نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۵، شماره ۷۴، مهر و آبان ۱۴۰۵ صفحه: ۱۴۵-۱۶۹
https://doi.org/10.22034/jispp.15.74.145

مقاله پژوهشی

بررسی برخی شاخص‌های مورفو- فیزیولوژیکی در برهمکنش بین سالیسیلیک اسید، سدیم نیتروپروساید و *Azospirillum brasilense* در گندم دیم در شرایط مزرعه‌ای

سعیده دهقانپور فراشاه

گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

چکیده

تیمار بذر با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاهی و ترکیبات ضدتنش نوین مانند سالیسیلیک اسید و سدیم‌نیتروپروساید یکی از رویکردهای جدید در تولید گندم تحت شرایط دیم است. مطالعه حاضر به منظور اثر پیش‌تیمار *Azospirillum brasilense* با غلظت۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت منفرد در ترکیب با SA و SNP در سه غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر در شرایط دیم روی گندم رقم آذر ۲ در شرایط مزرعه‌ای پرداخته شد. تیمار گندم به‌صورت منفرد با باکتری مذکور به‌عنوان شاهد مثبت و تیمار بذر گندم با آب‌مقطر استریل به‌عنوان شاهد منفی در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار و در دو سال زراعی ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ روی برخی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گندم شامل طول شاخسار، طول ریشه، غلظت سدیم و نیتروژن بوته و درصد محتوای آب نسبی بوته در سه مرحله شامل هفته اول، دوم و سوم پس از ظهور اولین ساقه سنبله گندم بررسی گردید. نتایج نشان داد که تیمار منفرد *A. brasilense* منجر به افزایش تمام شاخص‌های مورفو- فیزیولوژیکی مورد بررسی در این تحقیق در گندم دیم رقم آذر ۲ شد. در تمامی تیمارهای باکتری با ترکیبات SA و SNP، افزایش محتوای شاخص‌های مورد بررسی در هفته اول تا سوم انجام شد. بیشترین محتوای ترکیبات مورد بررسی در غلظت‌های بالای SA و SNP از هفته اول تا سوم مورد بررسی مشاهده گردید. مقایسه تیمارها نشان داد که کاربرد *A. brasilense* به‌صورت منفرد و در ترکیب منفرد با SA و SNP منجر به بهبود شاخص‌های مذکور تحت شرایط دیم شد.

واژه‌های کلیدی: آذر ۲، آنزیم‌های دفاعی، پروتئین‌های محلول کل، کربوهیدرات محلول کل، سدیم، نیتروژن

مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه از جنس آزوسپریلیوم به‌عنوان یک مکمل و جایگزین مهم برای کودهای شیمیایی برای کشاورزی مدرن شناخته شده و معرفی شده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد این باکتری‌های بهبوددهنده رشد گیاهی (Plant Growth Promotion Rhizobacters, PGPRs) به‌صورت چشمگیری با ریشه‌های غلات و گیاهان علوفه‌ای مرتبط با آن‌ها هستند (Fibach-Paldi *et al*., 2012).

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۹/۲۳، بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲، پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۴، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول، رایانامه: sdfarashah@pnu.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. ۱۴۰۳ ©

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:
Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

دو گونه مهم از این جنس که در سراسر دنیا مطرح هستند شامل *Azospirillum lipoferum* و *A. brasilense* هستند. دو گونه مذکور خاصیت کلونیزاسیون روی گیاهان خانواده گرامینه شامل *Poaceae*، *Solanaceae*، *Fabaceae*، *Cucurbitaceae*، *Cactaceae*، *Chenopodiaceae*، *Convolvulaceae*، *Fagaceae* و *Brassicaceae* را داشته و رشد آن‌ها را به‌صورت چشمگیری افزایش می‌دهند. تحقیقات نشان داده است گونه‌های آزوسپریلیوم استفاده از چندین راهبرد مهم به‌طور هماهنگ برای افزایش تولید زیست‌توده گیاهان عمل می‌کنند. از جمله این راهبردها، افزایش انشعاب ریشه، تثبیت نیتروژن، افزایش جذب مواد مغذی معدنی، افزایش جذب آب در تنش‌های خشکی، تولید فیتوهورمون و محرک‌هایی مانند لیپوپلی‌ساکاریدها (Lipopolysaccharides (LPS)) و فلاژلین (Flagellin)، افزایش بیان ژن‌های دفاعی در گیاهان و درنهایت افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند. این راهبردها به گیاهان کمک می‌کنند تا نه تنها از منابع موجود، مانند دسترسی لحظه‌ای و پایدار به مواد مغذی در کودهای شیمیایی یا اصلاح‌کننده‌های آلی در مورد اکوسیستم‌های کشاورزی، داشته باشند، بلکه به آن‌ها اجازه می‌دهند تا با شرایط نامساعد محیطی مانند تنش خشکی سازگار شوند (Pelagio-Flores *et al*., 2025).

یافته‌های جدید نشان می‌دهد باکتری‌های جنس آزوسپریلیوم رشد ذرت (*Zea mays*)، کلزا (*Brassica napus*)، گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare*) و چغندرقند (*Beta vulgaris*) را در شرایط کمبود آب و دیم (که شرایط دیم منجر به کاهش جذب نیتروژن و سایر عناصر غذایی می‌شود)، از طریق تعدیل فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مرتبط با رشد بهتر گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی متنوع افزایش می‌دهد (Silva *et al.*, 2024).

تنش خشکی بالاترین اهمیت را در کاهش تناژ غلات در شرایط دیم دارد. گیاهان مکانیسم‌های محافظتی متعددی را به‌کار می‌گیرند که می‌توانند به‌سرعت گونه‌های فعال اکسیژن (Reactive oxygen species (ROS)) تولیدشده به‌دلیل تنش خشکی را سم‌زدایی کنند (Hussain *et al*., 2019). دو ترکیب مهم و شناخته‌شده که در فرایند سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد اکسیژن و ترکیبات سمی به گیاه کمک می‌کند شامل سالیسیلیک اسید (Salicylic acid, SA) (Tadvani *et al*., 2024) و سدیم‌نیتروپروساید (Sodium nitroprusside, SNP) است (Ali *et al*., 2017). از نظر دفاعی، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مذکور، به کمک آنزیم‌های دفاعی گیاه را از آسیب‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند. علاوه‌براین، SA با القاء پروتئین‌های سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide dismutases (SODs)) نقش قابل‌توجهی در سم‌زدایی بسیاری از اندامک‌های سلولی ایفا می‌کند، درحالی‌که SNP با القاء پراکسیداز (Peroxidases, PODs) و کاتالاز (Katalase (Gen-Name: CAT) ترکیبات اکسیدکننده بالقوه را خنثی می‌کنند که منجر به مقاومت گیاه در برابر تنش اسمزی و خشکی می‌شود (Salehzadeh *et al*., 2024; Dehghanpour Farashah *et al*., 2019; Bulegon *et al*., 2016). در شرایط تنش آبی گیاهان دچار کاهش سطح آنتی‌اکسیدانی شده که در نهایت ممکن است منجر به مهار فرایند فتوسنتز و بروز اختلال شدید عملکردهای سلولی شود (Rai *et al*., 2018). در میان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند کاروتنوئیدها، آسکوربیک اسیدها (ascorbic acid, AsA)، دهیدروکسی آسکوربیک اسیدها (Dehydroascorbic Acid, DHA) و فنول‌ها (Phenol) نقش مهمی در مکانیسم‌های دفاعی و همچنین در حفظ ویژگی‌های کلیدی سلولی دارند (Choudhary *et al*., 2024; Salehzadeh *et al*., 2023). با این حال، تحقیقات زیادی نشان داده است که آنتی‌اکسیدان‌ها با کمک SNP و SA آسیب‌های ناشی از تنش‌های اسمزی و آبی را کاهش می‌دهند و تحمل به تنش‌ها را در گونه‌های زراعی مانند ذرت (Ramadan *et al*., 2010)، برنج (*Oryza sativa* L.) (Mostofa *et al*., 2014) و کلزا (Sheikhaliyan *et al*., 2022) افزایش می‌دهند. همچنین برای غلبه بر اثرات مخرب تنش خشکی، مشخص شده است که گیاهان زراعی راهبردهایی مانند تولید پروتئین‌های دفاعی پرولین (Prolin)، گلیسین بتائین (Glycine betaine) و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

پروتئین‌های محلول کل (Total Soluble Protein, TSP) و متابولیت‌های ثانویه و کربوهیدرات‌ها را تولید می‌کنند (Barros *et al*., 2022). بررسی‌ها نشان می‌دهد که پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌های تولیدی منجر به تنظیم فشار اسمزی گیاه می‌شود و پتانسیل اسمزی را کاهش می‌دهد و از نظر بهبود تعادل رشد و افزایش تورژسانس سلولی و همچنین بهبود عملکردهای متابولیکی سلول، سودمند عمل می‌کنند (Mendez-Gomez *et al*., 2016). نتایج بررسی‌ها مشخص کرده است که در گیاه *Brassica napus* تحت شرایط تنش خشکی، مکانیسم‌های تحمل به تنش مانند تولید SA به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان منجر به افزایش تولید پروتئین و کربوهیدرات سلولی، مهار بیوسنتز اتیلن، تنظیم تعرق و فتوسنتز می‌شود و محلول‌پاشی با SNP منجر به افزایش طول ساقه و ریشه، زیست‌توده، رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای نیتروژن و همچنین بهبود عملکرد نهایی گیاه می‌گردد (Fukami *et al*., 2018).

با توجه به این‌که بخش گسترده‌ای از اراضی کشور با مشکل تنش خشکی (دیم) مواجه هستند و همچنین اهمیت نظام‌های کشاورزی پایدار و به‌کارگیری روش‌های مدیریتی آن نظیر کاربرد کودهای زیستی به‌منظور ارتقاء عملکرد کمی و کیفی محصولات، این آزمایش با هدف ارزیابی تلقیح یک گونه باکتری افزایش‌دهنده مهم رشد گیاهی (*A. brasilense*) (Ikram *et al*., 2025) و دو ترکیب مهم بهبوددهنده صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه (SA و SNP) روی طول شاخسار، طول ریشه، غلظت سدیم و نیتروژن بوته و درصد محتوای آب نسبی بوته در سه مرحله شامل هفته اول، دوم و سوم پس از ظهور اولین ساقه سنبله گندم دیم رقم آذر ۲ در شرایط تنش خشکی در منطقه گل‌تپه مراغه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در دو سال زارعی متوالی ۱٤۰۲-۱٤۰۳ و ۱٤۰۳-۱٤۰٤ در روستای گل‌تپه شهرستان مراغه (از توابع استان آذربایجان شرقی) اجرا شد. موقعیت جغرافیایی محل آزمایش با مختصات ″٤۹′۱۵°۳۷ شمالی و ″۳۲′۲۳°٤٦ شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱٦۸۰ متر (که منطقه از نظر اقلیمی دومارتن، جزء آب‌وهوای سرد معتدل طبقه‌بندی می‌شود) است. متوسط دمای منطقه ۱٤/٤ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالیانه ٤۸۰ میلی‌متر گزارش شده است. به‌منظور تعیین خصوصیات شیمیایی و شاخص‌های فیزیکوشیمیایی خاک، ۱۰ نمونه خاک مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری محل اجرای طرح به‌صورت تصادفی تهیه شد و در آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مؤسسه تحقیقات خاک و آب استان آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها و نتایج مربوط به تجزیه عناصر غذایی مهم (جدول ۱) و اسیدیته آب (pH = ۷/۹) نیز مؤسسه مذکور صورت گرفت.

