



The Potential of *Trichoderma* Native Strains In the Alleviation of the Adverse Effects of Salinity on Eggplant Seedlings

Nosshin Derakhshan¹ | Hossein Alaei²  | Rooholah Saberi Riseh³ | Ebrahim Sedaghati⁴ | Asghar Rahimi⁵

1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: nooshinderakhshan2014@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: hossein.alaei@vru.ac.ir
3. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: r.saberi@vru.ac.ir
4. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: sedaghati@vru.ac.ir
5. Department of Genetic and Plant Production, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: rahimiasg@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: February 02, 2022
Received in revised form:
September 02, 2022
Accepted: October 08, 2022
Published online: April 16, 2023

Keywords:

Biofertilizer,
plant growth promoting fungi
(PGPF),
rooting,
salinity stress,
sodium content.

ABSTRACT

Salinity can prevent the uptake of soil mineral ions due to the negative effect of sodium ions and disturbance of ion balance, but the use of *Trichoderma* biocompounds improves growth under salinity stress. To investigate the effect of four salinity-resistant *Trichoderma* strains on growth traits and mineral element uptake of eggplant seedlings under stress conditions, an experiment has been performed in a completely randomized factorial design with three replications in the greenhouse of Vali-e-Asr University of Rafsanjan during 2016-2017. The first factor is salinity in four levels including the control and concentrations of 8, 12, and 16 dS/m and the second factor is *Trichoderma* as *T. aureoviride* (T148-2, T189-4) and *T. virens* (T145, T133-1) as well as the control. The results show that under the influence of salinity, a significant decrease in growth traits takes place. At the highest salinity level, the average dry weight of roots and shoots is 50% and 72%, respectively. For stem diameter and seedling height, a 20% decrease is observed compared to the control. However, inoculation with *Trichoderma* improves these traits, resulting in a 1.6-fold increase in root dry weight (T142-8), a 2.7-fold increase in shoot dry weight (T133-1), and a 1.3-fold increase in seedling height (T189-4) in comparison to the control. The highest diameter increase could be observed in T142-8 strain by 38%. Using *Trichoderma* leads to significant changes in sugar, sodium, potassium, and calcium content. The results of this study show that *Trichoderma* can be a suitable biological agent to increase tolerance at high levels of salinity stress and improve the growth traits of eggplant seedlings.

Cite this article: Derakhshan, N., Alaei, H., Saberi Riseh, R., Sedaghati, E., & Rahimi, A. (2023). The Potential of *Trichoderma* Native Strains In the Alleviation of the Adverse Effects of Salinity on Eggplant Seedlings. *Journal of Crops Improvement*, 25 (1), 253-267. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.338426.2673>





پتانسیل سویه‌های بومی تریکودرما در کاهش اثرات نامطلوب شوری در گیاهچه‌های بادمجان

نوشین درخشان^۱ | حسین علایی^۲ | روح اله صابری ریشه^۳ | ابراهیم صداقتی^۴ | اصغر رحیمی^۵

۱. گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: nooshinderakhshan2014@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: hossein.alaei@vru.ac.ir
۳. گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: r.saberi@vru.ac.ir
۴. گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: hossein.alaei@vru.ac.ir
۵. گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: rahimiasg@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

شوری می‌تواند مانع جذب یون‌های معدنی خاک به علت اثر منفی یون سدیم و به هم خوردن تعادل یونی شود، اما استفاده از ترکیبات زیستی تریکودرما می‌تواند سبب بهبود رشد در شرایط تنش شوری شود. به منظور بررسی اثر چهار استرین تریکودرما مقاوم به شوری بر شاخص‌های رویشی و جذب عناصر معدنی گیاهچه‌های بادمجان در شرایط تنش آزمایشی به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ انجام گرفت. عامل اول شوری در چهار سطح شاهد و غلظت‌های هشت، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر و عامل دوم در پنج سطح تریکودرما *Trichoderma aureoviride* (T148-2, T189-4)، *T. virens* (T145, T133-1) و شاهد بود. نتایج نشان داد که تحت تأثیر تنش شوری کاهش چشم‌گیری در شاخص‌های رویشی مشاهده شد. در بالاترین سطح شوری به طور میانگین وزن خشک ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۵۰ و ۷۲ درصد و برای قطر ساقه و ارتفاع گیاهچه کاهش ۲۰ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد. ولی مایه‌زنی با تریکودرما این شاخص‌ها را بهبود بخشید که موجب افزایش ۱/۶ برابری وزن خشک ریشه (T142-8)، ۲/۷ برابر وزن خشک اندام هوایی (T133-1) و ۱/۳ برابر ارتفاع گیاهچه (T189-4) نسبت به شاهد شدند. بیش‌ترین افزایش قطر در استرین T142-8 به میزان ۳۸ درصد مشاهده شد. استفاده از تریکودرما منجر به تغییرات معنی‌دار در محتوای قند، سدیم، پتاسیم و کلسیم نیز شد. نتایج نشان داد که استرین‌های تریکودرما می‌توانند عامل زیستی مناسبی جهت افزایش تحمل در سطوح بالای تنش شوری و بهبود شاخص‌های رویشی گیاهچه‌های بادمجان باشند.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

کلیدواژه‌ها:

تنش شوری،

ریشه‌افزایی،

قارچ‌های محرک رشد گیاه،

کود زیستی،

محتوای سدیم.

استناد: درخشان، ن، علایی، ح، صابری ریشه، ر، صداقتی، ا، و رحیمی، ا (۱۴۰۲). پتانسیل سویه‌های بومی تریکودرما در کاهش اثرات نامطلوب شوری در گیاهچه‌های بادمجان. به زراعی کشاورزی، ۲۵ (۱)، ۲۵۳-۲۶۷. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.338426.2673>



۱. مقدمه

بادمجان (*Solanum melongena* L.) در مناطق مختلف دنیا با نام‌های مختلف شناخته می‌شود، پنجمین سبزی مهم اقتصادی در خانواده سیب‌زمینی^۱ پس از گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، فلفل قرمز و تنباکو است که در بسیاری از مناطق معتدل گرم کشت می‌شود و استفاده از آن به‌عنوان یکی از سبزی‌های میوه‌ای در بسیاری از رژیم‌های غذایی ضروری در مناطق مختلف دنیا شناخته می‌شود (Chapman, 2019; Oladosu *et al.*, 2021).

