

(OPEN ACCESS)

Effect of *Trichoderma* extracts on the recovery of the vigor in aged barley seeds

Mahin Kazemi¹, Ali Asghar Aliloo^{*2}

1. Dept. of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran. E-mail: kazemi.kazemi.mahin@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran. E-mail: aliasghar.aliloo@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Barley is the fourth most important cereal crop in the world. Today, this plant is used as animal feed, malt production, and human food. Seed aging or aging is usually an irreversible, cumulative, and irreparable process that causes cellular damage, leading to delayed germination, reduced ability to resist stress, and ultimately loss of vitality. The use of biological treatments or their derivatives is considered one of the strategies for controlling the rate of seed aging, among which the use of fungi of the genus <i>Trichoderma</i> is of great importance. The aim of this research is to investigate the effect of fungal extracts of <i>Trichoderma koningii</i> , <i>T. virens</i> , and <i>T. harzianum</i> on improving germination and seedling quality of 'Jolgeh' barley seeds under induced aging conditions. This study seeks to reduce seed deterioration damages and increase the efficiency of using seed reserves. The results can provide strategies for improving barley seed performance under environmental stress.
Article history: Received: 04.05.2025 Revised: 05.23.2025 Accepted: 06.08.2025	
Keywords: Germination, Seed deterioration, Seedling vigor, Symbiotic fungi, <i>Trichoderma</i> isolates	
	Materials and Methods: In this experiment, the effects of seed treatment with <i>T. koningii</i> , <i>T. virens</i> , and <i>T. harzianum</i> extracts on germination indices and seedling vigor of spent and unspent seeds of plain barley cultivar Jolgeh were investigated under laboratory and greenhouse conditions as factorial experiments in completely randomized plots with three replications. For seed exhaustion, accelerated exhaustion method was used for 24, 48, 72, 96, 144, and 120 hours at 44±1 °C and 95±5% relative humidity. Extraction of fungal extracts was performed using <i>Trichoderma</i> -TSM specific culture medium. Germination traits were examined using ISTA method under standard laboratory conditions and greenhouse experiment was adjusted based on the results. In the greenhouse experiment, two exhaustion levels of 120 and 144 (hours) were excluded from the exhaustion treatment levels due to complete exhaustion of seeds. At this stage, all seedling traits were examined, including seed reserve utilization efficiency, seed discharge percentage, material mobility amount, and seedling vigor.
	Results: The results showed that all the studied parameters including germination percentage, germination rate, germination percentage,

germination rate, abnormal seedling percentage, stem length, leaf length, root length, seedling length, root to stem length ratio, stem dry weight, root dry weight, seedling dry weight, seed reserve utilization efficiency, seed discharge percentage, material mobility amount, and seedling vigor were significantly ($p \leq 0.01$) affected by the interaction between seed exhaustion and fungal extracts. Seed exhaustion caused a decrease in germination percentage, which was proportional to the intensity of stress. However, the positive effect of fungal extracts of *T. koningii*, *T. virens* and *T. harzianum* on improving germination percentage in treatments with exhaustion longer than 72 hours was more pronounced than in the control treatment ($p \leq 0.05$). Seed exhaustion for 48 hours significantly increased germination rate, after which this trait decreased significantly under exhaustion ($p \leq 0.05$). The greenhouse results indicated positive effects of fungal extracts on important seedling traits. *T. virens* and *T. harzianum* extracts reduced the percentage of abnormal seedling compared to the control treatment. Also, these treatments performed better than the control treatment in most of the seedling weight and length traits under exhaustion conditions. The highest efficiency of using reserves from *T. virens* and *T. harzianum* was achieved at 72 hours and 24 hours of exhaustion, respectively, while the conversion efficiency of *T. koningii* was lower than the control at all exhaustion levels.

Conclusion: The effect of fungal extracts on seed and seedling vigor recovery was not significant up to exhaustion levels of 48 hours compared to the control, but at higher levels, a significant effect on seed and seedling vigor recovery was observed, especially with extracts of *T. virens* and *T. harzianum* fungi, which was due to the increase in the mobility of seed reserves and their efficiency of use.

Cite this article: Kazemi, Mahin, Aliloo, Ali Asghar. 2026. Effect of *Trichoderma* extracts on the recovery of the vigor in aged barley seeds. *Journal of Plant Production Research*, 33 (2), 93-115.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2025.23268.3234

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر عصاره‌های قارچ تریکودرما بر بازیافت بنیه بذرهای فرسوده جو زراعی

مهین کاظمی^۱، علی اصغر علیلو^{۲*}

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: kazemi.kazemi.mahin@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: aliasghar.aliloo@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: گیاه جو چهارمین محصول مهم غلات در جهان است. امروزه این گیاه به‌عنوان خوراک دام، تولید مالت و غذای انسان استفاده می‌شود. پیری یا فرسودگی بذر معمولاً یک فرآیند برگشت‌ناپذیر، تجمعی و غیرقابل جبران است که با ایجاد آسیب‌های سلولی منجر به تاخیر در جوانه‌زنی، کاهش توانایی مقاومت در برابر تنش‌ها و در نهایت از دست دادن قوه و قدرت زیست آن می‌شود. استفاده از تیمارهای زیستی و یا مشتقات آن‌ها از راهکارهای مهار سرعت فرسودگی بذر به‌شمار می‌روند که در بین آن‌ها استفاده از قارچ‌های جنس <i>Trichoderma</i> دارای اهمیت به‌سزایی است. هدف این تحقیق بررسی تأثیر عصاره‌های قارچی <i>T. harzianum</i> ، <i>T. virens</i> ، <i>T. koningii</i> بر بهبود جوانه‌زنی و کیفیت گیاهچه بذر جو رقم جلگه در شرایط فرسودگی است. این مطالعه به دنبال کاهش آسیب‌های ناشی از فرسودگی بذر و افزایش کارایی استفاده از ذخایر بذری می‌باشد. نتایج می‌تواند راهکارهایی برای بهبود عملکرد بذر جو در شرایط تنش محیطی ارائه دهد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸	مواد و روش‌ها: در این آزمایش اثرات تیمار بذر با عصاره‌های <i>T. virens</i> ، <i>T. koningii</i> و <i>T. harzianum</i> روی شاخص‌های جوانه‌زنی و قدرت گیاهچه بذرهای فرسوده و غیرفرسوده جو رقم جلگه در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای به‌صورت آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار بررسی شد. برای فرسودگی بذر از روش فرسودگی تسریع شده به مدت ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴ ساعت در دمای 44 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 95 ± 5 درصد استفاده شد. تهیه عصاره عصاره‌های قارچی با استفاده از محیط کشت اختصاصی تریکودرما-TSM انجام گرفت. صفات جوانه‌زنی بر اساس قوانین ISTA در شرایط استاندارد آزمایشگاهی بررسی و براساس نتایج آن آزمایش گلخانه‌ای تنظیم گردید. در آزمایش گلخانه دو سطح فرسودگی ۱۲۰ و ۱۴۴ (ساعت) به دلیل فرسودگی کامل بذر از سطوح تیمار فرسودگی حذف شدند. در این مرحله تمامی صفات گیاهچه‌ای به‌همراه کارایی استفاده از ذخایر بذر، درصد تخلیه بذر، مقدار تحرک مواد و قدرت گیاهچه بررسی شد.
واژه‌های کلیدی: جدایه‌های تریکودرما، جوانه‌زنی، زوال بذر، قارچ همزیست، قدرت گیاهچه	

یافته‌ها: نتایج نشان داد تمامی مورد مطالعه شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، درصد گیاهچه غیرطبیعی، طول ساقه، طول برگ، طول ریشه، طول گیاهچه، نسبت طول ریشه به ساقه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، وزن خشک گیاهچه، کارایی استفاده از ذخایر بذر، درصد تخلیه بذر، مقدار تحرک مواد و قدرت گیاهچه به‌طور معنی‌دار ($p \leq 0/01$) تحت تاثیر اثر متقابل فرسودگی بذر و عصاره‌های قارچی قرار گرفتند. فرسودگی بذر باعث کاهش درصد جوانه‌زنی شد که متناسب با شدت تنش بود. با این تفاوت که اثر مثبت عصاره‌های قارچی *T. koningii*، *T. virens* و *T. harzianum* در بهبود درصد جوانه‌زنی در تیمارهای فرسودگی بالاتر از ۷۲ ساعت نسبت به تیمار شاهد بارزتر بود ($p \leq 0/05$). فرسودگی بذرهای جو به مدت ۴۸ ساعت باعث افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی شد که بعد از آن این صفت تحت فرسودگی کاهش معنی‌دار یافت ($p \leq 0/05$). نتایج گلخانه حاکی از اثرات مثبت عصاره‌های قارچی بر صفات مهم گیاهچه بود. عصاره‌های *T. virens* و *T. harzianum* درصد گیاهچه غیرطبیعی را نسبت به تیمار شاهد کاهش دادند. این تیمارها تحت شرایط فرسودگی در اغلب صفات وزنی و طولی گیاهچه نسبت به تیمار شاهد موفق عمل کردند. بالاترین کارایی استفاده از ذخایر از *T. virens* و *T. harzianum* به‌ترتیب در ۷۲ ساعت و ساعت ۲۴ فرسودگی حاصل شد در حالی که کارایی تبدیل *T. koningii* در تمام سطوح فرسودگی پایین‌تر از شاهد بود.

نتیجه‌گیری: اثر عصاره‌های قارچی بر بازیافت قدرت بذر و گیاهچه تا سطوح فرسودگی ۴۸ ساعت نسبت به شاهد چشمگیر نبود ولی سطوح بالاتر اثر معنی‌دار بازیافت قدرت بذر و گیاهچه به‌ویژه با عصاره‌های قارچ‌های *T. virens* و *T. harzianum* مشاهده شد که ناشی از افزایش تحرک ذخایر بذری و کارایی استفاده از آن‌ها بود.

استناد: کاظمی، مهین، علیلو، علی‌اصغر (۱۴۰۵). اثر عصاره‌های قارچ تریکودرما بر بازیافت بنیه بذرهای فرسوده جو زراعی.

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۳ (۲)، ۹۳-۱۱۵.