این پژوهش به‌صورت آزمایش کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. بعد از انجام عملیات خاک‌ورزی و پیاده کردن نقشه طرح، اختصاص تیمارها به واحدهای آزمایشی به‌صورت کاملاً تصادفی اجرا گردید. مزرعه به ۳٦ کرت به ابعاد ۲×۱/۵ متر تقسیم شد و هر کرت شامل سه ردیف کشت با فاصله ۱۵ سانتی‌متر و یک خط نکاشت بود. میزان بذر مصرفی براساس تراکم ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه و بذرها به‌صورت دستی در عمق ۲ تا ٤ سانتی‌متری کشت شدند. فاکتور اصلی شامل رقم گندم آذر ۲ بود. فاکتور فرعی شامل پیش‌تیمار بذر به‌صورت محلول‌پاشی با ترکیبات SA و SNP در سه غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تلقیح با *A. brasilense* با غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر (تعیین غلظت با دستگاه نانودراپ مدل ND-one-C-W انجام شد). بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی مورد اندازه‌گیری در این تحقیق نیز در هفته اول، دوم و سوم بعد از ظهور اولین ساقه سنبله گندم انجام شد. در طول فصل، مراقبت‌های زراعی از جمله کوددهی براساس آزمون خاک، کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی، و استفاده از سموم شیمیایی برای کنترل بیماری‌ها و آفات انجام شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	رس	سیلت	شن	کربنات کلسیم	ماده آلی	نیتروژن	منگنز	روی	آهن	مس	پتاسیم	فسفر
	درصد					میلی‌گرم بر کیلوگرم						
رسی سیلتی	٤٥/۱۳	٤۲/۹	۱۱/٦	۲٤	۰/۹٦	۳٤٥	۱۲	۰/۵۸	٤/۱	۱/٦	۳۵۰	۱۹

تعیین میانگین وزن تر بوته: به‌منظور تعیین وزن تر اندام هوایی و ریشه، گیاهان هر تیمار مستقل در سه تکرار در ۷ dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بلافاصله بعد از ظهور ساقه سنبله با استفاده از ترازوی دیجیتالی دقیق) (Xiamen jadever: China اندازه‌گیری شد.

تعیین غلظت نیتروژن و سدیم بوته: برای آزادشدن و اندازه‌گیری عناصر معدنی از روش هضم توسط اسید و میکروویو (مدل MG40، شرکت Samsung، کره جنوبی) استفاده شد (Ravandeh *et al.*, 2011). بدین منظور، مقدار ۰/۵ گرم از بافت برگ خشک‌شده در معرض هوا با ۱۰ میلی‌لیتر نیتریک اسید مخلوط شد و ۱۰ دقیقه در میکروویو قرار گرفت. میزان ۵ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید غلیظ (۱۲ نرمال) به مخلوط یادشده اضافه و به مدت ۵ دقیقه دیگر در میکروویو گذاشته شد. پس از هضم، مخلوط حاصل با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد و حجم نهایی آن با آب‌مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. غلظت هر یک از عناصر نیتروژن و سدیم با دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی (مدل PU9100X، شرکت Philips، هلند) تعیین شد.

اندازه‌گیری ارتفاع ساقه و ریشه: ارتفاع اندام هوایی و ریشه با انتخاب تصادفی سه گیاه از هر تیمار و بریدن دقیق آنها از محل هیپوکوتیل انجام شد. اندازه‌گیری‌ها با خط‌کش دقیق انجام شد.

بررسی درصد محتوای آب نسبی بوته (RWC): برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ (RWC) ۷۲ ساعت بعد از دومین تیمار محلول‌پاشی از رابطه Barr و Weatherley (۱۹٦۲) استفاده شد.

$$RWC\ (\%) = ((FW - DW) / (TW - DW)) \times 100$$

اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول کل (TSS) برگ: برای سنجش محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل برگ از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. به این صورت که ۱ گرم از بافت برگ توزین شده و به کمک نیتروژن مایع در هاون چینی پودر و با ۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد به خوبی ساییده شد و سپس عصاره رویی به یک فالکن منتقل و باقی‌مانده برگی دوباره با ۲۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد ساییده و به فالکن اضافه گردید. سپس، در دستگاه سانتریفیوژ با ۳۷۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱٤ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس، ٤ میلی‌لیتر از عصاره الکلی را برداشته و به یک فالکن انتقال و ۵ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه‌شده (۲۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۵۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) به آن افزوده شد. جهت تشکیل فاز رنگی، لوله‌های فالکون به‌مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب ۱۰ درجه سلسیوس قرار داده شده و بعد از سردشدن ۲/۵ میلی‌لیتر از فاز رویی با ۲ میلی‌لیتر محلول واسنجی (۱ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ + ٪۳ میلی‌لیتر آنترون) را در کووت ریخته و میزان جذب در طول‌موج ٦۳۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ گزارش شد.

سنجش محتوای پروتئین‌های محلول کل (TSP) بوته: برای سنجش غلظت پروتئین‌های محلول کل از Bradford (۱۹۷٦) استفاده شد. مطابق این روش، ۰/۵ گرم نمونه برگی توزین و در هاون چینی قرار داده و هم‌زمان نیتروژن مایع اضافه گردید. در هنگام خرد کردن برگ، ۲۵ میلی‌گرم پلی‌وینیل پیرولیدون (PVP) به آن اضافه شده و هم‌زمان با بهم زدن محلول حاصل، ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم (با اسیدیته ۷) حاوی سدیم متابی‌سولفیت (۰/۰۲۱ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر بافر) به آن اضافه شد. محلول حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱٦۰۰۰ دور و در دمای ۵ درجه سلسیوس در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

سانتریفیوژ یخچال‌دار سانتریفیوژ شد. پس از پایان سانتریفیوژ، فاز رویی را که حاوی پروتئین‌های نمونه محلول نمونه بود، با نمونه‌بردار خارج گردید و۵۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۱۸۰ میکرولیتر گلیسرول ۵۰ درصد مخلوط گردید. برای سنجش پروتئین، ۳۰ میکرولیتر عصاره برگ را به‌همراه ۷۵۰ میکرولیتر محلول برادفورد مخلوط شده و پس از ۷ دقیقه، میزان جذب نوری محلول در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر UV- 2100 خوانده شد.

واکاوی آماری داده‌ها: آزمایش‌ها برای هر نمونه در سه تکرار مستقل انجام شده و داده‌های حاصل از تحقیق با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS با شماره بروزرسانی ۲۵ تجزیه و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بررسی شد.

نتایج

نتایج حاصل از اثر تیمار *A. brasilense*، SA و SNP روی درصد محتوای آب نسبی بوته و برخی شاخص‌های ریخت‌شناختی در گندم رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم در جدول ۲ خلاصه شده است. نتایج نشان داد، در تمامی تیمارهای باکتری با ترکیبات SA و SNP، شاهد افزایش محتوای شاخص‌های مورد بررسی در هفته اول تا سوم بودیم. بالاترین اثرات بهبودی تیمارها در غلظت‌های بالای SA و SNP از هفته اول تا سوم مورد بررسی مشاهده گردید. مقایسه تیمارها نشان داد که کاربرد *A. brasilense* به‌صورت منفرد و در ترکیب منفرد با SA و SNP منجر به بهبود شاخص‌های مذکور تحت شرایط دیم می‌شود.

بررسی شاخص درصد محتوای آب نسبی (RWC%) بین گروه‌ها برای تیمارهای SA و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به صورت ثابت) و SA (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی تغییرات درصد محتوای آب سلولی (RWC%) نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر در هر سه غلظت روی محتوای RWC% در سه زمان اندازه‌گیری شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت و شاهد منفی داشت. افزایش محتوای RWC% در تیمار باکتری+SA در تمامی غلظت‌های مورد بررسی به خصوص غلظت‌های بالا از هفته اول تا سوم مورد بررسی بلافاصله بعد از ظهور ساقه سنبله معنادار بود. همچنین افزایش محتوای RWC% در بذرهای صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* نسبت‌به گیاهان کنترل منفی از هفته اول تا سوم مشاهده شد به‌طوری‌که افزایش محتوای RWC% در این تیمار نسبت به تیمارهای مخلوط باکتری+ SA کمتر بود (جدول ۲ و ۳ و شکل ۱).

بررسی شاخص درصد محتوای آب نسبی (RWC%) بین گروه‌ها برای تیمارهای SNP و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به صورت ثابت) و SNP (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی تغییرات محتوای آنزیم RWC% نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار RWC% با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

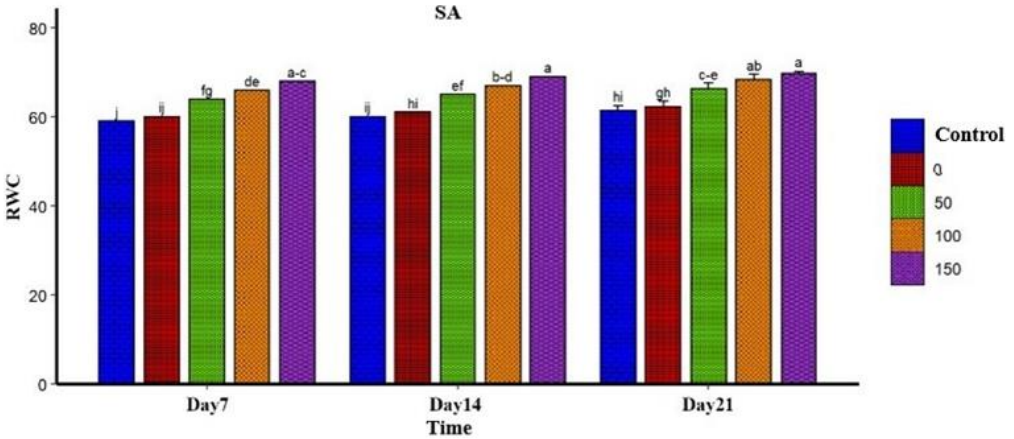
تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار *Azospirillum brasilense*، سالیسیلیک اسید و سدیم‌نیتروپروساید روی درصد محتوای آب نسبی بوته و برخی شاخص‌های ریخت‌شناختی در گندم رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	تیمارها و میانگین مربعات متغیرهای مورد بررسی					
		RWC% تیمار باکتری و SA	RWC% تیمار باکتری و SNP	وزن تر گیاه (گرم) تیمار باکتری و SA	وزن تر گیاه (گرم) تیمار باکتری و SNP	طول شاخسار (سانتی‌متر) تیمار باکتری و SA	طول شاخسار (سانتی‌متر) تیمار باکتری و SNP
زمان	۲	۳۶/۴۰ **	۸/۶۹ **	۵۱/۶۹ **	۱۲۱/۳۶ **	۱۶۳/۱۱ **	۱۶۵/۱۸ **
تکرار	۲	۰/۸۶	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۹۶
رقم ×SA	۸	۰/۱۶ **	۰/۱۶ **	۰/۱۷ **	۰/۲۱ **	۰/۲۳ *	۰/۱۵ *
A. brasilense × رقم	۸	۰/۱۸ **	۰/۱۷ **	۰/۱۸ **	۰/۲۲ **	۰/۲۲ *	۰/۱۷ *
خطا کل	۳۰	۱/۵	۱/۸	۱/۳	۰/۷	۰/۹	۱/۳
ضریب تغییرات ٪	-	۱۳/۸۴	۱۵/۹۴	۱۲/۸۵	۱۱/۴۸	۱۳/۹۵	۱۶/۳۲
زمان	۲	۰/۰۵۰	۰/۰۳۷ **	۰/۰۷۸ **	۰/۰۵۰ *	۰/۰۴۰ *	۰/۰۳۰ *
تکرار	۲	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۴
رقم ×SA	۸	۰/۱۷**	۰/۱۷**	۰/۱۶**	۰/۲۱**	۰/۲۳**	۰/۱۸**
A. brasilense × رقم	۸	۰/۱۶*	۰/۱۸*	۰/۱۶*	۰/۲۱*	۰/۲۴*	۰/۱۹*
خطا کل	۳۰	۱/۳	۱/۵	۱/۲	۰/۶	۰/۷	۱/۲
ضریب تغییرات ٪	-	۱۴/۸۶	۱۶/۹۴	۱۳/۸۷	۱۲/۴۵	۱۴/۹۳	۱۷/۳۶

****، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار هستند.**



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SA روی محتوای درصد RWC رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

میکروگرم بر میلی‌لیتر روی محتوای درصد RWC در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱۴dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت‌به گیاهان شاهد مثبت و شاهد منفی داشت. در تیمارهای *A. brasilense* (بدون SNP) نسبت‌به گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) افزایش معناداری در هفته اول تا سوم بررسی مشاهده نشد (جدول ٤ و ٥ و شکل ۲).