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد محصولات کشاورزی و در نتیجه تهدیدی برای امنیت غذایی به‌شمار می‌رود (Porcel *et al.*, 2012). شوری هفت درصد از زمین‌های دنیا (حدود ۹۳۰ میلیون هکتار) را تحت تأثیر قرار داده و غالباً این مناطق شور در حال گسترش هستند. مقدار زمین کشاورزی تخریب‌شده توسط شوری در هر سال به ۱۰ میلیون هکتار تخمین زده می‌شود که این میزان با تغییرات آب‌وهوایی، استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی، افزایش استفاده از آب در آبیاری و زهکشی ضعیف افزایش می‌یابد (Machado & Serralheiro, 2017). کشور ایران با دارا بودن ۶/۸ میلیون هکتار اراضی شور در صدر کشورهای در معرض تهدید از نظر تنش شوری محسوب می‌شود. در حال حاضر سطح کل اراضی فاریاب ایران ۷/۳ میلیون هکتار و سطح کل اراضی زراعی مبتلا به درجات مختلف شوری خاک، آب و یا هر دو، ۳/۵ میلیون هکتار برآورد شده است (Ranjbar & Pirasteh-Anosheh, 2015). اثرهای منفی شوری بر رشد گیاه، به‌علت اثر یونی (پتانسیل اسمزی پایین محلول خاک) و اثر سمی (سمیت یون کلر و سدیم)، عدم تعادل عناصر غذایی یا مجموعه این عوامل ایجاد می‌شود (Machado & Serralheiro, 2017). تنش شوری موجب تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک متعددی در گیاهان شده که از طریق اختلال در فتوسنتز، تولید اسیدآمینها، سوخت‌وساز لیپیدها، تنفس و تولید انرژی منجر به کاهش رشد گیاهان می‌شود (Shrivastava & Kumar, 2015; Akbarimoghaddam *et al.*, 2011). از نظر تحمل نسبت به شوری، بادمجان دارای حساسیت متوسط می‌باشد، بنابراین شناخت واکنش بادمجان و ارقام آن در شرایط تنش شوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Unlukara *et al.*, 2010). تنش شوری منجر به تأخیر در رشد گیاه، از طریق اثر بر عوامل سوخت‌وسازی گیاه، نظیر جذب عناصر غذایی و همچنین تولید اسید نوکلئیک، پروتئین و کاهش دسترسی به آب در سطح سلولی می‌شود (Hegazi *et al.*, 2015). راهبردهای اساسی و متفاوتی برای کاهش تنش شوری و اثرات آن وجود دارد. که در سالیان اخیر تلقیح بذر گیاهان با انواع مختلفی از باکتری‌ها و قارچ‌های مفید خاکزی مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است (Ma, 2019).

فیزیولوژیست‌های زیادی بر اثرات مثبت قارچ‌هایی نظیر گونه‌های مختلف میکوریز و تریکودرما بر کاهش اثرات شوری در گیاه تأکید دارند (Yang *et al.*, 2022). در سال‌های اخیر قارچ‌های رشته‌ای *Trichoderma* spp. توجه زیادی را به خود جلب کرده است. همچنین این قارچ توان بالایی در مهار زیستی طیف گسترده‌ای از بیمارگرهای گیاهی را دارا می‌باشد (Sharma & Sharma, 2020; Abdullah *et al.*, 2021; Sriram *et al.*, 2013). این قارچ‌ها آزادی و همه‌جازی هستند که معمولاً در خاک، مواد آلی و چوب‌های در حال تجزیه و اکوسیستم اطراف ریشه قرار دارند (Kumar *et al.*, 2017). گونه‌های تریکودرما تغییراتی را در گیاه میزبان القا می‌کنند که این تغییرات به‌طور مستقیم با پروتئین‌ها و ژن‌های مربوط با تنش مرتبط است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تیمار نهال‌های خیار با گونه‌های تریکودرما بیان ژن‌های آسکوربات پراکسیداز (APX)، مونودیدروآسکوربات ردوکتاز (MDAR) و گلوکاتایون S-ترانسفراز (GST) را القا می‌کند و سبب تحریک سازوکار آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش شوری می‌شوند (Brotman *et al.*, 2013). علاوه بر این گونه‌های تریکودرما سازوکار آنتی‌اکسیدانی را در چرخه اکسیداز آسکوربات فعال و با حذف گونه‌های اکسیژن فعال

منجر به بهبود تحمل گیاه در برابر گستره‌ای از تنش‌ها از جمله شوری می‌شوند (Mastouri et al., 2012; Zhang et al., 2022). از آنجایی که تنش شوری عامل محدودکننده‌ای برای بسیاری از گیاهان محسوب می‌شود، و از سوی دیگر گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت کودهای زیستی نظیر قارچ تریکودرما برای کاهش تنش‌های محیطی در گیاهان وجود دارد. بنابراین در پژوهش حاضر اثر چهار استرین تریکودرمای مقاوم به شوری بر فاکتورهای رویشی بادمجان و جذب عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. استرین‌های تریکودرمای مقاوم به شوری

استرین‌های تریکودرما مورد استفاده در این پژوهش از کلکسیون کشت قارچ بخش بیماری‌شناسی گیاهی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان فراهم شد. این جدایه‌ها توسط Mirkhani et al. (2015) از خاک‌های شور و قلیا مناطق مختلف جمع‌آوری، جداسازی و براساس روش‌های مورفولوژیکی و یا مولکولی شناسایی شده‌اند. در این پژوهش تعداد چهار استرین مقاوم به شوری از جمله گونه‌های *T. aureoviride* (T148-2, T189-4) و *T. virens* (T145, T133-1) انتخاب شدند.

۲.۲. آزمایش‌های گلخانه‌ای

استرین‌های انتخابی تریکودرما جهت تحریک رشد گیاهچه‌های بادمجان تحت سطوح متفاوت شوری در شرایط گلخانه به کار گرفته شد. برای تهیه مایه تلقیح تریکودرما از گندم استفاده شد. بدین منظور، ۵۰۰ گرم بذر گندم خیس خورده داخل آب، تا یک سوم درون ارلن ریخته و دو مرتبه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۱ دقیقه سترون شد. سپس در شرایط سترون به هر کدام چهار قطعه ۵ میلی‌متری از حاشیه کشت چهار روزه قارچ بیمارگر روی محیط کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار اضافه شد و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳-۴ هفته نگهداری شدند. هر روز یک بار محتویات ارلن‌ها به هم زده شد تا رشد قارچ به‌طور یکنواخت و غیرفشرده صورت گیرد. در این آزمایش از تریکودرما به‌صورت مخلوط با خاک قبل از کشت استفاده شد. بدین منظور با استفاده از لام هموسیستمتر (گلوبول‌شمار) شمارش اسپور هر یک از جدایه‌ها انجام و میزان اسپور در هر گرم مایه تلقیح محاسبه شد. به این ترتیب مقدار گندم لازم از هر جدایه برای تلقیح گلدان‌ها به میزان 10^7 زادمایه به‌ازای هر بوته تعیین شد. برای تیمار شاهد، گندم‌های دوبار اتوکلاو شده بدون تلقیح با تریکودرما با نسبت مشابه به گلدان‌ها اضافه شد (Taghinasab Darzi, 2012).

خاک با هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته ۷/۴ با کوکوپیت و پرلیت با نسبت‌های ۱:۱:۳ کاملاً مخلوط و به گلدان‌های دو کیلوگرمی با قطر دهانه‌ی ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر منتقل شد. بذرها بادمجان رقم محلی کرمان با آب مقطر شست‌وشو و سپس به مدت ۲ دقیقه با محلول ۰/۵ درصد هیپوکلریت سدیم ضد عفونی شد. تعداد ۲۰ بذر در عمق ۱ سانتی‌متری خاک گلدان کاشته شد. گلدان‌ها در گلخانه در دمای ۲۶-۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. آبیاری در مرحله دو برگی به‌صورت روزانه و پس از آن هر ۴۸ ساعت یک‌بار انجام گرفت. حجم آب آبیاری در هر مرحله به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر صورت گرفت. برای اعمال تیمار شوری، ابتدا در سطح شوری اول، دوم و سوم به ترتیب هشت، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم (محلول کلرید سدیم در آب دو بار تقطیر) به هر گلدان اضافه شد و در تیمار شاهد از آب دو بار تقطیر استفاده شد. به‌منظور جلوگیری از شوک اسمزی، تیمارهای شوری در سه مرحله با فاصله زمانی دو روز اعمال شدند. سه ماه پس از کاشت اندازه‌گیری فاکتورهای رویشی از جمله ارتفاع گیاه از سطح خاک با خط‌کش و قطر گیاه در نزدیکی سطح خاک با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر

