به‌کار بردن راهکارهایی به‌منظور بهبود مقاومت لگوم‌های دانه‌ای در برابر خشکی انتهای فصل اهمیت زیادی در مناطق تحت تأثیر خشکی دارد (Farooq *et al*., 2017).

تنش خشکی در لگوم‌ها تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را کاهش می‌دهد. تحت شرایط تنش خشکی کارایی متابولیسم نیتروژن و فعالیت آنزیم‌های متابولیسم‌کننده نیتروژن کاهش می‌یابد که اختصاص بیوماس تولیدی به اندام‌های زایشی را محدود می‌کند (Du *et al*., 2020). هم‌چنین تنش خشکی باعث اختلال در جذب، انتقال و آسیمیلاسیون فسفر نیز می‌شود (Jin *et al*., 2006). بنابراین در زراعت حبوبات دانه‌ای، تأمین کافی دو عنصر نیتروژن و فسفر به‌ویژه تحت شرایط تنش خشکی اهمیت زیادی دارد.

نخودفرنگی یا نخود سبز (*Pisum sativum* L.) یکی از بقولات مهم دانه‌ای است که در روسیه و برخی از کشورهای اروپایی مانند فرانسه در سطح وسیع تولید می‌شود. از دانه‌های خشک آن جهت تغذیه دام استفاده می‌شود. در ایران کشت آن در مقایسه با سایر حبوبات چندان مرسوم نیست و صرفاً تولید آن به‌منظور کنسرو و تازه‌خوری صورت می‌گیرد؛ بنابراین آمار دقیقی از سطح زیرکشت این گیاه در دست نیست (پارسا و باقری، ۱۴۰۲).

تنش‌ها در نخودفرنگی سبب کاهش تعداد بوته در واحد سطح، عملکرد تک بوته، افزایش غیریکنواختی در رسیدگی و کاهش کیفیت دانه می‌شوند. نخودفرنگی تحمل کم‌آبی زیاد را ندارد و به آبیاری واکنش نشان می‌دهد. این گیاه در حین رشد و نمو به چند نوبت آبیاری احتیاج دارد. به‌ویژه هنگام شکوفایی گل‌ها و قبل از تشکیل غلاف‌ها، آبیاری عملکرد آن را افزایش می‌دهد (مجنون حسینی، ۱۳۹۳). نخودفرنگی به‌ویژه طی دوره گلدهی و پرشدن دانه، حساسیت زیادی به تنش خشکی دارد و آبیاری در این مراحل عملکرد را افزایش می‌دهد (Salter, 1962; Anderson and White, 1974). به‌گونه مشابه گزارش شده است که نخودفرنگی و اغلب لگوم‌های زراعی طی مرحله گلدهی و پرشدن دانه نسبت به دوره رویشی، حساسیت بیش‌تری به تنش خشکی نشان می‌دهند. کم‌آبی شدید هم‌چنین سبب کاهش و تغییر ترکیب پروتئین دانه نخودفرنگی می‌شود (Osman, 2015). براساس یافته‌های Karatas و همکاران (۲۰۱۴) خشکی طولانی‌مدت آثار مخربی بر نخودفرنگی بر جای می‌گذارد.

نیتروژن و فسفر دو عنصر مهم و محدودکننده برای رشد گیاهان هستند؛ بنابراین کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر به‌ویژه با افزایش جمعیت، به‌طور گسترده در اکوسیستم‌های کشاورزی استفاده می‌شوند (Dawson and Hilton, 2011).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

تنها میزان محدودی از کودهای نیتروژن و فسفر مورد استفاده در کشاورزی، توسط گیاهان جذب می‌شوند. بخش زیادی از این کودها به روش‌های مختلف از دسترس گیاهان خارج می‌شوند. نیتروژن عمدتاً از طریق آبشویی، دنیتریفیکاسیون (Denitrification) و تصعید از دسترس گیاهان خارج می‌شود. فسفر نیز به‌واسطه واکنش با عناصری هم‌چون: آهن، آلومینیوم و کلسیم در خاک تثبیت می‌شود (Ejaz *et al*., 2020). استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر سبب افزایش هزینه‌های تولید، کاهش منابع معدنی فسفر، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و تخریب محیط‌زیست می‌شود؛ بنابراین کاربرد روش‌هایی جهت کاهش میزان استفاده از کودهای شیمیایی و آثار زیانبار آن‌ها ضروری است. ازجمله راهکارهای مؤثر برای کاهش میزان استفاده از کودهای شیمیایی، کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR = Plant Growth Promoting Rhizobacteria) در ریزوسفر ریشه گیاهان زراعی است.

باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ‌های مایکوریزا نقش مهمی در افزایش دسترسی به عناصر غذایی برای گیاهان دارند و کاربرد آن‌ها به‌عنوان کودهای زیستی نقش مهمی در افزیش رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد. کودهای زیستی ابزاری مقرون به‌صرفه، مؤثر و دوست‌دار محیط‌زیست جهت افزایش حاصل‌خیزی و تولید گیاهان زراعی هستند. این کودها در واقع سلول‌های زنده میکروارگانیسم‌های مفید هستند که با ریزوسفر یا اندوسفر گیاه در تعامل‌اند و از طریق افزایش حاصل‌خیزی خاک و جذب عناصر غذایی به افزایش عملکرد گیاه کمک می‌کنند (Okur, 2018). باکتری‌های محرک رشد در ارتباط نزدیک با گیاه و بافت‌های گیاهی (باکتری‌های اندوفیت) زندگی می‌کنند و سبب تحریک جذب عناصر غذایی، تغییرات سطح هورمون‌های گیاهی و افزایش تحمل در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شوند (Yadav *et al*., 2017). گزارش‌های زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد تلقیح با یک سویه خاص باکتری یا ترکیبی از سویه‌های مختلف باکتری‌ها سبب تحریک رشد و مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی می‌شود (Calvo *et al*., 2014; Ullah *et al*., 2017; Rouphael and Colla, 2018). تحریک زیستی رشد گیاهان توسط باکتری‌ها در شرایط تنش‌های غیرزیستی در گیاهان مختلفی ثابت شده است؛ مانند: نخود معمولی، لوبیا و ماشک در شرایط تنش شوری و گندم و ذرت در شرایط تنش خشکی (Tulumello *et al*, 2021). استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌تواند آثار زیان‌بار تنش خشکی را کاهش دهد و عملکرد گیاهان زراعی را بهبود بخشد (Dodd, 2009). تلقیح بذور با باکتری‌های *Pseudomonas*، *Bacillus lentus* و *Azospirillum brasilense* سبب افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان تحت شرایط تنش می‌شود (Fasusi *et al*., 2021).

برخی سویه‌های *Pseudomonas putida* ویژگی‌های برجسته‌ای مانند: سنتز هورمون‌های گیاهی، انحلال عناصر غذایی، سازگاری به تنش‌های مختلف و قابلیت کلونیزاسیون خوب با ریشه را دارند (Costa-Gutierrez *et al*., 2022). طی پژوهشی مشخص شد که تلقیح بذور آفتابگردان با باکتری *Pseudomonas putida* بقا و تولید بیوماس گیاهچه‌ها را در شرایط تنش خشکی افزایش داد (Sandhya *et al*., 2009). به‌گونه مشابه تلقیح بذور سویا با باکتری‌های *Pseudomonas putida* از طریق افزایش تولید فلاونوئیدها، اسید آبسیزیک و اسید سالیسیلیک سبب حفاظت گیاه در برابر تنش خشکی شد (Kang *et al*., 2014). باکتری‌های *Pantoea agglomerans* به‌عنوان یک تثبیت‌کننده نیتروژن به‌صورت اندوفیت در داخل ریشه گیاهان، چسبیده به سطح ریشه و یا در خاک ریزوسفری زندگی می‌کنند. این باکتری‌ها با تثبیت نیتروژن به‌صورت آزادزی و تولید برخی هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و جیبرلین در بهبود رشد گیاهان نقش مهمی دارند (Verma *et al*., 2001; Feng *et al*., 2006). با توجه به یافته‌های Samadi و همکاران (۲۰۲۴) در ذرت کودهای زیستی (*Pantoea agglomerans* و *Pseudomonas* spp) سبب بهبود عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیک به‌ویژه در شرایط تنش خشکی شدند. بنابراین می‌توان استفاده از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

کودهای زیستی به‌صورت مکمل‌های غذایی را به‌عنوان راهکاری مؤثر برای مصرف متعادل کودهای شیمیایی در راستای تحقق اهداف کشاورزی پایدار و هم‌چنین کاهش آثار زیانبار تنش‌های محیطی معرفی کرد.

در اقلیم و حوزه مدیترانه و پاره‌ای از نقاط ایران، بارندگی معمولاً طی ماه‌های فصل زمستان و پاییز اتفاق می‌افتد؛ اما گیاهان غالباً بهاره کشت می‌شوند (از جمله نخودفرنگی به‌ویژه در مناطق سردسیر). از این‌رو میزان عملکرد آن‌ها عمدتاً به رطوبت ذخیره‌شده در خاک وابسته است و در اواخر فصل رشد تنش خشکی انتهایی به‌گونه قابل‌ملاحظه‌ای موجب کاهش عملکرد می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۹۷). بنابراین پژوهش در مورد بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری (به‌ویژه طی دوره رشد زایشی) بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکردی نخودفرنگی لازم است. هم‌چنین تلاش در جهت یافتن راهکارهایی مؤثر جهت کاهش آثار زیان‌بار تنش خشکی در این گیاه ضروری به‌نظر می‌رسد. از این‌رو پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کودهای زیستی نیتروژن و فسفر بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکردی دو رقم نخودفرنگی مجارستانی و ولف هلندی تحت سطوح مختلف آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر کودهای زیستی نیتروژن و فسفر، بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکردی دو رقم نخودفرنگی (*Pisum sativum* L. Var majarestan و *Pisum sativum* L. Var wolf holland) تحت سطوح مختلف آبیاری؛ آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت دو ساله طراحی و اجرا شد. این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان فارسان (طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی، ارتفاع ۲۰۷۲ متر و میانگین بارش سالانه ۵۰۲ میلی‌متر) استان چهارمحال و بختیاری اجرا شد. مزرعه سال نخست و سال دوم آزمایش، در یک محل و در مجاورت یکدیگر قرار داشتند.

این آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خردشده (اسپلیت-اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل تیمارهای آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A)، عامل فرعی شامل منابع مختلف کود زیستی در چهار سطح (بدون کود، ازتوبارور ۱، فسفات‌بارور-۲ و ازتوبارور ۱ + فسفات‌بارور-۲) و عامل فرعی‌فرعی شامل دو رقم مختلف نخودفرنگی (رقم ولف هلندی و مجارستانی) بود (جدول ۲). کود زیستی ازتوبارور ۱ مورد استفاده در این پژوهش حاوی باکتری *Pantoea agglomerans* سویه O4 (باکتری آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن) و کود زیستی فسفات‌بارور-۲ نیز حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*Pseudomonas putida* strain P13 و *Pantoea agglomerans* strain P5) بود که براساس دستورالعمل شرکت سازنده، با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز باعث تجزیه ترکیبات فسفره نامحلول در خاک شده و در نتیجه امکان جذب این عنصر را برای گیاهان فراهم می‌کنند. کودهای زیستی براساس توصیه شرکت سازنده در دو نوبت؛ نخست، هنگام کشت به‌صورت تلقیح بذر (بذرمال) و نوبت دوم ۴۰ روز بعد همراه با آب آبیاری استفاده شدند (در هر نوبت یک بسته ۱۰۰ گرمی پودری در هکتار). کودهای زیستی از شرکت دانش بنیان زیست‌فناور سبز تهیه شدند. این کودها دارای گواهی‌های تطبیق محتوا با برچسب محصولات از مؤسسه تحقیقات خاک و آب وزرات جهاد کشاورزی هستند.

زمین مورد نظر در ابتدای بهار شخم و پس از آن اجرای نقشه طرح آزمایش و تعیین کرت‌های آزمایشی انجام شد. کاشت در اول خرداد ماه به‌صورت ردیفی و با دست، طبق نقشه آزمایش صورت گرفت. ابعاد کرت‌های فرعی‌فرعی در این پژوهش ۴×۲/۵ مترمربع بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر، بین کرت‌های فرعی و فرعی‌فرعی ۱ متر و بین بلوک‌ها (تکرارها) نیز ۲ متر در نظر گرفته شد. هر یک از کرت‌ها شامل شش خط کاشت به طول ۴ متر بود. بذرها به‌صورت ردیفی در ردیف‌هایی به فاصله ۳۰ سانتی‌متر در تراکم زیاد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی دو سال آزمایش

ماه‌های سال	متوسط دما (°C)	مجموع بارندگی ماهیانه (mm)	مجموع تبخیر ماهیانه (mm)
سال ۱۴۰۱			
اردیبهشت	۱۴/۵	۵/۲	۱۶۱/۹
خرداد	۲۰/۳	۰/۰	۲۷۱/۸
تیر	۲۴/۳	۰/۰	۳۲۵/۴
مرداد	۲۴/۲	۱۶/۲	۳۰۸/۸
شهریور	۲۰/۴	۰/۷	۲۴۰/۱
سال ۱۴۰۲			
اردیبهشت	۱۳/۶	۹/۹	۱۸۱/۸
خرداد	۱۹/۷	۰/۰	۲۴۳/۹
تیر	۲۳/۶	۰/۰	۳۳۲/۰
مرداد	۲۳/۵	۰/۰	۳۵۴/۹
شهریور	۲۱/۹	۰/۰	۲۸۲/۵

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های دو رقم نخودفرنگی مورد استفاده در پژوهش حاضر

ویژگی‌ها	مجارستانی	ولف هلندی
نوع رقم	دانه ریز و شمشیری	دانه درشت و پفکی
زمان کاشت تا برداشت	بسته به شرایط آب و هوایی ۷۵ تا ۹۰ روز	بسته به شرایط آب و هوایی ۹۰ تا ۱۲۰ روز
دمای جوانه‌زنی	آب و هوای خنک (۵ درجه سانتی‌گراد)	آب و هوای خنک (۵ درجه سانتی‌گراد)
نوع غلاف‌بندی	خوب و مناسب	خوب و مناسب
طول دوره رشد	زودرس	میان‌رس
میزان مصرف بذر در هکتار	۸۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار	۷۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار
تحمل به سرما	متحمل	متحمل
موارد مصرف	صنعتی و کنسروی	تازه‌خوری و صنعتی
عمق کاشت	۲ تا ۳ سانتی‌متر	۲ تا ۵ سانتی‌متر

کشت شدند. بعد از این‌که بوته‌ها به مرحله دو تا چهار برگی رسیدند، عملیات تنک‌کردن جهت تنظیم فاصله ۱۰ سانتی‌متری بین بوته‌ها انجام شد. به‌گونه‌ای که درنهایت تراکم بوته‌ای معادل ۳۳/۳ بوته در مترمربع ایجاد شد (بیابانی، ۱۳۸۷). عمق تقریبی کاشت بذر ۲/۵ سانتی‌متر بود. مبارزه با علف‌های هرز و سله‌شکنی به صورت دستی انجام شد. قبل از آماده‌سازی زمین، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به صورت زیگزاکی تهیه و در آزمایشگاه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مشخص شد (جدول ۳). نیاز کودی مزرعه براساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی تأمین شد. ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل، ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار و ۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره پیش از کشت به‌عنوان آغازگر در اختیار گیاه قرار گرفت. میزان استفاده از کود فسفر تقریباً

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک (cm)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل جذب (mg/Kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/Kg)	بافت
۰-۳۰	۷/۸	۰/۴۹	۰/۷۷	۰/۱۱	۱۳/۴	۳۱۲	سیلتی‌شنی

نصف میزان توصیه‌شده بود. کود نیتروژن نیز فقط به‌صورت آغازگر به‌کار رفت. براساس توصیه شرکت سازنده، هنگام استفاده از کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور-۲، میزان کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر به نصف میزان توصیه‌شده؛ تقلیل می‌یابد که به‌دلیل نقش کودهای زیستی در افزایش حلالیت و دسترسی بیشتر گیاه به عناصر غذایی خاک است. هم‌چنین از آنجایی که ریشه نخودفرنگی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (*Rhizobium leguminosarum*) همزیست بوده، بنابراین نیاز به کاربرد کود شیمیایی نیتروژن نیست و فقط به‌صورت آغازگر به‌کار رفت (مجنون حسینی، ۱۳۹۳).

تیمارهای آبیاری با پیدایش نخستین جوانه‌های گل (BBCH = 51) اعمال شدند (Meier, 1997). آبیاری کرت‌های آزمایشی تا قبل از کاربرد تیمارهای آبیاری براساس ۵۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A صورت گرفت. برای تعیین حجم آب مصرفی در هر آبیاری؛ قبل از آبیاری، نمونه برداری از خاک کرت مورد نظر تا عمق توسعه ریشه انجام و درصد رطوبت وزنی خاک تعیین شد. حجم آب آبیاری در هر نوبت با استفاده از روابط ۱ و ۲ تعیین و مقدار آب مصرفی در هر کرت با استفاده از کنتور حجمی کنترل شد (ماهرخ و خواجه‌پور، ۱۳۸۹).

$$H = \rho b\,(\theta_{F.C} - \theta_m) \times D$$

$$V = H \times A$$

H نشان‌دهنده ارتفاع آب داخل کرت، ρb جرم مخصوص ظاهری خاک، $\theta_{F.C}$ رطوبت در حد ظرفیت مزرعه، θ_m رطوبت جرمی کرت مورد نظر در زمان آبیاری، D عمق توسعه ریشه، V حجم آب آبیاری در کرت و A مساحت کرت است.