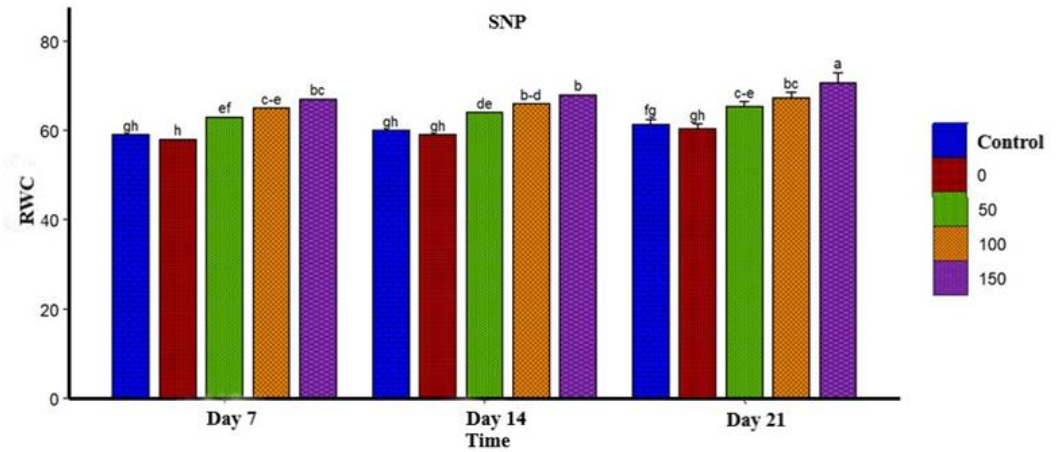
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار *Azospirillum brasilense*، سالیسیلیک اسید و سدیم‌نیتروپروساید روی درصد محتوای آب نسبی بوته و برخی شاخص‌های ریخت‌شناختی در گندم رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

تیمارها و میانگین مربعات متغیرهای مورد بررسی						
روزهای مورد بررسی بعد از تشکیل اولین ساقه سنبله/ غلظت‌ها (mg/ml)	RWC% تیمار باکتری و SA	RWC% تیمار باکتری و SNP	وزن تر گیاه (گرم) تیمار باکتری و SA	وزن تر گیاه (گرم) تیمار باکتری و SNP	طول شاخسار (سانتی‌متر) تیمار باکتری و SA	طول شاخسار (سانتی‌متر) تیمار باکتری و SNP
روز ۷ / شاهد	۵۹/۰۰۰۰ j	۵٤/۰۰۰۰ gh	۲۹/۲۷٦۷ i	۲۹/۲۷٦۷ k	۱٦/۳۰۰۰ g	۱٦/۳۰۰۰ k
روز ۷ / تیمار آب	٦۰/۰۰۰۰ ij	۵۸/۰۰۰۰ h	۳۱/۷٦۰۰ hi	۳۲/٤۹۰۰ i	۱۸/۲۰۰۰ f	۲۰/۵٦٦۷ i
روز ۷ /۵۰	٦٤/۰۰۰۰ fg	٦۳/۰۰۰۰ ef	۳۸/۰٦۳۳ ef	۳۹/٤۲٦۷ f	۲۲/٦۰۰۰ d	۲۳/۳۰۰۰ h
روز ۷ /۱۰۰	٦٦/۰۰۰۰ de	٦۵/۰۰۰۰ c-e	۳۹/۵٦۳۳ de	٤۰/٤۱۰۰ e	۲۳/۱۰۰۰ cd	۲٤/۲۰۰۰ g
روز ۷ /۱۵۰	٦۸/۰۰۰۰ a-c	٦۷/۰۰۰۰ bc	٤۲/۱٤۰۰ cd	٤۳/۱٤۰۰ d	۲۳/۸۰۰۰ cd	۲۵/٦۰۰۰ f
روز ۱٤ / شاهد	٦۰/۰۰۰۰ ij	٦۰/۰۰۰۰ gh	۳۲/۲۱۰۰ hi	۳۱/۲۱۰۰ j	۱۹/۳۰۰۰ ef	۱۹/۳۰۰۰ j
روز ۱٤ / تیمار آب	٦۱/۰۰۰۰ hi	۵۹/۰۰۰۰ gh	۳۵/۳٦۰۰ g	۳۷/٦۵۰۰ h	۲۳/۲۰۰۰ cd	۲۵/٦۰۰۰ f
روز ۱٤ /۵۰	٦۵/۰۰۰۰ ef	٦٤/۰۰۰۰ de	٤٤/۳۱٦۷ bc	٤٦/۳٦۰۰ c	۲۸/٦۰۰۰ b	۲۹/۵۰۰۰ e
روز ۱٤ /۱۰۰	٦۷/۰۰۰۰ b-d	٦٦/۰۰۰۰ b-d	٤۵/۳۰٦۷ ab	٤٦/٤۷۰۰ c	۲۹/۱۰۰۰ b	۳۰/۲۰۰۰ de
روز ۱٤ /۱۵۰	٦۹/۰۰۰۰ a	٦۸/۰۰۰۰ b	٤٦/۳٦۰۰ ab	٤۷/۳٦۰۰ b	۲۹/۸۰۰۰ ab	۳۱/٦۰۰۰ b
روز ۲۱/ شاهد	٦۱/۳۳۳۳ hi	٦۱/۳۳۳۳ fg	۳۲/۲۱۰۰ h	۳۲/۲۱۰۰ i	۲۰/۲۰۰۰ e	۲۰/۲۰۰۰ i
روز ۲۱ / تیمار آب	٦۲/۳۳۳۳ gh	٦۰/۳۳۳۳ gh	۳٦/۳٦۰۰ fg	۳۸/٦۵۰۰ g	۲٤/۲۰۰۰ c	۲٦/۲٦٦۷ f
روز ۲۱ /۵۰	٦٦/۳۳۳۳ ce	٦۵/۳۳۳۳ ce	٤۵/۳۱٦۷ ab	٤٦/۹٤۰۰ bc	۲۹/٦۰۰۰ ab	۳۰/۵۰۰۰ cd
روز ۲۱ /۱۰۰	٦۸/۳۳۳۳ ab	٦۷/۳۳۳۳ bc	٤٦/۳۰٦۷ ab	٤٦/۹۳۰۰ bc	۲۹/۷٦٦۷ ab	۳۱/۲۰۰۰ bc
روز ۲۱/۱۵۰	٦۹/٦٦٦۷ a	٦۸/٦٦٦۷ a	٤۷/۳٦۰۰ a	٤۸/۳٦۰۰ a	۳۰/۸۰۰۰ a	۳۲/٦۰۰۰ a

حروف میانگین‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار و عدم اختلاف معنی‌دار در زمان تیمارها نسبت به گیاهان کنترل به روش LSD هستند.



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SNP روی محتوای RWC رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

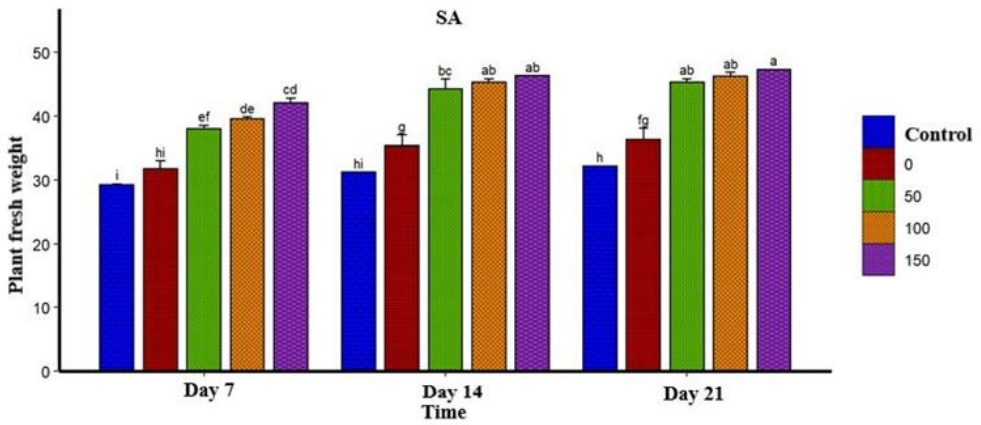
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار *Azospirillum brasilense*، سالیسیلیک اسید و سدیم‌نیتروپروساید بر محتوای سدیم و نیتروژن کل بوته و برخی شاخص‌های ریخت‌شناختی در گندم رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	تیمارها و میانگین مربعات متغیرهای مورد بررسی					
		طول ریشه (سانتی‌متر) تیمار باکتری و SA	طول ریشه (سانتی‌متر) تیمار باکتری و SNP	سدیم کل بوته (ug/mL) تیمار باکتری و SA	سدیم کل بوته (ug/mL) تیمار باکتری و SNP	نیتروژن کل بوته (ug/mL) تیمار باکتری و SA	**نیتروژن کل بوته (ug/mL) تیمار باکتری و SA**
زمان	۲	٦/٨٠ **	٦/٠٦ **	١٢/٢٠ **	٦/٦٨ **	٨/٨٦ **	**٧/١٦ ** **
تکرار	۲	٠/٨١	٠/٨٤	٠/٦٥	٠/٦٨	٠/٨٦	**٠/٨٤**
رقم ×SA	۸	٠/٣٣	٠/٣٥	٢/٩٩	٣/٣٩	١/٧٩	**١/٥٩**
A. brasilense × رقم	۸	٠/٢٢ **	٠/٢٤ **	٠/٢٧ *	٠/٢٨ *	٠/٢٤ **	**٠/٢٥ ** **
خطا کل	۳۰	١/٥	١/٣	٠/٧	٠/٩	١/٣	**١/٨**
ضریب تغییرات ٪	-	١٣/٨٤	١٢/٨٥	١١/٤٨	١٣/٩٥	١٦/٣٢	**١٥/٩٤**
زمان	۲	٥/٨٠	٥/٠٦	١٠/٢٠	٨/٦٨	٧/٨٦	**٨/٦٨**
تکرار	۲	٠/٨٧	٠/٨٢	٠/٧٨	٠/٨٣	٠/٨٤	**٠/٨٨**
رقم ×SA	۸	٠/١٤**	٠/١٥ *	٠/٣١**	٠/٢١**	٠/١٩**	**٠/١٨****
A. brasilense × رقم	۸	٠/١٨*	٠/١٧*	٠/٣١*	٠/٣٤*	٠/١٩**	**٠/١٨****
خطا کل	۳۰	١/٦	١/٣	٠/٨	٠/٩	١/٤	**١/٧**
ضریب تغییرات ٪	-	١٥/٨٦	١٥/٨٧	١٧/٤٥	١٨/٧٥	١٨/٣٦	**١٩/٩٤**

****، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار هستند.**



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SA روی محتوای PFW رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

بررسی شاخص وزن تر گیاه (Plant fresh weight/ PFW) برای تیمار SA و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت ثابت) و SA (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار *Azospirillum brasilense*، سالیسیلیک اسید و سدیم‌نیتروپروساید روی محتوای سدیم و نیتروژن بوته و همچنین، برخی شاخص‌های ریخت‌شناختی در گندم رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

