Research Article

Iranian Journal of Seed Research, 2025, 11(2): 207-223

Influence of magnetic field intensity and exposure time on germination and physiological traits of rice (*Oryza sativa*) under cold stress

Abas Sasanian[1], Ali Bashirzadeh [1*], Seyed Ebrahim Kamali [1]

Extended abstract

Introduction: Rice (*Oryza sativa* L.), one of the world's most crucial cereals, serves as a primary nutritional source for over one-third of the global population. Compared to other grains, rice exhibits greater sensitivity to low-temperature stress. Seed priming as a biotechnological tool is a simple, practical, cost-effective, and eco-friendly approach to enhance plant stress tolerance and improve seed germination. This study investigated the germination and physiological responses of rice seeds to varying intensities and durations of electromagnetic field (EMF) exposure under cold stress conditions.

Materials and Methods: In 2024, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design at Islamic Azad University, Astara Branch. The experiment evaluated four levels of EMF intensity (0, 50, 100, and 150 mT), two exposure durations (30 and 60 minutes), and three cold stress levels (10, 15, and 25°C) on the Hashemi rice cultivar, with three replications. Rice seeds were treated in plastic bags under the specified EMF conditions. For seedling establishment, healthy seedlings were transferred to plastic pots containing sand. After 25 days, physiological traits were measured.

Results: Analysis of variance revealed significant effects of EMF intensity, duration, cold stress, and their interactions on most traits. Cold stress significantly increased proline (1.02 µmol g^{-1} FW) and malondialdehyde (4.40 mmol g^{-1} FW) while reducing chlorophyll *a* and *b*. The highest germination percentage (98.9%), radicle length (69.6 mm), chlorophyll *a* (0.807 mg g^{-1} FW), and chlorophyll *b* (0.99 mg g^{-1} FW) were observed under 100 mT at 25°C. Additionally, the highest germination rate (0.560 day^{-1}), shoot length (58.63 mm), seedling length (130.8 mm), radicle dry weight (3.25 mg), shoot dry weight (2.21 mg), seedling dry weight (5.46 mg), length-based vigor index (13035.5), and weight-based vigor index (543.5) were recorded at 100 mT, 25°C, and 30 minutes. While cold stress reduced germination and seedling growth, EMF treatment up to 100 mT counteracted these effects across all temperature levels.

Conclusion: EMF treatment up to 100 mT significantly improved germination traits (e.g., percentage, rate) and physiological parameters (e.g., chlorophyll content) in this rice cultivar. These findings highlight the potential of EMF priming to enhance seed germination and stress resilience under cold conditions.

Keywords: Cold stress, Germination, Magnetopriming, Rice, Seedling vigor index

Highlights:

1. The effect of the magnetic field was investigated on rice seed germination and physiological traits under cold stress.
2. Seed priming with an intensity of 100 mT for 60 minutes under cold stress of 10°C increased proline and malondialdehyde content.
3. Higher EMF intensities (up to 100 mT) significantly improved germination at 10°C.

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, As. C., Islamic Azad University, Astara, Iran

*Corresponding author, E-mail: ali.bashirzadeh56@iau.ac.ir

http://dx.doi.org/10.61882/yujs.11.2.207

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Received: 7.2.2025; Revised: 14.3.2025;
Accepted: 16.3.2025; Online Published: 21.3.2025

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

مقاله پژوهشی

پژوهش‌های بذر ایران/ سال یازدهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۳/ صفحات: ۲۲۳-۲۰۷

اثر شدت و مدت میدان الکترومغناطیسی بر جوانه‌زنی و ویژگی‌های فیزیولوژیک برنج (*Oryza sativa*) تحت تنش سرما

عباس ساسانیان[۱]، علی بشیرزاده*[۱]، سید ابراهیم کمالی[۱]

چکیده مبسوط

مقدمه: برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین غلات جهان، منبع اصلی تغذیه برای بیش از یک‌سوم جمعیت کره زمین به‌شمار می‌رود. این محصول راهبردی، در مقایسه با سایر غلات، حساسیت بیشتری به تنش دمای پایین دارد. پیش‌تیمار بذر یک ابزار زیست فناورانه و یک رویکرد ساده، عملی، مؤثر، سازگار با محیط‌زیست و مقرون‌به‌صرفه برای بهبود تحمل گیاه به تنش‌های مختلف محیطی و افزایش جوانه‌زنی بذر است. این پژوهش با هدف بررسی واکنش‌های جوانه‌زنی و فیزیولوژیکی بذر برنج در شدت و زمان‌های مختلف میدان الکترومغناطیسی به تنش سرما طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایشی در سال ۱۴۰۳ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با عامل‌های میدان الکترومغناطیسی در چهار سطح، زمان در دو سطح و تنش سرما در سه سطح روی برنج رقم هاشمی در سه تکرار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا اجرا شد. بذرهای برنج در یک کیسه پلاستیکی تحت میدان‌های مغناطیسی با شدت (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا) و زمان‌های (۳۰ و ۶۰ دقیقه) و سه سطح تنش سرما (۱۰، ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس) تیمار شدند. جهت آزمایش دوم و استقرار گیاهچه از سینی پلاستیکی استفاده گردید. نشاهای سالم، به گلدان‌های پلاستیکی حاوی ماسه منتقل شدند. پس از گذشت ۲۵ روز، برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک گیاهچه استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان‌داد که شدت و مدت زمان میدان مغناطیسی و تنش سرما و برهم‌کنش آن‌ها برای اکثر صفات معنی‌دار بود. تنش سرما سبب افزایش معنی‌دار محتوای پرولین و مالون‌دی‌آلدئید و کاهش کلروفیل **a** و **b** شد. کمترین محتوای پرولین و مالون‌دی‌آلدئید در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و بدون میدان مغناطیسی به‌ترتیب ۱/۰۲ میکرومول بر گرم وزن تر و ۴/۴۰ میلی مول بر گرم وزن تر مشاهده شد. بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی با ۹۸/۹، طول ریشه‌چه با ۶۹/۶ میلی‌متر، کلروفیل**a** با ۰/۸۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر، کلروفیل**b** با ۰/۹۹ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در تیمار ۱۰۰ میلی‌تسلا و دمای ۲۵ درجه سلسیوس ثبت شد. سرعت جوانه‌زنی با ۰/۵۶۰ بر روز، طول ساقه‌چه با ۵۸/۶۳ میلی‌متر، طول گیاهچه با ۱۳۰/۸ میلی‌متر، وزن خشک ریشه‌چه با ۳/۲۵ میلی‌گرم، وزن خشک ساقه‌چه با ۲/۲۱ میلی‌گرم، وزن خشک گیاهچه با ۵/۴۶ میلی‌گرم، شاخص طولی بنیه گیاهچه با ۱۳۰۳۵/۵، شاخص وزنی بنیه گیاهچه با ۵۴۳/۵ در شدت ۱۰۰ میلی‌تسلا، ۲۵ درجه سلسیوس و ۳۰ دقیقه به‌دست آمد. صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه با تنش سرما کاهش یافتند اما کاربرد میدان مغناطیسی تا ۱۰۰ میلی‌تسلا باعث افزایش این صفات در هر سطح از دما گردید.