DOI: 10.22069/jopp.2025.23268.3234



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

تشکیل بذر به عنوان یکی از مراحل مهم فنولوژیک در چرخه زندگی گیاهان، نقش اساسی در تولید محصولات زراعی داشته و در طول تاریخ، عامل اصلی تأمین نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد بشر بوده است (۱). قوه نامیه و قدرت نامیه از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین کیفیت بذر به‌شمار می‌روند که به‌ترتیب زنده بودن بذر و استقرار گیاهچه در مزرعه را نشان می‌دهند (۲). معمولاً کیفیت بذر گیاهان زراعی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به بالاترین ارزش بالفعل خود صعود می‌کنند و در مراحل بعد از آن طی کاهش رطوبت در برداشت، فراوری و انبارداری این ارزش کاهش می‌یابد و با سپری شدن زمان تسریع می‌شود (۳). فرسودگی بذر به فرآیند از دست رفتن توانمندی‌های حیاتی بذر گفته می‌شود که معمولاً برآیند یک زنجیره وقایع بیوشیمیایی شامل آسیب به غشاء سلولی، تخریب ساختار اندامک‌ها، نشت یون‌ها، کاهش سرعت تنفس و تولید ATP، از دست دادن فعالیت آنزیمی و افزایش گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) است (۴). با تداوم فرسودگی بذر، تنش اکسیداتیو مهار نشده منجر به آسیب به اجزای مختلف سلولی ناشی از آسیب به پروتئین‌ها، پراکسیداسیون لیپیدی، ناهنجاری‌های کروموزومی و آسیب به DNA می‌شود (۳). تجمع آسیب‌ها باعث تغییرات ساختاری و عملکردی بذر می‌شود که همراه با کاهش و یا عدم جوانه‌زنی و استقرار ضعیف گیاهچه در مزرعه است. عموماً، کاهش در قوه نامیه و قدرت نامیه در شاخصه‌هایی مانند درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، کاهش تنفس و کاهش فعالیت‌های آنزیمی و افزایش گیاهچه‌های غیرطبیعی در آزمون جوانه‌زنی استاندارد بذر نمایان می‌شود (۵). سرعت فرسودگی بذر تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و ژنتیکی است که در این بین عواملی هم‌چون دما، رطوبت نسبی هوا، محتوی رطوبتی بذر، باکتری‌ها،

قارچ‌ها، حشرات و جوندگان و همچنین ساختار ژنتیکی بذر نقش به‌سزایی را ایفاء می‌کند (۶). دو عامل رطوبت بذر و دما محیط از مهم‌ترین عوامل در فرسودگی هستند به‌گونه‌ای که با یک درصد کاهش در میزان رطوبت و یا پنج درجه سلسیوس دمای، عمر بذر دو برابر می‌شود (۷) و بذرها با محتوی رطوبتی اولیه بالا، به‌ویژه در شرایط انبار کردن نامناسب، به سرعت کیفیت خود را از دست می‌دهند (۸). برای مثال در بذر کلزا، کم‌ترین فرسودگی در دمای ۵ درجه سلسیوس با محتوی رطوبت ۵ درصد اتفاق می‌افتد به‌طوری‌که بعد از ۶ ماه انبارداری در این شرایط جوانه‌زنی از ۹۸ به ۹۳ درصد کاهش یافت و افزایش رطوبت بذر به مقدار بالاتر از ۵ درصد جوانه‌زنی را به‌شدت کاهش داد (۹). همین شرایط در مورد انبارداری عدس و نخود (۱۰) و سویا (۱۱) نیز صادق است. با توجه به این‌که فرسودگی یک فرایند دایمی و غیر قابل برگشت‌پذیر می‌باشد حتی در بهترین شرایط تولید بذر و انبارداری، این فرآیند تداوم خواهد داشت و فقط می‌توان سرعت آن را کاهش داد (۳). اثرات فرسودگی روی قوه نامیه غیر قابل برگشت است ولی اثر آن روی قدرت را می‌توان بطور نسبی در برخی از گونه‌های گیاهی مهار کرد (۶). از راهکارهای مهار سرعت فرسودگی می‌توان به مهار شرایط انبار مثل کاهش دما و رطوبت محیط و تیمارهای بذری اشاره کرد. تیمارهای بذری شامل استفاده از پوشش‌دهی بذر با مواد معدنی، مواد آلی و تیمارهای زیستی می‌شوند (۱۲). تیمارهای زیستی عمدتاً شامل استفاده از باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها می‌شود که به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم در تیمارهای بذری و پیش تیمارها وارد می‌شوند تا بتوانند در بهبود جوانه‌زنی و استقرار نقش ایفاء کنند. قارچ‌های همزیست از مهم‌ترین تیمارهای زیستی هستند که به‌منظور مهار عوامل زنده، غیرزنده و یا تحریک رشد گیاهان استفاده می‌شوند. خوشبختانه اثرات مثبت این

جو با نام علمی *Hordeum vulgare* از خانواده Poaceae یکی از گیاهان سردسیری و از اولین غلات کشت شده توسط انسان است. از نظر میزان تولید در بین غلات در سال ۲۰۲۳، پس از ذرت، برنج و گندم در رتبه چهارم قرار گرفته است و تولید کشور هم اکنون در حدود سه میلیون تن است. بذر این محصول معمولاً دارای ماندگاری متوسط در شرایط انبار است و با توجه به این‌که عمده بذر تولیدی و مصرفی در جامعه کشاورزی کشور توسط خود کشاورزان اداره می‌گردد و در نتیجه شاخصه‌های قوه نامیه و قدرت نامیه بیش‌تر تحت‌تأثیر محیط قرار می‌گیرند. بنابراین یافتن و معرفی روشی که بتواند شاخص‌های جوانه‌زنی بذر را بهبود ببخشد ضروری است. با توجه به بررسی منابع، گزارشی مبنی بر بازیافت قدرت بذرهای فرسوده توسط عوامل زیستی دیده نمی‌شود و یا ناچیز است. بنابراین در این مطالعه سعی شد اثر عصاره‌های قارچ تریکودرما بر بازیافت قدرت جوانه‌زنی بذرهای جو زراعی تحت آزمون فرسودگی تسریع شده ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمایشگاه تحقیقاتی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال ۱۴۰۲ انجام شد. بذرهای جو رقم جلگه در تیرماه سال ۱۴۰۱ از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه مراغه برداشت و بعد از انجام آزمون خلوص، بذر خالص تا مهرماه ۱۴۰۲ در آزمایشگاه فناوری بذر دانشگاه مراغه در شرایط چهار درجه سلسیوس نگهداری شد.

تعیین درصد رطوبت، ضد عفونی و آزمون جوانه‌زنی اولیه بذر: برای تعیین محتوی رطوبت اولیه بذر (WC)، ابتدا دو نمونه ۲۰۰ میلی گرمی از نمونه‌های بذری برداشت شد (W1) و بعد از قرار گرفتن در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت وزن خشک (W2) مقدار رطوبت بذر از (رابطه ۱) محاسبه شد که برابر با ۸/۲ درصد بود.

همزیستی در فرایند جوانه‌زنی و مراحل اولیه رشدی گیاهان زراعی نیز قابل توجه است. در بین قارچ‌ها، قارچ تریکودرما از مؤثرترین عوامل مهارگر زیستی است که از دهه‌های گذشته مورد استفاده قرار گرفته است و در حال حاضر اثرات این جنس قارچی بر فراهمی عناصر غذایی، آب و مهار تنش‌های محیطی در گیاهان زراعی نیز به اثبات رسیده است (۱۳). اثرات مثبت تریکودرما از طریق تولید پادزیست، آنزیم‌های هیدرولیتیک، میکوپرازیتسم، رقابت برای مواد مغذی، القای ژن‌های مرتبط با دفاع، مقاومت سیستمیک القایی، انحلال عناصر در خاک، تولید هورمون‌های رشد، انتقال آب و مواد غذایی به گیاه اعمال می‌شود (۱۴). این تغییرات در نهایت باعث افزایش رشد ریشه، قسمت‌های هوایی گیاه، افزایش وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک گیاهچه، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه وزنی گیاهچه می‌شوند (۱۵). برای مثال مطالعه رضالو و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد پیش تیمار زیستی با گونه‌های قارچ تریکودرما (*T. koningii*, *T. viride*, *T. harzianum*) و (*T. virens* و *T. atroviridae*) در گیاهچه‌های بذر ذرت شیرین، گندم و چغندر قند دارای اثرات مثبت و معنی‌دار بر صفات جوانه‌زنی، وزن خشک و شاخص بنیه در تیمارهای تلقیح شده نسبت به شاهد بود (۱۶). همین طور در مطالعه دیگری در بذر لوبیا چیتی (۱۷)، ماش سبز (۱۸) بهبود مؤلفه‌های رشدی گیاه به‌ویژه در مراحل استقرار و رشد اولیه توسط تریکودرما گزارش شده است. فبری و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که تریکودرما به‌طور معنی‌داری رشد گیاهچه، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه را در بذر برنج افزایش می‌دهد (۱۹). همچنین اثر پیش تیمار زیستی با قارچ تریکودرما در بذر بالنگو بر صفات طول ساقه‌چه، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی، ضریب جوانه‌زنی، نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه مثبت و معنی‌دار گزارش شده است (۲۰).

$$WC = (W1-W2)/W1 \times 100 \quad (1)$$

عصاره قارچ تریکودرما، کشت اسپور روی محیط کشت^۱ PDA در پتری‌هایی به قطر ۹ سانتی‌متر صورت گرفت. نمونه‌ها در دمای ۲۷ درجه سلسیوس در انکوباتور و در شرایط تاریکی به مدت ۵ روز نگهداری شدند تا قارچ‌ها به رشد مناسب جهت انتقال به مرحله کشت مایع برسند. کشت مایع با محیط کشت اختصاصی تریکودرما^۲-TSM (جدول یک) در درون ارلن‌هایی یک لیتری که از قبل به وسیله اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس سترون شده بودند، انجام شد (۲۱). انتقال قارچ‌ها به ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر از قسمت رویشی قارچ‌ها (پرگنه) در شرایط سترون صورت گرفت. نمونه‌ها جهت هوادهی روی شیکر دوار با دور ۱۲۰rpm، به مدت هشت روز در دمای ۲۷ درجه سلسیوس نگهداری شدند. پس از این مدت فاز جامد از فاز مایع توسط صافی در دو مرحله جدا و جهت استفاده در مراحل بعدی در یخچال نگهداری شد. لازم به ذکر است عصاره حاوی اسپور زنده با جمعیت 2×10^2 عدد در هر میلی‌لیتر عصاره بود.

ضد عفونی بذرها: بذره‌های جو ابتدا نیم ساعت زیر آب معمولی شستشو و سپس با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم (۵ درصد کلر فعال) ۱۰ درصد به مدت پنج دقیقه ضدعفونی شدند. برای رفع اثرات محلول ضدعفونی‌کننده، بذرها زیر هود میکروبی پنج مرتبه با آب مقطر سترون آبشویی شدند. بعد از اتمام مراحل ضدعفونی، رطوبت بذرها در دمای ۲۴ درجه سلسیوس آزمایشگاه به مقدار اولیه برگردانده و روی نمونه‌ی اولیه ضدعفونی شده آزمون استاندارد جوانه‌زنی انجام شد. بذرها در شرایط سترون تا مراحل بعدی در دمای چهار درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شد.

تهیه عصاره قارچی: قارچ‌های تریکودرما شامل *T. harzianum* و *T. virens*, *T. koningii* از انبار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه که به صورت اسپور "خشک" نگهداری می‌شوند، تهیه شدند. به منظور تهیه

جدول ۱- محیط کشت انتخابی برای قارچ‌های جنس تریکودرما.

Table 1. Selective culture medium for fungi of the genus *Trichoderma*.