تیمارها و میانگین مربعات متغیرهای مورد بررسی						
روزهای مورد بررسی بعد از تشکیل اولین ساقه سنبله/ غلظت‌ها (mg/ml)	طول ریشه (سانتی‌متر) تیمار باکتری و SA	طول ریشه (سانتی‌متر) تیمار باکتری و SNP	سدیم کل بوته (ug/mL) تیمار باکتری و SA	سدیم کل بوته (ug/mL) تیمار باکتری و SNP	نیتروژن کل بوته (ug/mL) تیمار باکتری و SA	**نیتروژن کل بوته (ug/mL) تیمار باکتری و SNP**
روز ۷ / شاهد	٤/۱۰۰۰ j	٤/۱۰۰۰ j	۲۵/۰۰۰۰ f	۲۵/۰۰۰۰ f	۲٤/۰۰۰۰ g	**۲۵/۰۰۰۰ l**
روز ۷ / تیمار آب	٤/۳۰۰۰ j	۵/۳۰۰۰ h	۲۵/۳۳۳۳ f	۲۶/۰۰۰۰ ef	۲۶/۰۰۰۰ f	**۲۷/۰۰۰۰ ij**
روز ۷ / ۵۰	٦/۲۰۰۰ fg	٦/۵۰۰۰ f	۲۷/۰۰۰۰ c-f	۲۷/٦٦٦۷ c-e	۲۸/۰۰۰۰ de	**۲۹/۰۰۰۰ gh**
روز ۷ / ۱۰۰	٦/۸۰۰۰ ef	۷/۳۰۰۰ e	۲۸/۰۰۰۰ a-d	۲۸/۳۳۳۳ b-d	۲۹/۰۰۰۰ b-d	**۳۱/۰۰۰۰ d-f**
روز ۷ / ۱۵۰	۷/۱۰۰۰ de	۷/۸۰۰۰ d	۲۸/٦٦٦۷ a-c	۲۹/۰۰۰۰ a-d	۳۰/۰۰۰۰ ab	**۳۳/۰۰۰۰ bc**
روز ۱٤ / شاهد	٤/۵۰۰۰ ij	٤/۵۰۰۰ i	۲۵/۳۳۳۳ f	۲۵/۳۳٦۹ a-d	۲٤/٦٦٦۷ g	**۲٤/٦٦٦۷ kl**
روز ۱٤ / تیمار آب	۵/۳۰۰۰ hi	۵/۸۰۰۰ g	۲۵/٦٦٦۷ ef	۲۷/۰۰۰۰ f	۲٦/۳۳۳۳ f	**۲۷/٦٦٦۷ hi**
روز ۱٤/ ۵۰	۷/۲۰۰۰ c-e	۷/۸۰۰۰ d	۲۷/٦٦٦۷ b-c	۲۹/۰۰۰۰ d-f	۲۸/٦٦٦۷ cd	**۲۹/٦٦٦۷ fg**
روز ۱٤/ ۱۰۰	۷/۸۰۰۰ b-d	۸/۱۰۰۰ cd	۲۸/٦٦٦۷ a-c	۲۹/۳۳۳۳ a-d	۲۹/٦٦٦۷ a-c	**۳۱/٦٦٦۷ c-e**
روز ۱٤/ ۱۵۰	۸/۲۰۰۰ ab	۸/۳۰۰۰ bc	۲۹/۳۰۰۰ ab	۳۰/۳۳۳۳ a-c	۳۰/٦٦٦۷ a	**۳۳/٦٦٦۷ ab**
روز ۲۱/ شاهد	۵/۵۰۰۰ gh	۵/۵۰۰۰ gh	۲٦/۰۰۰۰ d-f	۲٦/۰۰۰۰ ab	۲٦/۰۰۰۰ f	**۲٦/۰۰۰۰ jk**
روز ۲۱ / تیمار آب	۵/۹٦٦۷ f-h	٦/۵۳۳۳ bc	۲٦/۳۳۳۳ d-f	۲۸/٦٦٦۷ ef	۲۷/۰۰۰۰ ef	**۲۸/۰۰۰۰ hi**
روز ۲۱/ ۵۰	۷/۸۰۰۰ b-d	۸/۲۰۰۰ gh	۲۸/٦٦٦۷ a-c	۳۰/۰۰۰۰ ce	۲۹/۳۳۳۳ bc	**۳۰/٦٦٦۷ ef**
روز ۲۱/ ۱۰۰	٤/۱۰۰۰ ab	۸/٦۰۰۰ f	۲۹/۳۳۳۳ ab	۳۰/۳۳۳۳ ab	۳۰/٦٦٦۷ a	**۳۲/۳۳۳۳ b-d**
روز ۱۵۰/۲۱	٤/۳۰۰۰ a	۸/۹۰۰۰ c	۳۰/۰۰۰۰ a	۳۲/۰۰۰۰ ac	۳۱/٦٦٦۷ ab	**۳٤/٦٦٦۷ a**

حروف میانگین‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار و عدم اختلاف معنی‌دار در زمان تیمارها نسبت به گیاهان کنترل به روش LSD هستند.

تغییرات محتوای آنزیم PFW نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی محتوای PFW در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت‌به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. افزایش محتوای PFW در تیمار باکتری+SA در هفته اول مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی، گیاهان تیمارشده صرفاً با باکتری و بین خود تیمارهای SA معنادار بود و در تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر بین خود تیمارهای دارای SA معنادار نشد. در تمام تیمارهای منفرد *A. brasilense* افزایش معناداری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

در PFW نسبت به گیاهان شاهد منفی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مشاهده شد (جدول ۲ و ۳ و شکل ۳).

بررسی شاخص وزن تر گیاه (Plant fresh weight/ PFW) برای تیمار SNP و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت ثابت) و SNP (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی شاخص PFW نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به صورت زیر است:

تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی شاخص PFW در سه زمان اندازه‌گیری شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت‌به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. افزایش محتوای PFW در تیمار باکتری+SNP در هفته اول تا سوم مورد بررسی نسبت به خود تیمارهای دارای SA معنادار شد. در تمام تیمارهای منفرد *A. brasilense* افزایش معناداری در PFW نسبت به گیاهان شاهد منفی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بود (جدول ۲ و ۳ و شکل ٤).

بررسی شاخص طول شاخسار (از هیپوکوتیل تا انتهای گیاه) بین گروه‌ها در تیمار SA و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به صورت ثابت) و SA (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی شاخص طول گیاه نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

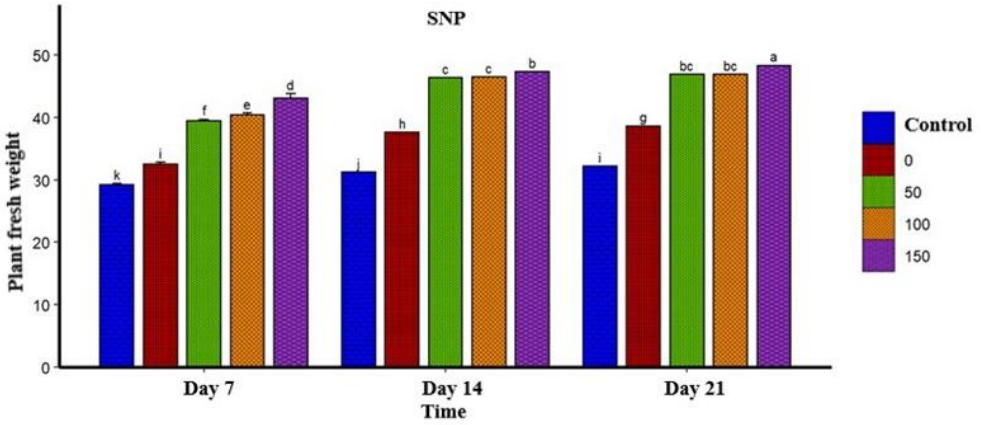
تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکرو-گرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی شاخص طول گیاه در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. افزایش طول گیاه در تیمار باکتری+ SA در هفته اول مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی، گیاهان تیمارشده صرفاً با باکتری و بین خود تیمارهای SA معنادار بود. در تمام تیمارهای منفرد *A. brasilense* افزایش معناداری در افزایش طول گیاه نسبت به گیاهان شاهد منفی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد رخ داد (جدول ۲ و ۳ و شکل ۵).

بررسی شاخص طول شاخسار (از هیپوکوتیل تا انتهای گیاه) بین گروه‌ها در تیمار SNP و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به صورت ثابت) و SNP (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی شاخص طول گیاه نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

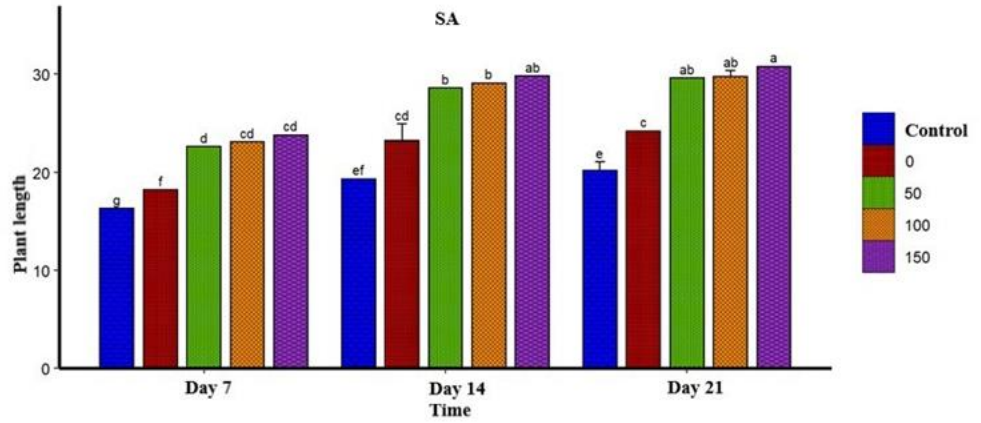
تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکرو-گرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی شاخص طول گیاه در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. افزایش طول گیاه در تیمار باکتری+SNP در هفته اول مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی، گیاهان تیمارشده صرفاً با باکتری و بین خود تیمارهای SNP معنادار بود. در تمام تیمارهای منفرد *A. brasilense* افزایش معناداری در افزایش طول گیاه نسبت به گیاهان شاهد منفی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

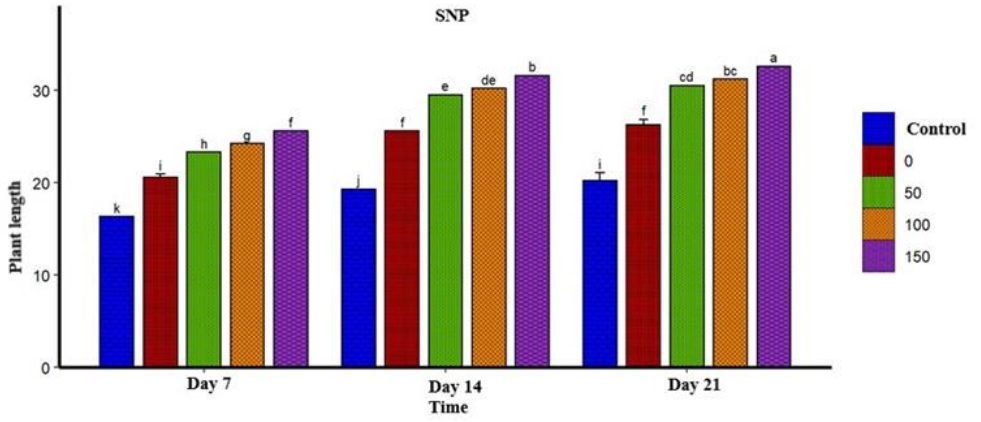
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]



شکل ٤- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SNP روی محتوای PFW رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SA روی طول شاخسار گیاه رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم



شکل ٦- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SNP روی شاخص طول شاخسار رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

بررسی شاخص طول ریشه (Root length) بین گروه‌ها (جدول ۲ و ۳ و شکل ٦).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

در تیمار SA و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت ثابت) و SA (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی شاخص طول ریشه نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

تاثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی شاخص طول ریشه در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. افزایش طول ریشه در تیمار باکتری+ SA در هفته اول مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی، گیاهان تیمارشده صرفاً با باکتری و بین خود تیمارهای SA معنادار بود. در تمام تیمارهای منفرد *A. brasilense* افزایش معناداری در افزایش طول ریشه نسبت به گیاهان شاهد منفی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد دیده شد (جدول ٤ و ۵ و شکل ۷).

بررسی شاخص طول ریشه (**Root length**) **بین گروه‌ها در تیمار SNP و Az:** تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت ثابت) و SNP (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی شاخص طول ریشه نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

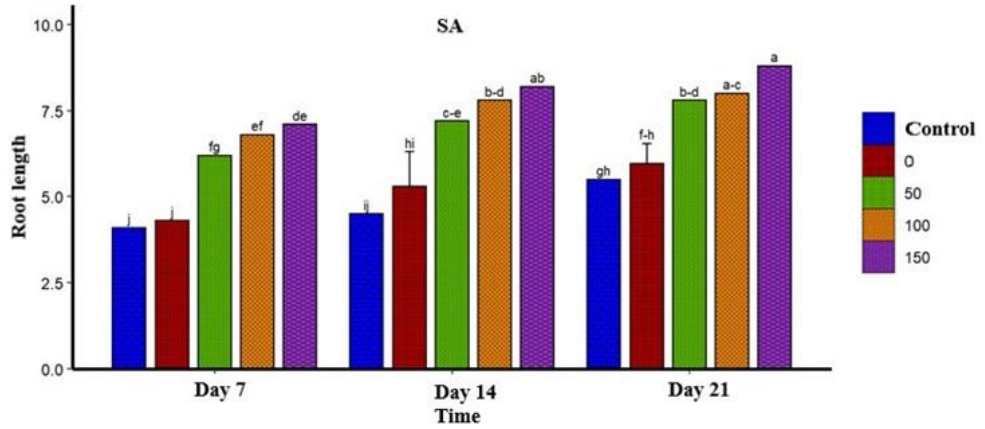
تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی شاخص طول ریشه در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت‌به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. افزایش طول ریشه در تیمار باکتری+SNP در هفته اول مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی، گیاهان تیمارشده صرفاً با باکتری و بین خود تیمارهای SNP معنادار بود. در تمام تیمارهای منفرد *A. brasilense* افزایش معناداری در افزایش طول ریشه نسبت به گیاهان شاهد منفی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مشاهده شد (جدول ٤ و ۵ و شکل ۸).