اندازه‌گیری صفات: برداشت به‌محض سخت‌شدن دانه‌ها و موقعی که غلاف‌ها کاملاً رسیده و بوته‌ها خشک شدند، انجام شد. غلاف‌های نخودفرنگی زراعی در زمان برداشت ممکن است به‌طور یکنواخت نرسند؛ ولی برای جلوگیری از ریزش دانه‌ها برداشت به‌موقع حتی در صورت وجود برگ‌ها و غلاف‌های سبز روی بوته ضروری است (مجنون حسینی، ۱۳۹۳). رقم مجارستانی حدود ۹۰ روز و رقم ولف هلندی حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت برداشت شدند.

وزن خشک شاخساره: به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک شاخساره، اندام هوایی گیاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت و وزن خشک آن اندازه‌گیری شد. وزن خشک اندام هوایی بوته‌های انتخاب‌شده (سه بوته) توسط ترازوی دیجیتال Sartorius مدل MG 312 با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

محتوای نسبی آب برگ: به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته استفاده شد. بدین ترتیب که برگ‌ها قطع شده و بلافاصله درون یخ قرار گرفتند. در آزمایشگاه از این برگ‌ها دیسک‌هایی به قطر ۱ سانتی‌متر تهیه و برای به‌دست آوردن وزن تر (FW) توزین شدند. پس از آن این دیسک‌ها درون پتری‌دیش به مدت چهار ساعت داخل آب دیونیزه در دمای اتاق قرار گرفتند. بعد از گذشت این مدت، دیسک‌ها دوباره وزن شده تا وزن آماس (TW) به‌دست آید. سپس دیسک‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و دوباره وزن شده تا وزن خشک (DW) محاسبه شود. در انتها محتوای نسبی آب برگ از رابطه زیر به‌دست آمد (Barrs and Weatherley, 1962).

$$\text{Relative water content (RWC)} = \frac{F_w - D_w}{S_w - D_w} \times 100$$

در رابطه بالا، RWC محتوای نسبی آب برگ، FW وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری، DW وزن خشک برگ بعد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

از قرارگرفتن در آون و SW وزن اشباع برگ پس از قرارگرفتن در آب دیونیزه است.

نشت الکترولیت‌های برگ: در روز قبل از هر مرحله آبیاری، اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها انجام شد. بدین ترتیب که از هر کرت سه عدد دیسکت برگی به قطر ۱ سانتی‌متر از جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته برداشت شد و به‌منظور شست‌وشوی الکترولیت‌های سطحی سه بار با آب دیونیزه شسته شدند. سپس این دیسکت‌ها درون ویال‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه قرار گرفتند و به مدت شش ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بودند، سپس هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت‌سنج (EC متر) اندازه‌گیری شد (L_t). در مرحله بعد نمونه‌ها در اتوکلاو تحت دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۵ بار به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند تا غشا از بین رود و حداکثر نشت الکترولیت‌ها انجام گیرد. سپس ویال‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده و دوباره نشت الکترولیت‌ها اندازه‌گیری شد (L_0). در نهایت از رابطه زیر درصد نشت الکترولیت‌ها محاسبه شد (Ghoulam *et al.*, 2002). هم‌چنین در هر مرحله یک ویال حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه در کنار سایر ویال‌ها قرار گرفت و هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد و این مقدار از اعداد خوانده‌شده برای سایر ویال‌ها کم شد تا اثر هدایت الکتریکی آب از اندازه‌گیری‌ها کاسته شود.

$$\text{نشت الکترولیت‌های برگ} = \frac{L_t}{L_0} \times ۱۰۰$$

محتوای مالون دی‌آلدئید برگ: میزان پراکسیداسیون لیپیدها با تخمین غلظت مالون دی‌آلدئید (به‌عنوان فراورده نهایی پراکسیداسیون لیپیدی غشا) براساس روش De Vos و همکاران (۱۹۹۱) اندازه‌گیری شد. بدین منظور ۰/۱ گرم از نمونه برگ تازه در هاون چینی با استفاده از نیتروژن مایع پودر شد. سپس با ۵۰۰ میکرولیتر کلرواسید استیک ۱٪ سوسپانسیون همگنی تهیه شد، سوسپانسیون به میکروتیوپ منتقل و به مدت ۵ دقیقه با سرعت۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در مرحله بعد فاز رویی به لوله آزمایش دیگری منتقل شد و به ازای هر میلی‌لیتر از فاز رویی ۴ میلی‌لیتر از محلول تری‌کلرو اسید استیک ۲۰٪ حاوی ۰/۵٪ تیوباربیتوریک اسید اضافه شد. محلول به‌دست آمده به مدت ۳۰ دقیقه در ۹۵ درجه سلیسیوس حرارت داده شد و پس از آن به سرعت در حمام یخ سرد شده و مجدداً به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس مقدار جذب مایع رویی در طول‌موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (U – 1800, Hitachi Corporation, Japon) خوانده شد و ضریب تصحیح ۱۵۵×۱۰^{۵} بر مول بر سانتی‌متر در نظر گرفته شد. غلظت مالون دی‌آلدئید با استفاده از رابطه زیر برحسب نانومول بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد:

$$\text{غلظت مالون دی‌آلدئید} = \frac{[\text{جذب } 532 - \text{جذب } 600] \times 155 \times 10^{5}}{\text{وزن نمونه}}$$

محتوای پرولین برگ: اندازه‌گیری پرولین مطابق روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه گیاهی وزن کرده و همراه نیتروژن مایع در هاون چینی کاملاً پودر شد. سپس پودر به‌دست آمده را درون لوله آزمایش ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفو سالیسیلیک ۳٪ به آن اضافه شد. لوله در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده برداشته و در یک لوله آزمایش جدید ریخته شد. به هر لوله ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه و به‌خوبی به‌هم زده شد. همزمان مقدار ۲ میلی‌لیتر از محلول‌های استاندارد صفر، ۴، ۸، ۱۶ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پرولین خالص را درون لوله‌های جدید ریخته و ۲ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن‌ها افزوده و سپس به‌خوبی مخلوط شد. لوله‌های آزمایش در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک ساعت قرار داده شدند. پس از یک ساعت لوله‌ها جهت خاتمه واکنش داخل حمام یخ قرار گرفتند. پس از سرد شدن لوله‌ها، به آن‌ها ۴ میلی‌لیتر تولوئن افزوده شد و به مدت ۲۰ ثانیه در دستگاه ورتکس به‌هم زده شد. استانداردهای پرولین محلول در فاز تولوئن به اندازه لازم در کووت دستگاه اسپکتروفتومتر ریخته شد و مقدار پرولین در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده و منحنی استاندارد رسم شد. سپس میزان جذب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

در نمونه‌های گیاهی را قرائت نموده و با قراردادن آن‌ها در معادله مربوطه مقدار پرولین محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: به‌منظور ارزیابی فعالیت‌های آنزیمی، ابتدا برای تهیه ۵۰ میلی‌لیتر بافر استخراج، ۰/۶۰۷ گرم تریس (Tris) را با ۰/۰۵ گرم پلی‌وینیل پیرولیدون (PVP) در ۴۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به‌خوبی حل کرده و سپس با اسید کلریدریک، pH محلول را به ۸ رسانده و پس از آن محلول به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. از این بافر برای عصاره‌گیری پروتئین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان استفاده شد. این محلول برای بلندمدت قابل نگهداری نبوده و در کوتاه‌مدت نیز باید در یخچال نگهداری شود. جهت عصاره‌گیری از نمونه‌ها، ابتدا ۰/۵ گرم برگ در نیتروژن مایع کاملاً خرد شد، سپس ۲ میلی‌لیتر بافر استخراج به آن اضافه نموده و در داخل هاون چینی کاملاً هموژنیزه شد. مخلوط حاصل را در تیوب و به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ نموده و پس از آن فاز بالایی جهت قرائت میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌ها توسط پیپت جدا و در یخچال نگهداری شد (Sairam and Srivastava, 2002).

فعالیت آنزیم کاتالاز: تعیین میزان فعالیت کاتالاز از روش تغییریافته Chance و Maehly (۱۹۹۵) و براساس سرعت تخریب H_2O_2 توسط این آنزیم انجام شد. در این روش ابتدا یک میلی‌لیتر بافر استات‌پتاسیم (pH=۶/۷) را در کووت ریخته و به آن به نسبت مساوی پراکسید هیدروژن ۰/۰۳ مولار و عصاره گیاه به میزان ۱۷/۶ میکرولیتر اضافه شد. محلول حاصل را به‌هم زده و میزان جذب نوری آن در طول‌موج ۲۶۰ نانومتر به‌مدت چهار دقیقه و به فواصل ۱۵ ثانیه با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شد. تغییرات آنزیمی برحسب تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین بیان شد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز از روش تغییریافته Chance و Maehly (۱۹۹۵) استفاده شد. مبنای آن اندازه‌گیری اکسیدشدن گوایکول توسط این آنزیم است. ابتدا ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات – سیترات (مخلوط ۲۱ میلی‌لیتر اسید سیتریک با ۲۹ میلی‌لیتر فسفات سدیم که pH آن با استفاده از اسید سولفوریک به ۵/۵ رسانده شد) را در کووت ریخته و ۳۵/۲ لیتر گوایکول ۰/۲ مولار به آن اضافه شد. پس از آن ۱۶/۸ میلی‌لیتر عصاره استخراج‌شده به آن اضافه و مقدار جذب نوری محلول حاصل در طول‌موج ۴۳۶ نانومتر به‌مدت ۲ دقیقه و به فواصل ۱۰ ثانیه خوانده شد.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش Beauchamp و Fridovich (۱۹۷۱) انجام شد. این روش براساس اندازه‌گیری توانایی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در متوقف‌کردن احیاء فتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیوم (NBT) توسط رادیکال‌های سوپراکسید در حضور ریبوفلاوین در نور است. در این روش ۳۳ میکرومول NBT، ۱۰ میلی‌لیتر بر لیتر ال – متیونین، ۰/۶۶ میلی‌مول اتیلن دی آمین ترا استیک اسید (EDTA) و ۳/۳ میکرومول ریبوفلاوین در ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات با pH=۸/۷ مخلوط شد. سپس عصاره استخراج‌شده به این مخلوط افزوده شد و ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نور قرار داده شد. بعد از آن، محلول حاصل را در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار داده و میزان جذب نوری آن در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر به‌مدت ۵ دقیقه و به فواصل ۱۵ ثانیه خوانده شد.

عملکرد بیولوژیک: به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک، موقعی که بوته‌ها به رسیدگی کامل رسیدند، از هر واحد آزمایشی ۱ مترمربع برداشت شد (برداشت از سطح خاک) و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و پس از وزن‌کردن با ترازوی دقیق، عملکرد بیولوژیک بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد (صفری، ۱۳۹۶).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD = Least significant Difference) در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک شاخساره: با توجه به جدول تجزیه واریانس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۴- نتایج تجزیه مرکب اثر سطوح مختلف آبیاری و کود زیستی بر وزن خشک شاخساره و عملکرد بیولوژیک دو رقم نخودفرنگی طی دو سال

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک شاخساره	عملکرد بیولوژیک
سال (Y)	۱	۰/۹۲ n.s	۲۹۶۲۰۸ n.s
بلوک (سال)	۴	۳۶/۸۱	۳۸۷۴۹
آبیاری (I)	۲	۱۲۴۶۲/۲۷ **	۲۲۳۳۲۹۵۰**
Y × I	۲	۳/۰۵ n.s	۳۶۵۹۷ n.s
بلوک (Y × I)	۸	۵/۸۱	۱۳۸۲۴۲
کود زیستی (B)	۳	۳۳۸/۳۷ **	۱۱۸۶۰۹۰**
B × I	۶	۷۲/۸۳ **	۲۲۳۰۶۳ n.s
Y × B	۳	۲/۳۸ n.s	۵۷۲۷۹ n.s
Y × B × I	۶	۱/۴۷ n.s	۷۴۵۹۰ n.s
بلوک (Y × B × I)	۳۶	۷/۱۴	۱۰۷۴۵۱
رقم (V)	۱	۴۳۹۹/۰۰ **	۹۸۳۵۰۱۹ **
V × I	۲	۹۵۷/۶۹ **	۴۰۱۳۴۸۱**
V × B	۳	۱۵۷/۸۳ **	۱۸۴۶۰۲ n.s
V × B × I	۶	۲۳۸/۶۷ **	۶۲۵۸۱۸ **
Y × V	۱	۳/۰۹ n.s	۴۲۷۴۵ n.s
Y × V × I	۲	۰/۶۴ n.s	۴۹۵۱۲ n.s
Y × V × B	۳	۰/۲۶ n.s	۲۳۰۳۹ n.s
Y × V × B × I	۶	۲/۷۹ n.s	۱۰۳۱۶۶ n.s
خطا کل	۴۸	۱۱/۸۷	۱۰۴۶۳۵
ضریب تغییرات (٪)		۹/۱۴	۱۲/۱۸

n.s، * و ** به‌ترتیب: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

داده‌ها (جدول ۴)، اثر تیمارهای آبیاری، کود زیستی، رقم و اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی، آبیاری × رقم، کود زیستی × رقم و آبیاری × کود زیستی × رقم بر وزن خشک شاخساره بوته نخودفرنگی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سطح آبیاری I_1 (شرایط نرمال آبی) بیش‌ترین وزن خشک شاخساره (۶۳/۱ گرم بر گیاه) مربوط به رقم مجارستانی، تیمارشده با کود زیستی نیتروژن بود که با شاهد بدون کود اختلاف معنی‌دار داشت. در سطح آبیاری I_2 (تنش خشکی ملایم) نیز بیش‌ترین وزن خشک شاخساره (۵۲/۴ گرم بر گیاه) از رقم مجارستانی، تحت تیمار کود زیستی فسفر به‌دست آمد که با تیمار عدم کاربرد کود زیستی تفاوت معنی‌دار نشان داد. تحت شرایط تنش خشکی شدید (سطح آبیاری I_3) بیش‌ترین وزن خشک شاخساره (۳۵/۶ گرم بر گیاه) از رقم مجارستانی، تحت کاربرد تلفیقی کود زیستی نیتروژن + فسفر به‌دست آمد که نسبت به شاهد بدون کود حدود ۳۱/۵٪ افزایش نشان داد و با آن تفاوت معنی‌دار داشت. رقم ولف هلندی نیز در سطوح آبیاری I_1 و I_2 واکنش بیش‌تری نسبت به تیمار تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر در مقایسه با سایر تیمارهای کودی نشان داد؛ ولی در سطح آبیاری I_3 بیش‌ترین وزن خشک شاخساره رقم ولف هلندی (۲۱/۹

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

گرم بر گیاه) از تیمار کود زیستی نیتروژن به‌دست آمد که با شاهد تفاوت معنی‌دار داشت. کم‌ترین وزن خشک شاخساره (۱۳/۴ گرم بر گیاه) مربوط به رقم ولف هلندی متأثر از تیمارهای آبیاری I_3 و عدم کاربرد کود زیستی بود (جدول ۵). در مجموع، تنش خشکی وزن خشک شاخساره را در هر دو رقم مورد بررسی کاهش داد؛ ولی حساسیت رقم ولف هلندی به تنش خشکی بیش‌تر بود. کاربرد کودهای زیستی به‌صورت منفرد یا تلفیقی در افزایش وزن خشک اندام هوایی مؤثر بود.

تنش خشکی احتمالاً به‌دلیل اختلال در فتوسنتز و کاهش تولید آسیمیلات‌ها، سبب کاهش تولید ماده خشک می‌شود. کمبود آب سبب کاهش تولید برگ‌های جدید و تحریک پیری و ریزش برگ‌ها می‌شود (Farooq *et al*., 2017). در تطابق با یافته‌های پژوهش حاضر، Rather و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد کاه (Straw) نخودفرنگی از تلقیح همزمان بذور با باکتری‌های ریزوبیوم، ازتوباکتر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات به‌دست آمد. به‌گونه مشابه Arshad و همکاران (۲۰۰۸)، مشاهده کردند که در نخودفرنگی تنش خشکی طی مراحل رشد رویشی، گلدهی و تشکیل غلاف سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد؛ ولی کاربرد باکتری‌های *P. fluorescens* و *P. putida* وزن خشک اندام هوایی را افزایش داد. آن‌ها گزارش کردند که این باکتری‌ها احتمالاً با تولید آنزیم ACC-deaminase باعث کاهش تولید اتیلن درون گیاه و افزایش رشد اندام هوایی شدند. بیوسنتز اتیلن تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد که باعث کاهش رشد ریشه و اندام هوایی می‌شود. باکتری‌های حاوی ACC-deaminase مانند *Pseudomonas* spp. قادر به شکستن ACC (پیش‌ماده تولید اتیلن) هستند؛ بنابراین سطح اتیلن درون گیاه کاهش می‌یابد (Shaharoona *et al*., 2006). بدین ترتیب، آثار زیان‌بار اتیلن کاهش یافته و رشد گیاه تحریک می‌شود. هم‌چنین باکتری‌های *Pseudomonas* قادر به تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین هستند. این باکتری‌ها سبب افزایش جذب عناصر غذایی از خاک نیز می‌شوند؛ بنابراین می‌توانند تولید ماده خشک را در گیاه بهبود بخشند (Delshadi *et al*., 2017).

در تأیید مطالب بیان‌شده، Belimov و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی نخودفرنگی شد؛ ولی تلقیح بذور با باکتری محرک رشد *Variovorax paradoxus* 5C-2 با تولید آنزیم ACC-deaminase و کاهش سطح اتیلن درون گیاه باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی شد.