نتیجه‌گیری: در این رقم برنج تأثیر میدان الکترومغناطیسی تا ۱۰۰ میلی‌تسلا بر ویژگی‌های مرتبط با جوانه‌زنی و صفات فیزیولوژیکی، از جمله درصد، سرعت جوانه‌زنی و کلروفیل، معنادار بوده و منجر به افزایش این شاخص‌ها شده است. یافته‌ها نشان‌دهنده ظرفیت کاربرد میدان الکترومغناطیسی برای بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و برخی صفات فیزیوژیکی تحت شرایط تنش سرما است.

واژه‌های کلیدی: برنج، تنش سرما، جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه، مگنتوپرایمینگ

جنبه‌های نوآوری:

۱- اثر میدان مغناطیسی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و فیزیولوژیکی بذرگیاه برنج تحت تنش سرما بررسی شد.

۲- پیش‌تیمار بذر با شدت ۱۰۰ میلی‌تسلا در ۶۰ دقیقه در تنش سرما ۱۰ درجه سلسیوس محتوای پرولین و مالون‌دی آلدئید را افزایش داد.

۳- افزایش شدت میدان سبب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی در تنش سرمای ۱۰ درجه سلسیوس شد.

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران

*رایانامه نویسنده مسئول: ali.bashirzadeh56@iau.ac.ir

http://dx.doi.org/10.61882/yujs.11.2.207

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۹؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

شاپا: ۱۴۸۰-۲۳۸۳ (برخط)؛۱۲۵۱-۲۳۸۳ (چاپی)

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین غلات جهان و منبع اصلی تغذیه برای بیش از یک‌سوم جمعیت جهانی محسوب می‌شود (بندومولا[1]، ۲۰۱۸). این محصول کشاورزی راهبردی، نقش کلیدی در اقتصاد بسیاری از کشورها دارد و بیش از ۹۰ درصد تولید جهانی آن در آسیا متمرکز است، جایی که به‌عنوان غذای اصلی و منبع درآمد برای میلیون‌ها کشاورز اهمیت دارد (فائو[2]، ۲۰۱۰). برنج منبعی غنی از ویتامین‌ها و مواد معدنی مانند ویتامینE، B5، تیامین، کلسیم، اسید فولیک و آهن است و حاوی ترکیبات فنولیکی با خواص پاداکسیدانی است که به کاهش خطر بیماری‌های قلبی و دیابت کمک می‌کند (موهیدم[3] و همکاران، ۲۰۲۲). برنج به‌عنوان منبع اصلی تأمین انرژی، نقشی کلیدی در رژیم غذایی مردم مناطق مختلف از جمله آمریکای لاتین، آسیا و جزایر اقیانوس آرام (زفر و جیانلانگ[4]، ۲۰۲۳). این محصول امروزه در بیش از ۱۰۰ کشور جهان کشت می‌شود و سالانه حدود ۵۰۰ میلیون تن شلتوک برنج تولید می‌گردد که سطح زیر کشت آن حدود ۱۶۵ میلیون هکتار را شامل می‌شود (فائو، ۲۰۲۲). بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت و تولید کل برنج در سال ۱۴۰۱ در ایران به‌ترتیب ۷۹۲ هزار هکتار و ۳/۶ میلیون تن می‌باشد (آمارنامه جهاد کشاورزی[5]، ۲۰۱۹).

برنج در مقایسه با سایر غلات، حساسیت بیشتری به تنش دمای پایین دارد، زیرا این گیاه در اصل از مناطق گرمسیری منشاء گرفته است. تنش سرمایی تأثیر منفی بر رشد برنج در تمام مراحل، از جوانه‌زنی تا رسیدگی دارد و باعث کاهش عملکرد می‌شود (ژیائو[6] و همکاران، ۲۰۱۸). سرما موجب کاهش ساخت کلروفیل و آسیب به ساختار کلروپلاست‌ها می‌شود. میزان فلورسانس کلروفیل که نشان‌دهنده کارایی فتوسیستم II است، در گیاهان حساس به سرما به شدت کاهش می‌یابد. افزایش مالون دی آلدئید نشانگر تنش اکسیداتیو است و میزان بالای آن نشانه تخریب لیپیدهای غشایی است. پرولین به تثبیت پروتئین‌ها و حفظ فشار اسمزی در شرایط سرما کمک می‌کند (ژانگ[7] و همکاران، ۲۰۱۴).

پیش‌تیمار بذر به‌عنوان یک ابزار زیست فناورانه، رویکردی ساده، عملی، مؤثر، سازگار با محیط‌زیست و مقرون به صرفه برای افزایش تحمل گیاه به تنش‌های مختلف محیطی و بهبود جوانه‌زنی بذر محسوب می‌شود (فاروق[8] و همکاران، ۲۰۱۹؛ میرمظلوم[9] و همکاران، ۲۰۲۰؛ ملکی‌نارگ موسی[10] و همکاران، ۲۰۱۵). قرار گرفتن بذر درمعرض میدان‌های الکترومغناطیسی، یکی از ایمن‌ترین و مقرون به‌صرفه‌ترین روش‌های قبل از کاشت بذر، به‌منظور بهبود رشد و استقرار گیاهچه در مزرعه است (فلورز[11] و همکاران، ۲۰۰۷). این روش می‌تواند به بهبود ظهور و استقرار گیاهچه، تحریک گلدهی زودرس، کاهش خواب بذر و افزایش جذب مواد مغذی و عملکرد کمک کند (رحمان[12] و همکاران، ۲۰۱۱؛ سینگ[13] و همکاران، ۲۰۱۵؛ یولا[14] و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین، این فن می‌تواند اثرات منفی تنش‌های غیر زیستی (مانند شوری، خشکی، غرقابی، دما و تابش زیاد) و تنش‌های زیستی (نظیر عوامل بیماری‌زای گیاهی) را کاهش دهد (کوثر و اشرف[15]، ۲۰۰۳؛ شارما[16] و همکاران، ۲۰۱۴؛ کومار[17] و همکاران، ۲۰۱۶). در سال‌های اخیر، استفاده از پرتوهای الکترومغناطیسی به‌عنوان یک روش نوآورانه برای پیش‌تیمار بذرها افزایش‌یافته است (پنوچیو[18] و همکاران، ۲۰۱۸). پیش‌تیمارهای فیزیکی، از جمله قرار گرفتن در معرض امواج مافوق صوت و تابش یونیزان، به‌عنوان جایگزین‌های امیدوارکننده‌ای برای افزایش

[1] Bandumula
[2] FAO
[3] Mohidem
[4] Zafar and Jianlong
[5] Ministry of Agriculture-Jahad
[6] Xiao
[7] Zhang
[8] Farooq
[9] Mirmazloum
[10] Maleki Narg Mousa
[11] Florez
[12] Rehman
[13] Singh
[14] Ullah
[15] Kausar and Ashraf
[16] Sharma
[17] Kumar
[18] Panuccio

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

بازده محصولات کشاورزی مطرح شده‌اند (ریفنا[1] و همکاران، ۲۰۱۹). در سال‌های اخیر تحقیقات روی اثرات امواج الکترومغناطیسی، میدان مغناطیسی، امواج فراصوت و پرتوهای یونیزان در طول‌موج‌های مختلف بر بنیه بذر، پاسخ‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه متمرکزشده است (ابراهیم[2] و همکاران، ۲۰۲۰).