بررسی محتوای سدیم بوته بین گروه‌ها در تیمار SA و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت ثابت) و SA (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی محتوای سدیم بوته نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

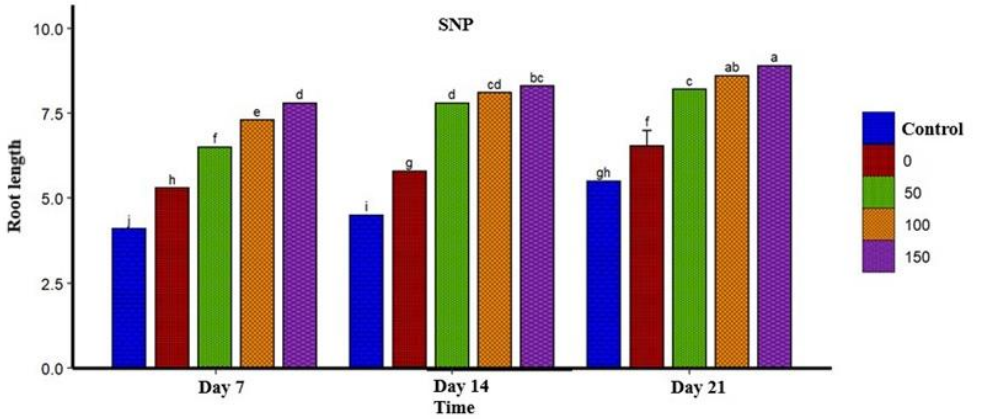
تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی محتوای سدیم بوته در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. افزایش محتوای سدیم بوته در تیمار باکتری و SA در هفته اول مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی، گیاهان تیمارشده صرفاً با باکتری و بین خود تیمارهای SA معنادار بود. در تمام تیمارهای منفرد *A. brasilense* افزایش معناداری در محتوای سدیم بوته نسبت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

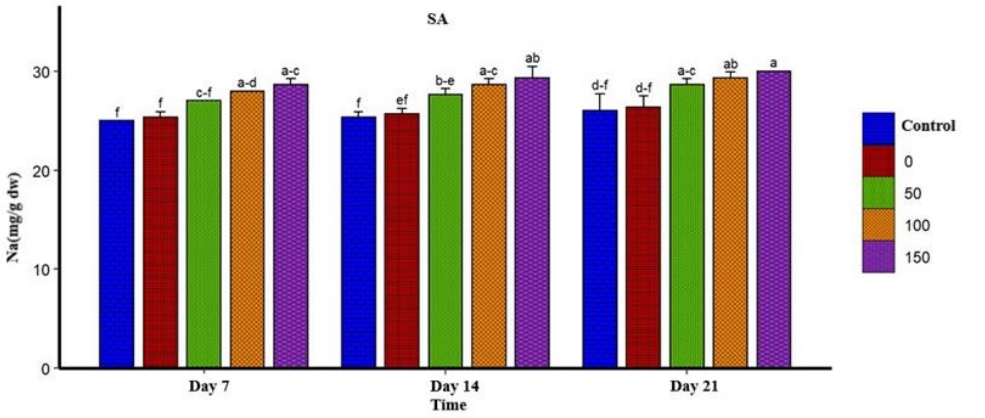
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش تیمار Az و SA روی طول ریشه رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم



شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش تیمار Az و SNP روی طول ریشه رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم.



شکل ۹- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش تیمار Az و SA روی محتوای سدیم رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

به گیاهان شاهد منفی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بود (جدول ٤ و ۵ و شکل ۹).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

بررسی محتوای سدیم بوته بین گروه‌ها در تیمار SNP و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت ثابت) و SNP (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی محتوای سدیم بوته نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی محتوای سدیم بوته در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. افزایش محتوای سدیم بوته در تیمار باکتری و SNP در هفته اول مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی، گیاهان تیمارشده صرفاً با باکتری و بین خود تیمارهای SNP معنادار بود. در تمام تیمارهای منفرد *A. brasilense* افزایش معناداری در محتوای سدیم بوته نسبت به گیاهان شاهد منفی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد (جدول ٤ و ۵ و شکل ۱۰).

بررسی محتوای نیتروژن بوته بین گروه‌ها در تیمار SA و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت ثابت) و SA (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی محتوای نیتروژن بوته نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

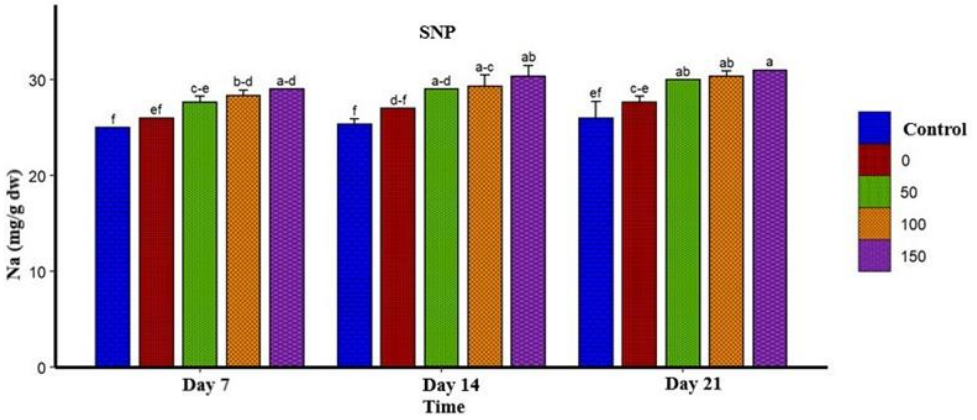
تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی محتوای نیتروژن بوته در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. افزایش محتوای نیتروژن بوته در تیمار باکتری و SA در هفته اول مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی، گیاهان تیمارشده صرفا با باکتری و بین خود تیمارهای SA معنادار بود. در تمام تیمارهای منفرد *A. brasilense* افزایش معناداری در محتوای نیتروژن بوته نسبت به گیاهان شاهد منفی در سطح احتمال ۱ و ۵ دیده شد (جدول ٤ و ۵ و شکل ۱۱).

بررسی محتوای نیتروژن بوته بین گروه‌ها در تیمار SNP و Az: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت ثابت) و SNP (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی محتوای نیتروژن بوته نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

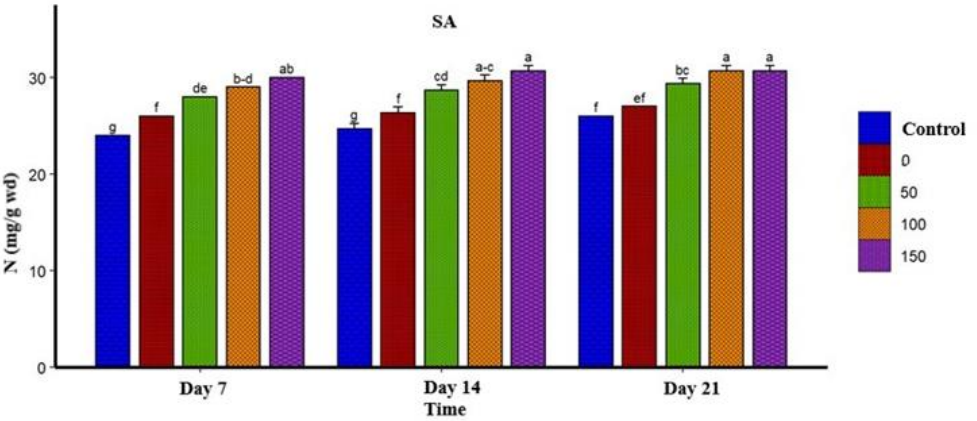
تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی محتوای نیتروژن بوته در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. افزایش محتوای نیتروژن بوته در تیمار باکتری و SNP در هفته اول مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی، گیاهان تیمارشده صرفاً با باکتری و بین خود تیمارهای SNP معنادار بود. در تمام تیمارهای منفرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

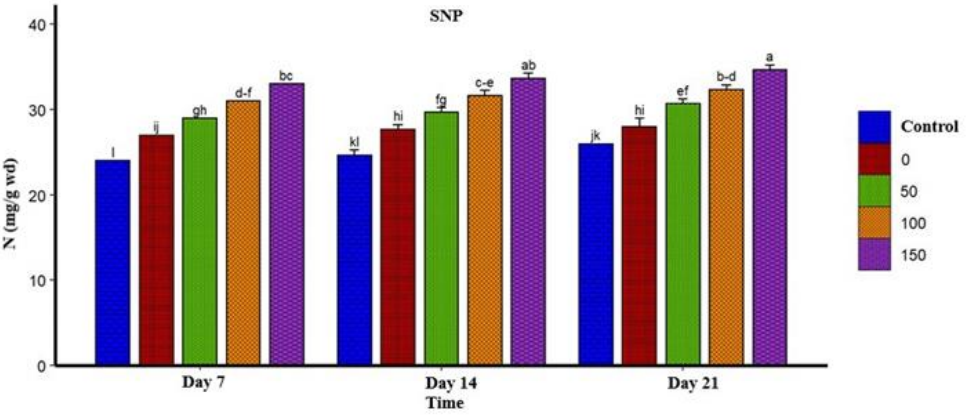
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]



شکل ۱۰- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SNP روی محتوای سدیم رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم



شکل ۱۱- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SA روی محتوای نیتروژن رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم



شکل ۱۲- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SNP روی محتوای نیتروژن رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

A. brasilense افزایش معناداری در محتوای نیتروژن بوته نسبت به گیاهان شاهد منفی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

مشاهده شد (جدول ٤ و ٥ و شکل ١٢).

بررسی پارامتر محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل (mg/g fw) در تیمار Az و SA: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر به صورت ثابت) و SA (در غلظت ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی تغییرات محتوای TSS نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ٧dpi، ١٤dpi و ٢١dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ٥ و ١ درصد به‌صورت زیر است:

تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی محتوای TSS در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (٧dpi، ١٤dpi و ٢١dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفا تیمارشده با *A. brasilense* داشت. در گیاهان صرفاً پیش‌تیمارشده با باکتری افزایش محتوای TSS در هفته دوم و سوم مورد بررسی نسبت به تیمارهای شاهد مثبت و منفی معنادار شد. همچنین افزایش محتوای TSS در تیمار باکتری و SA در غلظت ٥٠ و ١٠٠ میکروگرم بر میلی لیتر در هفته اول، دوم و سوم معنادار ولی در غلظت ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر در بین خود تیمارهای دارای SA معنادار نشد (جدول ٦ و ٧ و شکل ١٣).

بررسی پارامتر محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل (mg/g fw) در تیمار Az وSNP: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر به صورت ثابت) و SNP (در غلظت ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی تغییرات محتوای TSS کل نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ٧dpi، ١٤dpi و ٢١dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ٥ و ١ درصد به‌صورت زیر است:

تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی TSS در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (٧dpi، ١٤dpi و ٢١dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. در غلظت‌های ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر SNP بین خود تیمارهای دارای این ترکیب افزایش محتوای TSS در هفته دوم و سوم مشاهده نشد. در گیاهان صرفاً تیمارشده با آزوسپریلیوم نیز افزایش معنادار محتوای TSS در هفته دوم و سوم نسبت به گیاهان شاهد مثبت و منفی مشاهده شد. در گیاهان صرفاً پیش‌تیمارشده با باکتری افزایش محتوای TSS در هفته دوم و سوم مورد بررسی نسبت به تیمارهای شاهد مثبت و منفی معنادار شد (جدول ٦ و ٧ و شکل ١٤).