ساقه و ریشه به‌طور جداگانه و هم‌چنین وزن خشک نمونه‌ها بعد از خشک‌کردن آنها در آون از ترازو استفاده شد. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول از روش Irigoyen (1992) استفاده شد. جهت اندازه‌گیری عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم، ابتدا برگ بالغ در هر تیمار در زمان برداشت نمونه‌برداری شد. برای تهیه عصاره ۰/۵ گرم از برگ‌های پودر شده را در کوره با دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت نیم ساعت و سپس در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شود. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به هر نمونه اضافه شد و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. این عصاره به‌طور مستقیم جهت اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل German, Jenway 7) تعیین شد. اندازه‌گیری کلسیم به روش تیتراسیون انجام شد. مقدار ۵ میلی‌لیتر از عصاره تهیه‌شده برداشته و درون ارلن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به‌وسیله آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس ۵ قطره هیدروکسید سدیم ۴ نرمال به آن اضافه شد و حدود ۰/۵ گرم مخلوط پودر مونوکسید (آمونوم پورپورات) و سولفات پتاسیم (مخلوط ۰/۵ گرم گرد موروکسید با سولفات پتاسیم) به آن اضافه شد و خوب هم زده شد تا رنگ قرمز- نارنجی به خود گیرد. در نهایت عمل تیتراسیون انجام و میزان کلسیم محاسبه شد (Klute, 1986). این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام پذیرفت و تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1) و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تأثیر استرین‌های تریکودرما بر شاخص‌های رشدی بادمجان در شرایط تنش شوری

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اعمال سطوح مختلف شوری منجر به ایجاد تغییرات معنی‌دار در میزان شاخص‌های رشدی گیاهچه‌های بادمجان در سطح یک درصد شده است. براساس نتایج حاصل، تنش شوری باعث کاهش شاخص‌های رشدی در گیاه شد که این روند کاهش با افزایش میزان تنش ادامه و در تمامی شاخص‌های رویشی اندازه‌گیری شده مشهود است (جدول ۲). طبق نتایج با اعمال شوری وزن تر ریشه ۰/۰۷ گرم، وزن خشک ریشه به ۰/۰۱ گرم، وزن تر اندام هوایی ۰/۴ گرم، و وزن خشک اندام هوایی ۰/۰۶ گرم نسبت به گیاه شاهد کاهش یافت. نتایج نشان داد که با اعمال شوری قطر ساقه بادمجان از ۱/۲ به ۰/۹۶ میلی‌متر و ارتفاع ساقه از ۶/۶ به ۵/۲ سانتی‌متر رسید (جدول ۲). شوری با کاهش تقسیم و طول‌شدن سلولی می‌تواند باعث کاهش ارتفاع شود. این کاهش ارتفاع ممکن است به‌خاطر اثرات منفی پتانسیل اسمزی بالا باشد که جذب آب و عناصر غذایی را کاهش داده و در نهایت باعث کاهش رشد ساقه می‌شود. هم‌چنین کاهش رشد در اثر شوری می‌تواند به‌دلیل تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش ارتفاع و یا به‌دلیل بسته‌شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها باشد (Zahra et al., 2020).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر استرین‌های تریکودرما بر شاخص‌های رشدی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	قطر ساقه
شوری	۳	۰/۲۲**	۰/۰۲۵**	۲/۰۳**	۰/۰۴۵**	۰/۵۷**
تریکودرما	۴	۰/۰۷**	۰/۰۰۲**	۱/۰۲**	۰/۰۳۳**	۰/۳۹**
تریکودرما × شوری	۱۲	۰/۰۱**	۰/۰۰۰۸**	۰/۰۸**	۰/۰۰۱۷**	۰/۰۵**
خطا	۴۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات (%)	-	۱۱/۵	۱۸/۶	۷	۱۴/۰۷	۴/۵
						۶/۱۸

*** و ** و * : به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

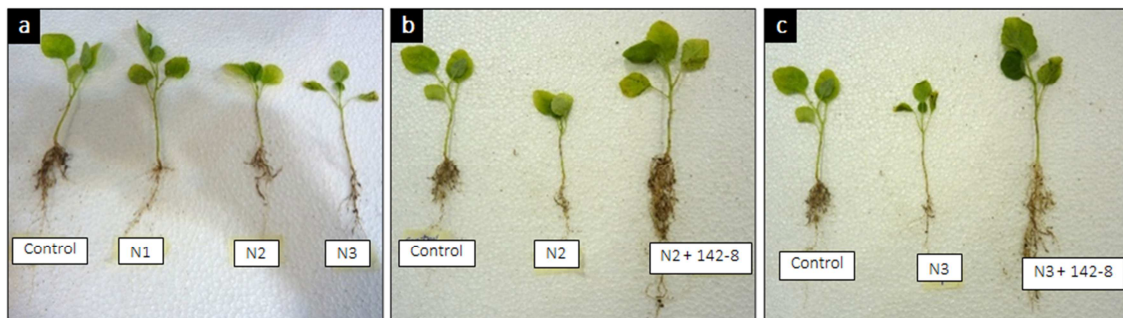
جدول ۲. تأثیر سطوح مختلف شوری و جدایه‌های تریکودرما بر شاخص‌های رویشی گیاهچه‌های بادمجان

شاخص‌های رشدی گیاهچه بادمجان							سطوح شوری (dsm^{-1})
ارتفاع اندام هوایی (cm)	قطر ساقه (mm)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک ریشه (g)	وزن تر ریشه (g)	تیمار	
۶/۶۳۴-h	۱/۱۵jzk	۰/۰۸fg	۰/۶g-h	۰/۰۲۳c-e	۰/۱۴g-i	شاهد	صفر
۸/۷۲c	۱/۵۸c	۰/۲۰de	۱/۲۳c	۰/۰۵۲bc	۰/۵۱ab	T142-8	
۱۰/۱b	۱/۴۶de	۰/۱۵a	۰/۹۸d	۰/۰۴۶ab	۰/۴۷a	T145	
۸/۷۳c	۱/۹a	۰/۲۸a	۱/۶۴a	۰/۰۴۳bc	۰/۴۲b	T189-4	
۱۱/۳a	۱/۸۱a	۰/۲۳fg	۱/۶۸a	۰/۰۵۶a	۰/۴۸a	T133-1	۸
۵/۷ij	۱/۱۶jk	۰/۰۷fg	۰/۴۶i	۰/۰۳۶b-d	۰/۱۳h-j	شاهد	
۶/۳۶g-i	۱/۷b	۰/۱۲e	۰/۹۱d	۰/۰۴۶bc	۰/۳۲c	T142-8	
۷/۶de	۱/۴۳d-f	۰/۰۹f	۰/۶۵e-g	۰/۰۴۳b-d	۰/۳۰cd	T145	
۷/۴d-f	۱/۳۷e-g	۰/۲c	۱/۲۹b	۰/۰۴bc	۰/۲۴e	T189-4	۱۲
۸/۱cd	۱/۴۲d-f	۰/۲۱bc	۱/۳۱b	۰/۰۵ab	۰/۳۲c	T133-1	
۵/۸h-j	۱/۰۶kl	۰/۰۴hi	۰/۲۹j	۰/۰۲fg	۰/۱i-k	شاهد	
۶/۹۳e-g	۱/۵۳cd	۰/۰۹fg	۰/۶۴e-g	۰/۰۳c-e	۰/۲۵de	T142-8	
۷e-g	۱/۸۶i-k	۰/۰۶f-h	۰/۵۲h-i	۰/۰۲e-g	۰/۱۹fg	T145	۱۶
۷/۳d-f	۱/۲۴i-j	۰/۱۶d	۰/۷۲e	۰/۰۳d-f	۰/۱۶gh	T189-4	
۶/۵g-i	۱/۲۷g-l	۰/۱۵d	۰/۶۸ef	۰/۰۳c-e	۰/۱۹fg	T133-1	
۵/۲j	۰/۹۶l	۰/۰۲i	۰/۲k	۰/۰۲fg	۰/۰۷k	شاهد	
۵/۷۶ ij	۱/۳۳f-h	۰/۰۶gh	۰/۵۲hi	۰/۰۳d-f	۰/۲۲ef	T142-8	۱۶
۵/۴j	۱/۰۲l	۰/۰۴hi	۰/۲۱jk	۰/۰۳fg	۰/۰۹i-k	T145	
۶/۹e-g	۱/۱۷ij	۰/۰۸fg	۰/۵۳hi	۰/۰۲g	۰/۰۹j-k	T189-4	
۶/۲g-i	۱/۲۳i-j	۰/۰۹fg	۰/۵۶g-i	۰/۰۲g	۰/۱۳h-j	T133-1	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌داری ندارند.

بر اثر شوری میزان و فعالیت هورمون‌های رشد مانند اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها و دیگر مواد تحریک‌کننده رشد کاهش یافته درحالی‌که مواد کاهنده رشد مانند آبسازیک اسید افزایش می‌یابد و به‌طور کلی این تغییرات موجب کاهش رشد در گیاهان می‌شوند (Ryu & Cho, 2015). کاهش رشد در اثر تنش شوری علاوه بر بادمجان (Assaha et al., 2016; Ors et al., 2021; al., 2013; Heuer et al., 1986; Raghmi et al., 2016) و خیار (Alzahib et al., 2021) نیز گزارش شده است. اظهار شده است که تنش شوری، ارتفاع گیاه و سطح برگ را سریع‌تر از سایر پارامترهای فنولوژیکی تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش این پارامترها می‌شود (Khalili et al., 2020). براساس گزارش‌های موجود شوری باعث کاهش رشد و وزن خشک، در ارقام بادمجان می‌شود (Akinci et al., 2004) و به‌طور کلی با تحت تأثیر قراردادن رشد رویشی موجب کاهش ۴۹ درصدی عملکرد در این گیاه می‌شود (Assaha et al., 2013). سریع‌ترین واکنش در مقابله با تنش شوری در مراحل رشد رویشی کاهش توسعه سطح برگ می‌باشد و به‌دنبال آن فتوسنتز و تولید مواد پرورده جهت رشد و توسعه سلول‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Hajlaoui et al., 2010). نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که مایه‌زنی استرین‌های تریکودرما منجر به ایجاد تغییرات معنی‌دار در میزان شاخص‌های رشدی گیاهچه‌های بادمجان در سطح یک درصد شده است. کاربرد این استرین‌ها سبب افزایش فاکتورهای رشدی شد به گونه‌ای که در تیمار بدون شوری حداقل افزایش قطر در استرین T145 به میزان ۲۸ درصد و حداکثر در استرین T189-4 به میزان ۶۵ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. در دیگر پارامترهای رشدی مورد سنجش نیز این افزایش قابل محاسبه بود و استرین‌های تریکودرما منجر به افزایش ۱/۶ برابری وزن خشک ریشه (استرین T142-8)، ۲/۸ برابر وزن تر اندام هوایی (استرین T133-1)، ۳/۴ برابر وزن خشک

اندام هوایی (استرین T189-4) و $1/7$ برابر ارتفاع گیاهچه (استرین T133-1) شدند. علاوه بر افزایش رشد در شرایط بدون تنش، استفاده از استرین‌های تریکودرما موجب افزایش فاکتورهای رشدی با اعمال تنش شوری نیز شد، به گونه‌ای که در بالاترین سطح شوری (۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) بیش‌ترین میزان افزایش قطر در استرین T142-8 به میزان ۳۸ درصد مشاهده شد. همچنین تلقیح تریکودرما منجر به افزایش $1/6$ برابری وزن خشک ریشه (استرین T142-8)، $2/8$ برابر وزن تر اندام هوایی (استرین T133-1)، $2/7$ برابر وزن خشک اندام هوایی (استرین T133-1) و $1/3$ برابر ارتفاع گیاهچه (استرین T189-4) نسبت به تیمار شاهد در سطح شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر شدند (جدول ۲، شکل ۱).



شکل ۱. تأثیر شوری و تریکودرما روی رشد ساقه و ریشه گیاهچه‌های بادمجان. (a) سطوح شوری، (control)، ۸ (N1)، ۱۲ (N2) و ۱۶ (N3) دسی‌زیمنس بر متر (b) تأثیر استرین T142-8 در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (N2) در مقایسه با شاهد (c) تأثیر استرین T142-8 در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (N3) در مقایسه با شاهد

نتایج این آزمایش با پژوهش‌های گذشته که تأثیر تحریک‌کنندگی رشد گیاهی به‌وسیله جدایه‌های تریکودرما را نشان می‌دهد انطباق دارد. این تحریک رشدی در گیاهانی هم‌چون کاهو، خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل توسط گونه‌های تریکودرما نیز گزارش شده است (Wang *et al.*, 2021; Taghinasab-Darzi, 2012).

پژوهش‌های پیشین نشان داد که ارتفاع اندام هوایی، قطر اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه در گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی که در خاک تلقیح‌شده با تریکودرما کشت شدند، به‌طور قابل‌توجهی نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافته و همچنین غلظت کلسیم، منیزیم، فسفر و پتاسیم در ساقه و ریشه گوجه‌فرنگی افزایش چشم‌گیری در گیاهان تیمار شده با تریکودرما نسبت به گیاهان شاهد دارد (Azarmi *et al.*, 2011). گزارش شده است که بیش‌تر جدایه‌های مورد مطالعه براساس وزن خشک اندام هوایی و ریشه باعث افزایش معنی‌دار رشد گیاه می‌شوند. به‌ویژه جدایه‌های T65 و T7 که به‌ترتیب ۴۳ و ۴۱ درصد وزن خشک ریشه و ۴۰ و ۳۷ درصد وزن خشک اندام هوایی را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (Mehrabi-Koushki *et al.*, 2012).

در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شد که کلونیزاسیون ریشه به‌وسیله جدایه‌های تریکودرما به‌طور قابل‌توجهی رشد و توسعه ریشه، عملکرد محصول، مقاومت به استرس‌های غیرزنده و جذب و استفاده از مواد غذایی را افزایش می‌دهد (Zin & Badaluddin, 2020). استفاده از جدایه‌های تریکودرما در گیاهان باعث افزایش طول ریشه و ریشه‌های ثانویه می‌شود که به جذب بالا و در نتیجه افزایش توانایی گیاه در مقاومت در برابر تنش شوری کمک می‌کند علاوه بر این گیاهان مایه‌زنی شده با تریکودرما نسبت به گیاهان بدون مایه‌زنی افزایشی در زیست‌توده کل در شرایط شور نشان دادند (Kumar *et al.*, 2017). استفاده از تریکودرما باعث کاهش پیامدهای ناشی از نمک در گیاهان می‌شود که باعث افزایش چشم‌گیر تولید زیست‌توده می‌شود. گزارش شده است که استفاده از تریکودرما و میکوریز در زیستگاه شور باعث

بهبود زیست‌توده و پارامترهای رشد می‌شود (Hameed *et al.*, 2014; Rasool *et al.*, 2013). افزایش رشد نسبی آب و تولید زیست‌توده با کاربرد تریکودرما ممکن است به دلیل توانایی آن در تولید فیتوهورمون‌ها مانند جیبرلین و سیتوکین باشد که نه تنها باعث افزایش رشد گیاه می‌شود بلکه باعث افزایش تحمل در محیط شور می‌شود (Iqbal & Ashraf, 2015; Ahmad *et al.*, 2013). تریکودرما می‌تواند مزایای متعددی از جمله افزایش زیست‌توده ریشه و اندام هوایی، افزایش عملکرد، تحمل به تنش‌های غیرزیستی مانند گرما، شوری، خشکی را به گیاهان بدهد (Laximi *et al.*, 2016). اثرات افزایش‌دهنده *T. harzianum* روی رشد و عملکرد گیاه به‌طور بارزی در خاک‌های نسبتاً فقیر از مواد مغذی اثبات شده است (Repas *et al.*, 2017). مایه‌زنی قارچ تریکودرما در همه سطوح شوری خاک پارامترهای رویشی گیاه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد (عدم مایه‌زنی میکروبی) افزایش داده است، به‌طوریکه مایه‌زنی بذر ذرت با جدایه‌های تریکودرما مقاوم به شوری و دما سبب افزایش سطح پارامترهای رویشی در گیاه در شرایط شور و غیرشور می‌شود (Kumar *et al.*, 2017).