ردیف row	ترکیبات Compounds	مقدار بر حسب گرم در لیتر آب مقطر Amount in grams per liter of distilled water
1	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.2
2	K ₂ HPO ₄	0.9
3	KCl	0.15
4	NH ₄ NO ₃	1
5	Glucose	3
6	Rose bengal	0.15
7	Chloramphenicol	0.25
8	P-Dimethylaminobenzenediazo Sodium Sulfonate.	0.3
9	Pentachloronitrobenzene	0.2

کلرامفنیکل برای مهار رشد باکتری‌ها (ردیف ۷)، پنتاکلرونیتروبنزن (ردیف ۹)، پی-دی-متیل‌آمینوبنزن‌دiaz-سدیم سولفونات (ردیف ۸) و رزبنگال (ردیف ۶) به عنوان مهارکننده‌های انتخابی رشد سایر قارچ‌ها استفاده شدند.

Chloramphenicol was used to inhibit bacterial growth (row 7), pentachloronitrobenzene (row 9), p-di-methylaminobenzenediazo-sodium sulfonate (row 8), and rose bengal (row 6) were used as selective inhibitors of the growth of other fungi

1- Potato Dextrose Agar

2- Trichoderma-Selective Agar Medium

فرسودگی بذر: برای فرسودگی بذرهای از روش آزمون فرسودگی تسریع شده استفاده شد. در این روش بذرهای به مدت ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴ ساعت در دمای 44 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 95 ± 5 درصد قرار گرفتند (۲۲). آزمون‌های استاندارد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی با تمام ترکیبات تیماری (فرسودگی $\times$ عصاره‌های تریکودرما) روی ۲۵ عدد بذر به روش پتری و کشت روی بستر کاغذ صافی انجام شد. در هنگام استفاده از عصاره، برای تیمار شاهد از آب مقطر و برای سایر از عصاره‌های قارچ تریکودرما شامل *T. koningii*، *T. virens* و *T. harzianum* استفاده شد. شرایط جوانه‌زنی با

استفاده از ژرمیناتور که دمای آن روی 20 ± 1 درجه سلسیوس تنظیم شده بود، انجام گردید (۲۲). برای ارزیابی سرعت جوانه‌زنی نمونه‌ها در فواصل زمانی ۲۴ ساعته بازدید و بذرهای جوانه‌زده (خروج حداقل ۲ میلی‌متری ریشه‌چه) شمارش شدند. شمارش بذر زمانی پایان یافت که جوانه‌زنی جدید در نمونه‌ها مشاهده نشد. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی [GP]، میانگین مدت جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی از رابطه‌های ۲ و ۳ [MGT and R] استفاده شد. همچنین در آزمایش کشت گیاهچه در محیط مهار شده نیز از این رابطه‌ها استفاده گردید (۲۲ و ۲۳).

$$\text{Germination Percentage (GP)} = ((\text{number of normally germinated seed}) / (\text{total number of seeds})) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Mean Germination Time (MGT)} = (\sum(n_i \times d_i)) / (\sum n_i), \quad R = 1 / \text{MGT} \quad (3)$$

که در آن‌ها، d_i روزهای سپری شده از شروع آزمایش، n_i تعداد بذرهای جوانه زده در همان روز، n تعداد کل جوانه زده‌ها، R سرعت جوانه‌زنی. **کشت گیاهچه در محیط مهار شده:** آزمایش گلدانی بر اساس نتایج جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در آزمایشگاه تنظیم و اجرا شد. در این آزمایش دو سطح فرسودگی ۱۲۰ و ۱۴۴ (ساعت) به دلیل فرسودگی کامل بذرهای از سطوح تیمار فرسودگی حذف و سطوح شاهد، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ (ساعت) فرسودگی وارد این آزمایش شدند. اما در مورد قارچ تریکودرما تغییری لحاظ نگردید. جهت کشت، از گلدان‌هایی با اندازه دهانه و عمق 30×20 سانتی‌متر استفاده شد. در تهیه بستر فقط از ماسه اتوکلاو شده که قبل از کشت در طی ۷۲ ساعت در دو نوبت ضدعفونی شده بودند استفاده شد. ۱۰ عدد بذر برای هر تیمار در هر گلدان به عمق ۴ سانتی‌متر کشت شد. اعمال عصاره قارچی

بار اول روی بذرهای و بار دوم در هنگام آبیاری اول صورت گرفت و برای تیمار شاهد از آب مقطر سترون شده استفاده شد. جهت عدم تداخل فرآیند فتوسنتز (مرحله اتوتروفی) رشد گیاهچه در محیط کاملاً تاریک صورت گرفت تا فقط مرحله هتروتروفی برای گیاهچه ارزیابی شود. لازم به ذکر است که دمای اتاق کشت 20 ± 1 درجه سلسیوس تنظیم شد. بازدید از گیاهچه‌های سبز شده در فواصل زمانی ۲۴ ساعته انجام گرفت و تعداد گیاهچه سبز شده شمارش و ثبت شد. معیار سبز شدن، خروج گیاهچه از سطح بستر کشت بود. در طول این دوره شمارش تا زمانی ادامه یافت که برای سه روز متوالی تعداد گیاهچه سبز شده در هر گلدان ثابت ماند. در پایان آزمایش صفات درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، درصد گیاهچه طبیعی و غیرطبیعی، طول برگ، طول ریشه، طول ساقه، نسبت طول ریشه به ساقه، طول گیاهچه، وزن

قارچ *T. harzianum* و *T. virens*، *T. koningii* انجام گرفت. آزمایش دوم (کشت گیاهچه در محیط مهار شده) مانند آزمایش اول اجرا شد فقط با تغییر در سطوح فرسودگی که به جای هفت سطح شامل پنج سطح فرسودگی بود و سطوح ۱۲۰ و ۱۴۴ ساعت حذف شدند. برای تجزیه واریانس داده‌ها بعد از احراز مفروضات آن از نرم‌افزار SAS ۹.۱ استفاده شد. مقایسات میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. قبل از تجزیه، برای داده‌های صفت گیاهچه غیرطبیعی از تبدیل $\arcsin \times \sqrt{x+0.5}$ استفاده شد.

نتایج و بحث

در این مطالعه، تأثیر تیمارهای فرسودگی تسریع شده و تیمارزیستی بر ویژگی‌های مختلف جوانه‌زنی بذر جو زراعی بررسی شد. صفات مختلفی مانند درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد سبز شدن و سرعت سبز شدن در شرایط مختلف آزمایشی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان دادند که تیمارهای فرسودگی تسریع شده و تیمار زیستی تأثیرات متفاوتی بر این صفات داشتند (جدول‌های ۲ و ۳ و شکل ۱).

تر ریشه، وزن ترساقه، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک گیاهچه، قدرت گیاهچه، وزن خشک اولیه بذر، مقدار تحرک مواد، کارایی استفاده از ذخایر بذر و درصد تخلیه بذر اندازه‌گیری و محاسبه شد.

وزن خشک گیاهچه^۱ (SLDW) و وزن خشک باقی‌مانده بذرها^۲ (RSDW) بعد از قرار دادن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت از میانگین گیاهچه‌های نرمال تعیین شد. مقدار استفاده از ذخایر بذر یا وزن ذخایر پویا شده بذر^۳ (WMSR)، کارایی استفاده از ذخایر بذر یا کارایی تبدیل ذخایر بذری پویا شده به بافت گیاهچه^۴ (SRUE)، درصد تخلیه ذخایر بذر^۵ (SRDP) و شاخص قدرت گیاهچه^۶ (SVI) از طریق معادلات رابطه ۴ تا ۷ به دست آمد. وزن خشک اولیه بذر^۷ (ISDW) است.

$$WMSR = ISDW - RSDW \quad (۴)$$

$$SRUE = SLDW / WMSR \quad (۵)$$

$$SRDP = WMSR / ISDW \quad (۶)$$

$$SVI = \text{Normally Germinated Seed} \times SLDW \quad (۷)$$

طرح‌های آماری: آزمایش اول بر اساس آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل هفت سطح فرسودگی (۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴ ساعت و شاهد) و فاکتور دوم سطوح قارچی در چهار سطح شاهد و

- 1- Seedling Dry Weight
- 2- Remanent of Seed Dry Weight
- 3- Weight of Mobilized Seed Reserves
- 4- Seed Reserve Utilization Efficiency
- 5- Seed Reserve Depletion Percentage
- 6- Seedling Vigor Index
- 7- Initial Seed Dry Weight

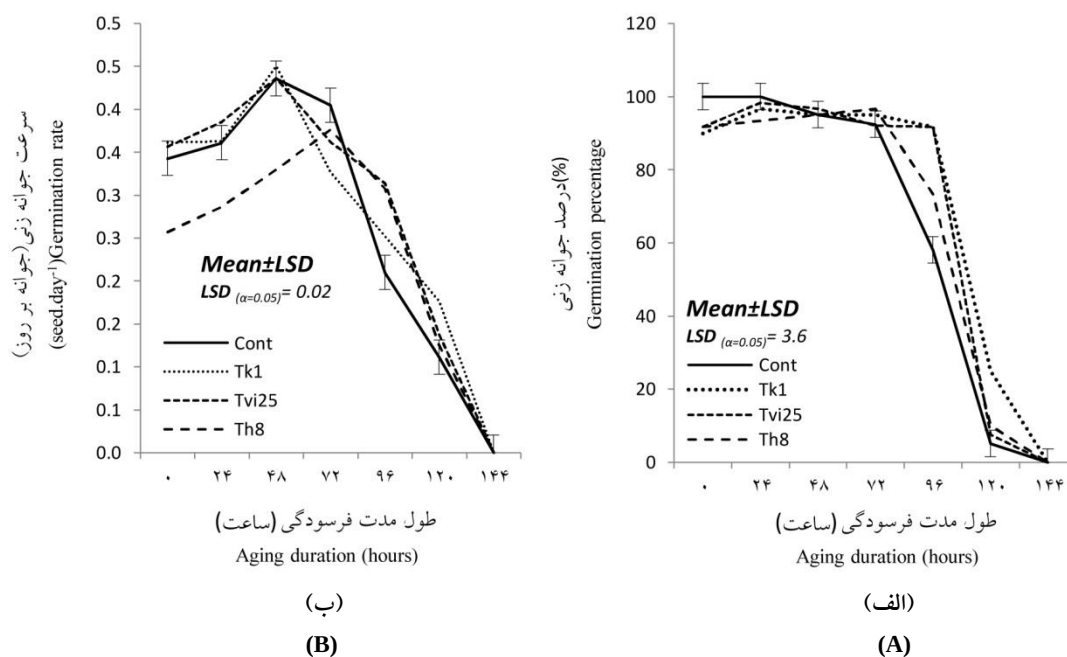
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر فرسودگی تسریع شده و تیمار زیستی بر شاخص‌های جوانه‌زنی در جو زراعی.

Table 2. Analysis of variance of the effect of accelerated aging and resistance treatment on germination indices in cultivated barley.