امواج الکترومغناطیسی با تغییر در واکنش‌های شیمیایی، جوانه‌زنی بذر را تسریع می‌کنند. همچنین این تشعشعات به تشکیل یون‌های هیدروژن (H^+) و هیدروکسیل (OH^-) در بذرها کمک می‌کنند که برای چرخه تنش اکسیداتیو حیاتی هستند. تولید گلوکز ناشی از این تشعشعات، جوانه‌زنی بذر را تسریع کرده و به فعال‌سازی سامانه‌های آنزیمی و بهبود رشد گیاهچه و بهره‌وری گیاه منجر می‌شود (ما[3] و همکاران، ۲۰۲۰). میدان‌های مغناطیسی پاسخ‌های مرتبط با تنش را در گیاهان القا کرده و منجر به افزایش تولید پاداکسیدان‌ها و سایر ترکیبات حفاظتی می‌شود. این امر می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا در شرایط سخت محیطی نیز محصولات با کیفیتی تولید کنند (مهدوی[4] و همکاران، ۲۰۰۸؛ حسن[5] و همکاران، ۲۰۲۰).

پرتوهای الکترومغناطیسی غیر یونیزه بر انسان، حیوانات و گیاهان تأثیر می‌گذارد. تأثیر مستقیم امواج بر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه، ازجمله ویژگی‌های آناتومیکی، جذب مواد معدنی، تعادل آب، کلروفیل و فتوسنتز ثابت‌شده است. این امواج بر ویژگی‌های برگ در گیاه جعفری (*Petroselinum crispum*)، کرفس (*Apium graveolens*) و شوید (*Anethum graveolens*)، تأثیر گذاشته و سبب کاهش ضخامت دیواره سلولی و اندازه کلروپلاست و میتوکندری شده است (سورن[6] و همکاران، ۲۰۱۴؛ کیور[7] و همکاران، ۲۰۲۱). لونه[8] و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی تحمل به سرما در یک جمعیت F_2 حاصل تلاقی بین والد مقاوم و والد حساس نشان دادند که تنش سرمای ۱۳ درجه سلسیوس اثر منفی قابل‌توجهی بر تمام شاخص‌های رشد برنج داشت. دمای ۱۳ درجه سلسیوس، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را در برخی ژنوتیپ‌ها تا ۵۰ درصد کاهش داد. حافیظ[9] و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که میدان‌های مغناطیسی می‌توانند فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان مانند تنفس، فتوسنتز، جذب مواد مغذی و تولید پاداکسیدان‌ها و آنزیم‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. این مطالعه همچنین به تناقضات و نتایج ناهماهنگ در تحقیقات مختلف اشاره کرد که ممکن است به دلیل تفاوت‌های گونه‌ای یا زمان و شدت مواجهه با میدان‌های مغناطیسی باشد. آکتر[10] و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که تنش سرمایی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی در اکثر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد. در دمای پایین (۱۳ درجه سلسیوس)، جوانه‌زنی در ژنوتیپ‌های حساس ۵۰ تا ۷۰ درصد کاهش یافت. سرعت جوانه‌زنی به شدت کاهش یافته و در برخی از ژنوتیپ‌های حساس، جوانه‌زنی حتی پس از ۷ روز تیمار سرما رخ نداد. تنش سرمایی باعث کاهش کلروفیل شد که نشان‌دهنده آسیب به فتوسیستم IIو کاهش کارایی فتوسنتز بود. سرما باعث آسیب غشایی و افزایش نشت الکترولیت‌ها شد. تنش سرمایی سبب افزایش آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز(SOD) ، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD) در ژنوتیپ‌های مقاوم شد. در تحقیقی که روی ۱۸۱ رقم برنج در دمای ۱۳ درجه سلسیوس انجام شد، ۵۵ رقم جوانه نزدند. سرما باعث کاهش شدید توانایی جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و طول گیاه‌چه شد. سرما باعث کاهش محتوای کلروفیل شده و منجر به زردی برگ و کاهش فتوسنتز گردید. محتوای کلروفیل در ژنوتیپ‌های حساس حدود ۴۵٪ و در ارقام مقاوم ۲۰ تا ۲۵٪ کاهش نشان داد. میزان پرولین در پاسخ به سرما افزایش قابل‌توجهی داشت به طوری که ا رقام مقاوم افزایش ۲ تا ۳ برابری در پرولین نشان دادند، که به‌عنوان یک

[1] Rifna
[2] Ibrahim
[3] Ma
[4] Mahdavi
[5] Hasan
[6] Soran
[7] Kaur
[8] Lone
[9] Hafeez
[10] Akter

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

اسمولیت برای مقابله با تنش عمل می‌کند (کون دین و یاماکاوا[1]، ۲۰۲۳).

رادزویشیوز[2] و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که میدان الکترومغناطیسی تأثیرات مثبتی بر رشد و کیفیت گل‌های میخک داشته و به ویژه میدان با شدت ۱۶۰ میلی‌تسلا به مدت ۱۰ دقیقه بهترین تأثیر را بر طول عمر و ویژگی‌های گل‌دهی میخک‌ها داشت. کاربونل[3] و همکاران (۲۰۰۸) با قرار دادن بذرهای برنج در میدان‌های مغناطیسی ثابت ۱۵۰و ۲۵۰ میلی‌تسلا نشان دادند که میدان مغناطیسی ۱۵۰ میلی‌تسلا باعث افزایش معنی‌دار سرعت و درصد جوانه‌زنی نسبت به گروه شاهد شد. همچنین، تفاوت‌های قابل توجهی در بذرهایی که در میدان مغناطیسی ۲۵۰ میلی‌تسلا قرار گرفتند، مشاهده گردید. یونبین[4] و همکاران (۲۰۲۳) در در بررسی ارقام ژاپونیکا و ایندیکای برنج به تنش سرما در دمای پایین (۶ ± ۲ درجه سلسیوس) مشاهده نمودند که سرما سبب کاهش رشد طولی گیاهچه‌ها و ریشه‌ها شد. درصد جوانه‌زنی به‌شدت کاهش یافت. در ارقام حساس، برگ‌ها پس از مواجهه با سرما زرد (کلروز) و سپس قهوه‌ای (نکروز) شده و ریشه‌ها به‌شدت آسیب دیده و تیره‌رنگ شدند. ارقام ژاپونیکا مقاومت بیشتری به سرما نشان دادند. آلارکون[5] و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر رشد گیاه لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از آهن‌ربا باعث افزایش قابل توجهی در طول ساقه، تعداد برگ‌ها و وزن خشک گیاه نسبت به گروه شاهد گردید. بر اساس مطالعات انجام‌شده، استفاده از میدان‌های الکترومغناطیسی تأثیرات مثبتی بر فرآیند جوانه‌زنی بذر گیاهان در شرایط تنش داشته و موجب بهبود این فرآیند می‌شود. با این حال، اثرات ناشی از شدت و مدت پیش‌تیمارهای اعمال‌شده ممکن است در انواع مختلف بذرها متفاوت باشد. بنابراین، انجام پژوهش‌های کاربردی با بررسی شدت و مدت زمان‌های مختلف این تیمارها ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات تیمارهای میدان الکترومغناطیسی بر صفات مرتبط با جوانه‌زنی و صفات فیزیولوژیکی بذر برنج تحت تنش سرما اجراشده است.