بررسی پارامتر محتوای پروتئین محلول کل (mg/g fw) در تیمار Az و SA: تأثیر تیمارهای *A. brasilense* (در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت ثابت) و SA (در غلظت ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی تغییرات محتوای TSP کل نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ٧dpi، ١٤dpi و ٢١dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ٥ و ١ درصد به‌صورت زیر است:

تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ٥٠٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SA با غلظت ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی TSP در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (٧dpi، ١٤dpi و ٢١dpi) تأثیر معناداری نسبت به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense*

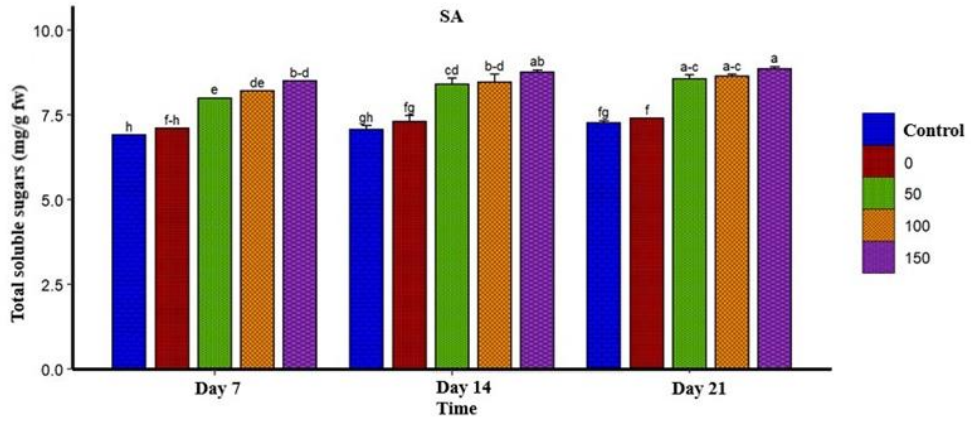
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار *Azospirillum brasilense*، سالیسیلیک اسید و سدیم‌نیتروپروساید روی محتوای کربوهیدرات و پروتئین محلول کل (میکروگرم بر گرم) در گندم رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	تیمارها و میانگین مربعات متغیرهای مورد بررسی			
		کربوهیدرات کل بوته (میکروگرم بر گرم) تیمار باکتری و SA	کربوهیدرات کل بوته (میکروگرم بر گرم) تیمار باکتری و SNP	پروتئین کل بوته (میکروگرم بر گرم) تیمار باکتری و SA	پروتئین کل بوته (میکروگرم بر گرم) تیمار باکتری و SNP
زمان	۲	٦/۳٤ **	٦/۳۲ **	۸/٤۰ **	۸/۳۳ **
تکرار	۲	۰/۷۱	۰/۷٤	۰/٥٦	۰/٦
رقم × SA	۸	٤/۹۰	٤/۳٥	۳/٤٤	۳/۳۹
رقم × *A. brasilense*	۸	۰/۳۹ **	۰/۳٤ **	۰/۳۷ *	۰/۳۸ *
خطا کل	۳۰	۰/٦	۰/۸	۰/۷	۰/۹
ضریب تغییرات ٪	–	۱۱/۸٤	۱۲/۸٥	۱۱/٤۸	۱۲/۹٥
زمان	۲	٥/۱٤ **	٥/٤۲ **	٦/۱۸ **	٦/۱۳ **
تکرار	۲	۰/٦٤	۰/٦۷	۰/۷٤	۰/۷۳
رقم × SA	۸	۰/۱۸**	۰/۱٦ *	۰/۲۱**	۰/۲۷**
رقم × *A. brasilense*	۸	۰/۱٥*	۰/۱٤*	۰/۲۱*	۰/۲٤*
خطا کل	۳۰	۱/۷	۱/٤	۰/۷	۰/۹
ضریب تغییرات ٪	–	۱٤/۸٦	۱۳/۸۷	۱٦/٤٥	۱۷/۷٥

****، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار هستند.**



شکل ۱۳- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش تیمار Az و SA روی محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

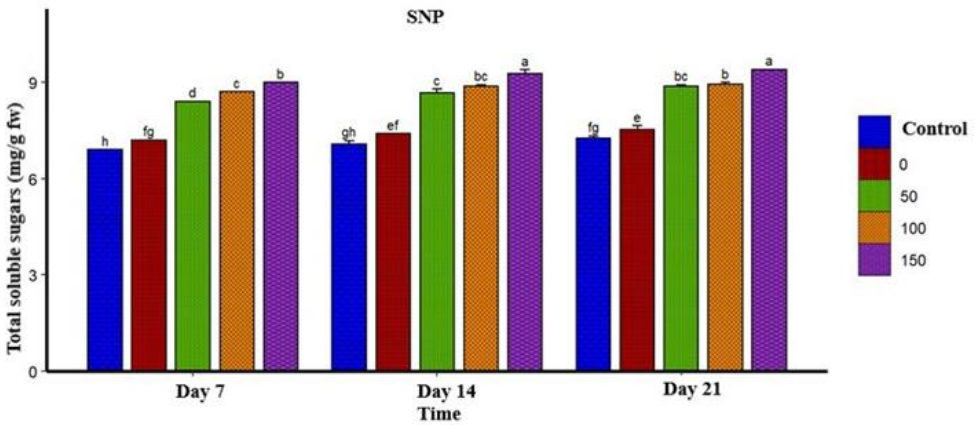
داشت. در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر SA بین خود تیمارهای دارای این ترکیب افزایش محتوای TSP در هفته سوم مشاهده نشد. در گیاهان صرفاً تیمارشده با آزوسپریلیوم نیز افزایش معنادار محتوای TSP در هفته اول تا سوم نسبت به گیاهان شاهد مثبت و منفی مشاهده گردید ولی افزایش معنادار محتوای TSP در هفته سوم نسبت به هفته دوم مورد بررسی نسبت به تیمارهای مشابه معنادار نشد (جدول ٦ و ۷ و شکل ۱۵).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار *Azospirillum brasilense*، سالیسیلیک اسید و سدیم‌نیتروپروساید روی محتوای کربوهیدرات و پروتئین محلول کل (میکروگرم بر گرم) در گندم رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

تیمارها و میانگین مربعات متغیرهای مورد بررسی				
روزهای مورد بررسی بعد از تشکیل اولین ساقه سنبله/ غلظت‌ها (mg/ml)	کربوهیدرات کل بوته (میکروگرم بر گرم) تیمار باکتری و SA	کربوهیدرات کل بوته (میکروگرم بر گرم) تیمار باکتری و SNP	پروتئین کل بوته (میکروگرم بر گرم) تیمار باکتری و SA	پروتئین کل بوته (میکروگرم بر گرم) تیمار باکتری و SNP
روز ۷ / شاهد	۰/۹۰۰۰ **	۰/۱۸۰۰**	۰/۱۹۰۰**	۰/۱۹۰۰**
روز ۷ / تیمار آب	۰/۲۳۸۰**	۰/۳۷٤۰**	۰/۲٤٥۰**	۰/۳٤۹٥**
روز ۷ /۵۰	۰/۵۳۸۰**	۰/۵۹٤۰**	۰/۳٤٥۰**	۰/۳۹۹٥**
روز ۷ /۱۰۰	۰/٦۳۸۰**	۰/٦۲٤۰**	۰/٤٤٥۰**	۰/٤۳۹٥**
روز ۷ /۱۵۰	۰/۷۸۸۰**	۰/۷۷٤۰**	۰/٤۸٥۰**	۰/٤۷۹٥**
روز ۱٤ / شاهد	۰/۱۲۰۰ **	۰/۱۳۰۰**	۰/۱۹۰۰**	۰/۲۰۰۰**
روز ۱٤ / تیمار آب	۰/۳۲۸۰**	۰/٤۱٤۰**	۰/۲۹٥۰**	۰/۳۹۹٥**
روز ۱٤/ ۵۰	۰/۵۱۸۰**	۰/٦۱٤۰**	۰/۳۹٥۰**	۰/٤٥۹٥**
روز ۱٤/ ۱۰۰	۰/٦۸۸۰**	۰/٦۸٤۰**	۰/٤۸٥۰**	۰/٤۸۹٥**
روز ۱٤/ ۱۵۰	۰/۸۱۸۰**	۰/۸۱٤۰**	۰/۵۳٥۰**	۰/۵۱۹٥**
روز ۲۱/ شاهد	۰/۱۲۰۰ **	۰/۱۳۰۰**	۰/۱۹۰۰**	۰/۲۰۰۰**
روز ۲۱ / تیمار آب	۰/۳۲۸۰**	۰/٤۱٤۰**	۰/۲۹٥۰**	۰/۳۹۹٥**
روز ۲۱/ ۵۰	۰/۵۱۸۰**	۰/٦۱٤۰**	۰/۳۹٥۰**	۰/٤٥۹٥**
روز ۲۱/ ۱۰۰	۰/٦۸۸۰**	۰/٦۸٤۰**	۰/٤۸٥۰**	۰/٤۸۹٥**
روز ۲۱/۱۵۰	۰/۸۱۸۰**	۰/۸۱٤۰**	۰/۵۳٥۰**	۰/۵۱۹٥**

علامت‌های میانگین‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار و عدم اختلاف معنی‌دار در زمان تیمارها نسبت‌به گیاهان کنترل به روش LSD هستند.

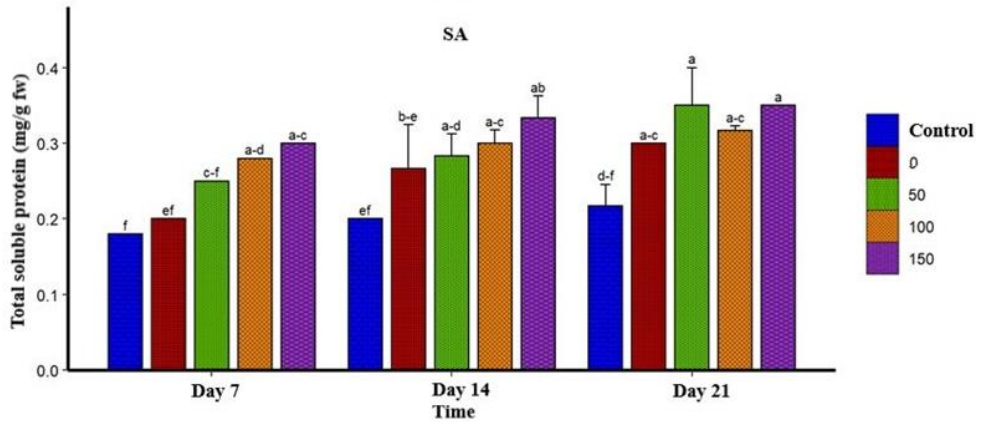


شکل ۱٤- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش تیمار Az و SNP روی محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

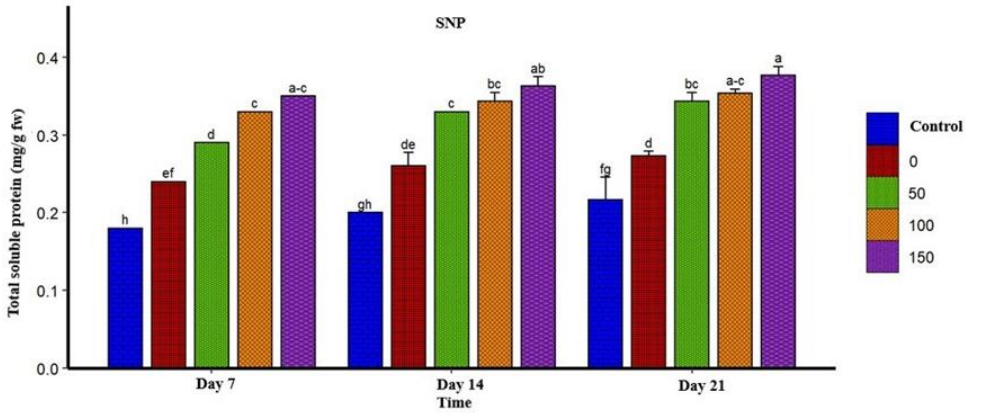
بررسی شاخص محتوای پروتئین محلول کل (mg/g fw) **بین گروه‌ها برای SNP** و **Az**: تأثیر تیمارهای *A. brasilense*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]



شکل ۱۵- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SA روی محتوای پروتئین محلول کل رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم



شکل ۱٦- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پیش‌تیمار Az و SNP روی محتوای پروتئین محلول کل رقم آذر ۲ تحت شرایط دیم

(در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌صورت ثابت) و SNP (در غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) روی تغییرات محتوای TSP کل نسبت به گیاهان شاهد مثبت (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، گیاهان شاهد منفی (تیمارشده با آب‌مقطر استریل) و بین خود تیمارها (تیمارشده با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در ۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi بعد از ظهور اولین ساقه سنبله در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به‌صورت زیر است:

تأثیر پیش‌تیمار بذر با *A. brasilense* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و تیمار SNP با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر روی TSP در سه زمان اندازه‌گیری‌شده (۷dpi، ۱٤dpi و ۲۱dpi) تأثیر معناداری نسبت‌به گیاهان شاهد مثبت، شاهد منفی و گیاهان صرفاً تیمارشده با *A. brasilense* داشت. در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر SNP بین خود تیمارهای دارای این ترکیب افزایش محتوای TSP در هفته سوم مشاهده نشد. در گیاهان صرفاً تیمارشده با آزوسپریلیوم نیز افزایش معنادار محتوای TSP در هفته اول تا سوم نسبت به گیاهان شاهد مثبت و منفی مشاهده گردید ولی افزایش معنادار محتوای TSP در هفته سوم نسبت به هفته دوم مورد بررسی نسبت به تیمارهای مشابه معنادار نشد (جدول ٦ و ۷ و شکل ۱٦).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