میانگین مربعات Mean Square		درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variation
سرعت جوانه‌زنی Germination rate	درصد جوانه‌زنی Percentage of germination		
620**	5821**	6	فرسودگی (A) Aging (A)
5.14**	63**	3	تیمار زیستی (B) Biological treatment (B)
5.10**	114**	18	A×B
0.216	19.8	56	خطا Error
4.5	5.2	–	ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال آماری پنج و یک درصد، ns غیرمعنی‌دار

**, * significant at 1% and 5% probability level, ns non-significant difference



شکل ۱- اثر قارچ‌های *T. koningii* (Tk1)، *T. virens* (Tvi25) و *T. harzianum* (Th8) به همراه تیمار شاهد (Cont)

بر درصد جوانه‌زنی بذرهای فرسوده جو زراعی (الف)، سرعت جوانه‌زنی بذرهای فرسوده جو زراعی (ب).

Fig. 1. Effect of extracts of fungi (Tk1) *T. koningii*, (Tvi25) *T. virens*, and (Th8) *T. harzianum* along with control treatment (Cont.) on the germination percentage of spent barley seeds (A), on the germination rate of spent barley seeds (B).

درصد جوانه‌زنی و درصد سبز شدن به‌طور مستقیم با توانایی بذر در شروع رشد و ادامه آن ارتباط دارند. در این مطالعه، درصد جوانه‌زنی در تیمارهای فرسودگی بلندمدت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این کاهش درصد جوانه‌زنی می‌تواند به‌دلیل آسیب‌های فیزیولوژیکی به بذر در اثر شرایط فرسودگی باشد، که موجب کاهش توانایی بذر در شروع فرآیند جوانه‌زنی می‌شود (۲۴). در مقابل، در تیمارهای زیستی، درصد جوانه‌زنی به‌طور قابل‌توجهی در تیمارهای فرسودگی طولانی مدت افزایش یافت که با یافته‌های قبلی که نشان داده‌اند تیمارهای زیستی می‌توانند فرآیند جوانه‌زنی را تسریع کنند، هم‌راستا هستند (۲۵).

درصد سبز شدن نیز در تیمارهای زیستی بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۴). این امر نشان می‌دهد که تیمارهای زیستی نه تنها بر جوانه‌زنی بلکه بر فرآیند سبز شدن نیز تأثیر مثبت دارند. تیمارهای زیستی به‌طور مؤثری می‌توانند تأثیرات منفی فرسودگی را کاهش دهند و فرآیندهای فیزیولوژیکی بذر را بهبود بخشند (۲۶). یافته‌های مشابهی توسط لئو و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش شده است که تیمارهای زیستی تأثیرات مثبتی بر درصد سبز شدن و جوانه‌زنی بذر دارند (۲۷).

سرعت جوانه‌زنی و سرعت سبز شدن به عنوان شاخص‌هایی برای ارزیابی سرعت رشد اولیه بذر در نظر گرفته می‌شوند. در این تحقیق، سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای فرسودگی بلندمدت کاهش یافت (جدول ۴)، که این امر به کاهش توان بذر در شروع سریع فرآیند جوانه‌زنی اشاره دارد. این کاهش ممکن است به دلیل کاهش ذخایر انرژی در بذر و آسیب به ساختارهای داخلی آن‌ها باشد (۲۸). در مقابل، سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای زیستی افزایش پیدا کرد، که نشان‌دهنده تسریع در فرآیند جوانه‌زنی و افزایش توان بذر برای شروع رشد است. این بهبود در سرعت جوانه‌زنی می‌تواند به دلیل تحرک مواد

غذایی و فرآیندهای فیزیولوژیکی و بهبود استفاده از ذخایر بذر باشد (۲۹). تمامی تریکودرماها سرعت سبز شدن را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. با توجه به نتایج جدول مقایسه میانگین اثر متقابل، حداکثر سرعت سبز شدن در تیمار شاهد تلقیح یافته با *T. virens* حاصل شد. همچنین نتایج اثرات اصلی نشان داد که اثر *T. virens* با سرعت سبز شدن بر روز (۰/۳۵۷) و *T. harzianum* (۰/۳۴۲) نسبت به شاهد (۰/۳۰۴) باعث افزایش این صفت شد. سرعت سبز شدن نیز مشابه سرعت جوانه‌زنی، در تیمارهای زیستی بیش‌تر از تیمارهای فرسودگی بود. این نشان‌دهنده این است که تیمارهای زیستی علاوه بر بهبود سرعت جوانه‌زنی، تأثیر مثبتی بر تسریع سبز شدن بذر دارند. سرعت سبز شدن بالا می‌تواند به معنی بهبود توان گیاهچه‌ها در آغاز رشد و جذب منابع باشد. این نتایج هم‌راستا با یافته‌های پژوهش‌های قبلی است که نشان داده‌اند تیمارهای زیستی قادر به تسریع فرآیند سبز شدن در بذر هستند (۳۰).

تیمارهای فرسودگی طولانی مدت تأثیرات منفی بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی داشتند که ممکن است ناشی از آسیب‌های فیزیولوژیکی به بذر باشد. این آسیب‌ها می‌تواند شامل کاهش ذخایر انرژی و اختلال در ساختار داخلی بذر باشد که موجب کندی و عدم موفقیت در جوانه‌زنی و سبز شدن می‌شود (۳۱). در مقابل، تیمارهای زیستی با بهبود درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی توانستند فرآیند جوانه‌زنی را تسریع کنند و بذر را برای سبز شدن سریع‌تر آماده کنند. این نتایج نشان می‌دهند که تیمارهای زیستی می‌توانند به‌طور مؤثری تأثیرات منفی فرسودگی را کاهش دهند و به بهبود عملکرد بذر در شرایط تنش کمک کنند. علاوه بر این، افزایش سرعت سبز شدن و درصد سبز شدن در تیمارهای زیستی می‌تواند به معنای بهبود توان استفاده از منابع و بهبود شرایط رشد گیاهچه‌ها در مراحل اولیه باشد

(۳۲). هم‌چنین تیمارهای زیستی توانسته‌اند به‌طور معنی‌داری از تولید گیاهچه‌های غیرطبیعی جلوگیری کرده و قدرت گیاهچه‌ها را بهبود بخشند (جدول ۴). گیاهچه‌های غیرطبیعی معمولاً قدرت کم‌تری برای رشد دارند و در محیط‌های تنش‌زا نمی‌توانند به‌طور مؤثر رشد کنند. در این مطالعه، تعداد گیاهچه‌های غیرطبیعی در تیمارهای فرسودگی افزایش یافت و در مقابل، قدرت گیاهچه‌ها کاهش یافت. این نشان‌دهنده ارتباط منفی بین این دو صفت است. بذرهایی که گیاهچه‌های غیرطبیعی بیش‌تری تولید می‌کنند، قدرت کم‌تری برای رشد و توسعه در مراحل ابتدایی دارند. تیمارهای زیستی با کاهش تعداد گیاهچه‌های غیرطبیعی و افزایش قدرت گیاهچه‌ها موجب بهبود رشد و کیفیت بذرها شدند (۲۸ و ۳۳). این تیمارها موجب تحریک فرایندهای فیزیولوژیکی مثبت در بذرها شده و آن‌ها را برای رشد بهتر و مقاوم‌تر شدن در شرایط تنش آماده می‌کنند. این نتایج نشان‌دهنده این است که تیمارهای زیستی می‌توانند یک راهبرد مؤثر برای بهبود کیفیت بذر و افزایش توان گیاهچه‌ها در مقابله با شرایط نامساعد محیطی باشند.

طول ریشه یکی دیگر از شاخص‌های مهم رشد بذر است. در تیمارهای فرسودگی، طول ریشه به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت (جدول ۴)، که نشان‌دهنده تأثیر منفی فرسودگی بر توانایی ریشه‌ها برای رشد و جذب آب و مواد مغذی است. در مقابل، تیمارهای زیستی تأثیر مثبتی بر طول ریشه‌ها داشتند و موجب بهبود رشد ریشه‌ها شدند (جدول ۴). با توجه به معنی‌دار شدن اثر ترکیب تیماری، رفتار رشدی ریشه جو در بین ترکیبات تیماری یکسان نبود و تیمارهای زیستی *T. harzianum* و *T. virens* باعث بهبود این صفت در شرایط فرسودگی شدند (جدول ۴). اثر بازیافت رشد طولی ریشه حتی با وجود ۹۶ ساعت فرسودگی در تیمار *T. harzianum* و *T. koningii* دیده شد. بیش‌ترین طول ریشه مرتبط به تیمار بدون

فرسودگی و با عصاره قارچ *T. harzianum* به خود اختصاص داد ولی این قارچ از ۷۲ ساعت به بعد رفتار متفاوتی داشت و توانست قدرت بازیافت خود را در فرسودگی ۹۶ ساعت نسبت به شاهد مشابه *T. harzianum* حفظ نماید اما بقیه سطوح قارچی و شاهد در همین ساعت بشدت روند نزولی داشتند (جدول ۴). این نتایج مشابه با مطالعاتی است که نشان می‌دهند تیمارهای زیستی می‌توانند به رشد بهتر ریشه‌ها کمک کنند و عملکرد بهتری را در جذب مواد مغذی ایجاد کنند (۲۸). همانند این صفت، طول ساقه در تیمارهای فرسودگی کاهش یافت (جدول ۴)، که نشان‌دهنده آسیب به فرایندهای رشد ساقه در بذرها است. این امر می‌تواند ناشی از کاهش ذخایر انرژی در بذرها و آسیب به ساختارها و فیزیولوژی بذر باشد. در مقابل، در تیمارهای زیستی، طول ساقه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این بهبود در طول ساقه نشان‌دهنده تأثیر مثبت تیمارهای زیستی بر رشد ساقه و ساختار گیاهچه‌ها است. یافته‌های مشابهی توسط لی و همکاران (۲۰۲۳) گزارش شده است که تیمارهای زیستی موجب افزایش طول ساقه در گیاهچه‌ها می‌شوند (۳۲). طول برگ‌ها نیز به‌طور کلی در تیمارهای فرسودگی کاهش یافت (جدول ۴)، که نشان‌دهنده تأثیر منفی فرسودگی بر رشد برگ‌ها است. در مقابل، تیمارهای زیستی باعث افزایش طول برگ‌ها شدند، که می‌تواند نشان‌دهنده بهبود شرایط فتوسنتزی و رشد گیاهچه‌ها باشد. این نتایج مشابه با مطالعاتی است که نشان داده‌اند تیمارهای زیستی می‌توانند تأثیرات مثبتی بر رشد برگ‌ها و ظرفیت فتوسنتزی گیاهچه‌ها داشته باشند (۳۰). طول گیاهچه به عنوان یک شاخص مهم از رشد اولیه بذرها ارزیابی شد. در تیمارهای فرسودگی بلندمدت، طول گیاهچه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). این کاهش ممکن است ناشی از آسیب به ذخایر انرژی بذر و اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی بذرها باشد. به‌طور معکوس،