مواد و روش‌ها

آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۴ تیمار به همراه شاهد، در سه تکرار، در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا در سال ۱۴۰۳ انجام شد. برای اعمال میدان الکترومغناطیسی با شدت‌های موردنیاز از دو استوانه به قطر ۶ سانتی‌متر و طول ۳۰ سانتی‌متر از جنس فولاد ST37 استفاده شد. هسته‌ها درون سیم‌پیچ‌ها و مقابل یکدیگر قرار گرفتند. هر سیم‌پیچ از ۵۰۰۰ دور سیم لاکی از جنس مس با قطر ۰/۷۵ میلی‌متر ساخته‌شده بود. برای هر سیم‌پیچ، از یک منبع تغذیه DC متغیر ۳۰ ولت با حداکثر جریان خروجی ۳ آمپر به‌صورت جداگانه استفاده گردید. به‌منظور تنظیم شدت میدان تولیدشده بین قطعات قطبی از تسلامتر دیجیتال مدل TES-3196 ساخت تایوان استفاده شد. بذرهای رقم هاشمی در معرض میدان الکترومغناطیس ثابت با شدت‌های صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و۱۵۰ میلی‌تسلا و مدت زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه قرار گرفته سپس عامل تنش سرما، در سه سطح ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس در ژرمیناتور اعمال شد. بذرهای خشک بعد از ضدعفونی به‌صورت دسته‌های ۱۰۰ تایی در داخل یک لوله نازک شفاف پلاستیکی در میدان الکترومغناطیسی با شدت و مدت لازم قرار گرفت و سپس به‌صورت دسته‌های ۲۵ تایی در پتری‌های ضدعفونی شده در محیط تنش قرار گرفتند. در طول آزمایش، شمارش روزانه تعداد بذرهای جوانه‌زده به مدت هشت روز در ساعت ۸ صبح و ۱۵ بعد از ظهر انجام شد و صفاتی همچون درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص بنیه طولی و وزنی گیاهچه به‌صورت تصادفی در ۱۰ بذر اندازه‌گیری شد. درصد جوانه‌زنی با استفاده از رابطه بلچر[6] (۱۹۹۵) محاسبه

[1] Cong Dien and Yamakawa
[2] Radzevicius
[3] Carbonell
[4] Yongbin
[5] Alarcon
[6] Belcher

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

گردید. در این مطالعه، بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها حداقل دو میلی‌متر بود، به‌عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شدند (ایستا[1]، ۱۹۷۹).

رابطه ۱:

$$GP\% = n/N \times 100$$

GP: درصد جوانه‌زنی، n : تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر پتری، N تعداد کل بذرهای کشت‌شده.

سرعت جوانه‌زنی طبق روش ماگویر[2] (۱۹۶۲) محاسبه شد.

رابطه ۲:

$$GR=(a/1)+(b-a/2)+(c-b/3)+\ldots..+(n-n-1/N)$$

GR: سرعت جوانه‌زنی (day^{-1}) ، a,b,c,..... n , به ترتیب نشان‌دهنده‌ی تعداد بذرهای جوانه‌زده پس از ۱، ۲، ۳ و n روز از شروع کشت است. همچنین شاخص بنیه گیاهچه طبق رابطه عبدل باکی و اندرسون[3] (۱۹۷۳) محاسبه شد.

رابطه ۳:

طول‌گیاهچه (ریشه‌چه+ساقه‌چه) (سانتی‌متر) × درصد جوانه‌زنی= شاخص طولی بنیه گیاهچه

رابطه ۴:

وزن خشک گیاهچه (ساقه‌چه+ریشه‌چه) (میلی‌گرم)×درصد جوانه‌زنی= شاخص وزنی بنیه گیاهچه

طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه و وزن‌خشک آن‌ها پس از اتمام دوره جوانه‌زنی اندازه‌گیری شدند. وزن‌خشک نمونه‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرارگرفته و سپس با ترازوی حساس با دقت یک‌دهم میلی‌گرم توزین شدند.

جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی بقیه بذور به اتاقک کشت با دمای ۲۴ درجه سلسیوس و ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی با رطوبت ۷۰ درصد منتقل گردید (قانع[4] و همکاران، ۲۰۱۲). محتوای کلروفیل a و b بر اساس روش آرنون[5] (۱۹۷۵) اندازه‌گیری شد. مقدار جذب نوری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت و غلظت کلروفیل بر اساس روابط ۵ و ۶ تعیین شد.

رابطه ۵:

$$Chl\ a = [(A_{645}) \times 2.69 - (A_{663}) \times 12.7] \times 0.5$$

رابطه ۶:

$$Chl\ b = [(A_{663}) \times 4.69 - (A_{645}) \times 22.9] \times 0.5$$

که در آن Chl a، Chl b به‌ترتیب کلروفیل a و b بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر می‌باشد.

مالون‌دی‌آلدئید (MDA) به‌روش هیت و پاکر[6] (۱۹۶۸) محاسبه شد. ۰/۲ گرم از بافت منجمد شده برگ گیاه با ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد سائیده شد. عصاره‌ی حاصل با استفاده از سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول روئی حاصل از سانتریفیوژ، ۴ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک اسید (TCA) ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید (TBA) بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس در حمام آب‌گرم حرارت داده شده سپس بلافاصله در یخ سرد شد و دوباره مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد.