۳.۲. بررسی تأثیر تریکودرما بر تنظیم‌کننده‌های اسمزی و جذب عناصر معدنی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این آزمایش (جدول ۳)، اثر تیمار تریکودرما و شوری هر یک به‌صورت جداگانه بر مقدار قند محلول، سدیم، پتاسیم و کلسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۳. تأثیر تریکودرما بر عناصر معدنی گیاهچه بادمجان در شرایط تنش شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		قندهای محلول	سدیم	پتاسیم
شوری	۳	۱۴۶۵۲۴/۵**	۰/۰۵**	۰/۲۸**
تریکودرما	۴	۳۳۲۹۱۵/۷**	۰/۰۰۲**	۰/۲۹**
تریکودرما × شوری	۱۲	۳۸۳۸۹/۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۳ ns
خطا	۴۰	۲۸۳۸۳/۶	۰/۰۰۱	۰/۰۳
ضریب تغییرات (%)		۱۲/۵	۸/۸	۱۴

ns، *، ** و ms به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

جدول ۴. تأثیر استرین‌های تریکودرما و شوری روی میزان قند محلول و عناصر معدنی برگ گیاهچه‌های بادمجان

تیمار تریکودرما	قند محلول (mg L ⁻¹)	عناصر معدنی (%)			تنش شوری	عناصر معدنی (%)		
		سدیم	پتاسیم	کلسیم		سدیم	پتاسیم	کلسیم
Control	۱۲۵۲/۹cd	۰/۳۶a	۰/۸۳d	۱/۰۷b	۰	۱۲۷۴/۸b	۱/۱۰a	۱/۳۳b
T142-8	۱۱۵۲/۳d	۰/۳۲b	۰/۸۹cd	۱/۵۴a	۸	۱۲۵۶/۳b	۱/۰۶a	۱/۵۰a
T145	۱۳۲۷/۹bc	۰/۳۵ab	۱/۰۳b	۱/۳۹a	۱۲	۱۳۶۸/۱ab	۰/۹۶b	۱/۲۹b
T189-4	۱۴۴۹/۵ab	۰/۳۲b	۰/۹۵bc	۱/۴۹a	۱۶	۱۴۳۶/۴a	۰/۷۹c	۱/۵۲a
T133-1	۱۵۸۰/۱a	۰/۳۴ab	۱/۲۰a	۱/۵۵a				

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌داری ندارند.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مقدار قندهای محلول در تیمار تریکودرما استرین T133-1 بیش از بقیه بوده و هم‌چنین با اعمال تنش میزان قند محلول افزایش یافت، به‌طوری‌که کم‌ترین میزان مربوط به شاهد و بیش‌ترین میزان مربوط به تیمار شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۴). بنا بر گزارش بعضی از پژوهش‌گران قندهای تجمع یافته در اندام‌های رویشی در برخی از گیاهان مانند تربچه در شرایط تنش کاهش می‌یابد (Rouhani, 2016). در حالی که در

آزمایشی که روی گیاهی هالوفیت سیاه شور^۱ انجام شد، مشاهده شد که میزان قندهای محلول با افزایش شدت تنش شوری افزایش می‌یابد. البته این افزایش در تیمارهای شوری بالاتر از ۳۰۰ میلی‌مولار انجام گرفت، یعنی تا این غلظت از شوری، منابع کربن صرف ساخت و حتی ذخیره قند می‌گردد و این مواد صرف رشد گیاه می‌شود، اما در غلظت‌های بالاتر از ۳۰۰ میلی‌مولار، گیاه جهت حفظ ساختار سلول و تعدیل پتانسیل اسمزی و بقای گیاه میزان قندهای محلول را افزایش داده و به‌عنوان راه‌کاری جهت مقاومت به شوری عمل می‌کند (Mehrinfar et al., 2014). مطالعات صورت‌گرفته نشان می‌دهد در گیاهان با افزایش میزان شوری، میزان فعالیت آنزیم ساکارزستتاز افزایش می‌یابد (Lu et al., 2010) و در نتیجه جهت مقاومت به تنش شوری، قندهای الکلی ساده و مرکب به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی و محلول‌های سازگار تولید می‌شود (Saberi Riseh et al., 2021). عمل فیزیولوژیک این قندها، ممانعت از اتصال بین غشاهای مجاور هم در طول دوره تنش از طریق نگه‌داری لیپیدها در حالت سیالیت می‌باشد (Guo et al., 2019). نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عناصر معدنی شامل سدیم، پتاسیم و کلسیم اندام هوایی نشان داد که تریکودرما و تنش شوری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، ولی برهم‌کنش تریکودرما و تنش شوری معنی‌دار نبود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که تنش شوری سبب افزایش میزان سدیم اندام هوایی از ۰/۲۷ درصد به ۰/۴ درصد شد. هم‌چنین مشاهده شد که تمامی استرین‌های تریکودرما قادر به کاهش میزان سدیم در بافت گیاهی بودند کم‌ترین آن به میزان ۰/۳۲ درصد در استرین T142-8 بود در پژوهش حاضر تمامی استرین‌های تریکودرما قادر به کاهش میزان سدیم بودند. تغییر در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، سمیت نمک و رقابت و اختلال در جذب و انتقال یون‌های ضروری و عدم تعادل و کمبود عناصر ضروری، تنش اکسیداتیو از جمله دلایلی است که در کاهش رشد در شرایط تنش شوری در گزارش‌های مختلف ذکر شده است (Zhao et al., 2020). نتایج به‌دست‌آمده توسط پژوهش‌گران حاکی از این است که تنش شوری سبب اختلال در جذب مواد غذایی موردنیاز رشد می‌شود به‌طوربه‌طوری که از طریق افزایش جذب یون سدیم و کاهش نسبت سدیم به پتاسیم به‌دلیل پتانسیل اسمزی کم‌تر در ریشه گیاه باعث استرس اسمزی و سمیت یونی می‌شود. علاوه بر این، عدم تعادل یونی بر جذب و انتقال سایر یون‌های ضروری مهم در سلول‌های هدف تأثیر می‌گذارد و فرایندها و عملکردهای حیاتی گیاه را مختل می‌کند (Arif et al., 2020). غلظت سدیم در چغندر قند تحت تنش شوری به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (Khayamim et al., 2021). طی یک آزمایش که روی گندم انجام شد، مشخص شد که در شرایط تنش شوری، غلظت یون سدیم گیاهی افزایش می‌یابد، ولی سرعت تجمع آن در ارقام متفاوت می‌باشد (Atlassi Pak, 2018).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در حالت کلی بیش‌ترین میزان پتاسیم در شرایط بدون تنش که در تیمارهای T145 و T133-1 با ۳۰ درصد افزایش مشاهده شد. بررسی داده‌های میزان پتاسیم در بافت گیاهی نشان داد که در تیمارها با افزایش غلظت شوری میزان پتاسیم به طرز محسوسی کاهش یافت. به‌گونه‌ای که حداقل میزان پتاسیم در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۰/۷۹ درصد و حداکثر میزان آن ۱/۱ درصد در شرایط بدون شوری بوده است. کاهش پتاسیم تحت شرایط تنش می‌تواند به‌دلیل رقابت سدیم بر سر مکان‌های اتصال به ناقل‌ها در غشای پلاسمایی و یا نشت پتاسیم به‌دلیل عدم ثبات غشا باشد (Ferreira-Silva et al., 2008). با افزایش مقدار سدیم یا نسبت سدیم به کلسیم در محیط ریشه، غلظت پتاسیم در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد، اما افزایش غلظت پتاسیم، سبب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در ساقه و ریشه می‌شود (Zhang et al., 2008). رشد قسمت‌های گیاه تحت تنش شوری به‌دلیل اثرات اسمزی و اثرات سمی یون‌ها محدود می‌شود، که منجر به جذب کم‌تر مواد مغذی و جلوگیری از انتقال مواد