تیمارهای زیستی موجب افزایش طول گیاهچه‌ها شدند، که نشان‌دهنده تحریک فرآیندهای رشدی در بذرها است. هم‌چنین با توجه به نتایج اثرات اصلی تیمار زیستی بیش‌ترین اثر معنی‌دار بر طول گیاهچه از *T. virens* (۳۶/۲ سانتی‌متر) و کم‌ترین اثر از *T. koningii* (۳۲/۱ سانتی‌متر) نسبت به شاهد با طول (۳۴/۶ سانتی‌متر) حاصل شد. این یافته‌ها با تحقیقاتی که نشان می‌دهند تیمارهای زیستی می‌توانند رشد گیاهچه‌ها را تقویت کنند، هم‌راستا هستند (۲۹). نتایج نشان داد نسبت طول ریشه به ساقه تحت‌تأثیر فرسودگی و تیمار زیستی قراردارد. هر چند با تشدید فرسودگی این نسبت در کل کاهش یافت ولی اثر تیمارهای زیستی بر آن یکسان نبود. در تیمار زیستی *T. virens* با شروع فرسودگی این نسبت افزایش مقدار را نسبت به تیمار شاهد ایجاد کرد با تداوم فرسودگی در ۴۸ و ۷۲ ساعت *T. virens* و *T. koningii* نسبت به شاهد باعث بهبود این صفت شد (جدول ۴). در فرسودگی ۹۶ ساعت تمامی تیمارهای قارچی باعث بهبود این صفت شدند ولی بیش‌ترین ارزش را *T. koningii* نسبت به سایر تیمارها داشت. در مقایسه اثر اصلی تیمار زیستی، هر چند تمامی تیمارها نسبت به شاهد بالاتر بود ولی بالاترین نسبت از *T. virens* (۰/۸۱۴ سانتی‌متر) نسبت به تیمار شاهد (۰/۷۴۲ سانتی‌متر) حاصل شد. در مقایسه اثر سطوح اصلی فرسودگی تسریع شده، بالاترین نسبت در فرسودگی ۴۸ ساعت (۰/۸۱۹ سانتی‌متر) و کم‌ترین نسبت در ۹۶ ساعت (۰/۷۱۲ سانتی‌متر) نسبت به تیمار شاهد (۰/۷۴۲ سانتی‌متر) بود.

وزن خشک ساقه و ریشه به‌عنوان نمایانگرهای دیگری از رشد گیاهچه‌ها و ذخیره انرژی در نظر گرفته شدند. در تیمارهای فرسودگی، وزن خشک ساقه و ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). که در نهایت در وزن گیاهچه هم مشهود بود. این امر نشان‌دهنده آسیب به ریشه‌ها و ساقه‌ها در اثر

فرسودگی است که به‌طور مستقیم بر توانایی گیاهچه‌ها در ذخیره مواد مغذی و رشد آن‌ها تأثیر می‌گذارد. در مقابل، تیمارهای زیستی موجب افزایش وزن خشک ساقه و ریشه شدند که نشان‌دهنده رشد بهتر و ذخیره انرژی بیش‌تر در گیاهچه‌ها است. اثر معنی‌دار تحریک افزایش وزن خشک گیاهچه توسط قارچ‌ها نسبت به شاهد مشاهده شد با این تفاوت که اثر قارچ‌های *T. virens* و *T. harzianum* بیش از تیمار *T. koningii* بود (جدول ۴). این نتایج مشابه با مطالعاتی است که نشان داده‌اند تیمارهای زیستی موجب افزایش وزن خشک ساقه و ریشه در گیاهچه‌ها می‌شوند (۲۵ و ۲۶). تیمارهای فرسودگی، به‌ویژه در طولانی‌مدت، موجب کاهش طول و وزن گیاهچه‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها شدند، ولی تیمارهای زیستی موجب بهبود این صفات در شرایط فرسودگی شدند. این بهبودها می‌توانند ناشی از تحریک فرآیندهای فیزیولوژیکی مثبت، بهبود استفاده از ذخایر بذر و افزایش جذب آب و مواد مغذی در گیاهچه‌ها باشند.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های ترکیب تیماری اثر فرسودگی و تیمار زیستی روی درصد تخلیه بذر نشان داد (جدول ۴) اثر تیمارهای زیستی در مهار اثر فرسودگی روی این صفت روند منظمی نداشت. اثر تحریک افزایش درصد تخلیه بذر توسط قارچ‌ها نسبت به شاهد مشاهده شد با این تفاوت که اثر قارچ‌های *T. virens* و *T. harzianum* نسبت به *T. koningii* در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. درصد تخلیه بذر هم‌زمان با بالا رفتن سطح فرسودگی بعد از ۷۲ ساعت فرسودگی افت شدیدی داشت در حالی‌که تیمار *T. koningii* در تمامی سطوح فرسودگی نسبت به سایر تیمارها دارای برتری بود (جدول ۴). مقایسه اثر اصلی فرسودگی نشان‌دهنده افزایش جزئی در ۲۴ ساعت فرسودگی (۵۲/۱ درصد) بود ولی در فرسودگی با شدت‌های بالاتر و به‌ویژه ۹۶ ساعت فرسودگی افت شدید در این شاخص (۱۸/۷ درصد)

نسبت به شاهد (۴۹ درصد) مشاهده شد. مقایسه اثر اصلی تیمار زیستی نشان‌دهنده بهبود این صفت نسبت به شاهد بود که بیش‌ترین اثر قارچی در *T. koningi* نسبت به شاهد (۵۲/۹ درصد) تیمار شاهد (۳۱/۷ درصد) دارای اختلاف معنی‌دار بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر فرسودگی تسریع شده و تیمار زیستی بر شاخص‌های جوانه‌زنی در جو زراعی.

Table 3. Analysis of variance of the effect of accelerated aging and resistance treatment on germination indices in cultivated barley.

میانگین مربعات Mean Square								منابع تغییرات Source of variation
طول گیاهچه Seedling length	طول ریشه به ساقه Root to stem length	طول ساقه Stem	طول ریشه Root	طول برگ Leaf	گیاهچه غیر طبیعی Abnormal seedling	سرعت سبز شدن Emergence rate	درصد سبز شدن Emergence percentage	
218 **	105**	30.7**	30.7**	37.8**	9422**	110**	9422**	4
42**	200**	60.6**	35.6**	5.15**	103**	7.90**	103**	3
20.1**	154**	12.1**	13.7**	2.85**	168**	1.92**	168**	12
2.76	0.87	1.35	0.69	0.61	2.35	0.42	45.3	40
4.8	1.18	5.96	5.45	6.68	7.06	6.12	8.6	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال آماری پنج و یک درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

**, * significant at 1% and 5% probability level, ^{ns} non-significant difference

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

میانگین مربعات Mean Square							منابع تغییرات Source of variation
درصد تخلیه بذر seed reserve depletion percentage	کارایی استفاده از ذخایر بذر seed reserve utilization efficiency	مقدار تحرک مواد reserve seed mobilized of weight	قدرت گیاهچه Seedling Vigor	وزن خشک گیاهچه weight dry seedling	وزن خشک ساقه weight dry stem	وزن خشک ریشه weight dry root	
1790**	12.3**	286**	87.7**	45.6**	119**	120**	4
1133**	53.1**	181**	98.5**	4.35**	7.31**	15.7**	3
98.5**	43.8**	15.7**	15.5**	5.12**	11.4**	19.5**	12
15.1	0.39	0.24	1.38	0.11	0.18	0.39	40
9.11	4.68	9.1	6.88	5.17	4.25	6.1	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال آماری پنج و یک درصد، ^{ns} غیرمعنی‌دار

**, * significant at 1% and 5% probability level, ^{ns} non-significant difference

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل فرسودگی تسریع شده و تیمار زیستی شاخص‌های گیاهچه بر سبز شدن در جو زراعی.

Table 4. Comparison of the average interaction effect of accelerated exhaustion and treatment resistance of seedling indices on germination in cultivated barley.

طول گیاهچه Seedling length (cm)	طول ریشه به ساقه Root to stem length (cm)	طول Length (cm)			گیاهچه غیر طبیعی Abnormal seedling	سرعت سبز شدن Emergence rate (seed.day ⁻¹)	درصد سبز شدن Emergence Percentage (%)	مدت زمان فرسودگی بذر Seed aging time (hours)	تیمار زیستی Biological treatment
		ساقه Stem	ریشه Root	برگ Leaf					
37.8 ^{ab}	0.8 ^a	20.7 ^{a-d}	16.4 ^{a-d}	14.1 ^a	0 ^e	0.385 ^{a-d}	100 ^a	0	شاهد Control
36.8 ^{a-c}	0.76 ^a	20.4 ^{a-d}	16.3 ^{a-d}	13.7 ^a	10 ^{bc}	0.373 ^{a-d}	90 ^{ab}	24	
37 ^{a-c}	0.8 ^a	20.1 ^{a-d}	16 ^{a-d}	12.2 ^{a-d}	13.3 ^{bc}	0.331 ^{a-e}	86.7 ^{ab}	48	
35.3 ^{a-d}	0.77 ^a	19.4 ^{a-d}	14.8 ^{a-d}	11.6 ^{a-d}	16 ^{bc}	0.265 ^{b-f}	83 ^{ab}	72	
26.3 ^{de}	0.55 ^a	16.5 ^{c-e}	9.13 ^e	9.75 ^{c-e}	80 ^a	0.167 ^{ef}	20 ^c	96	
32.1 ^{a-e}	0.76 ^a	17.9 ^{b-e}	13.6 ^{cd}	10.6 ^{a-d}	6.67 ^{bc}	0.41 ^{a-c}	93.3 ^{ab}	0	Tk1
32.7 ^{a-e}	0.66 ^a	19.6 ^{a-d}	14.1 ^{b-d}	12.1 ^{a-d}	6.67 ^{bc}	0.423 ^{ab}	93.3 ^{ab}	24	
34.7 ^{a-d}	0.87 ^a	17.3 ^{c-e}	14.6 ^{a-d}	12.7 ^{a-c}	16.6 ^{bc}	0.346 ^{a-d}	83.3 ^{ab}	48	
32.8 ^{a-e}	0.84 ^a	17.2 ^{c-e}	14.5 ^{b-d}	10.5 ^{a-d}	30 ^b	0.246 ^{c-f}	70 ^b	72	
28.3 ^{b-e}	0.84 ^a	14.9 ^{de}	12.4 ^{de}	9.07 ^{c-e}	70 ^a	0.170 ^{ef}	30 ^c	96	
38.2 ^{ab}	0.80 ^a	20.4 ^{a-d}	16.3 ^{a-d}	13.8 ^a	6.67 ^{bc}	0.448 ^a	93.3 ^{ab}	0	Tvi25
41.2 ^a	0.85 ^a	21.7 ^{a-c}	18.4 ^{ab}	13.5 ^{ab}	0 ^e	0.421 ^{a-c}	100 ^a	24	
39.4 ^a	0.86 ^a	20.9 ^{a-d}	17.9 ^{a-c}	12.2 ^{a-d}	6.67 ^{bc}	0.394 ^{a-d}	93.3 ^{ab}	48	
38 ^{ab}	0.84 ^a	20.1 ^{a-d}	16.8 ^{a-d}	11.3 ^{a-d}	10 ^{bc}	0.301 ^{a-f}	90 ^{ab}	72	
24 ^e	0.76 ^a	12.3 ^e	8.93 ^e	8.66 ^{de}	83.3 ^a	0.222 ^{d-f}	16.7 ^c	96	
30.8 ^{a-e}	0.83 ^a	24.8 ^a	19.4 ^a	11.6 ^{a-d}	13.3 ^{bc}	0.391 ^{a-d}	90 ^{ab}	0	Th8
39.6 ^a	0.75 ^a	22.4 ^{a-c}	16.9 ^{a-d}	13.6 ^{ab}	16.6 ^{bc}	0.439 ^{ab}	90 ^{ab}	24	
39.3 ^a	0.78 ^a	21.5 ^{a-c}	16.6 ^{a-d}	13.6 ^{ab}	10 ^{bc}	0.437 ^{ab}	90 ^{ab}	48	
36 ^{a-d}	0.78 ^a	19.1 ^{a-d}	14.9 ^{a-d}	10.4 ^{a-d}	10 ^{bc}	0.293 ^{a-f}	90 ^{ab}	72	
26.9 ^{c-e}	0.88 ^a	17 ^{c-e}	12.5 ^{de}	6.75 ^e	80 ^a	0.150 ^f	20 ^c	96	

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD است

Non-common letters in each column indicate a significant difference at the 5% level

ادامه جدول ۴-

Continue Table 4.