پرولین با روش بتیس[7] و همکاران (۱۹۷۳) اندازه-گیری شد. ۰/۵گرم ماده‌تر برگ در هاون له‌کرده و ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوسالیسیلیک ۳٪ به‌آن اضافه کرده و نمونه درون یخ قرار داده شد. تیوب را در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ نموده تا مواد اضافی از محلول جدا شود. دو میلی‌لیتر آن را برداشته و روی‌آن ۲ میلی‌لیتر اسیدنینهیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک خالص اضافه شد و پس از قرار دادن در حمام آب‌گرم ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت به آب‌یخ منتقل شد. ۴ میلی‌لیتر تولوئن به‌آن اضافه شده و پس از ۲۰ ثانیه تکان شدید جذب بخش رنگی بالایی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد.

[1] ISTA
[2] Maguire
[3] AbdulBaki and Anderson
[4] Ghane
[5] Arnon
[6] Heath and Packer
[7] Bates

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها و برقراری مفروضات تجزیه واریانس، داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه آماری شدند. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (FLSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. برای محاسبات و ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار آماری XLSTAT بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (جدول ۱ و ۲) نشان‌داد که اثر شدت میدان مغناطیسی بر تمامی شاخص‌های جوانه‌زنی از جمله درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و شاخص‌های بنیه طولی و وزنی معنی‌دار بود و همچنین نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار میدان مغناطیسی بر شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی و صفات فیزیولوژیکی گیاهچه‌های برنج، از جمله پرولین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل a+b، نسبت a/b و مالون‌دی‌آلدئید است. کاتریا[1] و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که پیش‌تیمار بذرهای سویا و ذرت با میدان مغناطیسی می‌تواند جوانه‌زنی و رشد اولیه این گیاهان را بهبود بخشد. تنش سرما تأثیر بسیار معنی‌داری بر تمامی شاخص‌ها، مانند درصد و سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک اجزا گیاهچه و شاخص‌های بنیه طولی و وزنی گیاهچه و تمامی صفات فیزیولوژیکی داشت. برهم‌کنش شدت و مدت زمان میدان مغناطیسی، و تنش سرما برای تمامی صفات جوانه‌زنی بجز درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه و صفات پرولین و مالون دی-آلدئید معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۲).

میدان مغناطیسی ویژگی‌های مختلفی مانند جوانه‌زنی، رشد ریشه، رشد گیاهچه و رشد سلول‌های مریستمی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این امر ناشی از افزایش جذب عناصر ضروری و بهبود جوانه‌زنی به سبب تحریک آلفا آمیلاز و تسریع در فرایند تغذیه جنین از آندوسپرم می‌باشد (ساری[2] و همکاران، ۲۰۲۳). این نتایج با یافته‌های تحقیقاتی شبرنگی[3] (۲۰۲۴) در خصوص تأثیرات معنی‌دار میدان‌های مغناطیسی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های برنج و جو همخوانی دارد. کتسنیوز[4] و همکاران (۲۰۱۶) در یک مطالعه سه‌ساله در در شرایط آزمایش مزرعه‌ای، تأثیر میدان الکترومغناطیسی پالسی به مدت‌های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه به‌عنوان پیش‌تیمار قبل از کاشت بر بذر گندم دوروم را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که میدان الکترومغناطیسی پالسی تأثیر مثبت و قابل توجهی بر جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، وزن خشک، سطح برگ، محتوای کلروفیل، سرعت فتوسنتز، نرخ تعرق، رسانایی روزنه‌ای و عملکرد دو رقم گندم دوروم داشت. تیمارهای ۳۰و ۴۵ دقیقه‌ای بهترین نتایج را به همراه داشتند و تمامی تیمارها نسبت به گروه شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند. کاربونل و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند بذور برنجی که در معرض میدان مغناطیسی ۱۵۰و ۲۵۰ mTقرار گرفته بودند سرعت و درصد جوانه‌زنی معنی-داری نسبت به شاهد داشتند.

[1] Kataria
[2] Sarı
[3] Shabrangy
[4] Katsenios

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر شدت و مدت زمان میدان الکترومغناطیسی و تنش سرما بر شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاهچه برنج

Table 1. Analysis of variance for the effects of intensity and duration of electromagnetic field and cold stress on germination indices in rice seedlings.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean square)									
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Coleoptile length	طول گیاهچه Seedling length	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Coleoptile dry weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling weight vigor index
تنش سرما (CS) Cold Stress	2	6370.06**	0.3817**	5301.374**	4639**	1967.65**	14.99**	6.014**	39.96**	314513186**	523242**
میدان مغناطیسی (MF) Magnetic Field	3	61.93*	0.0226**	308.36**	108**	684.512**	0.35**	0.249**	1.186**	7688469**	13255**
مدت زمان (T) Time	1	21.23 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.21 ^{ns}	2.78 ^{ns}	1.473 ^{ns}	0.09**	0.036 ^{ns}	0.25**	316 ^{ns}	2026*
میدان × تنش MF × CS	6	155.05**	0.0113**	74.76*	60**	268.472**	0.19**	0.191**	0.74**	4150809**	9312**
زمان ×تنش T × CS	2	28. 46 ^{ns}	0.0016*	21.75 ^{ns}	16 ^{ns}	75.998*	0.13**	0.049**	0.35**	1045639 ^{ns}	4082**
میدان × زمان MF × T	3	2.42 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	17.61 ^{ns}	12 ^{ns}	49.220 ^{ns}	0.15**	0.071**	0.43**	457335 ^{ns}	4401**
میدان×زمان ×تنش MF × T × CS	6	11.60 ^{ns}	0.0013*	11.72 ^{ns}	27**	68.384**	0.20**	0.127**	0.64**	920307*	6826.312**
اشتباه آزمایشی Error	48	19.94	0.0005	23.65	8.92	21.035	0.006	0.014	0.027	329791	331
ضریب تغییرات درصد CV (%)		5.47	7.34	10.05	8.97	5.62	4.56	11.65	6.10	8.20	7.73

ns , ** و *، به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns, ** and * indicate, non-significant, significant at the 1% and 5%probability level respectively.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

جدول۲. تجزیه واریانس اثر شدت و مدت زمان میدان الکترومغناطیسی و تنش سرما بر صفات فیزیولوژیکی در گیاهچه برنج

Table 2. Analysis of variance for the effects of intensity and duration electromagnetic field and cold stress on physiological traits in rice seedlings

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	پرولین Proline	کلروفیلa Chlorophyll *a*	کلروفیلb Chlorophyll *b*	مجموع کلروفیل Chlorophyll *a+b*	کلروفیلa/b Chlorophyll *a/b*	مالون دی آلدئید Malondialdehyde
تنش سرما (CS) Cold Stress	2	267.34**	0.715**	0.573**	2.554**	0.218*	25.311**
میدان مغناطیسی (MF) Magnetic Field	3	33.811**	0.408**	1.295**	3.164**	1.524**	78.715**
مدت زمان (T) Time	1	16.155**	0.004^{ns}	0.028**	0.052*	0.040^{ns}	0.051^{ns}
میدان × تنش MF × CS	6	3.904**	0.0265**	0.041**	0.113**	0.0434^{ns}	1.249**
زمان ×تنش T × CS	2	1.387*	0.004^{ns}	0.006^{ns}	0.018^{ns}	0.005^{ns}	0.689^{ns}
میدان ×زمان MF × T	3	8.513**	0.015^{ns}	0.019**	0.0617**	0.025^{ns}	33.255**
میدان×زمان ×تنش MF × T × CS	6	1.493**	0.002^{ns}	0.003^{ns}	0.010^{ns}	0.009^{ns}	1.788**
اشتباه آزمایشی Error	48	0.390	0.006	0.003	0.011	0.052	0.374
ضریب تغییرات درصد CV (%)		11.803	17.011	9.177	10.084	23.502	8.129

ns , ** و *، به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد

ns, ** and * indicate, non-significant, significant at the 1% and 5%probability level respectively.