با توجه به یافته‌های Mishra و همکاران (۲۰۱۲) باکتری‌های *Pseudomonas sp.* Strain PGERs17 و *Rhizobium leguminosarum*-PR1 سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی نخودفرنگی شدند. باکتری‌های *Pantoea agglomerans* در ترکیب با باکتری‌های حل‌کننده فسفات از گونه‌های *Microbacterium laevaniformans* و *Pseudomonas putida* در تحریک رشد سیب‌زمینی مؤثر بودند (Malboobi *et al*., 2009). باکتری‌های *Pantoea agglomerans* توانایی تثبیت نیتروژن اتمسفری، افزایش دسترسی به فسفر خاک و تولید هورمون‌های گیاهی (مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین) را دارند؛ بنابراین رشد گیاهان زراعی را تحریک می‌کنند (Dutkiewicz *et al*., 2016).

رقم مجارستانی وزن خشک شاخساره بیش‌تری تحت هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی داشت؛ زیرا بوته‌های بزرگ‌تر و سطح برگ بیش‌تری تولید نمود. از طرفی احتمالاً به‌دلیل فعالیت بیش‌تر آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی و هم‌چنین سازوکار تنظیم اسمزی، تحمل بیش‌تری در برابر تنش خشکی نشان داد.

محتوای نسبی آب برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری، کود زیستی و اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × رقم، کود زیستی × رقم × سال و آبیاری × کود زیستی × رقم × سال بر محتوای نسبی آب برگ نخودفرنگی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۶). در سال اول آزمایش، بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۹۵٪) مربوط به رقم ولف هلندی تحت تأثیر تیمارهای آبیار I_1 و کود زیستی نیتروژن (I_1 × کود زیستی نیتروژن × رقم ولف هلندی) بود. در این سطح آبیاری کود زیستی نیتروژن محتوای نسبی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی × رقم بر وزن خشک شاخساره تک بوته نخودفرنگی

آبیاری	رقم	کود زیستی	وزن خشک شاخساره (گرم بر گیاه ± خطای استاندارد)
I_1	مجارستانی	شاهد	۴۸/۶۳ ^{c} ± ۰/۹۵
		نیتروژن	۶۳/۱۲ ^{a} ± ۰/۷۲
		فسفر	۵۵/۰۳ ^{b} ± ۰/۶۶
		نیتروژن + فسفر	۵۴/۹۳ ^{b} ± ۰/۸۷
	ولف هلندی	شاهد	۵۲/۰۸ ^{bc} ± ۳/۰۶
		نیتروژن	۵۱/۶۸ ^{bc} ± ۱/۰۸
		فسفر	۵۲/۱۲ ^{bc} ± ۱/۶۶
		نیتروژن + فسفر	۶۲/۱۸ ^{a} ± ۰/۹۳
I_2	مجارستانی	شاهد	۳۹/۲۵ ^{de} ± ۱/۴۹
		نیتروژن	۴۲/۵۵ ^{d} ± ۱/۲۷
		فسفر	۵۲/۴۰ ^{bc} ± ۱/۶۱
		نیتروژن + فسفر	۴۱/۸۰ ^{d} ± ۰/۸۰
	ولف هلندی	شاهد	۲۱/۳۵ ^{i} ±۱/۲۳
		نیتروژن	۲۲/۱۵ ^{hi} ± ۰/۹۵
		فسفر	۲۳/۵۳ ^{ghi} ± ۰/۸۳
		نیتروژن + فسفر	۳۷/۹۳ ^{de} ± ۱/۸۹
I_3	مجارستانی	شاهد	۲۷/۱۰ ^{fgh} ± ۱/۰۷
		نیتروژن	۲۸/۸۸ ^{fg} ± ۱/۰۲
		فسفر	۲۹/۶۰ ^{f} ± ۰/۵۴
		نیتروژن + فسفر	۳۵/۶۵ ^{e} ± ۰/۶۶
	ولف هلندی	شاهد	۱۳/۴۳ ^{j} ± ۰/۵۹
		نیتروژن	۲۱/۸۸ ^{hi} ± ۰/۷۹
		فسفر	۱۴/۱۲ ^{j} ± ۰/۷۰
		نیتروژن + فسفر	۱۳/۸۳ ^{j} ± ۰/۷۹
LSD 5 %			۰/۱۵

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند (I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A).

آب برگ را در رقم ولف هلندی حدود ۴/۸٪ نسبت به شاهد بدون کود افزایش داد؛ ولی با آن اختلاف معنی‌دار نداشت. کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۷۳٪) نیز از رقم ولف هلندی متأثر از تیمارهای آبیاری I_3 و عدم کاربرد کود زیستی (I_3 × عدم کاربرد کود زیستی × رقم ولف هلندی) به‌دست آمد (جدول ۷).

در سال دوم آزمایش، بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۹۳/۳٪) از رقم ولف هلندی تحت شرایط آبیاری نرمال (سطح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۶- نتایج تجزیه مرکب اثر سطوح مختلف آبیاری و کود زیستی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم نخودفرنگی طی دو سال

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	نشت الکترولیت‌ها	مالون دی‌آلدئید برگ	پرولین برگ
سال (Y)	۱	۹/۵۱ n.s	۱۱/۸۴ n.s	۰/۳۵ n.s	۲۰/۵۳ **
بلوک (سال)	۴	۱۷/۴۴	۶۷/۴۹	۳/۲۸	۰/۴۷
آبیاری (I)	۲	۱۶۷۴/۵۱ **	۲۵۹۳/۰۲ **	۲۸۹/۴۹ **	۲۲۳/۶۶ **
Y × I	۲	۹/۶۷ n.s	۱/۵۲ n.s	۱/۲۰ n.s	۴/۴۱ **
بلوک (Y × I)	۸	۲۳/۱۴	۹/۸۱	۱/۰۶	۰/۴۷
کود زیستی (B)	۳	۱۰۶/۵۱ **	۶۶/۷۸ **	۳۱/۹۳ **	۳/۵۶ **
B × I	۶	۷/۵۳ n.s	۱۰/۶۱ n.s	۸/۵۷ n.s	۰/۷۳ *
Y × B	۳	۱/۵۱ n.s	۲/۹۲ n.s	۲/۰۵ n.s	۰/۴۶ n.s
Y × B × I	۶	۷/۴۸ n.s	۲/۴۸ n.s	۷/۲۷ n.s	۰/۲۰ n.s
بلوک (Y × B × I)	۳۶	۱۱/۸۵	۵/۱۴	۴/۱۹	۰/۳۰
رقم (V)	۱	۱۱/۶۷ n.s	۱۸۳/۸۳ **	۲۰۰/۴۶ **	۱۰۸/۹۴ **
V × I	۲	۹۸/۱۳ **	۴۲/۱۶ *	۱۵/۳۶ *	۱۷/۲۲ **
V × B	۳	۰/۵۶ n.s	۱/۶۲ n.s	۰/۲۸ n.s	۰/۱۸ n.s
V × B × I	۶	۳/۷۱ n.s	۳/۲۹ n.s	۵/۳۲ n.s	۰/۵۲ n.s
Y × V	۱	۰/۸۴ n.s	۰/۰۰۶ n.s	۱/۰۵ n.s	۰/۰۲ n.s
Y × V × I	۲	۲۲/۸۰ n.s	۱/۹۹ n.s	۱۹/۸۷ *	۳/۹۷ **
Y × V × B	۳	۱۰۴/۵۴ **	۹/۵۶ n.s	۱۸/۷۵ *	۰/۵۹ n.s
Y × V × B × I	۶	۱۰۳/۹۷ **	۴۵/۷۹ **	۶/۲۴ n.s	۱/۵۶ *
خطا کل	۴۸	۱۲/۷۸	۸/۵۰	۴/۴۶	۰/۵۶
ضریب تغییرات (٪)		۴/۳۴	۹/۹۲	۶/۴۱	۱۳/۵۸

n.s، * و ** به‌ترتیب: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

آبیاری (I_1) و کاربرد تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر (I_1 × کود زیستی نیتروژن + فسفر × رقم ولف هلندی) به‌دست آمد. در این سطح آبیاری تلفیق کودهای زیستی نیتروژن و فسفر محتوای نسبی آب برگ را در رقم ولف هلندی حدود ۶/۹٪ نسبت به شاهد بدون کود افزایش داد و با آن تفاوت معنی‌دار داشت. کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۷۳/۳٪) نیز مربوط به رقم ولف هلندی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری I_3 و عدم کاربرد کود زیستی (I_3 × عدم کاربرد کود زیستی × رقم ولف هلندی) بود (جدول ۷). در مجموع، تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ را در هر دو رقم مورد بررسی کاهش داد. میزان این کاهش در رقم ولف هلندی بیش‌تر از رقم مجارستانی بود. کودهای زیستی به افزایش محتوای نسبی آب برگ کمک کردند.

محتوای نسبی آب برگ، به‌عنوان یک شاخص مهم در شرایط تنش خشکی مطرح است. در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ و تعرق کاهش می‌یابد. کاهش محتوای نسبی آب برگ یکی از نخستین پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی است و معمولاً به دنبال کاهش پتانسیل آب برگ و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی × رقم × سال بر محتوای نسبی آب برگ نخودفرنگی (درصد ± خطای استاندارد)

آبیاری	رقم	کود زیستی	سال ۱۴۰۱	سال ۱۴۰۲
I_1	مجارستانی	شاهد	۸۶ $^{e-j}$ ± ۳/۰۵	۸۶ $^{e-j}$ ± ۳/۵۱
		نیتروژن	۸۴/۳۳ $^{f-k}$ ± ۲/۸۵	۹۲/۶۷ ^{abc} ± ۱/۴۵
		فسفر	۸۶/۶۷ $^{d-i}$ ± ۳/۴۸	۸۷/۳۳ $^{c-g}$ ± ۲/۱۸
		نیتروژن + فسفر	۹۲/۶۷ ^{abc} ± ۰/۸۸	۸۵/۶۷ $^{e-j}$ ± ۲/۷۳
	ولف هلندی	شاهد	۹۰/۶۷ $^{a-e}$ ± ۰/۸۸	۸۷/۳۳ $^{c-h}$ ± ۱/۴۵
		نیتروژن	۹۵ ^{a} ± ۰/۵۸	۸۷ $^{c-i}$ ± ۲/۰۸
		فسفر	۸۹ $^{b-f}$ ± ۰/۵۸	۸۷/۳۳ $^{c-h}$ ± ۲/۸۵
		نیتروژن + فسفر	۹۲ $^{a-d}$ ± ۲/۰۸	۹۳/۳۳ ^{ab} ± ۱/۷۶
I_2	مجارستانی	شاهد	۸۰/۳۳ $^{j-q}$ ± ۳/۵۳	۷۹ $^{k-s}$ ± ۱/۵۳
		نیتروژن	۸۸/۳۳ $^{b-g}$ ± ۲/۱۸	۷۸ $^{l-t}$ ± ۲/۰۸
		فسفر	۷۸ $^{l-t}$ ± ۳/۶۰	۸۸/۶۷ $^{b-f}$ ± ۰/۸۸
		نیتروژن + فسفر	۸۶/۶۷ $^{d-i}$ ± ۱/۲۰	۸۰/۶۷ $^{j-q}$ ± ۱/۲۰
	ولف هلندی	شاهد	۷۷ $^{m-t}$ ± ۱/۵۳	۷۷/۳۳ $^{m-t}$ ± ۱/۸۵
		نیتروژن	۷۷ $^{m-t}$ ± ۲/۰۸	۸۲/۶۷ $^{g-m}$ ± ۲/۰۳
		فسفر	۸۳/۶۷ $^{f-l}$ ± ۱/۷۶	۷۵/۶۷ $^{p-t}$ ± ۲/۱۸
		نیتروژن + فسفر	۷۹/۶۷ $^{k-q}$ ± ۱/۴۵	۸۲ $^{h-n}$ ± ۱/۵۳
I_3	مجارستانی	شاهد	۷۵/۳۳ $^{q-t}$ ± ۲/۸۵	۷۶/۳۳ $^{n-t}$ ± ۳/۳۸
		نیتروژن	۸۱/۶۷ $^{h-o}$ ± ۱/۲۰	۷۵ $^{q-t}$ ± ۳/۴۶
		فسفر	۷۶ $^{o-t}$ ± ۳/۰۵	۷۹/۳۳ $^{k-r}$ ± ۲/۰۳
		نیتروژن + فسفر	۷۸/۶۷ $^{k-t}$ ± ۱/۸۵	۸۱/۶۷ $^{h-o}$ ± ۱/۴۵
	ولف هلندی	شاهد	۷۳ ^{t} ± ۱/۱۵	۷۳/۳۳ st ± ۱/۴۵
		نیتروژن	۷۳/۶۷ ^{rst} ± ۱/۸۵	۸۱/۳۳ $^{i-p}$ ± ۱/۴۵
		فسفر	۸۰/۳۳ $^{j-q}$ ± ۱/۴۵	۷۵/۳۳ $^{q-t}$ ± ۲/۰۳
		نیتروژن + فسفر	۷۸/۶۷ $^{k-t}$ ± ۰/۸۸	۷۹ $^{k-s}$ ± ۰/۵۸
LSD 5 %			۵/۸۷	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند (I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A).

بسته‌شدن روزنه‌ها اتفاق می‌افتد (Noctor *et al.*, 2014). محتوای نسبی آب برگ نشان‌دهنده وضعیت فیزیولوژیکی گیاه است و می‌تواند شاخصی از وضعیت انتقال آب و عناصر غذایی، هدایت روزنه‌ای و هدایت هیدرولیکی در گیاه باشد (Zhang *et al.*, 2019).

در پژوهش حاضر، تنش خشکی ملایم و شدید سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ در هر دو رقم نخودفرنگی شد. در تطابق با یافته‌های این پژوهش، Gunes و همکاران (۲۰۰۸)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

نشان دادند که در ارقام نخود زراعی تنش خشکی طی مرحله‌ای که حدود ۵۰٪ مزرعه وارد فاز گلدهی شده بود، سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ شد. آن‌ها هم‌چنین بیان کردند که ارقام متحمل به خشکی در شرایط تنش، محتوای نسبی آب برگ بیش‌تری داشتند. به‌گونه مشابه در نخودفرنگی نیز Arafa و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ شد؛ ولی تلقیح بذور با باکتری‌های *Bacillus thuringiensis* به بهبود محتوای نسبی آب برگ کمک کرد. طی پژوهشی Sandhya و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که در ذرت تحت شرایط تنش خشکی باکتری محرک رشد *Pseudomonas putida* از طریق افزایش غلظت پرولین سبب بهبود محتوای نسبی آب برگ شد. باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌هایی که در ریزوسفر ریشه زندگی می‌کنند از طریق تولید ترکیباتی مانند اکسین و جیبرلین و هم‌چنین افزایش جذب عناصر غذایی از خاک به بهبود رشد ریشه‌ها کمک می‌کنند (Azizi, 2017)؛ بنابراین احتمالاً با افزایش جذب آب از خاک، محتوای نسبی آب برگ بهبود می‌یابد. باکتری‌های ریزوسفری و اندوفیتی با تولید مجموعه‌ای از آنزیم‌ها و متابولیت‌ها و ایجاد یک مقاومت سیستمیک به بقاء گیاه تحت شرایط تنش خشکی کمک می‌کنند. تحمل به تنش خشکی از طریق تولید ترکیباتی مانند: اگزوپلی‌ساکاریدها، هورمون‌های گیاهی، آنتی‌اکسیدان‌ها، اسمولیت‌ها و غیره توسط باکتری‌ها صورت می‌گیرد (Waghmode *et al.*, 2019). اگزوپلی‌ساکاریدها ترکیبات آبدوستی هستند که به بهبود ساختمان خاک و افزایش دسترسی به آب کمک می‌کنند؛ بنابراین با تولید این ترکیبات ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی نخودفرنگی مانند: غلظت کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ بهبود می‌یابد (Arafa *et al.*, 2021).

نشت الکترولیت‌های برگ: نشت الکترولیت‌های برگ در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، کود زیستی، رقم و اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی × رقم × سال قرار گرفت. اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × رقم نیز در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۶). در سال اول آزمایش، بیش‌ترین میزان نشت الکترولیت‌های برگ (۳۷/۸۷٪) از رقم ولف هلندی متأثر از تیمارهای آبیاری I_3 و عدم کاربرد کود زیستی (I_3 × عدم کاربرد کود زیستی × رقم ولف هلندی) به‌دست آمد که با سایر سطوح کود زیستی در این سطح آبیاری اختلاف معنی‌دار نداشت. کم‌ترین میزان نشت الکترولیت‌ها (۱۵/۸٪) مربوط به رقم مجارستانی تحت شرایط آبیاری I_1 و کاربرد کود زیستی نیتروژن (I_1 × کود زیستی نیتروژن × رقم مجارستانی) بود. در این سطح آبیاری کود زیستی نیتروژن، نشت الکترولیت‌ها را حدود ۳۰/۴۰٪ نسبت به شاهد بدون کود کاهش داد و با آن اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۸).