مغذی معدنی، به‌ویژه یون پتاسیم می‌شود. در نتیجه شباهت‌های خواص فیزیکی‌شیمیایی بین سدیم و پتاسیم، سدیم می‌تواند با پتاسیم برای مکان‌های اصلی اتصال در فرایندهای متابولیکی کلیدی رقابت کند و هم‌چنین منجر به اختلال در متابولیسم گیاه شود (Marschner, 2012). سطوح بالای سدیم فعالیت پتاسیم را در محلول خاک مهار می‌کند و در نتیجه میزان پتاسیم در دسترس را کاهش می‌دهد. یون سدیم نه‌تنها با در انتقال پتاسیم از ریشه به اندام هوایی تداخل می‌کند، بلکه با پتاسیم برای مکان‌های جذب در غشای پلاسمایی رقابت کرده و سبب جذب کم‌تر پتاسیم می‌شود (Wang *et al.*, 2013). تنش شوری منجر به از هم گسیختگی غشای پلاسمایی و نشت یون پتاسیم می‌شود که به کاهش سریع پتاسیم سیتوزولی می‌انجامد (Coskun *et al.*, 2010).

در این پژوهش میزان کلسیم بافت گیاهی با اعمال تنش افزایش یافت علاوه بر این تیمار گیاهچه‌ها با استرین‌های تریکودرما میزان کلسیم را در بافت گیاهی افزایش داد. حداکثر میزان افزایش کلسیم در استرین T133-1 مشاهده شد. تنش شوری سبب اختلال در جذب مواد غذایی موردنیاز رشد می‌شود، به گونه‌ای که گیاهان در یک محیط شور، مقدار زیادی یون سدیم را به‌جای یون‌هایی مثل کلسیم جذب می‌کنند (Fattahi *et al.*, 2021). با افزایش سطوح شوری، تجمع و انتقال کلسیم به‌دلیل افزایش میزان سدیم کاهش یافته، زیرا این دو یون در جذب و انتقال با هم رقابت دارند (Mei *et al.*, 2014). کاهش تجمع کلسیم در شرایط شور را گزارش شده است و اعلام شده که در شرایط تنش، یون کلسیم در گیاهان حساس‌تر به شوری، کم‌تر تجمع می‌یابد (Saeidipoor, 2017). از طرف دیگر نسبت‌های بالای کلسیم را می‌توان با دفع سدیم به خارج از سلول و نیز مکان‌یابی آن در سلول به‌ویژه در داخل واکوئل سلول مرتبط دانست (Gupta & Huang, 2014). در آزمایش انجام‌شده با اعمال تنش شوری و افزایش شدت آن به‌تدریج به میزان سدیم گیاه افزوده و میزان پتاسیم و کلسیم آن کاسته شد که این تغییرات با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت داشت. دلیل بهبود رشد قابل توجه گیاهان تلقیح‌یافته با تریکودرما در نتیجه افزایش تبادل عناصر غذایی و ترشح هورمون‌های گیاهی بیان شده است (Illescas *et al.*, 2021). برخی پژوهش‌گران بر این باورند که گونه‌های قارچی تریکودرما به‌دلیل افزایش جذب مواد مغذی از قبیل پتاسیم، فسفر و نیتروژن و حل‌کنندگی فسفات و عناصر کم‌مصرف سبب افزایش رشد گیاهان می‌شوند. افزایش رشد گیاهان تلقیح‌شده با تریکودرما را وابسته به توانایی زنده‌ماندن و توسعه این قارچ‌ها در منطقه ریزوسفر و افزایش انتقال مواد مغذی از خاک به ریشه گیاهان از طریق و یا نفوذ به بطن داخلی ریشه گیاهان نسبت دادند (Abdollah *et al.*, 2021). قارچ تریکودرما تنظیم‌کننده‌های رشدی نظیر naphthalenecetic acid، indole-3-acetic acid، و indole-3-butyric acid تولید می‌کنند که در فعالیت‌های بیوکنترلی نقش داشته و می‌تواند از دلایل مهار تنش سدیم‌کلرید در گیاه باشد (Iqbal & Ashraf, 2013).

علاوه بر این اغلب جدایه‌های تریکودرما محیط اطراف خود را با ترشح اسیدهای آلی هم‌چون گلوکونیک‌اسید، سیتریک‌اسید و فوماریک‌اسید، اسیدی می‌کنند و در نتیجه قادر به حل کردن فسفات، ریزمغذی‌ها، آهن، منگنز و منیزیم خواهند بود (Harman *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2015). در پژوهش انجام‌شده با مایه‌زنی قارچ تریکودرما میزان سدیم در گیاه کاهش یافت که این یافته با نتایج دیگر پژوهش‌گران مطابقت دارد (Wu *et al.*, 2013). گزارش شده است که با افزایش غلظت نمک از صفر تا ۲۰۰ میلی‌مولار میزان عناصر گوگرد، منگنز، منیزیم، پتاسیم و کلسیم در گیاه خردل کاهش یافت، درحالی‌که مایه‌زنی قارچ تریکودرما سبب افزایش جذب این عناصر در تمامی سطوح شوری شد. برطبق پژوهش وی میزان سدیم ساقه و ریشه طی تنش افزایش یافت که با مایه‌زنی تریکودرما از مقدار آن‌ها کاسته شد (Ahmad *et al.*, 2015). در پژوهش حاضر نیز میزان جذب عناصر پتاسیم و کلسیم پس از مایه‌زنی تریکودرما در گیاه افزایش یافت که با یافته‌های محققان پیشین مطابقت دارد.

۴. نتیجه‌گیری

تنش شوری منجر به کاهش شاخص‌های رویشی (وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، قطر ساقه و ارتفاع گیاه) و افزایش محتوای قند محلول و عناصر سدیم و کلسیم و کاهش عنصر پتاسیم شد از سوی دیگر استرین‌های قارچ تریکودرما باعث افزایش اکثریت این مقادیر شد. از این‌رو، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده شوری باعث تأثیر منفی بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک در گیاهچه‌های بادمجان شده است و استفاده از استرین‌های تریکودرما تا حدودی می‌تواند این خسارت‌ها را جبران کند و اثرات نامطلوب شوری را بهبود بخشد در واقع قارچ تریکودرما با افزایش حلالیت عناصر غذایی، تنظیم اسیدیته محیط و به‌ویژه با افزایش سیستم ریشه‌ای باعث جذب بهتر آب منجر به افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری می‌شود. بنابراین می‌توان این گونه نتیجه گرفت که استفاده از استرین‌های بومی تریکودرما می‌تواند عامل زیستی مناسبی جهت بهبود مقاومت و جلوگیری از کاهش عملکرد در مواجهه با تنش‌های زیست‌محیطی به‌ویژه شوری در گیاهچه‌های بادمجان باشد.