مقایسه میانگین برهم‌کنش شدت میدان مغناطیسی و تنش سرمایی نشان داد که در تنش سرمای ۱۰ درجه سلسیوس افزایش شدت میدان سبب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی شد به‌طوری که درصد جوانه‌زنی از ۵۷/۳۳ درصد در صفر میلی تسلا به ۷۴/۳۶ درصد در ۱۵۰ میلی تسلا افزایش یافت. بیشترین درصد جوانه‌زنی در ۲۵ درجه سلسیوس و شدت ۱۰۰ میلی‌تسلا (۹۸/۹۵ درصد) بود، در ۲۵ درجه سلسیوس با افزایش شدت میدان به ۱۵۰ میلی‌تسلا، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت اما بین شدت میدان‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در تنش سرمای ۱۰ درجه سلسیوس کمترین طول ریشه‌چه مشاهده شد. افزایش شدت میدان سبب رشد معنی‌دار طول ریشه‌چه گردید (جدول ۳). مطالعات ساری و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که استفاده از میدان مغناطیسی ثابت می‌تواند تأثیرات مثبتی بر جوانه‌زنی بذرهای لوبیا داشته باشد. وثیقه شمس‌آبادی[1] و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که شدت میدان مغناطیسی تأثیر معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه طولی بذر گلرنگ داشت. تیمار ۱۰ میلی‌تسلا باعث افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه در بذرهای خشک و تر گلرنگ شد. نتایج صراف[2] و همکاران (۲۰۲۱) نشان‌داد که شدت‌های ۱۵۰ میلی‌تسلا (۱ ساعت) و ۲۰۰ میلی‌تسلا (۱ ساعت) تأثیرات مثبتی بر صفات مربوط به جوانه‌زنی در سویا واریته JS-335 داشت. فراز علی[3] و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که میدان‌های الکترومغناطیسی می‌توانند تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذر ذرت را بهبود بخشند و ویژگی‌های مورفولوژیکی مانند سطح برگ، ارتفاع بوته و وزن گیاهچه را افزایش دهند. بیشترین تأثیر بر جوانه‌زنی مربوط به میدان‌های ۱۸۰ میلی‌تسلا در ۳ دقیقه و ۱۲۰ میلی‌تسلا در ۶ دقیقه بود.

[1] Vasiqeh Shamsabadi

[2] Sarraf

[3] Faraz Ali

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

جدول ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش میدان‌های مغناطیسی و تنش سرما برای ویژگی‌های گیاهچه برنج

Table 3. Mean Comparison the interaction effect of magnetic fields and cold stress on traits in rice seedlings

تنش سرما (CS) Cold stress(°C)	شدت میدان مغناطیسی (میلی‌تسلا) Magnetic field intensity (mT)	درصد جوانه زنی Germination percentage	طول ریشه چه (میلی‌متر) Radicle length (mm)	کلروفیلa (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll *a* (mg/ g_{FW}^{-1})	(میلی گرم b کلروفیل بر گرم وزن تر) Chlorophyll *b* (mg/ g_{FW}^{-1})	مجموع کلروفیل (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll *a*+*b* (mg/ g_{FW}^{-1})
10	0	57.333f	28.000f	0.242 g	0.467 g	0.708 g
	50	62.333ef	29.492ef	0.348 ef	0.508 fg	0.856 f
	100	65.833e	34.233de	0.430 de	0.546 f	0.976 e
	150	74.367d	38.000d	0.145 h	0.119 i	0.264 i
15	0	82.333bc	45.667c	0.477 cd	0.619 e	1.095 d
	50	83.283bc	50.667c	0.486 cd	0.683 d	1.170 d
	100	85.083b	57.300b	0.538 c	0.794 bc	1.332 c
	150	78.333cd	49.667c	0.262 fg	0.194 h	0.456 h
25	0	97.667a	57.333b	0.655 b	0.751 c	1.406 c
	50	98.167a	62.517b	0.710 b	0.824 b	1.534 b
	100	98.950a	69.617a	0.807 a	0.993 a	1.800 a
	150	95.333a	57.933b	0.332 fg	0.233 h	0.565 h

حروف غیر مشابه نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD است.

The different letters indicate significant differences at 5% probability level based on LSD test.

کاهش تنش دمایی سبب افزایش طولی شده و بیشترین طول ریشه‌چه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و شدت میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا با ۶۹/۶۱۷ میلی‌متر به‌دست آمد (جدول ۳). کلروفیل a و کلروفیل b رفتار تقریباً یکسانی نسبت به افزایش تنش سرما و شدت میدان مغناطیسی داشتند. بیشترین مقدار این صفات در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا به ترتیب با ۰/۸۰۷ و ۰/۹۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر به‌دست آمد (جدول ۳). مقایسه میانگین این صفات نشان داد که افزایش تنش سرما به ۱۵ و ۱۰ درجه سلسیوس سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل می‌گردد، اما شدت میدان مغناطیس ۱۰۰ میلی‌تسلا سبب افزایش آن نسبت به شرایط بدون میدان مغناطیسی شد (جدول ۳). دمای پایین موجب کاهش سنتز کلروفیل و آسیب به ساختار کلروپلاست‌ها می‌شود. همچنین، میزان فلورسانس کلروفیل که بیانگر کارایی فتوسیستم II است، در گیاهان حساس به سرما به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴). ردی[1] و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که سرما تأثیر مخربی بر رشد اولیه برنج داشت و موجب کاهش جوانه‌زنی، رشد ضعیف‌تر گیاه‌چه و ریشه‌چه و کاهش سطح برگ شد، همچنین تنش سرما سبب کاهش معنی‌دار در محتوای کلروفیل شد. با این حال، برخی ژنوتیپ‌ها تحمل بیشتری به سرما داشتند. دمای زیر ۱۵ درجه سلسیوس باعث کاهش شدید درصد و سرعت جوانه‌زنی شد. در تحقیقی اثر میدان مغناطیسی در دوره‌های زمانی مختلف روی تحریک فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه سیاه‌دانه انجام شد و بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی بذر و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در دوره زمانی ۹۰ دقیقه به‌دست آمد (العلاف و البیکر[2]، ۲۰۲۲). در تحقیقی تأثیر میدان الکترومغناطیسی بر صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه آفتابگردان بررسی شد و نتایج نشان داد که قرار گرفتن بذرها در میدان الکترومغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا به‌مدت ۱۰ دقیقه باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و رشد محصول و عملکرد شد (افضل[3] و همکاران، ۲۰۲۱).