مقایسه میانگین داده‌ها در سال دوم آزمایش نشان داد که بیش‌ترین میزان نشت الکترولیت‌ها (۳۷/۸۰٪) مربوط به رقم ولف هلندی تحت اثر تیمارهای آبیاری I_3 و شاهد بدون کود (I_3 × عدم کاربرد کود زیستی × رقم ولف هلندی) بود. در سطح آبیاری I_3 تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر نشت الکترولیت‌ها را در رقم ولف هلندی حدود ۱۴/۵٪ نسبت به تیمار عدم کاربرد کود زیستی کاهش داد و با آن تفاوت معنی‌دار نشان داد. کم‌ترین میزان نشت الکترولیت‌ها (۱۶/۸۳٪) نیز از رقم مجارستانی تحت تأثیر تیمارهای آبیاری I_1 و کاربرد تلفیقی کود زیستی نیتروژن + فسفر (I_1 × کود زیستی نیتروژن + فسفر × رقم مجارستانی) به‌دست آمد. در این سطح آبیاری، تیمار تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر نشت الکترولیت‌های برگ را حدود ۲۷/۲۴٪ نسبت به شاهد بدون کود کاهش داد و با آن اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۸). نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تنش خشکی سبب افزایش نشت الکترولیت‌های برگ در هر دو رقم نخودفرنگی شد. میزان نشت الکترولیت‌ها در رقم ولف هلندی تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی بیش‌تر از رقم مجارستانی بود. کودهای زیستی به‌تنهایی یا در تلفیق با هم به کاهش میزان نشت الکترولیت‌ها کمک کردند.

نشت الکترولیت‌ها زمانی‌که سلول‌های گیاه در معرض تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی قرار می‌گیرند، به‌عنوان شاخصی از میزان خسارت وارده به بافت‌های گیاهی استفاده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی × رقم × سال بر میزان نشت الکترولیت‌های برگ نخودفرنگی (درصد ± خطای استاندارد).

آبیاری	رقم	کود زیستی	سال ۱۴۰۱	سال ۱۴۰۲
I_1	مجارستانی	شاهد	۲۲/۷۰ ^{kl} ± ۱/۷۵	۲۳/۱۳ ^{jkl} ± ۱/۸۰
		نیتروژن	۱۵/۸۰ ^{o} ± ۳/۷۲	۲۲/۰۳ ^{lm} ± ۱/۲۰
		فسفر	۲۱/۱۳ ^{lmn} ± ۱/۷۸	۲۲/۷۰ ^{kl} ± ۱/۶۶
		نیتروژن + فسفر	۲۱/۷۷ ^{lm} ± ۲/۱۷	۱۶/۸۳ ^{no} ± ۲/۰۴
	ولف هلندی	شاهد	۲۳/۶۰ ^{jkl} ± ۱/۵۸	۲۳/۸۳ ^{jkl} ± ۲/۰۰
		نیتروژن	۲۲/۲۳ ^{l} ± ۱/۳۷	۱۷/۴۳ ^{mno} ± ۲/۹۸
		فسفر	۲۱/۶۷ ^{lm} ± ۲/۱۰	۲۳/۵۰ ^{jkl} ± ۲/۴۴
		نیتروژن + فسفر	۱۶/۵۰ ^{no} ± ۲/۵۴	۲۲/۹۰ ^{kl} ± ۰/۹۱
I_2	مجارستانی	شاهد	۳۱/۰۷ $^{d-i}$ ± ۱/۶۵	۳۱/۳۰ $^{c-i}$ ± ۱/۴۶
		نیتروژن	۲۹/۹۰ $^{f-i}$ ± ۳/۰۳	۲۹/۹۰ $^{f-i}$ ± ۲/۱۹
		فسفر	۲۷/۷۷ ^{hij} ± ۱/۳۴	۳۰/۹۷ $^{e-i}$ ± ۱/۸۴
		نیتروژن + فسفر	۲۹/۵۷ ^{ghi} ± ۳/۰۹	۲۷/۳۷ ^{ijk} ± ۰/۸۷
	ولف هلندی	شاهد	۳۵/۰۷ $^{a-e}$ ± ۱/۵۰	۳۶/۷۰ ^{ab} ± ۰/۸۴
		نیتروژن	۳۰/۸۰ $^{e-i}$ ± ۲/۰۳	۳۵/۹۰ ^{abc} ± ۰/۷۵
		فسفر	۳۴/۰۷ $^{a-g}$ ± ۱/۹۴	۳۰/۲۰ $^{f-i}$ ± ۰/۴۶
		نیتروژن + فسفر	۳۴/۲۷ $^{a-g}$ ± ۰/۵۵	۳۵/۵۳ $^{a-e}$ ± ۲/۵۱
I_3	مجارستانی	شاهد	۳۵/۸۳ $^{a-d}$ ± ۰/۸۱	۳۵/۸۷ ^{abc} ± ۱/۴۹
		نیتروژن	۳۴/۰۷ $^{a-g}$ ± ۱/۱۷	۳۲/۵۳ $^{b-h}$ ± ۱/۰۴
		فسفر	۳۴/۴۰ $^{a-f}$ ± ۱/۸۳	۳۵/۳۳ $^{a-e}$ ± ۱/۶۴
		نیتروژن + فسفر	۳۱/۵۷ $^{c-i}$ ± ۱/۳۰	۳۴/۶۳ $^{a-f}$ ± ۱/۴۲
	ولف هلندی	شاهد	۳۷/۸۷ ^{a} ± ۲/۳۱	۳۷/۸۰ ^{a} ± ۰/۹۸
		نیتروژن	۳۳/۸۰ $^{a-g}$ ± ۱/۰۸	۳۶/۴۷ ^{ab} ± ۰/۵۰
		فسفر	۳۶/۵۰ ^{ab} ± ۱/۸۸	۳۶/۹۷ ^{ab} ± ۱/۱۸
		نیتروژن + فسفر	۳۶/۴۷ ^{ab} ± ۱/۶۷	۳۲/۳۳ $^{b-h}$ ± ۱/۵۸
LSD 5 %			۴/۷۹	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند (I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A).

می‌شود. کاهش نشت الکترولیت‌ها تحت شرایط تنش با توانایی گیاه برای تحمل تنش همبستگی مثبت دارد (De Vega *et al.*, 2021). تنش خشکی باعث تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و ایجاد پراکسیداسیون لیپیدها و در نهایت از بین‌رفتن تمامیت و یکپارچگی غشا و افزایش نشت الکترولیت‌ها می‌شود (Emami Bistgani *et al.*, 2017). کودهای زیستی، باعث محدودشدن آثار نامطلوب گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده در شرایط تنش خشکی می‌شوند که با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

کاهش نشانگرهای تنش اکسیداتیو مانند مالون دی‌آلدئید مشخص است. تنش خشکی در گیاه دارویی *Endostemon obtusifolius* (از خانواده نعناییان)، باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها شد؛ اما تلقیح جداگانه یا همزمان باکتری *Paenibacillus polymyxa* و قارچ *Fusarium oxysporum* با بهبود مکانیسم‌های تحمل به تنش در گیاه مانند: افزایش تولید اسمولیت‌ها (قندهای محلول و پرولین)، فعال‌سازی سیستم‌های آنتی‌اکسیدان آنزیمی (سوپراکسید دیسموتاز) و غیرآنزیمی (ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها) باعث کاهش نشت الکترولیت‌ها شد (Ogbe *et al.*, 2024).

تنش خشکی درگیاه نخودفرنگی باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها، غلظت سوپراکسید و پراکسید هیدروژن به‌عنوان سیگنال‌هایی از تنش اکسیداتیو شد. تنش خشکی ممکن است به‌دلیل ایجاد اختلال در غشای پلاسمایی (نفوذپذیری انتخابی و پایداری غشا) و پسابیدگی سیتوپلاسم سبب افزایش تنش اکسیداتیو و بنابراین افزایش نشت الکترولیت‌ها شود (Arafa *et al.*, 2021). طی پژوهشی Alexieva و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که تنش خشکی در نخودفرنگی، باعث افزایش معنی‌دار نشت الکترولیت‌ها شد. کودهای زیستی احتمالاً با افزایش دسترسی به آب برای گیاه (از طریق تولید اگزوپلی‌ساکاریدها و غیره) و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب کاهش تولید رادیکال‌های آزاد مانند: سوپراکسید و پراکسید هیدروژن و بنابراین کاهش خسارت وارده به غشا سلول و کاهش نشت الکترولیت‌ها می‌شوند. به‌طورکلی تنش خشکی در گیاهان سبب افزایش نشت الکترولیت‌ها می‌شود؛ ولی باکتری‌های محرک رشد مانند: *Paenibacillus*، *Azospirillum*، *Rhizobium*، *Azotobacter*، *Klebsiella* و *Pseudomonas* با تأثیر مثبت بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه، سبب کاهش نشت الکترولیت‌ها می‌شوند (Abdelaal *et al.*, 2021). با توجه به مشاهدات Arafa و همکاران (۲۰۲۱)، تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار درصد نشت الکترولیت‌ها در نخودفرنگی شد؛ اما پرایمینگ بذور با باکتری‌های *Bacillus thuringiensis* به کاهش معنی‌دار نشت الکترولیت‌ها منجر شد که تأییدی بر یافته‌های پژوهش حاضر است.

غلظت مالون دی‌آلدئید برگ: اثر تیمارهای آبیاری، کود زیستی و رقم بر غلظت مالون دی‌آلدئید برگ نخودفرنگی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. هم‌چنین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × رقم، آبیاری × رقم × سال و کود زیستی × رقم × سال نیز در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در مجموع، طی سال اول و دوم آزمایش و در سطوح آبیاری I_1، I_2 و I_3 غلظت مالون دی‌آلدئید برگ در رقم ولف هلندی بیش‌تر از رقم مجارستانی بود؛ به‌طوریکه در هر دو سال آزمایش، بیش‌ترین میزان مالون دی‌آلدئید برگ (به‌ترتیب در هر سال ۳۵/۷۳ و ۳۵/۶۹ نانومول بر گرم وزن تر برگ) در رقم ولف هلندی تحت شرایط آبیاری I_3 مشاهده شد. کم‌ترین غلظت مالون دی‌آلدئید (به‌ترتیب در هر سال ۲۹/۱۴ و ۲۷/۶۵ نانومول بر گرم وزن تر برگ) نیز مربوط به رقم مجارستانی متأثر از تیمار آبیاری I_1 بود (جدول ۹). کودهای زیستی طی هر دو سال غلظت مالون دی‌آلدئید برگ را در هر دو رقم مورد بررسی کاهش دادند. در سال اول و دوم، بیش‌ترین میزان مالون دی‌آلدئید (به‌ترتیب ۳۵/۲۴ و ۳۵/۶۰ نانومول بر گرم وزن تر برگ) مربوط به رقم ولف هلندی تحت شاهد بدون کود بود. در سال اول کم‌ترین غلظت مالون دی‌آلدئید (۳۰/۸۲ نانومول بر گرم وزن تر برگ) در رقم مجارستانی تیمارشده با کود زیستی نیتروژن مشاهده شد. در سال دوم نیز کم‌ترین غلظت مالون دی‌آلدئید (۳۰/۲۴ نانومول بر گرم وزن تر برگ) مربوط به رقم مجارستانی تیمارشده با تلفیق کودهای زیستی نیتروژن + فسفر بود (جدول ۱۰). بنابراین پژوهش حاضر نشان داد که غلظت مالون دی‌آلدئید برگ در رقم ولف هلندی بیش‌تر از رقم مجارستانی بود و هر دو رقم واکنش مثبتی به کودهای زیستی از لحاظ کاهش غلظت مالون دی‌آلدئید نشان دادند.

مالون دی‌آلدئید فرآورده‌ای از پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع موجود در فسفولیپیدها است. در شرایط تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × رقم × سال بر غلظت مالون دی‌آلدئید برگ نخودفرنگی (نانومول بر گرم وزن تر برگ ± خطای استاندارد)

آبیاری	رقم	سال ۱۴۰۱	سال ۱۴۰۲
I_1	مجارستانی	۲۹/۱۴^{de} ± ۰/۵۴	۲۷/۶۵^{e} ± ۰/۶۰
	ولف هلندی	۳۱/۷۴^{cd} ± ۰/۵۲	۳۲/۳۳$^{a-d}$ ± ۰/۴۲
I_2	مجارستانی	۳۱/۸۷^{bcd} ± ۱/۱۱	۳۳/۵۶^{abc} ± ۰/۵۷
	ولف هلندی	۳۵/۳۳^{ab} ± ۰/۶۳	۳۳/۹۷^{abc} ± ۰/۵۸
I_3	مجارستانی	۳۴/۲۰^{abc} ± ۰/۸۶	۳۴/۲۲^{abc} ± ۰/۶۷
	ولف هلندی	۳۵/۷۳^{a} ± ۰/۶۷	۳۵/۶۹^{a} ± ۰/۵۸
LSD 5 %		۳/۴۷	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند (I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A).

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای کود زیستی × رقم × سال بر غلظت مالون دی‌آلدئید برگ نخودفرنگی (نانومول بر گرم وزن تر برگ ± خطای استاندارد)

رقم	کود زیستی	سال ۱۴۰۱	سال ۱۴۰۲
مجارستانی	شاهد	۳۲/۷۹ $^{a-d}$ ± ۱/۲۶	۳۳/۵۹ $^{a-d}$ ± ۱/۲۳
	نیتروژن	۳۰/۸۲ ^{cd} ± ۱/۱۹	۳۱/۱۴ ^{bcd} ± ۱/۶۶
	فسفر	۳۱/۱۷ ^{bcd} ± ۰/۹۴	۳۲/۲۷ $^{a-d}$ ± ۱/۰۲
	نیتروژن + فسفر	۳۲/۱۸ $^{a-d}$ ± ۱/۴۵	۳۰/۲۴ ^{d} ± ۰/۶۰
ولف هلندی	شاهد	۳۵/۲۴ ^{a} ± ۰/۸۵	۳۵/۶۰ ^{a} ± ۰/۸۴
	نیتروژن	۳۴/۱۵ ^{abc} ± ۰/۸۹	۳۳/۰۳ $^{a-d}$ ± ۰/۷۰
	فسفر	۳۵/۰۹ ^{a} ± ۰/۸۹	۳۳/۰۵ $^{a-d}$ ± ۰/۶۹
	نیتروژن + فسفر	۳۲/۵۹ $^{a-d}$ ± ۰/۸۹	۳۴/۳۱ ^{ab} ± ۰/۵۱
LSD 5 %		۳/۴۷	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند. (I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A).

خشکی، پراکسیداسیون لیپیدها به‌عنوان شاخصی از میزان خسارت واردشده توسط رادیکال‌های آزاد به غشاهای سلولی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hessini *et al.*, 2009). افزایش میزان مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش خشکی نشان می‌دهد که کمبود آب، می‌تواند سبب پراکسیداسیون لیپیدهای غشا از طریق تولید گونه‌های فعال اکسیژن شود (Sairam *et al.*, 2000). در تأیید یافته‌های این پژوهش، Karatas و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که در شرایط تنش خشکی محتوای مالون دی‌آلدئید برگ گیاهچه‌های نخودفرنگی به‌گونه معنی‌داری افزایش یافت. به‌گونه مشابه طی پژوهشی Jovanovic و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده کردند که در شرایط کمبود آب محتوای مالون دی‌آلدئید برگ نخودفرنگی به‌گونه قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. در سویا نیز تنش شوری محتوای مالون دی آلدئید اندام هوایی و ریشه را افزایش داد؛ ولی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

تلقیح با باکتری‌های *Pseudomonas pseudoalcaligenes* و *Bacillus subtilis* سبب کاهش میزان مالون دی‌آلدئید شد (Yasmin *et al*., 2020). در گوجه‌فرنگی تنش خشکی سبب پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید شد؛ ولی تلقیح بذور با باکتری‌های *Pseudomonas putida* سبب کاهش معنی‌دار میزان مالون دی‌آلدئید شد که نشان می‌دهد در شرایط تنش خشکی تلقیح بذور تنش اکسیداتیو و پراکسیداسیون لیپیدها را کاهش داده است (Saglam *et al*., 2022). باکتری‌های محرک رشد گیاه با تجمع اسمولیت‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها و ایجاد تغییرات مورفولوژیک در ریشه، در افزایش تحمل به تنش خشکی نقش دارند (Vurukonda *et al*., 2016). بنابراین احتمالاً این میکروارگانیسم‌ها با کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن سبب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه کاهش میزان مالون دی‌آلدئید می‌شوند. هم‌چنین کودهای زیستی ممکن است از طریق افزایش دسترسی به عناصر غذایی هم‌چون نیتروژن در بهبود سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن نقش داشته باشند. در راستای نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، Arafa و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که در نخودفرنگی تنش خشکی میزان مالون دی‌آلدئید را به‌گونه معنی‌داری افزایش داد؛ ولی پرایمینگ بذور با باکتری‌ها *Bacillus thuringiensis* میزان پراکسیداسیون لیپیدها و محتوای مالون دی‌آلدئید را کاهش داد.

محتوای پرولین برگ: محتوای پرولین برگ در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر تیمارهای سال، آبیاری، کود زیستی، رقم و اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × سال، آبیاری × رقم و آبیاری × رقم × سال قرار گرفت. اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی و آبیاری × کود زیستی × رقم × سال نیز در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول آزمایش، بیش‌ترین محتوای پرولین برگ (۱۰/۲۴ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) مربوط به رقم مجارستانی تحت تیمارهای آبیاری I_3 و تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر (I_3 × کود زیستی نیتروژن + فسفر × رقم مجارستانی) بود. در این سطح آبیاری کود زیستی نیتروژن + فسفر محتوای پرولین برگ را در رقم مجارستانی حدود ۲۳/۳۷٪ نسبت به شاهد بدون کود افزایش داد و با آن اختلاف معنی‌دار داشت. کم‌ترین میزان پرولین (۳/۰۱ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) نیز از رقم ولف هلندی متأثر از تیمارهای آبیاری I_1 و عدم کاربرد کود زیستی (I_1 × عدم کاربرد کود زیستی × رقم ولف هلندی) به‌دست آمد که با سایر سطوح کود زیستی در این سطح آبیاری اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۱۱).