بحث

قرارگرفتن در معرض تنش خشکی در تیمارهای کنترل منفی میزان رشد شاخسار، رشد طولی ریشه، محتوای آب نسبی و میزان جذب آب را به‌طور قابل‌توجهی در تیمارهای کنترل منفی تحت‌تأثیر و کاهش داد. به‌همین دلیل گندم به‌عنوان یک محصول کلیدی و راهبردی در بیشتر مزارع دیم کشور دارای عملکرد پایینی است. کاهش طول ریشه و شاخسار و کاهش درصد محتوای نسبی آب با کاهش جذب عناصر غذایی و مختل‌شدن فرایند فتوسنتز همراه است. کاهش عملکرد تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز با کاهش محتوای کربوهیدرات و پروتئین‌های محلول کل تأثیر مستقیمی روی عملکرد کمی و کیفی محصول دارد. کاهش جذب مهمترین عنصر مغذی یعنی نیتروژن منجر به کاهش تولید پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها و آنزیم‌های دفاعی در تنش رطوبتی شده و به‌دلیل اختلال در روابط آبی گیاه در شرایط دیم، علاوه بر اختلال در تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی، فعالیت فتوسنتزی و آسیب‌های عمده اکسیداتیو به درشت‌مولکول‌ها، و همچنین تخریب غشا و مهار فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی می‌گردد (Wang *et al*., 2024). علاوه‌براین، تنش خشکی، تقسیم سلولی، رشد سلول، سرعت فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم اسید نوکلئیک‌ها را کاهش می‌دهد (Li *et al*., 2025). پیش از این، گزارش شده بود که گیاهان زراعی از یک سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته برای جلوگیری از دوره‌های تنش خشکی استفاده می‌کنند. علاوه بر این، خواص هیدرولیکی ریشه و ریخت‌شناسی ریشه نقش حیاتی در پاسخ‌های مختلف به تنش خشکی دارند (Mutanda *et al*., 2025). یک ساقه سالم نیاز به فتوسنتز خوب، افزایش تولید کربوهیدرات و پروتئین‌ها و ایجاد یک سیستم ریشه‌ای گسترده دارد که ممکن است در شرایط تنش آبی در دسترس نباشد. درنهایت، رشد ساقه و ریشه در دوره‌های تنش‌آبی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. زیرا گسترش سیستم ریشه ارتباط نزدیکی با افزایش جذب نیتروژن از خاک، فتوسنتز، گسترش شاخسار، فتوسنتز و محصولات فتوسنتزی شامل کربوهیدرات و پروتئین‌های مختلف دارد (Khamis *et al*., 2025). با پیش‌تیمار بذری *A. brasilense* و بررسی تمامی شاخص‌های رشدی شامل طول شاخسار، طول ریشه، جذب نیتروژن و محتوای نسبی آب مشاهده شد، شاخص‌های مذکور نسبت به گیاهان شاهد منفی بهبود معناداری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد نشان دادند. مطالعات زیادی نشان داده است که تیمار گیاه و خاک با PGPRs به‌ویژه *A. brasilense* می‌تواند عملکرد غلات را در شرایط دیم تقریباً به حالت عادی برگرداند و در برخی موارد، آن را بهبود بخشد و درنتیجه عملکرد را حفظ یا افزایش دهد (Wang *et al*., 2024). *A. brasilense* تقریباً سازگار با بیشتر خاک‌های مورد کشت غلات در مناطق مختلف بوده و می‌تواند برای محافظت از میزبان‌های خود در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی در برابر این تنش‌ها استفاده شود (Parveen *et al*., 2019) تا تولید غذای کافی و حداقل تناژ مورد انتظار حفظ شود (Dias *et al*., 2024). گزارش شده است که PGPRs و *A. brasilense* در خاک‌هایی که دوره‌های خشکی به‌طور مکرر رخ می‌دهد، رشد گیاه را بهتر از PGPRs که در مکان‌هایی رشد می‌کنند که آب فراوان است، افزایش می‌دهند (Pinto *et al*., 2024). بسیاری از PGPRs موجود در خاک از جنس *Azosprillum*، می‌توانند کاهش رشد گیاه ناشی از تنش خشکی و برخی دیگر از شرایط نامطلوب زیستی و محیطی را جبران کنند. بیشتر گونه‌های جنس *Azospirillum* به‌عنوان PGPRs بسیار کارآمد روی غلات شناخته می‌شوند و رشد گیاه را مستقیماً یا با سنتز فیتوهورمون‌ها یا با بهبود تغذیه نیتروژن از طریق تثبیت نیتروژن Biological nitrogen fixation (BNF) تحریک می‌کنند. این مطالعه نیز نشان داد در تمام تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری مذکور محتوای نیتروژن گیاه افزایش معناداری داشت. همچنین *A. brasilense* تولید چندین ماده محرک رشد دیگر از جمله ایندول استیک اسید (IAA)، ژیبرلین‌ها (GA3)، زئاتین و آبسیزیک اسید (ABA) را افزایش داد که با افزایش رشد شاخسار و ریشه ارتباط مستقیمی دارد (Parveen *et al*., 2019). اخیراً مشخص شده است که اعضای جنس *Azospirillum* با تولید سیدروفورهای عناصر غذایی (آهن و روی) با افزایش تولید کربوهیدرات و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

پروتئین‌های محلول و درنهایت بهبود شاخص‌های مورفو-فیزیولوژیکی قادر به اعمال اثرات مفید بر رشد گیاه و عملکرد بسیاری از محصولات زراعی تحت شرایط مختلف محیطی و خاکی هستند (Iqbal *et al*., 2024).

نتایج حاصل از این بررسی مشخص کرد که اسپری برگی با SA و SNP به‌صورت مجزا با *A. brasilense* منجر به افزایش شاخص‌های رشدی شامل کربوهیدرات محلول کل، پروتین‌های محلول کل، طول ریشه، وزن تر و خشک گیاه، ارتفاع شاخسار، درصد محتوای نسبی آب تجمع نیتروژن و سدیم (افزایش جذب سدیم یعنی افزایش سرعت فعالیت‌های متابولیکی گیاه) نسبت به تیمارهای مجزای *A. brasilense* و تیمارهای کنترل منفی در رقم آذر ۲ تحت شرایط تنش خشکی گردید. خشکسالی به‌دلیل غلظت بالاتر ROS در داخل سلول‌ها، اثرات مخربی مانند غیرفعال شدن فعالیت‌های آنزیمی، آسیب به غشاهای سلولی، نشت یونی و کاهش تنظیم اسمزی ایجاد می‌کند (Singh, 2018). همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند AsA و DHA هنگامی که گیاهان گندم در معرض شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرند، در تیمار SA، SNP و باکتری آزوسپریلیوم افزایش می‌یابد. افزایش فعالیت این آنزیم‌ها مربوط به دیسموتاسیون/مدولاسیون O_2 به H_2O_2، حالت اکسیداسیون سلولی را در سطح نرمال حفظ می‌کند و به‌عنوان نقش محافظتی این آنزیم‌ها در برابر استرس اکسیداتیو در نظر گرفته می‌شود (Farouk and Arafa, 2018). گزارشات متعددی نشان می‌دهد که افزایش فعالیت SOD روندی به سمت تحمل به خشکی در گیاهان است (Goswami *et al*., 2018). افزایش غلظت پروتئین و کربوهیدرات‌های محلول کل در گیاه با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان گونه‌های فعال و سمی اکسیژن را به H_2O_2 و در نهایت به آب و اکسیژن مولکولی تبدیل می‌کند و آسیب سلولی را در شرایط تنش آبی معکوس می‌کند، بنابراین هر دو آنزیم در پاکسازی ROS در سطح سلولی نقش مهمی دارند (Mehmood *et al*., 2018).

SA و SNP با القاء تولید آنزیم‌های دفاعی (به دلیل همزیستی با ریشه گیاه) به عملکرد مواد القاءکننده تولید آنزیم‌ها و پروتیئن‌ها و کربوهیدرات‌های دفاعی در گیاه کمک می‌کنند (Hafez *et al*., 2019). در شرایط تنش خشکی سنتز کلروفیل محدود و با تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن عملاً تولید محصول تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تخریب تعادل تغذیه‌ای و غیرفعال‌شدن فعالیت‌های آنزیم‌های دفاعی و همچنین کاهش محتوای آب سلولی از دیگر پیامدهای تنش خشکی است که نتایج چندین مطالعه نشان داده است که تیمار همزمان گیاه با ترکیبات آنتی‌اکسیدان (SA و SNP) و باکتری‌ها همزیست با ریشه می‌تواند اثرات مخرب تنش‌های غیرزیستی به خصوص تنش‌های آبی را کاهش دهد (Rajput *et al*., 2013). اثرات مفید SA با باکتری‌های همزیست از جنس ریزوبیوم مشخص کرده است که این هماهنگی منجر به افزایش جذب نیتروژن، کمک به ساخت کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی و در ادامه با افزایش تولید متابولیت‌ها، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها با اثرات تحریکی باکتری+ SA بر فعالیت آنزیم روبیسکو و درنهایت عملکرد گیاه تحت تنش خشکی اثر افزایشی دارد (Hafez *et al*., 2019). سایر اثرات مثبت SA همکاری بین SA و PGPRs را می‌توان به القای تولید پروتئین کینازهای مرتبط دانست که نقش‌های کلیدی مانند تنظیم تقسیم سلولی در مراحل مختلف رشد سلولی دارند (Hafez *et al*., 2019). گزارش‌های دیگر نشان داد که SNP در همکاری با قارچ‌های مایکوریزا سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای را در گیاه جو در شرایط تنش آبی افزایش می‌دهد (Gul *et al*., 2023). علاوه‌براین گزارش شده است که SNP تولید پروتئین‌ها و آنزیم‌های دفاعی و ساختاری را به کمک هورمون‌های بهبوددهنده صفات رشدی تولیدشده توسط همکاری بین گیاه+باکتری‌های جنس رایزوبیوم شامل اکسین و ژیبرلین را بهبود بخشیده و سرعت فتوسنتز را در ذرت و سویا افزایش داده است. همچنین در گیاهان تیمارشده با SNP و قارچ‌های مایکوریزا مشاهده شده است که SNP باعث القاء بیشتر تولید اسمولیت‌هایی مانند پرولین، گلیسین بتائین و کربوهیدرات‌های محلول کل در ذرت شده است (Tian and

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

Lei, 2007). افزایش تولید پرولین نیز در تیمارهای مستقل SA (Hafez *et al*., 2019)، SNP، و باکتری‌های جنس آزوسپریلیوم (Farouk and Arafa, 2018) در گیاهان زراعی متنوع گزارش شده است. برای مقابله با اثرات نامطلوب تنش خشکی، گیاهان فرآیند تنظیم اسمزی را با سنتز اسمولیت‌هایی مانند گلیسین بتائین، پرولین و قندهای محلول کل انجام می‌دهند. پرولین و گلیسین بتائین در تنظیم اسمزی سلولی نقش دارند. پرولین، به‌عنوان یک متابولیت ثانویه، آنتی‌اکسیدان و همچنین یک محافظ اسمزی مهم در تنش خشکی عمل می‌کند (Mehmood *et al*., 2018). همچنین پرولین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان، نقش محافظتی در غشای اندامک‌ها دارد و به‌عنوان یک اسمولیت، نقش حیاتی در تنظیم روابط آبی سلولی در شرایط تنش خشکی ایفا می‌کند (Singh, 2018). بررسی‌ها نشان داده است که در شرایط تنش اسمزی، پرولین به‌عنوان جایگزین آب عمل می‌کند که ساختارهای بین سلولی را از طریق تعاملات آبگریز و پیوند هیدروژنی تثبیت می‌کند و درنهایت از غشا در برابر کم‌آبی محافظت می‌کند (Goswami *et al*., 2018).