درصد تخلیه بذر seed reserve depletion percentage (%)	شاخص قدرت گیاهچه Seedling Vigor Index	وزن خشک Dry weight (g)			مدت زمان فرسودگی بذر Seed aging time (hours)	تیمار زیستی Biological treatment
		گیاهچه Seedling	ساقه Stem	ریشه Root		
39.6 ^{a-d}	22.6 ^{ab}	0.23 ^{bc}	0.12 ^{a-c}	0.11 ^{b-d}	0	شاهد Control
41.7 ^{a-d}	18.8 ^b	0.19 ^{cd}	0.08 ^{c-e}	0.10 ^{b-e}	24	
31.2 ^{b-d}	17.3 ^b	0.20 ^{b-d}	0.11 ^{a-c}	0.09 ^{b-e}	48	
27.1 ^{b-d}	16.2 ^b	0.22 ^{b-d}	0.11 ^{a-c}	0.11 ^{b-d}	72	
18.8 ^{cd}	1.6 ^c	0.08 ^{ef}	0.04 ^{ef}	0.04 ^{de}	96	
54.2 ^{ab}	23.3 ^{ab}	0.25 ^{a-c}	0.11 ^{a-d}	0.14 ^{ab}	0	Tk1
68.8 ^a	20.2 ^{ab}	0.22 ^{b-d}	0.11 ^{a-c}	0.10 ^{b-e}	24	
60.5 ^{ab}	17.5 ^b	0.21 ^{cd}	0.10 ^{b-d}	0.08 ^{b-e}	48	
54.2 ^{ab}	15.2 ^b	0.22 ^{b-d}	0.10 ^{b-d}	0.11 ^{a-c}	72	
27.1 ^{b-d}	3.6 ^c	0.12 ^{d-f}	0.06 ^{d-f}	0.06 ^{c-e}	96	
50 ^{a-c}	23.3 ^{ab}	0.25 ^{a-c}	0.12 ^{a-c}	0.13 ^{ac}	0	Tvi25
54.2 ^{ab}	30.8 ^a	0.33 ^a	0.14 ^{ab}	0.19 ^a	24	
45.8 ^{a-d}	22.4 ^{ab}	0.24 ^{a-c}	0.12 ^{a-c}	0.12 ^{a-c}	48	
54.2 ^{ab}	20.1 ^{ab}	0.22 ^{bc}	0.12 ^{a-c}	0.10 ^{b-e}	72	
14.6 ^d	1.17 ^c	0.07 ^{ef}	0.03 ^f	0.04 ^{de}	96	
52.1 ^{a-c}	21.3 ^{ab}	0.24 ^{a-c}	0.10 ^{a-d}	0.13 ^{a-c}	0	Th8
43.7 ^{a-d}	21.6 ^{ab}	0.24 ^{c-e}	0.08 ^{c-e}	0.08 ^{b-e}	24	
41.7 ^{a-d}	22.5 ^{ab}	0.25 ^{b-d}	0.12 ^{a-c}	0.94 ^{b-e}	48	
43.7 ^{a-d}	21.6 ^{ab}	0.29 ^{ab}	0.15 ^a	0.14 ^{ab}	72	
14.4 ^d	1 ^c	0.05 ^f	0.02 ^f	0.03 ^e	96	

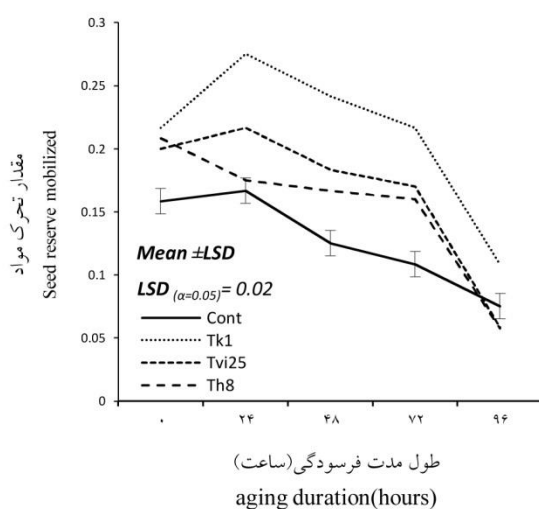
حروف غیرمشترک در هرستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD است

Non-common letters in each column indicate a significant difference at the 5% level

تغییرات منظمی مشاهده نشد (شکل ۲- الف). در مقایسه با شاهد تیمارهای زیستی *T. virens* و *T. harzianum* باعث افزایش کارایی تبدیل اندوخته بذر جو به گیاهچه شدند و کارایی تبدیل *T. koningii* پایین‌تر از شاهد بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های ترکیب تیماری اثر فرسودگی و تیمار زیستی روی مقدار تحرک مواد نشان داد اثر تیمارهای زیستی در مهار اثر فرسودگی روی این

با توجه به نتایج مقایسه میانگین ترکیب تیماری فرسودگی و تیمار زیستی، بالاترین کارایی استفاده از ذخایر از *T. harzianum* و *T. virens* به ترتیب در ۷۲ ساعت و ساعت ۲۴ فرسودگی حاصل شد. روند کاهش کارایی تبدیل در تیمار شاهد نزولی بود که در ساعت اولیه فرسودگی شدت کم‌تری داشت. مشابه همین روند در تیمار *T. koningii* نیز مشاهده شد در حالی که در تیمارهای *T. virens* و *T. harzianum*

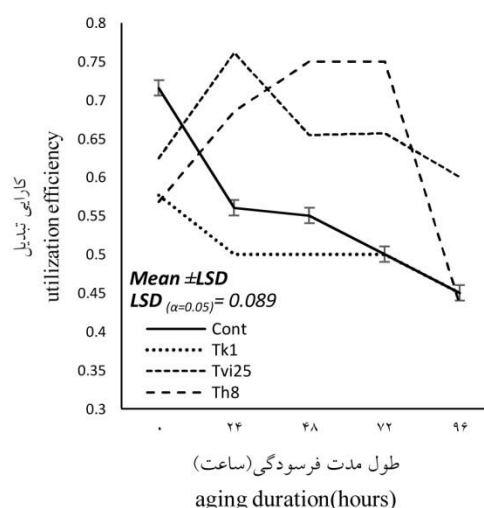
سطح فرسودگی افزایش نشان داد و بعد از ۷۲ ساعت فرسودگی افت شدیدی در این صفت مشاهده شد. نکته قابل توجه این‌که اثر *T. koningii* در بازیافت مقدار تحرک مواد در حداکثر تیمار فرسودگی نسبت به سایر تیمارها دارای برتری بود.



(ب)

(B)

صفت روند نزولی داشت (شکل ۲ - ب). اثر افزایش مقدار تحرک مواد توسط همه تیمارهای زیستی نسبت به شاهد مشاهده شد با این تفاوت که در ۲۴ ساعت اثر قارچ *T. koningii* و *T. virens* روند صعودی و *T. harzianum* روند نزولی داشت. بعد از ۲۴ ساعت روند نزولی در مقدار تحرک مواد هم‌زمان با بالا رفتن



(الف)

(A)

شکل ۲- اثر عصاره‌های قارچ‌های *T. koningii* (Tk1)، *T. virens* (Tvi25) و *T. harzianum* (Th8) به همراه تیمار شاهد (Cont) بر کارایی تبدیل ذخایر بذرهای فرسوده جو زراعی (الف) و مقدار تحرک مواد بذرهای فرسوده جو زراعی (ب).

Fig. 2. Effect of extracts of fungi (Tk1) *T. koningii*, (Tvi25) *T. virens*, and (Th8) *T. harzianum* along with control treatment (Cont) on the efficiency of transformation of spent barley seed reserves (A) and the amount of mobility of spent barley seed materials (B).

(۲۰۱۱) در بذرهای نخود مطابقت دارد (۳۴، ۳۵ و ۳۶). این محققین آسیب به غشاء و نشت الکترولیت‌ها را عامل اصلی کاهش این صفات اعلام کردند. محققین گزارش کردند که نشت الکترولیت‌ها با فرسودگی بذر ذرت (۳۷) و بذر کتان (۳۸) افزایش می‌یابد که همراه با افزایش میزان اکسیداسیون اسید چرب و پراکسیداسیون لیپیدها است. در بذرهای فرسوده شده آفتابگردان (۳۹) و گلرنگ (۴۰) تخریب غشاء ناشی از فرسودگی نیز گزارش شده است. تغییر در فرایندهای فیزیولوژیک بذر در هنگام فرسودگی

با توجه به تطابق نسبی بین نتایج آزمون استاندارد جوانه‌زنی و درصد سبز شدن و حتی سرعت جوانه‌زنی و سرعت سبز شدن، به نظر می‌رسد اتکا به نتایج آزمون‌های مهار شده آزمایشگاهی برای تفسیر نتایج دقیق نباشد و لازم است آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای نیز در امتداد تکمیل نتایج ارزیابی شود. در این پژوهش با افزایش سطوح فرسودگی در بذرهای جو درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت که با پژوهش‌های محسن‌نسب و همکاران (۲۰۱۰)، وفائی و روحی (۲۰۲۳) در بذرهای گندم، کاپور و همکاران

به دلیل آسیب وارده به فرایندهای هم‌چون تقسیم سلولی و تمایز سلولی کاهش می‌یابد. بررسی‌های فرسودگی در سویا (۴۵)، عدس (۴۶) و کلزا (۴۷) کاهش درصد جوانه‌زنی و سایر شاخص‌ها همراه با تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در طول فرسودگی بذر مرتبط بود. پژوهش‌های کاپور و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که فرسودگی تسریع شده در دانه‌های نخود بر تمام پارامترهای فیزیولوژیکی مانند درصد جوانه‌زنی و شاخص بنيه تأثیر می‌گذارد (۴۸). یافته‌های آن‌ها هم‌چنین نشان داد که کاهش در زنده‌مانی بذر، سرعت جوانه‌زنی و قدرت بذر با تغییرات بیوشیمیایی (کاهش پروتئین‌های محلول و محتوای قند) مرتبط با فرسودگی بذر است.