در سال دوم آزمایش، بیش‌ترین محتوای پرولین برگ (۸/۷۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) مربوط به رقم مجارستانی تحت شرایط آبیاری I_3 و تیمارشده با کود زیستی نیتروژن (I_3 × کود زیستی نیتروژن × رقم مجارستانی) بود. در این سطح آبیاری اگر چه کود زیستی نیتروژن محتوای پرولین برگ را در رقم مجارستانی حدود ۹/۵۳٪ نسبت به شاهد بدون کود افزایش داد؛ ولی با آن تفاوت معنی‌دار نداشت. کم‌ترین میزان پرولین (۳/۱۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) نیز از رقم ولف هلندی تحت تیمارهای آبیاری I_1 و عدم کاربرد کود زیستی (I_1 × عدم کاربرد کود زیستی × رقم ولف هلندی) به‌دست آمد که با سایر سطوح کود زیستی در این سطح آبیاری اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۱۱). در مجموع، نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تنش خشکی محتوای پرولین برگ را در هر دو رقم مورد بررسی به‌ویژه در رقم مجارستانی افزایش داد. کودهای زیستی در افزایش میزان پرولین تحت شرایط تنش خشکی نقش مؤثری داشتند. محتوای پرولین برگ در رقم مجارستانی بیش‌تر از رقم ولف هلندی بود.

گیاهان در برابر انواع تنش‌های غیرزیستی هم‌چون خشکی قرار دارند. این تنش‌ها باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند که در نهایت از رشدونمو طبیعی گیاه جلوگیری می‌کنند. به‌منظور حفاظت سلول‌ها از تنش اکسیداتیو گیاهان ترکیبات سازگاری را (Compatible solutes) به‌نام اسمولیت‌ها تجمع می‌دهند. مهم‌ترین اسمولیت‌ها که نقش مهمی در تنظیم اسمزی (Osmotic adjustment) بر عهده دارند؛ عبارتند از: پرولین، گلیسین‌بتائین، پلی‌آمین‌ها و قندها. پرولین مهم‌ترین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی × رقم × سال بر محتوای پرولین برگ نخودفرنگی (میکرومول بر گرم وزن تر برگ ± خطای استاندارد)

آبیاری	رقم	کود زیستی	سال ۱۴۰۱	سال ۱۴۰۲
I_1	مجارستانی	شاهد	۴/۲۱ ^{jkl} ± ۰/۱۶	۳/۷۹ ^{jkl} ± ۰/۳۷
		نیتروژن	۳/۸۴ ^{jkl} ± ۰/۴۷	۴/۰۹ ^{jkl} ± ۰/۳۶
		فسفر	۳/۹۱ ^{jkl} ± ۰/۳۳	۳/۵۵ ^{jkl} ± ۰/۲۹
		نیتروژن + فسفر	۴/۴۵ ^{ij} ± ۰/۰۷	۴/۲۷ ^{jk} ± ۰/۲۷
	ولف هلندی	شاهد	۳/۰۱ ^{l} ± ۰/۲۵	۳/۱۳ ^{kl} ± ۰/۳۶
		نیتروژن	۳/۷۸ ^{jkl} ± ۰/۲۹	۳/۱۹ ^{kl} ± ۰/۳۳
		فسفر	۳/۰۲ ^{l} ± ۰/۳۰	۳/۳۱ ^{jkl} ± ۰/۲۵
		نیتروژن + فسفر	۳/۲۰ ^{kl} ± ۰/۱۲	۳/۲۸ ^{jkl} ± ۰/۵۲
I_2	مجارستانی	شاهد	۶/۳۱ ^{fgh} ± ۰/۳۴	۵/۷۳ ^{gh} ± ۰/۲۰
		نیتروژن	۸/۳۳ ^{bcd} ± ۰/۳۶	۵/۵۸ ^{hi} ± ۰/۰۶
		فسفر	۶/۸۸ ^{efg} ± ۰/۶۵	۵/۷۵ ^{gh} ± ۰/۲۷
		نیتروژن + فسفر	۷/۳۸ ^{def} ± ۰/۶۰	۶/۴۳ ^{fgh} ± ۰/۲۰
	ولف هلندی	شاهد	۳/۵۵ ^{jkl} ± ۰/۳۰	۳/۱۸ ^{kl} ± ۰/۱۱
		نیتروژن	۳/۵۶ ^{jkl} ± ۰/۳۸	۳/۲۲ ^{kl} ± ۰/۳۲
		فسفر	۳/۷۶ ^{jkl} ± ۰/۴۵	۳/۵۲ ^{jkl} ± ۰/۳۴
		نیتروژن + فسفر	۳/۷۴ ^{jkl} ± ۰/۵۶	۳/۲۳ ^{jkl} ± ۰/۴۰
I_3	مجارستانی	شاهد	۸/۳۰ ^{bcd} ± ۰/۲۱	۷/۹۷ $^{b-e}$ ± ۰/۴۵
		نیتروژن	۸/۵۱ ^{bcd} ± ۰/۵۳	۸/۷۳ ^{bc} ± ۰/۱۲
		فسفر	۸/۴۴ ^{bcd} ± ۰/۲۶	۸/۰۴ $^{b-e}$ ± ۰/۴۸
		نیتروژن + فسفر	۱۰/۲۴ ^{a} ± ۰/۲۰	۸/۱۱ ^{bcd} ± ۰/۱۲
	ولف هلندی	شاهد	۷/۲۹ ^{def} ± ۰/۵۲	۵/۶۰ ^{hi} ± ۰/۷۹
		نیتروژن	۹/۱۴ ^{ab} ± ۰/۱۶	۶/۰۰ ^{gh} ± ۰/۴۶
		فسفر	۷/۷۳ ^{cde} ± ۰/۳۹	۵/۷۵ ^{gh} ± ۰/۷۶
		نیتروژن + فسفر	۸/۴۳ ^{bcd} ± ۰/۳۴	۷/۴۸ ^{def} ± ۰/۶۳
LSD 5 %			۱/۲۳	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند (I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A).

اسمولیت تحت شرایط تنش خشکی است (Sharma *et al.*, 2019). اسمولیت‌ها پتانسیل آب سلول را کاهش داده و به جذب آب توسط سلول‌ها کمک می‌کنند. تنظیم اسمزی از جمله سازوکارهای دفاعی گیاهان در پاسخ به تنش خشکی است (Blum, 2017; Ozturk *et al.*, 2021). گیاهان در شرایط کمبود آب به تنظیم اسمزی جهت حفظ حالت تورژسانس سلول‌های خود نیاز دارند (Kaushal and Wani, 2016). توانایی گیاه برای بقا تحت شرایط خشکی طولانی‌مدت به سنتز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

و تجمع اسمولیت‌ها بستگی دارد (Yancey, 2005). تحت شرایط تنش خشکی به‌واسطه تجمع اسمولیت‌ها در داخل سلول، پتانسیل اسمزی سلول منفی‌تر شده که سبب جریان آب به داخل سلول و حفظ حالت تورژسانس سلول‌ها می‌شود (Sharma *et al*., 2019).

اسمولیت‌ها ترکیباتی با اندازه کوچک و قابلیت انحلال بالا در آب هستند که بدون ایجاد اختلال در متابولیسم سلول‌های گیاه سبب حفاظت از پروتئین‌ها، غشای سلولی و تعادل ردوکس (تعادل اکسایشی-کاهشی) می‌شوند (Slama *et al*., 2015).

تجمع پرولین یکی از پاسخ‌های بسیاری از گیاهان در برابر تنش‌های مختلف است (Anjum *et al*., 2017). با توجه به مشاهدات Szablinska-Piernik و Lahuta (۲۰۲۱) تنش خشکی طولانی‌مدت سبب افزایش تجمع پرولین، مالات و میواینوزیتول در همه بخش‌های شاخساره ارقام نخودفرنگی شد که تأییدی بر یافته‌های پژوهش حاضر بود. هم‌چنین Karatas و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تنش خشکی محتوای پرولین برگ گیاهچه‌های نخودفرنگی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. به‌گونه مشابه، طی پژوهشی Alexieva و همکاران (۲۰۰۱) مشاهده کردند که تحت شرایط تنش خشکی محتوای پرولین گیاهچه‌های نخودفرنگی افزایش یافت. اعتقاد بر این است که پرولین در محافظت اسمزی، حفظ پایداری ساختار سلول‌ها و آنزیم‌ها و حذف گونه‌های فعال اکسیژن مشارکت دارد. افزایش بیوسنتز پرولین در کلروپلاست موجب حفظ جریان پایدار الکترون بین فتوسیستم‌ها می‌شود و دستگاه فتوسنتزی را از بازدارندگی نوری محافظت می‌کند (Meena *et al*., 2019). پرولین در پاسخ به تنش خشکی و شوری در سیتوسل تجمع پیدا می‌کند و نقش مهمی در تنظیم اسمزی بر عهده دارد (Ashraf and Foolad, 2007). در گندم، بررسی تجمع پرولین در ارقام متحمل و حساس به خشکی نشان داد که میزان تجمع پرولین در ارقام مقاوم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود (Nayyar and Walia, 2003).

با توجه به مشاهدات Sandhya و همکاران (۲۰۱۰) تلقیح بذور ذرت با باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas putida* محتوای پرولین گیاهچه‌ها را تحت شرایط تنش خشکی و عدم تنش افزایش داد. در سویا نیز تحت شرایط تنش شوری تلقیح بذور با باکتری‌های *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas pseudoalcaligenes* میزان پرولین را به‌گونه معنی‌داری افزایش داد (Yasmin *et al*., 2020). تنش خشکی در گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) سبب افزایش محتوای پرولین برگ شد و کاربرد کود زیستی نیتروکسین (کود زیستی نیتروژن) میزان پرولین را بهبود بخشید (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۳). تحت شرایط تنش شوری تلقیح بذور توسط باکتری *Pantoea agglomerans* سبب افزایش میزان پرولین برگ در گیاهچه‌های *Casuarina obesa* شد (Diagne *et al*., 2020). باکتری‌های محرک رشد گیاه در پاسخ به تنش خشکی تولید اسمولیت می‌کنند که همراه با اسمولیت‌های تولیدی توسط گیاه به‌صورت هم‌افزایی سبب تحریک رشد گیاه می‌شوند (Paul and Nair, 2008). در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی، تلقیح بذور با باکتری‌های *Bacillus* میزان پرولین را افزایش می‌دهد (Kaushal and Wani, 2016). باکتری‌های محرک رشد سبب تولید گلیسین‌بتائین و سایر اسمولیت‌ها می‌شوند که به گیاه در تحمل تنش خشکی کمک می‌کنند (Dimkpa *et al*., 2009). تلقیح بذور گوجه‌فرنگی با *Penicillium* و *Ampelomyces* spp از طریق تولید اسمولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب بهبود تحمل گیاه در برابر تنش‌های شوری و خشکی شد (Morsy *et al*., 2020). هم‌چنین کودهای زیستی احتمالاً با افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در سنتز اسیدهای آمینه از جمله پرولین مؤثر هستند (Fasusi *et al*., 2021). در سویا تلقیح با باکتری‌های *Pseudomonas putida* سبب افزایش میزان اسید سالیسیلیک و حفاظت گیاه در برابر تنش خشکی شد (Kang *et al*., 2014). اسید سالیسیلیک در شرایط تنش‌های غیرزیستی در بهبود سنتز پرولین مؤثر است (Khan *et al*., 2013). کودهای زیستی تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین می‌کنند. هورمون سیتوکینین نیز به بهبود سنتز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۱۲- نتایج تجزیه مرکب اثر سطوح مختلف آبیاری و کود زیستی بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان دو رقم نخودفرنگی طی دو سال

منابع تغییر	درجه آزادی	کاتالاز	پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز
سال (Y)	۱	۰/۰۳ n.s	۰/۰۰۲ n.s	۰/۴۵ n.s
بلوک (سال)	۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۸/۳۲
آبیاری (I)	۲	۰/۱ **	۰/۳۵ **	۱۴۸۸/۰۶ **
Y × I	۲	۰/۰۱ n.s	۰/۰۰۳ n.s	۱۷/۱۳ **
بلوک (Y × I)	۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۱/۳۴
کود زیستی (B)	۳	۰/۰۲ **	۰/۰۱ **	۴۳/۱۲ **
B × I	۶	۰/۰۰۸ *	۰/۰۰۱ n.s	۳۷/۳۶ **
Y × B	۳	۰/۰۰۶ n.s	۰/۰۰۳ n.s	۳۱/۱۰ *
Y × B × I	۶	۰/۰۰۶ n.s	۰/۰۰۰۵ n.s	۱۴/۲۳ n.s
بلوک (Y × B × I)	۳۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۷/۹۰
رقم (V)	۱	۰/۰۰۴ n.s	۰/۰۰۶ n.s	۳۴۸/۱۳ **
V × I	۲	۰/۰۹ **	۰/۰۰۳ n.s	۶۸/۷۶ **
V × B	۳	۰/۰۰۱ n.s	۰/۰۰۱ n.s	۱۸/۱۰ n.s
V × B × I	۶	۰/۰۰۴ n.s	۰/۰۰۱ n.s	۱۱/۹۱ n.s
Y × V	۱	۰/۰۰۱ n.s	۰/۰۰۷ n.s	۰/۷۱ n.s
Y × V × I	۲	۰/۰۰۱ n.s	۰/۰۰۲ n.s	۳/۴۲ n.s
Y × V × B	۳	۰/۰۰۲ n.s	۰/۰۰۰۹ n.s	۲۷/۴۱ *
Y × V × B × I	۶	۰/۰۲ **	۰/۰۰۶ *	۱۹/۶۷ *
خطا کل	۴۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۸/۲۶
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۶۰	۱۳/۶۱	۱۲/۶۱

n.s، * و ** به‌ترتیب: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

پرولین کمک می‌کند (Sharma *et al.*, 2019). بنابراین کودهای زیستی احتمالاً با افزایش میزان هورمون‌های گیاهی در افزایش سنتز پرولین نقش دارند.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز: اثر تیمارهای آبیاری، کود زیستی و اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × رقم و آبیاری × کود زیستی × رقم × سال بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. هم‌چنین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول آزمایش، بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۸۴ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) در رقم مجارستانی تحت تیمارهای آبیاری I_3 و تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر (I_3 × کود زیستی نیتروژن + فسفر × رقم مجارستانی) بود. در سطح آبیاری I_3 تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر فعالیت آنزیم کاتالاز را در رقم مجارستانی حدود ۳۳/۳٪ نسبت به شاهد بدون کود افزایش داد و با آن اختلاف معنی‌دار داشت. کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۲۸ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به رقم مجارستانی تحت شرایط آبیاری I_1 و تیمارشده با کود زیستی نیتروژن (I_1 × کود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۱۳- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی × رقم × سال بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در نخودفرنگی (تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین ± خطای استاندارد).

آبیاری	رقم	کود زیستی	سال ۱۴۰۱	سال ۱۴۰۲
I_1	مجارستانی	شاهد	۰/۳۱ ^{pqr} ± ۰/۰۳	۰/۲۹ ^{r} ± ۰/۰۲
		نیتروژن	۰/۲۸ ^{r} ± ۰/۰۴	۰/۳۵ $^{o-r}$ ± ۰/۰۱
		فسفر	۰/۳۱ ^{pqr} ± ۰/۰۵	۰/۳۱ ^{pqr} ± ۰/۰۴
		نیتروژن + فسفر	۰/۳۰ ^{qr} ± ۰/۰۴	۰/۳۰ ^{qr} ± ۰/۰۴
	ولف هلندی	شاهد	۰/۴۲ $^{l-o}$ ± ۰/۰۳	۰/۴۰ $^{m-p}$ ± ۰/۰۵
		نیتروژن	۰/۳۷ $^{o-r}$ ± ۰/۰۶	۰/۴۰ $^{m-p}$ ± ۰/۰۳
		فسفر	۰/۳۹ $^{n-q}$ ± ۰/۰۵	۰/۴۰ $^{m-p}$ ± ۰/۰۵
		نیتروژن + فسفر	۰/۴۰ $^{m-p}$ ± ۰/۰۵	۰/۳۹ $^{n-q}$ ± ۰/۰۱
I_2	مجارستانی	شاهد	۰/۵۱ $^{i-l}$ ± ۰/۰۱	۰/۴۹ $^{j-m}$ ± ۰/۰۴
		نیتروژن	۰/۶۷ $^{b-e}$ ± ۰/۰۲	۰/۴۹ $^{j-m}$ ± ۰/۰۳
		فسفر	۰/۵۶ $^{f-k}$ ± ۰/۰۳	۰/۴۸ $^{k-n}$ ± ۰/۰۵
		نیتروژن + فسفر	۰/۶۰ $^{d-i}$ ± ۰/۰۱	۰/۵۹ $^{d-i}$ ± ۰/۰۲
	ولف هلندی	شاهد	۰/۴۷ $^{k-n}$ ± ۰/۰۰۹	۰/۴۹ $^{j-m}$ ± ۰/۰۲
		نیتروژن	۰/۵۲ $^{h-k}$ ± ۰/۰۳	۰/۴۸ $^{k-n}$ ± ۰/۰۳
		فسفر	۰/۴۸ $^{k-n}$ ± ۰/۰۲	۰/۴۸ $^{k-n}$ ± ۰/۰۵
		نیتروژن + فسفر	۰/۶۱ $^{d-h}$ ± ۰/۰۳	۰/۴۷ $^{k-n}$ ± ۰/۰۱
I_3	مجارستانی	شاهد	۰/۶۳ $^{c-g}$ ± ۰/۰۲	۰/۶۲ $^{c-g}$ ± ۰/۰۲
		نیتروژن	۰/۶۸ ^{bcd} ± ۰/۰۴	۰/۶۳ $^{c-g}$ ± ۰/۰۱
		فسفر	۰/۶۳ $^{c-g}$ ± ۰/۰۴	۰/۷۴ ^{b} ± ۰/۰۳
		نیتروژن + فسفر	۰/۸۴ ^{a} ± ۰/۰۶	۰/۶۳ $^{c-g}$ ± ۰/۰۲
	ولف هلندی	شاهد	۰/۵۲ $^{h-k}$ ± ۰/۰۳	۰/۵۶ $^{f-k}$ ± ۰/۰۱
		نیتروژن	۰/۷۱ ^{bc} ± ۰/۰۳	۰/۵۸ $^{e-j}$ ± ۰/۰۱
		فسفر	۰/۶۳ $^{c-g}$ ± ۰/۰۳	۰/۵۵ $^{g-k}$ ± ۰/۰۲
		نیتروژن + فسفر	۰/۶۱ $^{d-h}$ ± ۰/۰۳	۰/۶۵ $^{b-f}$ ± ۰/۰۴
LSD 5 %			۰/۰۹	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند (I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A).