منابع

Ali, Q., Daud, M. K., Haider, M. Z., Ali, S., Rizwan, M., Aslam, N., Noman, A., Iqbal, N., Shahzad, F., Deeba, F., & Ali, I. (2017). Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. *Plant Physiology and Biochemistry*, *119*, 50-58. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.08.010

Barros, F. C., De Camargo, R., Lana, R. M. Q., Franco, M. H. R., Stanger, M. C., Pereira, V. J., & Lemes, E. M. (2022). *Azospirillum brasilense* and organomineral fertilizer co-inoculated with *Bradyrhizobium japonicumon* oxidative stress in soybean. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *11*(2). https://doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1909458.1134

Barr, S, & Weatherley, N. (1962). Salicylic acid enhances thermotolerance and antioxidant defense in Trigonella *foenum graecum* L. under heat stress. *Heliyon*, *10*(6). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27227

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254. Doi: 10.1006/abio.1976.9999

Bulegon, L. G., Guimaraes, V. F., & Laureth, J. C. U. (2016). *Azospirillum brasilense* affects the antioxidant activity and leaf pigment content of *Urochloa ruziziensis* under water stress. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, *46*(3), 343-349. https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4641489

Choudhary, R., Rajput, V. D., Ghodake, G., Ahmad, F., Meena, M., Rehman, R. U., Prasad, R., Sharma, R. K., Singh, R., & Seth, C. S. (2024). Comprehensive journey from past to present to future about seed priming with hydrogen peroxide and hydrogen sulfide concerning drought, temperature, UV and ozone stresses-a review. *Plant and Soil*, *500*(1), 351-373. https://doi.org/10.1007/s11104-024-06499-9

Dehghanpour Farashah, S., Taheri, P., & Falahati-Rastegar, M. (2019). Effect of polyamines and nitric oxide in *Piriformospora indica*-induced resistance and basal immunity of wheat against *Fusarium pseudograminearum*. *Biological Control*, *136*, 104006. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104006

Dias, T., Azmaliyev, K., Melo, J., Santos, A. M., Correia, P., & Cruz, C. (2024). The diazotrophic bacteria *Azospirillum baldaniorum* and *A. brasilense* improve wheat seedlings' nitrogen budget through ammonia scavenging. *Applied Soil Ecology*, *204*, 105737. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105737

Farouk, S, & Arafa, S. A. (2018). Mitigation of salinity stress in canola plants by sodium nitroprusside application. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *16*(3), 16. https://doi.org/10.5424/sjar/2018163-13252

Fibach-Paldi, S., Burdman, S., & Okon, Y. (2012). Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*. *FEMS Microbiology Letters*, *326*(2), 99-108. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2011.02407.x

Fukami, J., Ollero, F. J., de la Osa, C., Valderrama-Fernandez, R., Nogueira, M. A., Megias, M., & Hungria, M. (2018). Antioxidant activity and induction of mechanisms of resistance to stresses related to the inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Archives of Microbiology*, *200*(8), 1191-1203. https://doi.org/10.1007/s00203-018-1535-x

Goswami, D., Thakker, J. N., & Dhandhukia, P. C. (2018). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food and Agriculture*, *2*(1), 1127500. https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127500

Gul, S., Javed, S., Azeem, M., Aftab, A., Anwaar, N., Mehmood, T., & Zeshan, B. (2023). Application of *Bacillus subtilis* for the alleviation of salinity stress in different cultivars of wheat (*Tritium aestivum* L.). *Agronomy*, *13*(2), 437. https://doi.org/10.3390/agronomy13020437

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

Hafez, E., Omara, A. E. D., & Ahmed, A. (2019). The coupling effects of plant growth promoting rhizobacteria and salicylic acid on physiological modifications, yield traits, and productivity of wheat under water deficient conditions. *Agronomy*, *9*(9), 524. https://doi.org/10.3390/agronomy9090524

Hussain, S., Hussain, S., Qadir, T., Khaliq, A., Ashraf, U., Parveen, A., & Rafiq, M. (2019). Drought stress in plants: An overview on implications, tolerance mechanisms and agronomic mitigation strategies. *Plant Science Today*, *6*(4), 389-402. https://doi.org/10.14719/pst.2019.6.4.578

Ikram, K., Mansha, M. Z., Mahmood, K., Hameed, A., Omar, M. M., Hassan, R. M., & Alwutayd, K. M. (2025). Integrative effects of different mulching practices and *Azospirillum brasilense* on wheat growth, physiology, and soil health under drought stress. *Scientific Reports*, *15*(1), 33435. https://doi.org/10.1038/s41598-025-19031-5

Iqbal, R., Valipour, M., Ali, B., Zulfiqar, U., Aziz, U., Zaheer, M. S., Sarfraz, A., Javed, M. A., Afridi, M. S., Ercisli, S., & Ali, I. (2024). Maximizing wheat yield through soil quality enhancement: A combined approach with *Azospirillum brasilense* and bentonite. *Plant Stress*, *11*, 100321. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100321

Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sanchez Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, *84*(1), 55-60. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x

Khamis, G., Alsherif, E. A., Korany, S. M., Aldailami, D. A., Aloufi, A. S., Khalaf, M. H., Hamed, S. M., Mariduena-Zavala, M. G., Al Jaouni, S. K., & Selim, S. (2025). Drought stress differentially influences growth, physiology, and metabolite accumulation in *Triticum aestivum* (C3) and *Amaranthus caudatus* (C4) plants. *BMC Plant Biology*, *25*(1), 1199. https://doi.org/10.1186/s12870-025-07022-7

Li, Q., Ye, Y., Wang, D., Wang, Y., Zhang, M., Cai, R., Zhao, G., Yang, Y., Chang, X., & Liu, X. (2025). Temporal dynamics of pre-flowering dry matter remobilization and post-flowering photosynthetic compensation in wheat under combined high temperature and drought stress. *Plant Growth Regulation*, *105*(4), 1307-1321. https://doi.org/10.1007/s10725-025-01336-0

Mehmood, U., Inam-ul-Haq, M., Saeed, M., Altaf, A., Azam, F., & Hayat, S. (2018). A brief review on plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A key role in plant growth promotion. *Plant Protection*, *2*(2), 77-82. https://doi.org/10.14719/pst.1604

Mendez-Gomez, M., Castro-Mercado, E., Alexandre, G., & Garcia-Pineda, E. (2016). Oxidative and antioxidative responses in the wheat-*Azospirillum brasilense* interaction. *Protoplasma*, *253*(2), 477-486. https://doi.org/10.1007/s00709-015-0826-1

Mostofa, M. G., Seraj, Z. I., & Fujita, M. (2014). Exogenous sodium nitroprusside and glutathione alleviate copper toxicity by reducing copper uptake and oxidative damage in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Protoplasma*, *251*(6), 1373-1386. https://doi.org/10.1007/s00709-014-0639-7

Mutanda, M., Shimelis, H., Chaplot, V., & Figlan, S. (2025). Managing drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) production: Strategies and impacts. *South African Journal of Plant and Soil*, 1-12. https://doi.org/10.1080/02571862.2025.2497229

Parveen, A., Liu, W., Hussain, S., Asghar, J., Perveen, S., & Xiong, Y. (2019). Silicon priming regulates morpho-physiological growth and oxidative metabolism in maize under drought stress. *Plants*, *8*(10), 431. https://doi.org/10.3390/plants8100431

Pelagio-Flores, R., Ravelo-Ortega, G., Garcia-Pineda, E., & Lopez-Bucio, J. (2025). A century of *Azospirillum*: Plant growth promotion and agricultural promise. *Plant Signaling and Behavior*, *20*(1), 2551609. https://doi.org/10.1080/15592324.2025.2551609

Pinto, M. A. B., Tabaldi, L. A., Stecca, J. D. L., Fipke, G. M., Nunes, R. L. S., & Martin, T. N. (2024). Growth promotion in wheat seedlings altered by conditions in the culture medium of *Azospirillum brasilense*. *Brazilian Journal of Biology*, *84*, e281973. https://doi.org/10.1590/1519-6984.281973

Rai, A. K., Singh, S., Dwivedi, S. K., Srivastava, A., Pandey, P., Kumar, S., & Tripathi, A. K. (2018). Catalase expression in *Azospirillum brasilense* Sp7 Is regulated by a network consisting of OxyR and two RpoH paralogs and including an RpoE1→ RpoH5 regulatory cascade. *Applied and Environmental Microbiology*, *84*(23), e01787-18. https://doi.org/10.1128/AEM.01787-18

Rajput, L. U. B. N. A., Imran, A., Mubeen, F. A. T. H. I. A., & Hafeez, F. Y. (2013). Salt-tolerant PGPR strain Planococcus rifietoensis promotes the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivated in saline soil. *Pakistan Journal of Bot*any, *45*(6), 1955-1962. doi/full/10.5555/20133428764

Ramadan, A. A., Abd Elhamid, E. M., & Sadak, M. S. (2010). Comparative study for the effect of arginine and sodium nitroprusside on sunflower plants grown under salinity stress conditions. *Bulletin of the National Research Centre*, *43*(1), 1-12. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0156-0

Ravandeh, M., Valizadeh, J., Noroozifar, M., & Khorasani-Motlagh, M. (2011). Screening of chemical composition of essential oil, mineral elements and antioxidant activity in *Pulicaria undulata* (L.) CA Mey from Iran. *Journal of Medicinal Plants Research*, *5*(10), 2035-2040.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

Salehzadeh, M., Dehghanpour Farashah, S., & Hassanpouraghdam, M. B. (2024). Sodium nitroprusside treatment affects the expression of some defense genes and physiological parameters in *Cucurbita pepo* infected with cucumber mosaic virus. *Journal of Applied Biology*, *37*(1), 102-116. https://doi.org/10.22051/jab.2023.43373.1560

Salehzadeh, M., Hassanpouraghdam, M. B., & Dehghanpour Farashah, S. (2023). The effect of Salicylic acid foliar application on grapevine (*Vitis vinifera* L.) fanleaf virus (GFLV) infection under greenhouse conditions. *Journal of Plant Process and Function*, *12*(53), 229-242.

Sheikhaliyan, M., Sohrabi, Y., Hossainpanahi, F., & ShiraniRad, A. (2022). Effect of sodium nitroprusside on physiological traits and grain yield of oilseed rape (*Brassica napus* L.) under different irrigation regimes. *Gesunde Pflanzen*, *74*(1), 111-123. https://doi.org/10.1007/s10343-021-00592-0

Silva, P. S. T., Garcia, N. S., Galindo, F. S., Arf, O., Nogueira, T. A. R., Jani, A. D., & Cassiolato, A. M. R. (2024). *Azospirillum brasilense* inoculation in a maize–urochloa–rice cropping system promotes soil chemical and biological changes and increases productivity. *Crops*, *4*(2), 211-226. https://doi.org/10.1080/15592324.2025.2551609

Singh, I. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and their various mechanisms for plant growth enhancement in stressful conditions: A review. *European Journal of Biological Research*, *8*(4). http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1455995

Tadvani, H. K., Bijanzadeh, E., & Najafi-Ghiri, M. (2024). Synergistic effect of salicylic acid and biochar on biochemical properties, yield and nutrient uptake of triticale under water stress. *Heliyon*, *10*(17). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37152

Tian, X. R, & Lei, Y. B. (2007). Physiological responses of wheat seedlings to drought and UV-B radiation. Effect of exogenous sodium nitroprusside application. *Russian Journal of Plant Physiology*, *54*(5), 676-682. https://doi.org/10.1134/S1021443707050160

Wang, Q., Wu, Y., Ozavize, S. F., Qiu, C. W., Holford, P., & Wu, F. (2024). Genotypic differences in morphological, physiological and agronomic traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to drought. *Plants*, *13*(2), 307. https://doi.org/10.3390/plants13020307

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

Investigation of some morpho-physiological indices in the interaction between salicylic acid, sodium nitroprusside, and *Azospirillum brasilense* in rainfed wheat under field conditions

Saeedeh Dehghanpour Farashah

Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract

In the present study, the pretreatment of *Azospirillum brasilense* at a concentration of 500 µg/mL as one of the important plant growth-promoting bacteria individually with salicylic acid (SA) and sodium nitroprusside (SNP) as important anti-stress compounds at three concentrations of 50, 100, and 150 µg/mL under rainfed conditions on wheat cultivar Azar 2 under field conditions was investigated. The treatment of wheat individually with the aforementioned bacteria was considered a positive control, and the treatment of wheat seeds with sterile distilled water was considered a negative control. The experiments were conducted in a randomized complete block design with three replications in two crop years, 1402 and 1403, and the results of applying the treatments on some growth and physiological indices of wheat cultivar Azar 2, including shoot length, root length, plant sodium and nitrogen content, and plant relative water content percentage, were examined in three stages, including the first, second, and third weeks after the emergence of the first wheat spike. The results of this study showed that the single treatment of *A. brasilense* at three studied times led to an increase in all morpho-physiological indices in rainfed wheat cultivar Azar 2. In all bacterial treatments with SA and SNP, we witnessed an increase in the content of the studied indices in the first to third weeks compared to the positive and negative control treatments. The highest content of the studied compounds was observed in high concentrations of 150 µg/µl of SA and SNP from the first to the third week of the study. A comparison of treatments showed that the application of *A. brasilense* alone and in combination with SA and SNP resulted in an increase in the studied indices under dryland conditions.

Keywords: Azar 2, Defense enzymes, Sodium, Total soluble proteins, Total soluble carbohydrates, Nitrogen

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.145]

Received: Dec. 14, 2025; Revised: May. 02, 2026; Accepted: May. 14, 2025; Published Online: Oct. 30, 2026
*Corresponding Author: sdfarashah@pnu.ac.ir

Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.