۵. تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان به جهت تأمین مالی بخشی از هزینه‌های اجرای این پژوهش و راهنمایی دکتر علی‌اکبر محمدی میریک و دکتر سید رسول صحافی برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Abdullah, N. S., Doni, F., Mispan, M. S., Saiman, M. Z., Yusuf, Y. M., Oke, M. A., & Suhaimi, N. S. M. (2021). Harnessing *Trichoderma* in agriculture for productivity and sustainability. *Agronomy*, 11(12), 2559. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122559>
- Ahmad, P., Hashem, A., Abd-Allah, E. F., Alqarawi, A. A., John, R., Egamberdieva, D., & Gucel, S. (2015). Role of *Trichoderma harzianum* in mitigating NaCl stress in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) through antioxidative defense system. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00868>
- Akbarimoghaddam, H., Galavi, M., Ghanbari, A., & Panjehkeh, N. (2011). Salinity effects on seed germination and seedling growth of bread wheat cultivars. *Trakia Journal of Sciences*, 9(1), 43-50.
- Akinci, I. E., Akinci, S., Yilmaz, K., & Dikici, H. (2004). Response of eggplant varieties (*Solanum melongena*) to salinity in germination and seedling stages. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32(2), 193-200. <https://doi.org/10.1080/01140671.2004.9514296>
- Alzahib, R. H., Migdadi, H. M., Al Ghamdi, A. A., Alwahibi, M. S., Ibrahim, A. A., & Al-Selwey, W. A. (2021). Assessment of morpho-physiological, biochemical and antioxidant responses of tomato landraces to salinity stress. *Plants*, 10(4), 696. <https://doi.org/10.3390/plants10040696>
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: an omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156, 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- Assaha, D.V., Ueda, A., & Saneoka, H. (2013). Comparison of growth and mineral accumulation of two *solanaceous* species, *Solanum scabrum* Mill. (huckleberry) and *S. melongena* L. (eggplant), under salinity stress. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59(6), 912-920. <https://doi.org/10.1080/00380768.2013.858300>

- Atlassi Pak, V. (2018). Study of sodium accumulation in the leaves of cultivars sensitive to salt tolerance (*Triticum aestivum* L.), *Plant Production*, 41 (1), 43-56. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2017.19760.1405>
- Azarmi, R., Hajieghrari, B., & Giglou, A. (2011). Effect of *Trichoderma* isolates on tomato seedling growth response and nutrient uptake. *African Journal of Biotechnology*, 10 (31), 5850-5855. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1600>
- Brotman, Y., Landau, U., Cuadros-Inostroza, Á., Takayuki, T., Fernie, A.R., Chet, I., Viterbo, A., & Willmitzer, L. (2013). *Trichoderma*-plant root colonization: escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. *PLoS Pathogens*, 9(3), e1003221. <https://doi.org/10.1371/annotation/8b818c15-3fe0-4e56-9be2-e44fd1ed3fae>
- Chapman, M. A. (2019). Introduction: the importance of eggplant. *In The eggplant genome*. 1-10.
- Coskun, D., Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2010). Regulation and mechanism of potassium release from barley roots: an in planta 42 K^+ analysis. *New Phytology*, 188(4), 1028-38. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03436.x>
- Fattahi, M., Mohammadkhani, A., Shiran, B., Baninasab, B., Ravash, R., & Gogorcena, Y. (2021). Beneficial effect of mycorrhiza on nutritional uptake and oxidative balance in pistachio (*Pistacia* spp.) rootstocks submitted to drought and salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 281, 109937. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109937>
- Ferreira-Silva, S. L., Silveira, J., Voigt, E., Soares, L., & Viegas, R. (2008). Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20(1), 51-59. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000100006>
- Guo, Q., Liu, L., & Barkla, B. J. (2019). Membrane lipid remodeling in response to salinity. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(17), 4264. <https://doi.org/10.3390/ijms20174264>
- Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 2014.701596. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
- Hajlaoui, H., El Ayeb, N., Garrec, J. P., & Denden, M. (2010). Differential effects of salt stress on osmotic adjustment and solutes allocation on the basis of root and leaf tissue senescence of two silage maize (*Zea mays* L.) varieties. *Industrial Crops and Products*, 31, 122-130. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2009.09.007>
- Hameed, A., Dilfuza, E., Abd-Allah, E.F., Hashem, A., Kumar, A., & Ahmad, P. (2014). Salinity stress and arbuscular mycorrhizal symbiosis in plants. In M. Miransari, (Ed.), *Use of microbes for the alleviation of soil stresses*, (Vol. 1, pp. 139-159). New York, NY: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9466-9_7
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2, 43-56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Hegazi, A. M., El-Shraiy, A. M., & Ghoname, A. (2015). Alleviation of salt stress adverse effect and enhancing phenolic anti-oxidant content of eggplant by seaweed extract. *Gesunde Pflanzen*, 67, 21-31. <https://doi.org/10.1007/s10343-014-0333-x>
- Heuer, B., Meiri, A., & Shalevet, J. (1986). Salt tolerance of eggplant. *Plant and Soil*, 95(1), 9-13.
- Illescas, M., Pedrero-Méndez, A., Pitorini-Bovolini, M., Hermosa, R., & Monte, E. (2021). Phytohormone production profiles in *Trichoderma* species and their relationship to wheat plant responses to water stress. *Pathogens*, 10(8), 991. <https://doi.org/10.3390/pathogens10080991>
- Iqbal M., & Ashraf, M. (2013). Alleviation of salinity-induced perturbations in ionic and hormonal concentrations in spring wheat through seed preconditioning in synthetic auxins. *Acta Physiologiae Plantarum*. 35, 1093-1112. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1147-z>