زیستی نیتروژن × رقم مجارستانی) بود که با سایر سطوح کود زیستی در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۳).

در سال دوم آزمایش، بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۷۴ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) در رقم مجارستانی تحت تیمارهای آبیاری I_3 و کود زیستی فسفر (I_3 × کود زیستی فسفر × رقم مجارستانی) مشاهده شد. در این سطح آبیاری کود زیستی فسفر فعالیت آنزیم کاتالاز را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

در رقم مجارستانی حدود ۱۹/۳٪ نسبت به تیمار عدم کاربرد کود زیستی افزایش داد و با آن اختلاف معنی‌دار داشت. کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۲۹ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به رقم مجارستانی متأثر از تیمارهای آبیاری I_1 و عدم کاربرد کود زیستی (I_1 × عدم کاربر کود زیستی × رقم مجارستانی) بود که با سایر سطوح کود زیستی در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۳).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و کود زیستی و در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی × رقم × سال قرار گرفت (جدول ۱۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول آزمایش، بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۴۴ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به رقم مجارستانی متأثر از تیمارهای آبیاری I_3 و کود زیستی نیتروژن (I_3 × کود زیستی نیتروژن × رقم مجارستانی) بود. در سطح آبیاری I_3 اگر چه کود زیستی نیتروژن فعالیت آنزیم پراکسیداز را در رقم مجارستانی حدود ۱۲/۸٪ نسبت به شاهد بدون کود افزایش داد؛ ولی با آن اختلاف معنی‌دار نداشت. کم‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۲۲ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) در رقم مجارستانی تحت تیمارهای آبیاری I_1 و کاربرد تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر (I_1 × کود زیستی نیتروژن + فسفر × رقم مجارستانی) دیده شد که با سایر سطوح کود زیستی در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۴).

در سال دوم آزمایش، بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۴۹ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) از رقم مجارستانی تحت شرایط آبیاری I_3 و تیمارشده با تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر (I_3 × کود زیستی نیتروژن + فسفر × رقم مجارستانی) به‌دست آمد. در این سطح آبیاری تیمار تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر فعالیت آنزیم پراکسیداز را در رقم مجارستانی حدود ۱۹/۵٪ نسبت به تیمار عدم کاربرد کود زیستی افزایش داد و با آن اختلاف معنی‌دار داشت. کم‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۲۱ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به رقم ولف هلندی متأثر از تیمارهای آبیاری I_1 و کود زیستی فسفر (I_1 × کود زیستی فسفر × رقم ولف هلندی) بود که با سایر سطوح کود زیستی در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۴).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، کود زیستی، رقم و اثر برهمکنش آبیاری × سال، آبیاری × کود زیستی، آبیاری × رقم و در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر اثر برهمکنش کود زیستی × سال، کود زیستی × رقم × سال و آبیاری × کود زیستی × رقم × سال قرار گرفت (جدول ۱۲). طی سال نخست آزمایش، بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۳۵/۷۰ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به مجارستانی تحت تیمارهای آبیاری I_3 و کود زیستی نیتروژن (I_3 × کود زیستی نیتروژن × رقم مجارستانی) بود. در این سطح آبیاری کود زیستی نیتروژن فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را در رقم مجارستانی حدود ۲۷/۸٪ نسبت به شاهد بدون کود افزایش داد و با آن اختلاف معنی‌دار داشت. کم‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۱۷/۲۰ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) در رقم ولف هلندی متأثر از تیمارهای آبیاری I_1 و تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر (I_1 × کود زیستی نیتروژن + فسفر × رقم ولف هلندی) مشاهده شد که با سایر سطوح کود زیستی در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۵).

طی سال دوم آزمایش، بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۳۶/۶۳ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) از رقم مجارستانی تحت تیمارهای آبیاری I_3 و کود زیستی فسفر (I_3 × کود زیستی فسفر × رقم مجارستانی) به‌دست آمد. در این سطح آبیاری کود زیستی فسفر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را در رقم مجارستانی حدود ۲۵/۴٪ نسبت به تیمار عدم کاربرد کود زیستی افزایش داد و با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۱۴- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی × رقم × سال بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در نخودفرنگی (تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین ± خطای استاندارد)

آبیاری	رقم	کود زیستی	سال ۱۴۰۱	سال ۱۴۰۲
I_1	مجارستانی	شاهد	۰/۲۳ ^{op} ± ۰/۰۱	۰/۲۲ ^{p} ± ۰/۰۲
		نیتروژن	۰/۲۳ ^{op} ± ۰/۰۳	۰/۳۱ $^{h-n}$ ± ۰/۰۱
		فسفر	۰/۲۳ ^{op} ± ۰/۰۳	۰/۲۲ ^{p} ± ۰/۰۳
		نیتروژن + فسفر	۰/۲۲ ^{p} ± ۰/۰۱	۰/۲۸ $^{j-p}$ ± ۰/۰۲
	ولف هلندی	شاهد	۰/۲۷ $^{k-p}$ ± ۰/۰۳	۰/۲۴ ^{nop} ± ۰/۰۴
		نیتروژن	۰/۲۵ $^{m-p}$ ± ۰/۰۰۹	۰/۲۳ ^{op} ± ۰/۰۲
		فسفر	۰/۲۶ $^{l-p}$ ± ۰/۰۳	۰/۲۱ ^{p} ± ۰/۰۱
		نیتروژن + فسفر	۰/۲۷ $^{k-p}$ ± ۰/۰۳	۰/۲۴ ^{noq} ± ۰/۰۲
I_2	مجارستانی	شاهد	۰/۳۱ $^{h-n}$ ± ۰/۰۲	۰/۳۲ $^{g-m}$ ± ۰/۰۴
		نیتروژن	۰/۳۱ $^{h-n}$ ± ۰/۰۱	۰/۴۰ $^{b-f}$ ± ۰/۰۳
		فسفر	۰/۳۵ $^{e-j}$ ± ۰/۰۱	۰/۳۱ $^{h-n}$ ± ۰/۰۴
		نیتروژن + فسفر	۰/۳۹ $^{c-g}$ ± ۰/۰۳	۰/۳۷ $^{c-i}$ ± ۰/۰۰۹
	ولف هلندی	شاهد	۰/۳۰ $^{i-o}$ ± ۰/۰۰۹	۰/۳۱ $^{h-n}$ ± ۰/۰۳
		نیتروژن	۰/۳۵ $^{e-j}$ ± ۰/۰۲	۰/۳۱ $^{h-n}$ ± ۰/۰۳
		فسفر	۰/۳۱ $^{h-n}$ ± ۰/۰۱	۰/۳۰ $^{i-o}$ ± ۰/۰۳
		نیتروژن + فسفر	۰/۳۴ $^{e-k}$ ± ۰/۰۴	۰/۳۳ $^{f-l}$ ± ۰/۰۳
I_3	مجارستانی	شاهد	۰/۳۹ $^{c-g}$ ± ۰/۰۲	۰/۴۱ $^{b-e}$ ± ۰/۰۱
		نیتروژن	۰/۴۴ ^{abc} ± ۰/۰۲	۰/۴۳ $^{a-d}$ ± ۰/۰۳
		فسفر	۰/۳۸ $^{c-h}$ ± ۰/۰۲	۰/۴۳ $^{a-d}$ ± ۰/۰۳
		نیتروژن + فسفر	۰/۴۱ $^{b-e}$ ± ۰/۰۱	۰/۴۹ ^{a} ± ۰/۰۲
	ولف هلندی	شاهد	۰/۳۶ $^{d-i}$ ± ۰/۰۱	۰/۳۹ $^{c-g}$ ± ۰/۰۱
		نیتروژن	۰/۳۸ $^{c-h}$ ± ۰/۰۲	۰/۴۷ ^{ab} ± ۰/۰۱
		فسفر	۰/۴۳ $^{a-d}$ ± ۰/۰۲	۰/۴۰ $^{b-f}$ ± ۰/۰۲
		نیتروژن + فسفر	۰/۴۱ $^{b-e}$ ± ۰/۰۲	۰/۴۱ $^{b-e}$ ± ۰/۰۴
LSD 5 %			۰/۰۷	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند (I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A).

آن اختلاف معنی‌دار داشت. کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۱۷/۲۳ تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین) از رقم مجارستانی تحت شرایط آبیاری I_1 و کاربرد کود زیستی نیتروژن (I_1 × کود زیستی نیتروژن × رقم مجارستانی) به‌دست آمد که با سایر سطوح کود زیستی در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۵). نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در هر دو رقم مورد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۱۵- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی × رقم × سال بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در نخودفرنگی (تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین ± خطای استاندارد)

آبیاری	رقم	کود زیستی	سال ۱۴۰۱	سال ۱۴۰۲
I_1	مجارستانی	شاهد	۱۹/۴۰ $^{j-n}$ ± ۱/۲۱	۱۹/۱۷ $^{k-n}$ ± ۱/۹۴
		نیتروژن	۱۷/۹۰ ^{n} ± ۱/۸۶	۱۷/۲۳ ^{n} ± ۱/۸۹
		فسفر	۱۸/۵۷ ^{lmn} ± ۱/۴۴	۱۷/۹۰ ^{n} ± ۱/۲۳
		نیتروژن + فسفر	۱۸/۱۰ ^{n} ± ۱/۷۶	۱۷/۳۷ ^{n} ± ۱/۱۶
	ولف هلندی	شاهد	۱۸/۵۷ ^{lmn} ± ۱/۷۱	۱۸/۰۳ ^{n} ± ۲/۱۱
		نیتروژن	۱۸/۰۳ ^{n} ± ۱/۵۶	۱۷/۸۳ ^{n} ± ۲/۰۷
		فسفر	۱۷/۹۳ ^{n} ± ۱/۳۷	۱۷/۸۷ ^{n} ± ۱/۰۵
		نیتروژن + فسفر	۱۷/۲۰ ^{n} ± ۱/۸۶	۱۷/۴۰ ^{n} ± ۱/۳۲
I_2	مجارستانی	شاهد	۲۰/۳۳ $^{i-n}$ ± ۰/۶۹	۲۰/۳۷ $^{i-n}$ ± ۱/۱۶
		نیتروژن	۲۱/۱۰ $^{h-n}$ ± ۰/۷۸	۲۰/۰۰ $^{i-n}$ ± ۱/۴۷
		فسفر	۲۳/۹۷ $^{f-j}$ ± ۰/۸۴	۳۰/۵۷ ^{c} ± ۰/۶۱
		نیتروژن + فسفر	۳۰/۰۱ ^{c} ± ۰/۸۹	۲۲/۹۰ $^{g-m}$ ± ۱/۸۵
	ولف هلندی	شاهد	۱۷/۹۳ ^{n} ± ۱/۴۳	۱۸/۶۰ ^{lmn} ± ۱/۱۵
		نیتروژن	۱۸/۶۰ ^{lmn} ± ۱/۹۶	۱۷/۹۷ ^{n} ± ۱/۵۷
		فسفر	۱۹/۹۰ $^{i-n}$ ± ۰/۹۲	۱۸/۳۰ ^{mn} ± ۱/۷۰
		نیتروژن + فسفر	۲۴/۲۰ $^{e-i}$ ± ۱/۴۲	۱۸/۱۰ ^{n} ± ۱/۵۱
I_3	مجارستانی	شاهد	۲۷/۹۳ $^{c-f}$ ± ۲/۹۲	۲۹/۲۰ ^{cd} ± ۲/۲۸
		نیتروژن	۳۵/۷۰ ^{ab} ± ۱/۴۱	۲۹/۲۰ ^{cd} ± ۲/۰۴
		فسفر	۳۰/۲۰ ^{c} ± ۲/۹۵	۳۶/۶۳ ^{a} ± ۱/۹۹
		نیتروژن + فسفر	۲۸/۷۳ ^{cde} ± ۱/۹۸	۳۱/۸۰ ^{bc} ± ۱/۹۵
	ولف هلندی	شاهد	۲۳/۲۰ $^{g-l}$ ± ۰/۸۲	۲۳/۸۷ $^{f-k}$ ± ۰/۹۴
		نیتروژن	۲۵/۲۰ $^{d-h}$ ± ۰/۴۳	۳۰/۸۷ ^{c} ± ۱/۶۷
		فسفر	۲۵/۲۳ $^{d-h}$ ± ۱/۸۵	۲۷/۳۷ $^{c-g}$ ± ۱/۱۸
		نیتروژن + فسفر	۳۰/۳۷ ^{c} ± ۰/۷۶	۲۷/۱۳ $^{c-g}$ ± ۰/۶۱
LSD 5 %			۴/۷۲	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند (I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A).

بررسی افزایش یافت. کودهای زیستی در هر دو رقم، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، در بهبود فعالیت این آنزیم‌ها مؤثر بودند. تحت شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در رقم مجارستانی بیش‌تر از رقم ولف هلندی بود.

تنش خشکی از طریق افزایش نشت الکترون‌ها به مولکول‌های اکسیژن در جریان فرایندهای فتوسنتز و تنفس سبب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و بنابراین ایجاد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود (Asada, 1999; Sanchez-Rodriguez *et al*., 2012). گونه‌های فعال اکسیژن فراورده‌های جانبی واکنش‌های متابولیسمی هوازی هستند و تولید آن‌ها در شرایط کم‌آبی از طریق اختلال در سیستم‌های انتقال الکترون و فعالیت‌های متابولیکی اکسیدکننده در کلروپلاست و میتوکندری افزایش می‌یابد (Asada, 1999; Ahmad *et al*., 2010). گونه‌های فعال اکسیژن باعث خسارت به ساختارهای سلولی، ماکرومولکول‌ها و ایجاد بازدارندگی نوری در دستگاه فتوسنتزی می‌شوند. هم‌چنین می‌توانند مستقیماً به غشاهای لیپیدی حمله کرده، آنزیم‌های متابولیکی را غیرفعال سازند و به اسیدهای نوکلئیک خسارت وارد کنند و در نهایت به مرگ سلولی منجر شوند (Murshed *et al*., 2013). آن‌ها به‌عنوان یک سیگنال در فعال‌سازی پاسخ‌ها به تنش و مسیرهای دفاعی هم عمل می‌کنند (Kaushal and Wani, 2016). در شرایط نرمال بین تولید و حذف گونه‌های فعال اکسیژن توسط آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی تعادل وجود دارد؛ ولی تحت شرایط تنش خشکی تولید آن‌ها به‌دلیل بسته‌شدن روزنه‌ها و همزمان محدودیت تثبیت کربن دی‌اکسید، بیش‌تر از ظرفیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی برای حذف آن‌ها است که باعث تنش اکسیداتیو می‌شود (Noctor and Foyer, 1998). بنابراین تحت شرایط تنش خشکی اتخاذ راهکارهایی جهت افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی ضروری به‌نظر می‌رسد. سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی مانند: سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide dismutase = SOD)، پراکسیداز (Peroxidase = POX)، کاتالاز (Catalase = CAT)، آسکوربات پراکسیداز (Ascorbate peroxidase = APX)، گلوتاتیون ردوکتاز (Glutathione reductase = GR) و غیره هستند. سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی شامل: آسکوربات، گلوتاتیون، کاروتنوئیدها، آلفاتوکوفرول و بسیاری از ترکیبات فنولی هستند (Murshed *et al*., 2013). در شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌منظور کنترل سطح گونه‌های فعال اکسیژن و حذف آثار زیان‌بار آن‌ها افزایش می‌یابد. طی پژوهشی Karatas و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های SOD، POX و CAT را در نخودفرنگی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد که تأییدی بر یافته‌های پژوهش حاضر بود. به‌گونه مشابه Sutuliene و همکاران (۲۰۲۲) مشاهده کردند که در نخودفرنگی تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان SOD، CAT، APX و GR شد. در سه رقم نخود زراعی (Chick pea) نیز تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان POX و CAT را افزایش داد (Mafakheri *et al*., 2011). زمانی که فراورده‌های تنش اکسیداتیو در گیاه افزایش پیدا می‌کند، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان فعال می‌شوند. به‌عنوان مثال SOD رادیکال‌های سوپراکسید (O_2^-) را به پراکسید هیدروژن (H_2O_2) که آثار زیان‌بار کم‌تری برای گیاه دارد، تبدیل می‌کند. سپس H_2O_2 طی واکنش‌های مختلفی توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند: CAT، APX و غیره به آب تجزیه می‌شود (Sutuliene *et al*., 2022). در راستای نتایج به‌دست آمده در این پژوهش Ejaz و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که در نخودفرنگی تلقیح بذور توسط باکتری‌های *Azospirillum* و *Agrobacterium* فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد. در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تیمار بذور با باکتری‌های *Pseudomonas* sp. در شرایط تنش خشکی، به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم CAT را افزایش داد (Heidari and Golpayegani, 2012). به‌گونه مشابه Sheteiwy و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که در سویا تحت شرایط تنش خشکی تلقیح بذور با باکتری *Bradyrhizobium japonicum* و قارچ مایکوریزای آربسکولار فعالیت آنزیم‌های POX و CAT را افزایش داد. این پژوهشگران بیان داشتند که کاربرد کودهای زیستی می‌تواند با افزایش فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش خسارات اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی شود. در گیاه دارویی کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* convar. pepo var. *Styriaca*) کاربرد کود زیستی نیتروکسین (*Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp.) تحت شرایط تنش خشکی ملایم (۷۰٪ ظرفیت زراعی)، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان CAT، APX، GR و (Guaiacol peroxidase =

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

GPX) را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Najafi *et al*., 2021). با توجه به مشاهدات Checchio و همکاران (۲۰۲۱) باکتری *Azospirillum brasilense* با بهبود تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به افزایش مقاومت ذرت در برابر تنش شوری کمک کرد.