یکی از یافته‌های بسیار مهم این آزمایش بهبود شاخص‌های قوه زیست و قدرت زیست بذرهای جو با اعمال تیمار زیستی قارچ تریکودرما روی بذرهای فرسوده بود. هر چند نتایج حاکی از اثر اختصاصی قارچ‌ها برای مهار فرسودگی بود ولی نتایج نشان می‌دهد که قارچ‌های *T. harzianum* و *T. virens* از سازوکارهای مختلفی برای افزایش رشد و بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای در گیاهان استفاده می‌کنند. تأثیر مثبت قارچ‌های تریکودرما در پژوهش همت‌اله پیردشتی و همکاران (۲۰۲۳) و امامیان طبرستانی و همکاران (۲۰۱۹) به‌ترتیب در گیاه برنج و کلزا مشاهده شده است (۴۹، ۵۰). قارچ‌های تریکودرما با برقراری روابط همزیستی در تعامل با گیاهان بوده و از طریق انجام فعالیت‌هایی مانند تولید متابولیت‌ها، تجزیه ترکیبات آلی، تثبیت نیتروژن مولکولی، تولید هورمون‌های رشد و افزایش فراهمی عناصر غذایی معدنی سبب بهبود رشد گیاهان می‌شود. هر چند در این آزمایش از عصاره‌های این قارچ‌ها استفاده شد ولی هم‌چنان اثرات مثبت چشمگیر بود که نشان می‌دهد ترکیبات زیست‌فعال آزاد شده از

با افزایش رادیکال‌های اکسیژن همراه است که موجب وزن ذخایر پویا شده بذر، کارایی استفاده از ذخایر بذر یا کارایی تبدیل ذخایر بذری پویا شده به بافت گیاهچه، خسارت‌های ژنتیکی، اختلال در فعالیت‌های تنفسی، آسیب به پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، از جمله کاهش فعالیت آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز و هورمون‌های رشدی می‌شود (۴۱). به احتمال زیاد در این آزمایش نیز مجموع این آسیب‌های فیزیولوژیک باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، درصد سبز شدن، سرعت جوانه‌زنی و سرعت سبز شدن در بذرها و گیاهچه جو شده است. نتایج راحمی کاریزکی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که صفات طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک گیاهچه، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی گندم رابطه خطی منفی معنی‌داری با پیری بذر دارند، به‌طوری‌که با افزایش دوره فرسودگی کاهش معنی‌داری در این صفات دیده شد که بیش‌ترین اثر منفی در سرعت جوانه‌زنی و کم‌ترین اثر در طول ریشه‌چه مشاهده شد (۴۲). هم‌چنین نتایج این آزمایش حاکی از آنست که سرعت جوانه‌زنی حساسیت بالایی نسبت به درصد جوانه‌زنی تحت فرسودگی داشت که نشان می‌دهد فرایندهای درگیر در قدرت جوانه‌زنی بیش‌تر در فرایند فرسودگی آسیب می‌بیند. ارتباط مستقیم بین کاهش درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن و درصد گیاهچه غیرطبیعی در این آزمایش نشان‌دهنده تداوم آسیب‌های وارده ناشی از فرسودگی در قدرت گیاهچه بود بطوریکه اغلب صفات گیاهچه‌ای کاهش معنی‌دار را طی فرایند فرسودگی نشان دادند که با پژوهش‌های یانق و حسینی (۲۰۱۶) در گیاهچه کلزا و فخاری و حیدری (۲۰۱۴) در گندم مطابقت دارد (۴۳، ۴۴). به‌نظر می‌رسد اثر فرسودگی تنها در فرایندهای جوانه‌زنی محدود نمی‌شود و رشد بعدی گیاهچه نیز

کلنی‌های قارچی می‌توانند باعث تغییرات عمده در شاخص‌های جوانه‌زنی باشند (۵۱). در تأیید نتایج حاضر خالدی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که ترشحات قارچ تریکودرما موجب افزایش جوانه‌زنی بذر زیره می‌شود (۵۲). افزایش در رشد و بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در بذره‌ای پیش‌ تیمار شده باعث افزایش در فعالیت‌های تنفسی و در نتیجه تولید ATP، تحریک فعالیت‌های RNA و پروتئین‌سازی در پژوهش‌های یاتق و حسینی (۲۰۱۶) در کلزا و فحاری و حیدری (۲۰۱۴) در گندم احتمالاً مربوط به موارد فوق می‌باشد (۴۳، ۴۴). از شاخص‌های بسیار مهم در قدرت گیاهچه که سبز شدن گیاه و در نهایت استقرار آن را تضمین می‌کند میزان پویایی ذخایر بذر و کارایی تبدیل ذخایر پویا شده است که در این آزمایش هر دو صفت به طور معنی‌دار تحت تأثیر فرسودگی و تیمار زیستی واقع شد. لازم به ذکر است از دلایل کاهش صفات گیاهچه‌ای همزمان با بالا رفتن سطح فرسودگی به دلیل کاهش میزان پویایی ذخایر بذر یا کاهش کارایی تبدیل ذخایر پویا شده است که مطابق با گزارش سلطانی و همکاران (۲۰۰۸) روی بذر گندم بود (۵۳). از نتایج مهم دیگر این آزمایش بهبود معنی‌دار تحرک مواد تحت تأثیر عصاره‌های قارچ‌ها بود که در اغلب سطوح فرسودگی به جز ۹۶ ساعت دیده شد. به نظر می‌رسد فعالیت هورمون جیبرلین و سنتز آنزیم‌های آلفا آمیلاز که از دلایل اصلی استفاده از ذخایر بذر و انتقال آن به گیاهچه هستند تحت تأثیر عصاره‌های مورد استفاده افزایش یافته‌اند (۵۳). هم‌چنین گراول و همکاران (۱۳۸۵) نیز گزارش کردند تولید تنظیم‌کننده‌های رشد مانند ایندول استیک اسید در گیاهچه گوجه‌فرنگی موجب افزایش رشد گیاهچه می‌شوند (۵۴). در پژوهش حاضر اثر عصاره‌ها در افزایش رشد گیاهچه در سطوح فرسودگی و شاهد به احتمال قوی با افزایش تحرک مواد ذخیره‌ای مرتبط

باشد. کاپور و همکاران (۲۰۱۰) از دلایل کاهش طول ساقچه‌چه نخود به عدم انتقال مناسب مواد غذایی و عدم فعالیت آنزیم‌ها اشاره کرده‌اند (۴۸). یکی از دلایل دیگر افزایش قدرت بازیافت بذر توسط عصاره‌های قارچی احتمالاً مربوط به تحریک دفاع سیستمیک اکتسابی SAR است. این دفاع از جمله مقاومت‌هایی است که در برابر حمله عوامل تنش‌زا در گیاهان فعال می‌شود. نقش پیام سالیسیلیک اسید در ایجاد SAR در برابر بسیاری از عوامل قارچی و باکتریایی گیاهی به اثبات رسیده است و به دلیل تنوع القای بالای بیان ژن در این سیستم پاسخ‌های دفاعی به صورت بهینه فعال می‌شود که همراه با حفظ مواد ژنتیکی، حفظ متابولیسم، حفظ تقسیم سلولی و پایداری غشاء است (۵۵).

نتیجه‌گیری کلی

فرسودگی بذر، پدیده‌ای پیچیده است که بر عملکرد گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد. بذره‌ای فرسوده کاهش توانایی جوانه‌زنی، کاهش سرعت رشد گیاهچه، و افزایش حساسیت به تنش‌های محیطی را نشان می‌دهند. این تغییرات ناشی از تجمع آسیب‌های اکسیداتیو، کاهش یکپارچگی غشاها، و اختلال در فعالیت آنزیم‌ها در بذر است. در نتیجه، گیاهان حاصل از بذره‌ای فرسوده عملکرد کم‌تری در تولید محصول خواهند داشت. بنابراین، مدیریت صحیح بذر و بکارگیری روش‌های مؤثر برای کاهش سرعت فرسودگی بذر، از اهمیت بالایی در تولید محصولات کشاورزی برخوردار است. ریزموجودات مفید مانند باکتری‌ها و قارچ‌های همزیست، با تولید آنزیم‌ها و ترکیبات محافظتی، فرسودگی بذر را کاهش می‌دهند. این ریزموجودات با افزایش جذب مواد مغذی، تحریک رشد گیاهچه و کاهش استرس‌های اکسیداتیو،

که ناشی از افزایش تحرک ذخایر بذری و کارایی استفاده از آن‌ها بود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از زحمات تمامی استادان و همکاران و دانشجویان گرامی که در این پروژه ما رایاری نمودند تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

به جوانه‌زنی و استقرار بهتر گیاهان کمک می‌کنند و عملکرد کلی گیاه را بهبود می‌بخشند. در این مطالعه اثر مثبت عصاره‌های قارچ تریکودرما بر بازیافت قدرت بذرهای جو زراعی به اثبات رسید. اثر عصاره‌های قارچی بر بازیافت قدرت بذر و گیاهچه تا سطوح فرسودگی (متوسط) ۴۸ ساعت نسبت به شاهد چشمگیر نبود ولی در سطوح بالاتر اثر معنی‌دار بازیافت قدرت بذر و گیاهچه به‌ویژه با عصاره‌های قارچ‌های *T. harzianum* و *T. virens* مشاهده شد.