- 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.tb087>
- Khalili, M., Naghavi, M., & Talebzadeh, S. (2020). Investigation of changes in morphological, physiological and biochemical traits in some canola cultivars under salinity stress. *Iranian Journal of Crop Sciences (Iranian Agricultural Sciences)*, 51 (2), 15-28. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.250429.654438>
- Khayamim, S., Noshad, H., Rajabi, A., & Jafari, R. (2021). Response of sugar beet multi-sprout genotypes to salinity stress. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 14 (1), 235-247. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2019.2664.1697>
- Klute, A. (1986). *Methods of soil analysis*. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America.
- Kumar, K., Manigundan, K., & Amaresan, N. (2017). Influence of salt tolerant *Trichoderma* spp. on growth of maize (*Zea mays*) under different salinity conditions. *Journal of Basic Microbiology*, 57 (2), 141-150. <https://doi.org/10.1002/jobm.201600369>
- Laximi, R., Bisht, T. S., Upadhayay, R. G., & Kukreti, A. (2016). Selection of salinity tolerant *Trichoderma* isolates and evaluating their performance in alleviating salinity stress in rice (*Oryza sativa* L.). *National Academy of Agricultural Science*. 34(6), 1869-1875.
- Li, R. X., Cai, F., Pang, G., Shen, Q. R., Li, R., & Chen, W. 2015. Solubilisation of phosphate and micronutrients by *Trichoderma harzianum* and its relationship with the promotion of tomato plant growth. *PLoS One*, 10(6), 0130081. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130081>
- Lu, S., Li, T., & Jiang, J. (2010). Effects of salinity on sucrose metabolism during tomato fruit development. *African Journal of Biotechnology*, 9(6), 842-849. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1602>
- Ma, Y., (2019). Seed coating with beneficial microorganisms for precision agriculture. *Biotechnology Advances*, 37(7), 107423. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107423>
- Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: effect on vegetable crop growth. management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2), 1-13. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. London, UK: Academic Press.
- Mastouri, F., Björkman, T., & Harman, G. E. (2012). *Trichoderma harzianum* enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 25(9), 1264-1271. <https://doi.org/10.1094/MPMI-09-11-0240>
- Mehrabi-Koushki M., Rouhani H., & Mahdikhani-Moghaddam E. (2012). Differential display of abundantly genes of *Trichoderma harzianum* during colonization of tomato-germinating seeds and roots. *Current Microbiology*, 65(5), 524-533. <https://doi.org/10.1007/s00284-012-0189->
- Mehrinfar, F., Nematzadeh, Q., Pirdashti, H., & Mobaser, H. (2014). The effect of salinity on ionic content, plant pigments and soluble sugars and starches of *Aeluropus littoralis*. *New Agricultural Findings*, 8 (31), 251-261. (In Persian).
- Mei, X., Li, S., Li, Q., Yang, Y., Luo, X., He, B., Li, H., & Xu, Z. (2014). Sodium chloride salinity reduces Cd uptake by edible amaranth (*Amaranthus mangostanus* L.) via competition for Ca channels. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 105, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.04.005>
- Mirkhani, F., & Alaei, H. (2015). Species diversity of indigenous *Trichoderma* from alkaline pistachio soils in Iran. *Mycologia Iranica*, 2(1), 22-37. <https://doi.org/10.22043/mi.2015.14264>
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Arolu, F., Chukwu, S. C., Salisu, M. A., Olaniyan, B. A., & Muftaudeen, T. K. (2021). Genetic diversity and utilization of cultivated eggplant germplasm in varietal improvement. *Plants*, 10(8), 1714. <https://doi.org/10.3390/plants10081714>
- Ors, S., Ekinci, M., Yildirim, E., Sahin, U., Turan, M., & Dursun, A. (2021). Interactive effects of salinity and drought stress on photosynthetic characteristics and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings. *South African Journal of Botany*, 137, 335-339. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.031>

- Porcel, R., Aroca, R., & Ruiz-Lozano, J. M. (2012). Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 181-200. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0029-x>
- Raghani, M., Estaji, A., Bagheri, V., & Aryakia E. (2016). Effect of salinity stress and salicylic acid on some morphophysiological characteristics of eggplant (*Solanum melongena* var. *Taki*) in soilless culture. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 7(3), 77-87. (In Persian). <http://jspi.iut.ac.ir/article-1-1218-fa.html>
- Ranjbar, Gh., & Pirasteh-Anosheh, H. (2015). A glance to the salinity research in Iran with emphasis on improvement of field crops production. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17(2), 165 -178. (In Persian).
- Rasool, S., Ahmad, A., Siddiqi, T. O., & Ahmad, P. (2013). Changes in growth, lipid peroxidation and some key antioxidant enzymes in chickpea genotypes under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 1039-1050. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1142-4>
- Repas, T. S., Gillis, D. M., Boubakir, Z., Bao, X., Samuels, G. J., & Kaminskyj, S. G. (2017). Growing plants on oily, nutrient-poor soil using a native symbiotic fungus. *PloS One*, 12(10), 0186704. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186704>
- Rouhani, N., Nemati, S., Moghadam, M., & Ardakanian, V. (2016). The effect of salinity stress on physiological characteristics and how to absorb sodium and potassium elements in shoots and tubers of three radish cultivars. *Soil-Plant Relations (Science and Technology of Greenhouse Cultivation)*, 7 (27), 169-178. (In Persian). <https://doi.org/10.18869/acadpub.ejcgst.7.27.169>
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., & Colla, G. (2012). Improving melon and cucumber photosynthetic activity, mineral composition, and growth performance under salinity stress by grafting onto Cucurbita hybrid rootstocks. *Photosynthetica*, 50(2), 180-188. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0002-1>
- Ryu, H., & Cho, Y. G. (2015). Plant hormones in salt stress tolerance. *Journal of Plant Biology*, 58(3), 147-155. <https://doi.org/10.1007/s12374-015-0103-z>
- Saberi Riseh, R., Ebrahimi-Zarandi, M., Tamanadar, E., Moradi Pour, M., & Thakur, V. K. (2021). Salinity stress: toward sustainable plant strategies and using plant growth-promoting *Rhizobacteria* encapsulation for reducing it. *Sustainability*, 13(22), 12758. <https://doi.org/10.3390/su132212758>
- Saeedipoor, S. (2017). Effect of salinity stress on yield, concentration and distribution of some elements in different organs of two rice cultivars (*Oriza sativa* L.). *Crop Physiology Journal*, 9 (36), 27-40. (In Persian).
- Sharma A. K., & Sharma, P. (2020). *Trichoderma : host pathogen interactions and applications - rhizosphere biology*. Singapore: Springer.
- Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
- Sriram, S., Savitha, M. J., Rohini, H. S., & Jalali, S. K. (2013). The most widely used fungal antagonist for plant disease management in India, *Trichoderma viride* is *Trichoderma asperellum* as confirmed by oligonucleotide barcode and morphological characters. *Current Science*, 104, 1332-1340.
- Taghinasab Darzi, M. (2012). Effect of some *Trichoderma* spp. isolates on promoting growth of cucumber seedlings under greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 3 (3), 85-92.
- Unlukara, A., Kurunç, A., Kesmez, G. D., Yurtseven, E., & Suarez, D. L. (2010). Effects of salinity on eggplant (*Solanum melongena* L.) growth and evapotranspiration. *Irrigation and Drainage*, 59(2), 203-214. <https://doi.org/10.1002/ird.453>
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress

- response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
- Wang, R., Chen, D., Khan, R.A.A., Cui, J., Hou, J., & Liu, T. (2021). A novel *Trichoderma asperellum* strain DQ-1 promotes tomato growth and induces resistance to gray mold caused by *Botrytis cinerea*. *FEMS Microbiology Letters*, 368(20), 140. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnab140>
- Wu, Q. S., Zou, Y. N., & He, X. H. (2013). Mycorrhizal symbiosis enhances tolerance to NaCl stress through selective absorption but not selective transport of K⁺ over Na⁺ in trifoliolate orange. *Scientia Horticulturae*, 160, 366-374. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.011>
- Yang, R., Qin, Z., Wang, J., Zhang, X., Xu, S., Zhao, W., & Huang, Z. (2022). The interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma longibrachiatum* enhance maize growth and modulate root metabolome under increasing soil salinity. *Microorganisms*, 10(5), 1042.1-17. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10051042>
- Zahra, N., Raza, Z. A., & Mahmood, S. (2020). Effect of salinity stress on various growth and physiological attributes of two contrasting maize genotypes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020200072>
- Zhang, C., Wang, W., Hu, Y., Peng, Z., Ren, S., Xue, M., Liu, Z., Hou, J., Xing, M., & Liu, T. (2022). A novel salt-tolerant strain *Trichoderma atroviride* HN082102. 1 isolated from marine habitat alleviates salt stress and diminishes cucumber root rot caused by *Fusarium oxysporum*. *BMC Microbiology*, 22(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02479-0>
- Zhang, H., Kim, M.S., Sun, Y., Dowd, S.E., Shi, H., & Paré, P.W. (2008). Soil bacteria confer plant salt tolerance by tissue-specific regulation of the sodium transporter HKT1. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 21, 737-744. <https://doi.org/10.1094/MPMI-21-6-0737>
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J. K., & Shabala, S. (2020). Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation*, 1(1), p.100017. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>
- Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003>