عملکرد بیولوژیک: عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، کود زیستی، رقم و اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × رقم و آبیاری × کود زیستی × رقم قرار گرفت (جدول ۴). در سطح آبیاری I_1 بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک (۳۸۸۶/۵ کیلوگرم در هکتار) از رقم مجارستانی تحت تأثیر کود زیستی نیتروژن به‌دست آمد که با شاهد بدون کود اختلاف معنی‌دار داشت. در سطح آبیاری I_2 بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک (۳۲۸۲/۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به رقم مجارستانی تیمارشده با کود زیستی فسفر بود. در این سطح آبیاری اگر چه کود زیستی فسفر عملکرد بیولوژیک را حدود ۱۹٪ نسبت به شاهد بدون کود افزایش داد؛ ولی با آن تفاوت معنی‌دار نداشت. در سطح آبیاری I_3 بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک (۲۸۱۰/۲ کیلوگرم در هکتار) از رقم مجارستانی تحت تیمار تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر به‌دست آمد. در این سطح آبیاری تلفیق کود زیستی نیتروژن + فسفر عملکرد بیولوژیک را حدود ۲۶٪ در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود زیستی افزایش داد و با آن اختلاف معنی‌دار داشت. کم‌ترین عملکرد بیولوژیک (۱۴۳۶/۸ کیلوگرم در هکتار) نیز مربوط به رقم ولف هلندی تحت تیمارهای آبیاری I_3 و عدم کاربرد کود زیستی بود که با سایر سطوح کود زیستی در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱۶). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش خشکی عملکرد بیولوژیک را در هر دو رقم کاهش داد. عملکرد بیولوژیک تحت شرایط تنش خشکی در رقم مجارستانی بیش‌تر از رقم ولف هلندی بود. کودهای زیستی عملکرد بیولوژیک را در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی افزایش دادند.

تنش خشکی بر جنبه‌های مختلفی از رشدونمو لگوم‌ها شامل: جوانه‌زنی، نمو ریشه و شاخساره، فتوسنتز و رشد زایشی اثرگذار است؛ بنابراین عملکرد بیولوژیک نیز هم‌چون سایر شاخص‌های عملکردی کاهش می‌یابد. باکتری‌های محرک رشد گیاه سبب کاهش آثار نامطلوب تنش خشکی و تقویت عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Belimov *et al*., 2009). در عدس و نخودفرنگی باکتری‌های *Pseudomonas* spp. به کاهش آثار نامطلوب تنش خشکی و افزایش رشد گیاه کمک کردند (Nadeem *et al*., 2019). باکتری‌های ریزوسفری با افزایش رشد، نمو و حجم ریشه‌ها سبب افزایش دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی و بنابراین افزایش رشد شاخساره گیاه می‌شوند (Delshadi *et al*., 2017).

در گیاه ذرت تحت شرایط تنش خشکی باکتری‌های *Pseudomonas putida* GAP-P45 سبب بهبود تولید بیوماس گیاهی شدند (Sandhya *et al*., 2010). تنش خشکی در شیرین‌بیان، بیوماس گیاهی را به‌گونه قابل توجهی کاهش داد؛ اما تلقیح با باکتری *Bacillus pumilus* سبب افزایش معنی‌دار بیوماس گیاهی شد (Zhang *et al*., 2019). تغییرات فیزیولوژیکی در بوته‌های سویا تلقیح‌شده با باکتری‌های ترشح‌کننده جیبرلین (*P. putida* H-2–3) سبب بهبود رشد تحت شرایط تنش خشکی شد (Kang *et al*., 2014). باکتری‌های *Pantoea agglomerans* نیز سبب تحریک رشد گندم، برنج و سایر گیاهان زراعی می‌شوند (Dutkiewicz *et al*., 2016). طی پژوهشی افزایش تولید بیوماس گیاهچه‌های برنج تلقیح‌شده با باکتری‌های *Pantoea agglomerans* YS19 گزارش شد (Feng *et al*., 2006). به‌گونه مشابه امامی و همکاران (۱۴۰۰) مشاهده کردند که کاربرد باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن *Pantoea agglomerans* باعث افزایش وزن خشک و تر گیاه چمن شد.

نیتروژن به‌واسطه تأثیر بر ویژگی‌هایی مانند: رشد برگ، دوام سطح برگ و سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ، به‌عنوان عامل اصلی کنترل‌کننده تولید کربوهیدرات‌ها و تولیدات فتوسنتزی دیگر به‌شمار می‌رود. تأمین نیتروژن کافی، کارایی مصرف آب را در گیاهان به‌گونه قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد. کمبود نیتروژن توانایی گیاه برای تبدیل آب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

جدول ۱۶- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری × کود زیستی × رقم بر عملکرد بیولوژیک نخودفرنگی

آبیاری	رقم	کود زیستی	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار ± خطای استاندارد)
I_1	مجارستانی	شاهد	۳۰۱۸/۸ ^{bcd} ± ۸۳/۹
		نیتروژن	۳۸۸۶/۵ ^{a} ± ۷۳/۲
		فسفر	۳۱۳۴/۲ ^{bc} ± ۱۰۱/۶
		نیتروژن + فسفر	۳۱۹۸/۷ ^{bc} ± ۱۱۷/۵
	ولف هلندی	شاهد	۳۱۶۸/۲ ^{bc} ± ۵۶/۹
		نیتروژن	۳۴۲۳/۸ ^{a} ± ۱۲۸/۳
		فسفر	۳۳۶۷/۵ ^{ab} ± ۱۲۰/۱
		نیتروژن + فسفر	۳۸۵۸/۰ ^{a} ± ۱۲۱/۸
I_2	مجارستانی	شاهد	۲۷۵۷/۰ $^{c-f}$ ± ۱۵۶/۸
		نیتروژن	۲۹۸۸/۲ ^{bcd} ± ۱۶۰/۵
		فسفر	۳۲۸۲/۷ ^{bc} ± ۱۲۵/۸
		نیتروژن + فسفر	۲۹۳۳/۳ ^{bcd} ± ۱۸۲/۶
	ولف هلندی	شاهد	۱۸۴۰/۷ ^{ij} ± ۷۵/۰
		نیتروژن	۱۹۴۱/۵ ^{hij} ± ۵۹/۷
		فسفر	۲۰۸۸/۷ ^{ghi} ± ۲۰۸/۱
		نیتروژن + فسفر	۲۵۹۸/۲ $^{d-g}$ ± ۲۲۵/۶
I_3	مجارستانی	شاهد	۲۲۲۹/۰ $^{f-i}$ ± ۱۱۸/۰
		نیتروژن	۲۳۷۳/۵ $^{e-h}$ ± ۱۳۰/۲
		فسفر	۲۳۸۳/۲ $^{e-h}$ ± ۲۴۹/۹
		نیتروژن + فسفر	۲۸۱۰/۲ ^{cde} ± ۷۵/۳
	ولف هلندی	شاهد	۱۴۳۶/۸ ^{j} ± ۵۳/۷
		نیتروژن	۱۹۳۶/۰ ^{hij} ± ۴۰/۷
		فسفر	۱۵۴۷/۳ ^{j} ± ۵۱/۳
		نیتروژن + فسفر	۱۵۱۶/۳ ^{j} ± ۶۶/۵
LSD 5 %			۵۳۱/۰

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند (I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری پس از ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A).

قابل استفاده به عملکرد را کاهش می‌دهد. فسفر نیز نقش کلیدی در متابولیسم انرژی (ذخیره و انتقال انرژی) و واکنش‌های بیوسنتزی دارد. کمبود فسفر موجب کاهش فعالیت فتوسنتزی در واحد سطح برگ در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌شود. در شرایط کمبود فسفر تقسیم سلولی کاهش می‌یابد (Fageria *et al.*, 2006). بنابراین کودهای زیستی احتمالاً با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن و فسفر سبب تحریک رشد و افزایش عملکرد بیولوژیک شدند.

نتیجه‌گیری

کشت بهاره نخودفرنگی به‌ویژه رقم مجارستانی، در اقلیم فارسان استان چهارمحال و بختیاری و سایر مناطق با اقلیم مشابه قابل توصیه است. خصوصاً با توجه به این‌که نخودفرنگی دارای فصل رشد کوتاه است و در کشت گیاهان زراعی پاییزه ایجاد اختلال نمی‌کند. رقم مجارستانی در مقایسه با رقم ولف هلندی عملکرد دانه بیش‌تری داشت و در برابر تنش خشکی انتهای فصل متحمل‌تر بود. در زراعت نخودفرنگی، کاربرد کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور -۲ جهت بهبود عملکرد و مقابله با آثار زیان‌بار تنش خشکی توصیه می‌شود.

منابع

امامی، نادیا، حسنی، اکبر، واعظی، علی‌رضا، و بابااکبری ساری، محمد (۱۴۰۰). تأثیر کاربرد کود زیستی حاوی باکتری *Pantoea agglomerans* در مقایسه با کود اوره بر رشد و کیفیت چمن. *مجله علوم باغبانی ایران*، ۵۲(۲)، ۳۴۱-۳۵۱. doi: 10.22059/ijhs.2020.288515.1714

بیابانی، عباس (۱۳۸۷). بررسی اثر فاصله ردیف و فاصله بوته‌ها (آرایش بوته‌ها) بر عملکرد سبز نخودفرنگی رقم شمشیری چروک. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۵(۵)، ۳۹-۴۳. SID. https://sid.ir/paper/9696/fa

پارسا، مهدی، و باقری، عبدالرضا (۱۴۰۲). حبوبات. انتشارات جهاد دانشگاهی. مشهد.

تدین، محمودرضا (۱۳۸۸). واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهان به تنش‌های محیطی. انتشارات دانشگاه شهرکرد. شهرکرد.

جعفرزاده، لیلا، امیدی، حشمت، و بستانی، عبدالامیر (۱۳۹۳). بررسی تنش خشکی و کود زیستی نیتروژنه بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). *مجله پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران)*، ۲۷(۲)، ۱۸۰-۱۹۳.

صفری، صفورا (۱۳۹۶). بررسی اثر حذف برگ و محلول‌پاشی سولفات‌روی بر گیاه نخودفرنگی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ایلام، ایران.

کافی، محمد، برزوئی، اعظم، صالحی، معصومه، کمندی، علی، معصومی، علی، و نباتی، جعفر (۱۳۹۷). فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی. مشهد.

ماهرخ، علی، و خواجه‌پور، محمدرضا (۱۳۸۹). تأثیر رژیم رطوبتی بر شاخص‌های رشد و عملکرد کمی و کیفی چغندرقند. *فصلنامه علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴۱(۲)، ۲۳۵-۲۴۶. https://civilica.com/doc/704390

مجنون حسینی، ناصر (۱۳۹۳). زراعت و تولید حبوبات. انتشارات جهاد دانشگاهی. تهران.

Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Kiraly, L., & Kunstler, A. (2021). The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. *Biology*, *10*(6), 520. https://doi.org/10.3390/biology10060520

Ahmad, P., Jaleel, C. A., Salem, M. A., Nabi, G., & Sharma, S. (2010). Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Critical Reviews in Biotechnology*, *30*(3), 161-175. https://doi.org/10.3109/07388550903524243

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*, *24*(12), 1337-1344. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x

Anderson, J. A. D, & White, J. G. H. (1974). Yield of green peas: II. Effects of water and plant density. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, *2*(2), 165-171. https://doi.org/10.1080/03015521.1974.10425755

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

Anjum, S. A., Ashraf, U., Tanveer, M., Khan, I., Hussain, S., Shahzad, B., Zohaib, A., Abbas, F., Saleem, M. F., Ali, I., & Wang, L. C. (2017). Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 69. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00069

Arafa, S. A., Attia, K. A., Niedbała, G., Piekutowska, M., Alamery, S., Abdelaal, K., Alateeq, T. K., Ali, M. A. M., Elkelish, A., & Attallah, S. Y. (2021). Seed priming boost adaptation in pea plants under drought stress. *Plants*, *10*(10), 2201. https://doi.org/10.3390/plants10102201

Arshad, M., Shaharoona, B., & Mahmood, T. (2008). Inoculation with *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase partially eliminates the effects of drought stress on growth, yield, and ripening of pea (*Pisum sativum* L.). *Pedosphere*, *18*(5), 611-620. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(08)60055-7

Asada, K. (1999). The water-water cycle in chloroplasts: Scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annual Review of Plant Biology*, *50*(1), 601-639. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.601

Ashraf, M. F. M. R, & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, *59*(2), 206-216. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006

Azizi, K. (2017). Biofertilizers and drought stress effects on yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Medicinal Plants and By-Product*, *6*(1), 17-25. 10.22092/jmpb.2017.113146

Barrs, H. D, & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, *15*(3), 413-428. https://doi.org/10.1071/BI9620413

Bates, L. S., Waldren, R. P. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Beauchamp, C, & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, *44*(1), 276-287. https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8

Belimov, A. A., Dodd, I. C., Hontzeas, N., Theobald, J. C., Safronova, V. I., & Davies, W. J. (2009). Rhizosphere bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase increase yield of plants grown in drying soil via both local and systemic hormone signalling. *New Phytologist*, *181*(2), 413-423. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02657.x

Blum, A. (2017). Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. *Plant, Cell and Environment*, *40*(1), 4-10. https://doi.org/10.1111/pce.12800

Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, *383*, 3-41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Chance, B, & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, *2*, 764-775. http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879 (55)02300-8

Checchio, M. V., de Cassia Alves, R., de Oliveira, K. R., Moro, G. V., Santos, D. M. M. D., & Gratao, P. L. (2021). Enhancement of salt tolerance in corn using *Azospirillum brasilense*: An approach on antioxidant systems. *Journal of Plant Research*, *134*(6), 1279-1289. https://doi.org/10.1007/s10265-021-01332-1

Costa-Gutierrez, S. B., Adler, C., Espinosa-Urgel, M., & de Cristobal, R. E. (2022). *Pseudomonas putida* and its close relatives: Mixing and mastering the perfect tune for plants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *106*(9), 3351-3367. https://doi.org/10.1007/s00253-022-11881-7

Dawson, C. J, & Hilton, J. (2011). Fertiliser availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus. *Food Policy*, *36*, S14-S22. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.11.012

De Vega, J. J., Teshome, A., Klaas, M., Grant, J., Finnan, J., & Barth, S. (2021). Physiological and transcriptional response to drought stress among bioenergy grass *Miscanthus* species. *Biotechnology for Biofuels*, *14*(1), 1-13. https://doi.org/10.1186/s13068-021-01915-z

De Vos, C. H. R., Schat, H. M. A. M., De Waal, M. A. M., Vooijs, R., & Ernst, W. H. O. (1991). Increased resistance to copper-induced damage of the root cell plasmalemma in copper tolerant *Silene cucubalus*. *Physiologia Plantarum*, *82*(4), 523-528. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb02942.x

Delshadi, S., Ebrahimi, M., & Shirmohammadi, E. (2017). Influence of plant-growth-promoting bacteria on germination, growth and nutrients' uptake of *Onobrychis sativa* L. under drought stress. *Journal of Plant Interactions*, *12*(1), 200-208. https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1316527

Diagne, N., Ndour, M., Djighaly, P. I., Ngom, D., Ngom, M. C. N., Ndong, G., Svistoonoff, S., & Cherif-Silini, H. (2020). Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on salt stress tolerance of *Casuarina obesa* (Miq.). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, 601004. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.601004

Dimkpa, C., Weinand, T., & Asch, F. (2009). Plant–rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. *Plant, Cell and Environment*, *32*(12), 1682-1694. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02028.x

Dodd, I. C. (2009). Rhizosphere manipulations to maximize 'crop per drop'during deficit irrigation. *Journal of Experimental Botany*, *60*(9), 2454-2459. https://doi.org/10.1093/jxb/erp192

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., & Xie, F. (2020). Effect of drought stress at reproductive stages on growth and nitrogen metabolism in soybean. *Agronomy*, *10*(2), 302. https://doi.org/10.3390/agronomy10020302

Dutkiewicz, J., Mackiewicz, B., Lemieszek, M. K., Golec, M., & Milanowski, J. (2016). *Pantoea agglomerans*: A mysterious bacterium of evil and good. Part IV. Beneficial effects. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *23*(2). 206-222. doi: 10.5604/12321966.1203879

Ejaz, S., Batool, S., Anjum, M. A., Naz, S., Qayyum, M. F., Naqqash, T., Shah, K. H., & Ali, S. (2020). Effects of inoculation of root-associative *Azospirillum* and *Agrobacterium* strains on growth, yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.) grown under different nitrogen and phosphorus regimes. *Scientia Horticulturae*, *270*, 109401. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109401

Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A. G., & Hashemi, M. (2017). Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. *The Crop Journal*, *5*(5), 407-415. https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. (2006). Physiology of Crop Production. 1nd Ed. CRC Press, Boca Raton.