منابع

1. Hemathilake, D. M. K. S., & Gunathilake, D. M. C. C. (2022). Agricultural productivity and food supply to meet increased demands. *Future Foods*, 539-553. Academic Press.
2. Milošević, M., Vujaković, M., & Karagić, Đ. (2010). Vigour tests as indicators of seed viability. *Genetika*, 42(1), 103-118.
3. Chhabra, R., & Singh, T. (2019). Seed aging, storage and deterioration: An irresistible physiological phenomenon. *Agricultural Reviews*, 40(3), 234-238.
4. Kurek, K., Plitta-Michalak, B., & Ratajczak, E. (2019). Reactive oxygen species as potential drivers of the seed aging process. *Plants*, 8(6), 174-186.
5. Copeland, L. O., & McDonald, M. F. (2012). Principles of seed science and technology. *Springer Science & Business Media*.
6. Oskouei, B., & Sheidaei, S. (2017). Seed Deterioration. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 4(3), 125-143.
7. Harrington, J. F., & Kozlowski, T. T. (1972). Seed storage and longevity. *Seed biology*, 3, 145-245.
8. Taylor, A. G. (2020). Seed storage, germination, quality, and enhancements. In *Physiology of Vegetable Crops*, 1-30. Wallingford UK: CABI.
9. Alivand, R., Tokul A., & Sharifzadeh, F. (2013). Investigating the germination process of rapeseed (*Brassica napus*) and predicting seed deterioration during different storage conditions. *Iranian Plant Sciences*, 44(1), 69-81. [In Persian]
10. Moeinzadeh, A., Tavakkol Afshari R., Moghadam, H., & Baghizadeh, A. (2018). The effect of storage conditions on seed germination indices and viability constant of lentil (*Lens culinaris*) and pea (*Cicer arietinum*) seed. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(2), 71-92. [In Persian]
11. Hamidi, A. (2019). Impact of storage fungi on soybean seed deterioration in different storage conditions and seed moisture content. *Iranian Journal of Seed Research*, 6(1), 65-76.
12. Thomas, T. H. (1981). Seed treatments and techniques to improve germination. *Scientific Horticulture*, 32, 47-59.
13. Ghazanfar, M. U., Raza, M., Raza, W., & Qamar, M. I. (2018). *Trichoderma* as potential biocontrol agent, its exploitation in agriculture: a review. *Plant Protection*, 2(3), 1-27.
14. Vinale, F., & Sivasithamparam, K. (2020). Beneficial effects of *Trichoderma* secondary metabolites on crops. *Phytotherapy Research*, 34(11), 2835-2842.
15. Yousefi, M. A., Kamkar, B., Amiri Nezhad, M., & Gharekhloo, J. (2019). Assessment of the effect of different chemical fertilizers, biochar and *Trichoderma* fungi treatments at mother plant on germination and other hybrid

- corn KSC 704 seed germination components in maternal growth under accelerated aging test. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(1), 133-144. [In Persian]
16. Rezaloo, Z., Shahbazi, S., & Askari, H. (2020). The Effect of Biopriming with *Trichoderma* on Germination and Vegetative Germination of Sweet Corn, Sugar Beet, and Wheat Seedlings. *Iranian Seed Science and Technology*, 8(2), 199-210.
17. Rezaloo, Z., Shahbazi, S., & Tohidlou, Q. (2018). Study of yield, vegetative traits and seed germination of pinto bean produced from biopriming with *Trichoderma*. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 14(2), 39-47. [In Persian]
18. Salimi Tamalla, N., Seraj, F., Pirdashti, H., & Yaghoubian, Y. (2014). The effect of seed biopriming by *Piriformospora indica* and *Trichoderma virens* on the growth, morphological and physiological parameters of mung bean (*Vigna radiate L.*) seedlings. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 1(2), 67-78. [In Persian]
19. Febri, D., Anizan, I., Che, R., Ahmad, H. S., Muhammad, H. R., & Wan, M. (2014). Enhancement of rice seed germination and vigour by *Trichoderma spp.* *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(21), 4547-4552.
20. Moradian, Z., Azadbakht, F., Omid, H., & Bazemakani, R. (2017). The effect of growth-promoting bacteria and *Trichoderma* fungus on the germination of balango (*Lallemantia royleana L.*) under salt stress. *Seed Research*, 6(21), 39-46.
21. Askew, D. J., & Laing, M. D. (1993). An adapted selective medium for the quantitative isolation of *Trichoderma* species. *Plant Pathology*, 42(5), 686-690.
22. International Seed Testing Association. (1999). International rules for seed testing. *Rules* (No. Suppl).
23. Roberts, E. H. (1986). Quantifying seed deterioration. *Physiology of seed deterioration*, 11, 101-123.
24. Jones, M., Smith, P., & Zhang, H. (2023). Effects of accelerated aging on germination and emergence of barley seeds. *Field Crops Research*, 276, 45-56.
25. Smith, A., Brown, C., & Liu, Y. (2021). Biological treatments for seed enhancement: Impact on germination and emergence in wheat. *Journal of Seed Science and Technology*, 32(1), 25-36.
26. Tan, W., Yang, L., & Li, B. (2022). Biological seed treatments and their effects on germination and seedling growth under stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(4), 1053-1066.
27. Liu, X., Zhao, Y., & Xu, W. (2020). The effect of biological seed treatments on seedling vigor and germination speed under drought stress. *Agricultural Science & Technology*, 21(3), 187-196.
28. Zhao, Q., Wu, Z., & Yao, Z. (2022). The impact of seed aging and biological treatments on germination and seedling growth in barley. *Seed Science Research*, 32(2), 78-89.
29. Rahman, M., Islam, M., & Kadir, M. (2021). The effects of biological treatments on seedling emergence and growth under adverse conditions. *Agronomy Journal*, 113(5), 2543-2554.
30. Jiang, H., Cheng, Y., & Liu, X. (2022). Biological seed treatments: A novel approach to improving seedling emergence under environmental stress. *Environmental and Experimental Botany*, 188, 104563.
31. Sivritepe, H. O., Yildirim, E., & Akpınar, B. (2020). Seed treatment methods to enhance germination and emergence under environmental stress. *Industrial Crops and Products*, 151, 112459.
32. Li, Q., Wang, X., & Zhang, M. (2023). The role of seed biological treatments in improving germination and emergence

- rates in maize under drought stress. *Field Crop Research*, 296, 108621.
33. Li, Y., Wang, L., & Yang, S. (2021). Biological seed treatments enhance seedling vigor and reduce abnormal seedlings under environmental stress. *Journal of Seed Science*, 45(3), 124-132.
 34. Mohssennasab, F., Sharafizadeh, M., & Siadat, A. (2010) Study the effect of aging acceleration test on germination and seedling growth of wheat cultivars in controlled conditions (in vitro). *Journal of Crop Plant Physiology*, 2 (7), 59-71.
 35. Vafaei, M. H., & Rouhi, H. R. (2023). The reaction of biochemical and germination traits of deteriorated wheat seeds to hydropriming. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 2(3), 326-339. [In Persian]
 36. Kapoor, N., Arya, A., Siddiqui, M. A., Kumar, H., & Amir, A. (2011). Physiological and Biochemical Changes During Seed Deterioration in Aged Seeds of Rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Physiology*, 6 (1), 28-35.
 37. Enayati, V., Esfandiari, V., Al-Hashem, E., & Hozouri, S.M.H. (2014). The effect of seed deterioration on germination indices and heterotrophic growth of maize seedlings. *Seed Research*, 4(12), 61-67. [In Persian]
 38. Bakhit, M., Moradi, A., & Abdollahi, M. (2017). Effect of biopriming with *Trichoderma* and *Pseudomonas* on germination and some biochemical characteristics of deteriorated flax (*Linum usitatissimum* L.) seeds CV. Norman. *Plant Process and Function*, 6 (21), 197-212. [In Persian]
 39. Tahmasebi, B., Ghaderifar, F., Sadeghipour, H., & Galshi, S. (2015). The effect of accelerated deterioration on germination parameters, fatty acids and lipid hydroperoxides of (*Helianthus annuus* L.) seeds. *Plant Process and Function*, 4(12), 73-84. [In Persian]
 40. Zamani, A., Sadat Nouri, S. A., Tavakol Afshari, R., Irannejad, H., Akbari, G. A., & Tavakoli, A. (2010). Lipid Peroxidation and Antioxidant Enzymes Activity under Natural and Accelerated Aging in (*Carthamus tinctorius* L.) Seed. *Iranian Crop Plant Sciences*, 41(3), 545-554. [In Persian]
 41. Wang, B., Yang, R., Ji, Z., Zhang, H., Zheng, W., Zhang, H., & Feng, F. (2022). Evaluation of biochemical and physiological changes in sweet corn seeds under natural aging and artificial accelerated aging. *Agronomy*, 12(5), 1028.
 42. Rahemi-Karizaki, A., Nakhzari-Moghaddam, A., & Pour-Abdollah, M. (2012). The effect of seed vigor on germination and heterotrophic growth of wheat in response to salinity. *Seed Research*, 2(3), 60-67. [In Persian]
 43. Yanegh, A., & Khajehosseini, M. (2016). Controlled Deterioration Test as a Method for Vigor Assessment and Emergence Predicting of Oilseed Rape (*Brassica napus*) Seeds in the Field. *Iranian Journal of Seed Research*, 3(1), 85-98. [In Persian]
 44. Fakhari, R., Tobeh, M., & Vahidipour, H. (2014). Comparing the effect of seed storage of different wheat cultivars on germination and seedling growth. *Seed Research*, 4(10), 76-86. [In Persian]
 45. Rastedar, Z., Sedghi, M., & Khomari, S. (2011). Effects of accelerated aging on soybean seed germination indexes at laboratory conditions. *Notulae Scientiae Biologicae*, 3(3), 126-129.
 46. Ghassemi-Golezani, K., Chadordooz-Jeddi, A., & Zehtab-Salmasi, S. (2014). Effects of seed size and aging on field performance of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under different irrigation treatments. *Acta Agriculturae Slovenica*, 103(2), 158-166.
 47. Ghassemi-Golezani, K., Bakhshy, J., Yaeghoob, R. A. E. Y., & Hossaizadeh, A. (2010). Seed vigor and field performance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(3), 146-150.
 48. Kapoor, R., Arya, A., Siddiqui, M. A., Amir, A., & Kumar, H. (2010). Seed

- Deterioration in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Accelerated Ageing. *Asian Journal of Plant Science*, 9(3), 158-162.
49. Pirdashti, H., Yaghoubian, Y., Nouri Akandi, Z., Emamian Tabarestani, M., Ashrafi, S. Y., & Vadipour, F. (2023). Effect of root symbiosis fungi on germination and growth components of two traditional and bred rice (*Oryza sativa*) cultivars. *Iranian Journal of Seed Research*, 10(1), 43-61.
50. Emamian Tabarestani, M., Pirdashti, H., Tajik Ghanbari, M. A., & Sadeghzadeh, F. (2019). The symbiosis effect of *Piriformospora indica* and *Trichoderma longibrachiatum* fungi on some vegetative and physiological traits of canola under lead stress. *Journal of Crop Production*, 12(3), 139-156. [In Persian]
51. Iula, G., Miras-Moreno, B., Lucini, L., & Trevisan, M. (2021). The mycorrhiza- and *trichoderma*-mediated elicitation of secondary metabolism and modulation of phytohormone profile in tomato plants. *Horticulturae*, 7(10), 394.
52. Khaledi, N., Dehshiri, A., & Hassani, F. (2021). Effects of seed biopriming with fungus *Trichoderma harzianum* on secondary metabolites production in cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(3), 513-529.
53. Soltani, E., Kamkar, B., Galeshi, S., & Akram Ghaderi, F. (2008). The effect of seed deterioration on seed reserve depletion and heterotrophic seedling growth of wheat. *Agricultural Science Natur. Resource*, 15(1), 193-197.
54. Gravel, V., Antoun, H., & Tweddel, R. J. (2007). Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *P. putida* or *Trichoderma atroviride*: possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil biology and biochemistry*, 39, 1968-1977.
55. Rakhshandehrou, F., Palokaitis, P., & Zamani Zadeh, H. R. (2011). Inducing of systemic acquired resistance (SAR) factors through PVY systemic infection in Samsun tobacco containing N resistant gene. *Journal of Genetics*, 6 (1), 97-108. [In Persian]