Fang, X., Turner, N. C., Yan, G., Li, F., & Siddique, K. H. (2010). Flower numbers, pod production, pollen viability, and pistil function are reduced and flower and pod abortion increased in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought. *Journal of Experimental Botany*, *61*(2), 335-345. https://doi.org/10.1093/jxb/erp307

Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S. S., & Siddique, K. H. (2017). Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *203*(2), 81-102. https://doi.org/10.1111/jac.12169

Fasusi, O. A., Cruz, C., & Babalola, O. O. (2021). Agricultural sustainability: Microbial biofertilizers in rhizosphere management. *Agriculture*, *11(*2), 163. https://doi.org/10.3390/agriculture11020163

Feng, Y., Shen, D., & Song, W. (2006). Rice endophyte *Pantoea agglomerans* YS19 promotes host plant growth and affects allocations of host photosynthates. *Journal of Applied Microbiology*, *100*(5), 938-945. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02843.x

Ghoulam, C., Foursy, A., & Fares, K. (2002). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, *47*(1), 39-50. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(01)00109-5

Gunes, A., Inal, A., Adak, M. S., Bagci, E. G., Cicek, N., & Eraslan, F. (2008). Effect of drought stress implemented at pre-or post-anthesis stage on some physiological parameters as screening criteria in chickpea cultivars. *Russian Journal of Plant Physiology*, *55*, 59-67. https://doi.org/10.1134/S102144370801007X

Heidari, M, & Golpayegani, A. (2012). Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *11*(1), 57-61. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2011.09.001

Hessini, K., Martinez, J. P., Gandour, M., Albouchi, A., Soltani, A., & Abdelly, C. (2009). Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora*. *Environmental and Experimental Botany*, *67*(2), 312-319. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.010

Jin, J., Wang, G., Liu, X., Pan, X., Herbert, S. J., & Tang, C. (2006). Interaction between phosphorus nutrition and drought on grain yield, and assimilation of phosphorus and nitrogen in two soybean cultivars differing in protein concentration in grains. *Journal of Plant Nutrition*, *29*(8), 1433-1449. https://doi.org/10.1080/01904160600837089

Jovanovic, Z., Stanisavljevic, N., Mikic, A., Radovic, S., & Maksimovic, V. (2013). The expression of drought responsive element binding protein ('DREB2A') related gene from pea (*Pisum sativum* L.) as affected by water stress. *Australian Journal of Crop Science*, *7*(10), 1590-1596. ISSN:1835-2707

Kang, S. M., Radhakrishnan, R., Khan, A. L., Kim, M. J., Park, J. M., Kim, B. R., Shin, D. H., & Lee, I. J. (2014). Gibberellin secreting rhizobacterium, *Pseudomonas putida* H-2-3 modulates the hormonal and stress physiology of soybean to improve the plant growth under saline and drought conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, *84*, 115-124. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.09.001

Karatas, I., Ozturk, L., Demir, Y., Unlukara, A., Kurunc, A., & Duzdemir, O. (2014). Alterations in antioxidant enzyme activities and proline content in pea leaves under long-term drought stress. *Toxicology and Industrial Health*, *30*(8), 693-700. https://doi.org/10.1177/0748233712462471

Kaushal, M, & Wani, S. P. (2016). Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. *Annals of Microbiology*, *66*, 35-42. https://doi.org/10.1007/s13213-015-1112-3

Khan, M. I. R., Iqbal, N., Masood, A., Per, T. S., & Khan, N. A. (2013). Salicylic acid alleviates adverse effects of heat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation. *Plant Signaling and Behavior*, *8*(11), e26374. https://doi.org/10.4161/psb.26374

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P. C., & Sohrabi, Y. (2011). Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(10), 1255-1260. ISSN (print):1835-2693

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

Malboobi, M. A., Owlia, P., Behbahani, M., Sarokhani, E., Moradi, S., Yakhchali, B., Deljou, A., & Morabbi Heravi, K. (2009). Solubilization of organic and inorganic phosphates by three highly efficient soil bacterial isolates. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *25*, 1471-1477. https://doi.org/10.1007/s11274-009-0037-z

Meena, M., Divyanshu, K., Kumar, S., Swapnil, P., Zehra, A., Shukla, V., Yadav, M., & Upadhyay, R. S. (2019). Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. *Heliyon*, *5*(12), e02952. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02952

Meier, U. (1997) Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants: BBCH-Monograph. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.

Mishra, P. K., Bisht, S. C., Mishra, S., Selvakumar, G., Bisht, J. K., & Gupta, H. S. (2012). Coinoculation of *Rhizobium leguminosarum*-PR1 with a cold tolerant *Pseudomonas* sp. improves iron acquisition, nutrient uptake and growth of field pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, *35*(2), 243-256. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.636127

Morsy, M., Cleckler, B., & Armuelles-Millican, H. (2020). Fungal endophytes promote tomato growth and enhance drought and salt tolerance. *Plants*, *9*(7), 877. https://doi.org/10.3390/plants9070877

Murshed, R., Lopez-Lauri, F., & Sallanon, H. (2013). Effect of water stress on antioxidant systems and oxidative parameters in fruits of tomato (*Solanum lycopersicon* L, cv. Micro-tom). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *19*(3), 363-378. https://doi.org/10.1007/s12298-013-0173-7

Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X., & Qiu, L. (2019). Research progress and perspective on drought stress in legumes: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(10), 2541. https://doi.org/10.3390/ijms20102541

Najafi, S., Nazari Nasi, H., Tuncturk, R., Tuncturk, M., Sayyed, R. Z., & Amirnia, R. (2021). Biofertilizer application enhances drought stress tolerance and alters the antioxidant enzymes in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. pepo var. Styriaca). *Horticulturae*, *7*(12), 588. https://doi.org/10.3390/horticulturae7120588

Nayyar, H, & Walia, D. P. (2003). Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. *Biologia Plantarum*, *46*, 275-279. https://doi.org/10.1023/A:1022867030790

Noctor, G, & Foyer, C. H. (1998). Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Biology*, *49*(1), 249-279. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.249

Noctor, G., Mhamdi, A., & Foyer, C. H. (2014). The roles of reactive oxygen metabolism in drought: Not so cut and dried. *Plant Physiology*, *164*(4), 1636-1648. https://doi.org/10.1104/pp.113.233478

Ogbe, A. A., Gupta, S., Stirk, W. A., Finnie, J. F., & van Staden, J. (2024). Endophyte inoculation enhances growth, secondary metabolites and biological activity of *Endostemon obtusifolius* grown under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, *43*(4), 1103-1117. https://doi.org/10.1007/s00344-023-11167-w

Okur, N. (2018). A review-bio-fertilizers-power of beneficial microorganisms in soils. *Biomedical Journal of Scientific and Technical Research*, *4*(4), 4028-4029. DOI: 10.26717/BJSTR.2018.04.001076

Osman, H. S. (2015). Enhancing antioxidant–yield relationship of pea plant under drought at different growth stages by exogenously applied glycine betaine and proline. *Annals of Agricultural Sciences*, *60*(2), 389-402. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2015.10.004

Ozturk, M., Turkyilmaz Unal, B., Garcia-Caparros, P., Khursheed, A., Gul, A., & Hasanuzzaman, M. (2021). Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia Plantarum*, *172*(2), 1321-1335. https://doi.org/10.1111/ppl.13297

Paul, D, & Nair, S. (2008). Stress adaptations in a plant growth promoting rhizobacterium (PGPR) with increasing salinity in the coastal agricultural soils. *Journal of Basic Microbiology*, *48*(5), 378-384. https://doi.org/10.1002/jobm.200700365

Pushpavalli, R., Zaman-Allah, M., Turner, N. C., Baddam, R., Rao, M. V., & Vadez, V. (2014). Higher flower and seed number leads to higher yield under water stress conditions imposed during reproduction in chickpea. *Functional Plant Biology*, *42*(2), 162-174. https://doi.org/10.1071/FP14135

Rather, S. A., Hussain, M. A., & Sharma, N. L. (2010). Effect of bio-fertilizers on growth, yield and economics of field pea (*Pisum sativum* L.). *International Journal of Agricultural Sciences*, *6*(1), 65-66. http://www.hindagrihorticulturalsociety.co.in

Rouphael, Y, & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1655. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655

Saglam, A., Demiralay, M., Colak, D. N., Gedik, N. P., Basok, O., & Kadioglu, A. (2022). *Pseudomonas putida* KT2440 induces drought tolerance during fruit ripening in tomato. *Bioagro*, *34*(2), 139-150. https://doi.org/10.51372/bioagro342.4

Sairam, R. K, & Srivastava, G. C. (2002). Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Plant Science*, *162*(6), 897-904. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00037-7

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

Sairam, R. K., Srivastava, G. C., & Saxena, D. C. (2000). Increased antioxidant activity under elevated temperatures: A mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, *43*, 245-251. https://doi.org/10.1023/A:1002756311146

Salter, P. J. (1962). Some responses of peas to irrigation at different growth stages. *Journal of Horticultural Science*, *37*(2), 141-149. https://doi.org/10.1080/00221589.1962.11514035

Samadi, A., Derafshi, M., Hassani, A., Gholamhoseini, M., Asgari Lajayer, B., Astatkie, T., & Price, G. W. (2024). Effects of biofertilizers and potassium sulfate on nutrients uptake and physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Journal of Crop Health*, *76*(1), 209-218. https://doi.org/10.1007/s10343-023-00954-w

Sanchez-Rodriguez, E., del Mar Rubio-Wilhelmi, M., Blasco, B., Leyva, R., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2012). Antioxidant response resides in the shoot in reciprocal grafts of drought-tolerant and drought-sensitive cultivars in tomato under water stress. *Plant Science*, *188*, 89-96. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.12.019

Sandhya, V. S. K. Z., Ali, S. Z., Grover, M., Reddy, G., & Venkateswarlu, B. (2010). Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation*, *62*, 21-30. https://doi.org/10.1007/s10725-010-9479-4

Sandhya, V. Z. A. S., SK. Z, A., Grover, M., Reddy, G., & Venkateswarlu, B. S. S. S. (2009). Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAP-P45. *Biology and Fertility of Soils*, *46*, 17-26. https://doi.org/10.1007/s00374-009-0401-z

Shaharoona, B., Arshad, M., & Zahir, Z. A. (2006). Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Letters in Applied Microbiology*, *42*(2), 155-159. https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2005.01827.x

Sharma, A., Shahzad, B., Kumar, V., Kohli, S. K., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., Handa, N., Kapoor, D., Bhardwaj, R., & Zheng, B. (2019). Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. *Biomolecules*, *9*(7), 285. https://doi.org/10.3390/biom9070285

Sheteiwy, M. S., Ali, D. F. I., Xiong, Y. C., Brestic, M., Skalicky, M., Hamoud, Y. A., Ulhassan, Z., Shaghaleh, H., Abd Elgawad, H., Farooq, M., Sharma, A., & El-Sawah, A. M. (2021). Physiological and biochemical responses of soybean plants inoculated with Arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium* under drought stress. *BMC Plant Biology*, *21*(1), 195. https://doi.org/10.1186/s12870-021-02949-z

Siddique, K. H., Regan, K. L., Tennant, D., & Thomson, B. D. (2001). Water use and water use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediterranean-type environments. *European Journal of Agronomy*, *15*(4), 267-280. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00106-X

Slama, I., Abdelly, C., Bouchereau, A., Flowers, T., & Savoure, A. (2015). Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of Botany*, *115*(3), 433-447. https://doi.org/10.1093/aob/mcu239

Subbarao, G. V., Johansen, C., Slinkard, A. E., Nageswara Rao, R. C., Saxena, N. P., Chauhan, Y. S., & Lawn, R. J. (1995). Strategies for improving drought resistance in grain legumes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *14*(6), 469-523. https://doi.org/10.1080/07352689509701933

Sutuliene, R., Rageliene, L., Samuoliene, G., Brazaityte, A., Urbutis, M., & Miliauskiene, J. (2022). The response of antioxidant system of drought-stressed green pea (*Pisum sativum* L.) affected by watering and foliar spray with silica nanoparticles. *Horticulturae*, *8*(1), 35. https://doi.org/10.3390/horticulturae8010035

Szablinska-Piernik, J, & Lahuta, L. B. (2021). Metabolite profiling of semi-leafless pea (*Pisum sativum* L.) under progressive soil drought and subsequent re-watering. *Journal of Plant Physiology*, *256*, 153314.

Tulumello, J., Chabert, N., Rodriguez, J., Long, J., Nalin, R., Achouak, W., & Heulin, T. (2021). *Rhizobium alamii* improves water stress tolerance in a non-legume. *Science of the Total Environment*, *797*, 148895. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148895

Ullah, S., Khan, M. Y., Asghar, H. N., Akhtar, M. J., & Zahir, Z. A. (2017). Differential response of single and co-inoculation of *Rhizobium leguminosarum* and *Mesorhizobium ciceri* for inducing water deficit stress tolerance in wheat. *Annals of Microbiology*, *67*, 739-749. https://doi.org/10.1007/s13213-017-1302-2

Verma, S. C., Ladha, J. K., & Tripathi, A. K. (2001). Evaluation of plant growth promoting and colonization ability of endophytic diazotrophs from deep water rice. *Journal of Biotechnology*, *91*(2-3), 127-141. https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00333-9

Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & SkZ, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting Rhizobacteria. *Microbiological Research*, *184*, 13-24. https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003

Waghmode, M., Gunjal, A., Patil, N., & Nawani, N. (2019). Role of Rhizobacteria in drought tolerance. In: Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Sustainable Stress Management: Volume 1: Rhizobacteria in Abiotic Stress Management (eds. Sayyed, R. Z., Arora, N. K. and Reddy, M. S.) Pp. 355-362. Spriger, Singapore.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

Yadav, A. N., Verma, P., Singh, B., Chauhan, V. S., Suman, A., & Saxena, A. K. (2017). Plant growth promoting bacteria: Biodiversity and multifunctional attributes for sustainable agriculture. *Adv Biotechnol Microbiol*, *5*(5), 1-16. DOI: 10.19080/AIBM.2017.05.555671

Yancey, P. H. (2005). Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses. *Journal of Experimental Biology*, *208*(15), 2819-2830. https://doi.org/10.1242/jeb.01730

Yasmin, H., Naeem, S., Bakhtawar, M., Jabeen, Z., Nosheen, A., Naz, R., Keyani, R., Mumtaz, S., & Hassan, M. N. (2020). Halotolerant rhizobacteria *Pseudomonas pseudoalcaligenes* and *Bacillus subtilis* mediate systemic tolerance in hydroponically grown soybean (*Glycine max* L.) against salinity stress. *PLoS One*, *15*(4), e0231348. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231348

Zhang, W., Xie, Z., Zhang, X., Lang, D., & Zhang, X. (2019). Growth-promoting bacteria alleviates drought stress of *G. uralensis* through improving photosynthesis characteristics and water status. *Journal of Plant Interactions*, *14*(1), 580-589. https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1680752

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]

The effect of nitrogen and phosphorus biofertilizers on some morphophysiological and reproductive characteristics of two pea (*Pisum sativum* L.) cultivars under different irrigation regimes

Nima Yadollahi Farsani, Mojtaba Karimi*, Mahmoud Reza Tadayon and Mohammad Rafieiolhossaini

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
(Received: 2025/01/21, Accepted: 2025/07/01)

Abstract

The present investigation was designed and carried in order to study the effects of nitrogen and phosphorus biofertilizers on some morphophysiological and reproductive characteristics, of two pea (*Pisum sativum* L.) varieties under different irrigation regimes, for two years. This experiment was conducted as a split-split plot based on a randomized complete block design with three replications. The main plots were allocated to irrigation treatments including: irrigation after 50, 75 and 100 mm (I_1, I_2 and I_3, respectively) cumulative evaporation from class A evaporation pan and the sub plots were allocated to different source of biofertilizers treatments including: control (no biofertilizer), Azotobarvar-1, Phosphatebarvar-2 and Azotobarvar-1 + Phosphatebarvar-2. Sub-sub plots were allocated to two varieties of peas (Majarestani and Wolfholland). Drought stress led to a significant decrease in biological yield in two mentioned varieties (especially in Wolfholland variety), through reducing the shoot dry weight, leaf relative water content, and also increasing the malondialdehyde concentration and leaf electrolyte leakage. Majarestani variety was more tolerant to drought stress with more effective use of defense systems Such as: higher level of proline content and antioxidant enzyme activities. Biofertilizers played an effective role in reducing the adverse effects of drought stress. Biofertilizers improved biological yield by increasing the shoot dry weight, leaf relative water content, proline content and antioxidant enzyme activities in both varieties, especially in Majarestani variety. Generally, Majarestani variety due to its more tolerant to drought stress conditions is recommended for cultivation in areas with the terminal drought stress. The application of biofertilizers (especially the integration of nitrogen and phosphorus biofertilizers under mild and severe drought stress conditions) is also a promising approach to adapt to drought stress conditions in such areas.

Key words: Antioxidant enzyme, Drought stress, Genotype, Proline

Corresponding author, Email: m.karimi@sku.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: DOI: 10.22034/14.69.105]