[1] Reddy

[2] Al-Allaf and Al-Baker

[3] Afzal

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

جدول ۴. مقایسه میانگین برهم‌کنش شدت و مدت زمان میدان مغناطیسی و تنش سرما برای ویژگی‌های جوانه‌زنی برنج

Table 4. Mean comparison for the interaction of magnetic field intensity and duration at cold stress on germination characteristics of rice

تنش سرما (CS) Cold Stress (°C)	زمان	شدت میدان مغناطیسی (میلی‌تسلا) Magnetic Field Intensity (mT)	سرعت جوانه‌زنی (بر روز) Germination rate (day^{-1})	طول ساقه چه (میلی‌متر) Coleoptile Length (mm)	طول گیاهچه (میلی‌متر) Seedling Length (mm)	وزن خشک ریشه چه (میلی‌گرم) Radicle Dry Weight (mg)	وزن خشک ساقه چه (میلی‌گرم) Coleoptile Dry Weight (mg)	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling Dry Weight (mg)	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling Length Vigor Index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling Weight Vigor Index
10	30	0	0.187 l	18.000 l	46.000 n	0.763 n	0.460 k	1.223 p	2640.333 o	70.103 p
		50	0.188 kl	18.233 l	47.050 n	0.775 mn	0.469 k	1.244 op	2868.25 no	75.451 op
		100	0.188 kl	19.667 kl	52.533 lm	0.850 klm	0.497 jk	1.347 no	3405.93 lm	86.823 no
		150	0.213 ij	21.867 jk	58.800 jk	0.927 k	0.570 ij	1.497 m	4159.333 k	105.333 m
	60	0	0.187 l	18.000 l	46.000 n	0.763 n	0.460 k	1.223 p	2640.333 o	70.103 p
		50	0.188 kl	18.833 l	49.0 mn	0.810 lmn	0.470 k	1.280 op	3154.83 mn	82.023 op
		100	0.202 jk	20.733 jkl	56.333 kl	0.887 kl	0.527 jk	1.413 mn	3818.467 kl	95.027 mn
		150	0.225 i	23.250 j	62.317 j	1.010 j	0.647 i	1.657 l	4899.483 j	130.091 l
15	30	0	0.263 h	31.667 gh	77.333 i	1.787 g	1.013 g	2.800 i	6377.000 h	230.413 i
		50	0.273 h	32.667 fgh	81.333 h	1.830 fg	1.037 fg	2.867 hi	6752.967 h	237.666 hi
		100	0.297 g	35.000 f	91.000 f	1.890 f	1.113 f	3.003 fg	7647.000 g	252.317 g
		150	0.227 i	30.000 h	81.333 h	1.587 h	1.037 fg	2.623 j	6512.000 h	209.973 j
	60	0	0.263 h	31.667 gh	77.333 i	1.787 g	1.013 g	2.800 i	6377.000 h	230.413 i
		50	0.290 g	33.900 fg	86.567 g	1.857 fg	1.070 fg	2.927 gh	7246.300 g	244.893 gh
		100	0.329 f	38.000 e	96.600 e	1.977 e	1.223 e	3.200 e	8322.167 f	275.703 f
		150	0.197 kl	27.167 i	75.167 i	1.413 i	0.833 h	2.247 k	5776.300 i	172.403 k
25	30	0	0.437 d	46.667 c	104.000 d	2.400 c	1.503 c	3.903 c	10155.66 d	381.337 c
		50	0.450 d	47.667 c	108.933 c	2.453 c	1.543 c	3.997 c	10675.46 c	391.673 c
		100	0.560 a	58.633 a	130.867 a	3.250 a	2.207 a	5.457 a	13035.55 a	543.528 a
		150	0.367 e	42.000 d	102.667 d	2.077 d	1.090 fg	3.167 e	9784.667 d	301.873 e
	60	0	0.437 d	46.667 c	104.000 d	2.400 c	1.503 c	3.903 c	10155.66 d	381.337 c
		50	0.467 c	50.800 b	114.567 b	2.670 b	1.740 b	4.410 b	11263.56 b	433.690 b
		100	0.493 b	47.333 c	114.333 b	2.130 d	1.407 d	3.537 d	11238.96 b	347.654 d
		150	0.327 f	41.000 d	96.200 e	1.993 e	1.110 f	3.103 ef	9171.400 e	295.830 e

حروف غیر مشابه نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD است.

The different letters indicate significant differences at 5% probability level based on LSD test.

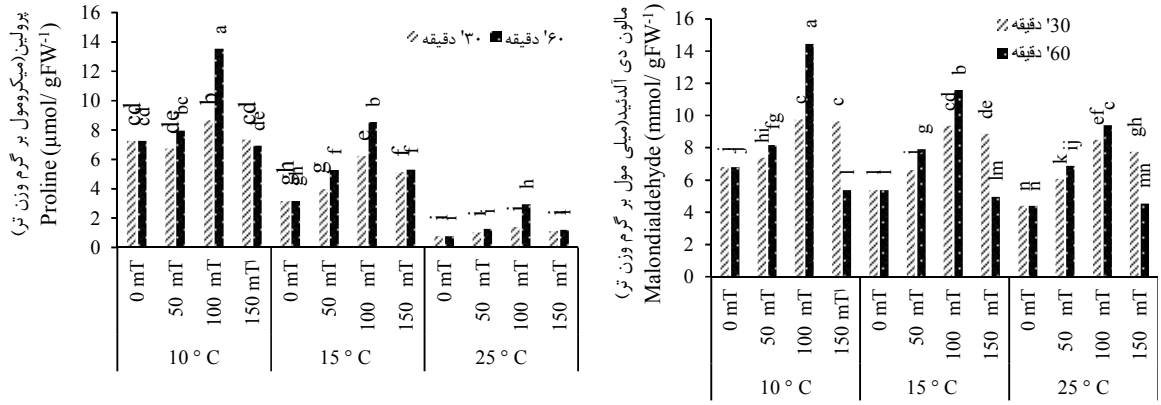
محمدی[1] و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی تأثیر مگنتوپرایمینگ بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) نشان داد که مگنتوپرایمینگ (به‌ویژه در ۲۰۰ میلی‌تسلا در مدت ۵ دقیقه) باعث افزایش وزن‌خشک اندام‌های هوایی (۸۲/۶ درصد)، وزن‌خشک ریشه‌ها (۸۶/۵ درصد)، محتوای کلروفیل کل (۳۲/۸ درصد)، محتوای کاروتنوئیدها (۳۲/۴ درصد) و پلی فنل‌ها (به میزان دو برابر) شد.

مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه سطوح شدت و مدت زمان میدان مغناطیسی، و دمای (جدول ۴) نشان داد که بیش‌ترین مقادیر سرعت جوانه‌زنی (۰/۵۶ بر روز)، طول ساقه‌چه (۵۸/۶۳۳ میلی‌متر)، طول گیاهچه (۱۳۰/۸۶ میلی‌متر)، وزن خشک ریشه‌چه (۳/۲۵۰ میلی‌گرم)، وزن خشک ساقه‌چه (۲/۲۰۷ میلی‌گرم)، وزن خشک گیاهچه (۵/۴۵۷ میلی‌گرم) و شاخص‌های طولی و وزنی بنیه گیاهچه (به‌ترتیب ۱۳۰۳۵/۵ و ۵۴۳/۵) در تیمار میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس مشاهده گردید.

[1] Mohammadi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]



شکل ۱. درهم‌کنش تنش دمایی، شدت و زمان میدان الکترومغناطیسی بر محتوای پرولین و مالون دی آلدئید. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (FLSD) در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 1. Interaction of cold stress, electromagnetic field intensity and time on proline and malondialdehyde content. Different letters within each column indicate significant differences on the basis of (FLSD) at the 5% probability level ($p \leq 0.05$).

کمترین سرعت جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سلسیوس بود که با افزایش شدت میدان مغناطیسی به ۱۵۰ میلی‌تسلا و مدت ۶۰ دقیقه این صفت نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت اما در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و شدت میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا در مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه سبب کاهش سرعت جوانه‌زنی گردید. این حالت برای طول ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه نیز صادق بود و در دو شرایط دمایی ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس و در مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه شدت میدان ۱۵۰ میلی‌تسلا سبب کاهش معنی‌دار این صفت شد (جدول ۴). نتایج حاصل با نتایج آقایی[1] و همکاران (۲۰۱۱) و دفریتاس[2] و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد. کتسنیوز و همکاران (۲۰۲۱) در یک مطالعه گلخانه‌ای، سه گونه گیاهی شامل کلم پیچ، گندم دوروم و اسفناج را در سه مرحله رشدی مختلف (مرحله بذری، گیاهچه‌ای و پیش از برداشت) تحت تأثیر میدان الکترومغناطیسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وزن‌تر در هر سه گونه افزایش یافت. همچنین، وزن خشک گندم و اسفناج در تیمار با میدان الکترومغناطیسی نسبت به شاهد بیشتر بود. این تیمار هیچ اثر منفی بر گیاهان نداشت، بلکه موجب بهبود رنگ سبز در گندم و کاهش زردی برگ در اسفناج گردید.

جانعلی‌زاده قزوینی[3] و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر کنجد، نشان دادند که میدان‌های مغناطیسی تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نهایی نداشت ولی میدان مغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۲۰ دقیقه سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد، اما تیمارهای ۱۰۰ میلی‌تسلا موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی شد. بیش‌ترین طول ریشه‌چه و گیاهچه مربوط به تیمار ۷۵ میلی‌تسلا به مدت ۶۰ دقیقه و بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌تسلا برای ۲۰ دقیقه بود. بهترین نتایج مربوط به قرار دادن بذرها به مدت یک ساعت در میدان ۵۰ میلی‌تسلا و ۱۰ دقیقه در میدان ۲۵ میلی‌تسلا بود. مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح عامل زمان در سطوح عامل شدت میدان در سطوح مختلف تنش دمایی برای صفت مالون دی آلدئید و پرولین بررسی شد و نتایج نشان داد که در تمامی سطوح دمایی در شدت ۱۵۰ میلی‌تسلا به‌مدت ۶۰ دقیقه سبب کاهش معنی‌دار مالون دی آلدئید شده است، اما در ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌تسلا و مدت ۶۰ دقیقه بهتر از ۳۰ دقیقه بوده است. با کاهش دما محتوای مالون دی آلدئید و پرولین افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار در

[1] Aghaee
[2] De Freitas
[3] Janalizadeh Qazvini

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

شدت میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا و مدت۶۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه ثبت شد (شکل ۱).

تخریب غشاء در اثر پراکسیداسیون لیپیدها، ناشی از تنش‌های اکسیداتیو مانند تنش سرما صورت می‌گیرد. مالون‌دی‌آلدئید (MDA) از تجزیه ثانویه لیپید هیدروپراکسیدهای اولیه ناشی شده و نشانگر مقدار صدمات اکسیداتیو به لیپیدها است، در حالی که کاهش آن در برخی شدت‌ها احتمالاً ناشی از تقویت سامانه پاداکسیدانی گیاه است. همچنین، افزایش پرولین در بیشتر تیمارها به‌عنوان سازوکار دفاعی برای تثبیت پروتئین‌ها و حفظ تعادل اسمزی شناخته می‌شود. پرولین از مهم‌ترین ترکیبات محلول‌های سازگار می‌باشد که تحت تنش سرما به‌مقدار زیادی تولید می‌شود (یونبین و همکاران، ۲۰۲۳). نتایج حاصل از آزمایش ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که شدت تنش سرما بر محتوای مالون‌دی‌آلدئید و پرولین در گیاهچه‌های برنج تأثیرگذار بود و سبب افزایش معنی‌دار آنها شد.

نتیجه‌گیری

میدان مغناطیسی تأثیر مثبتی و معنی‌داری بر جوانه‌زنی، رشد و صفات فیزیولوژیکی گیاهچه‌های برنج در تنش سرما داشت و می‌تواند به بهبود صفاتی مانند درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، وزن خشک و میزان کلروفیل کمک کند. نتایج این مطالعه نشان داد که تیمار با شدت میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، بیشترین تأثیر مثبت را بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها داشت. از سوی دیگر، تنش سرما به طور قابل توجهی بر این صفات تأثیر منفی گذاشت و باعث افزایش میزان پرولین و مالون دی‌آلدئید در گیاهان شد. با این حال، برهم‌کنش میدان مغناطیسی و تنش سرما نشان داد که در برخی شرایط، میدان مغناطیسی می‌تواند اثرات منفی تنش سرما را کاهش دهد. این یافته‌ها نشان‌دهنده ظرفیت استفاده از میدان مغناطیسی برای بهبود جوانه‌زنی بذر برنج تحت شرایط تنش سرما است. با این حال، برای تعمیم این نتایج به شرایط مزرعه‌ای، انجام مطالعات بیشتر و گسترده‌تری ضروری است. همچنین، پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده روی تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر سایر مراحل رشد گیاه و همچنین بر روی ارقام مختلف برنج متمرکز شوند تا بتوان از این روش به‌عنوان یک راهکار مؤثر در مدیریت تنش‌های محیطی در کشاورزی استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مدیر گروه کشاورزی و مسئول آزمایشگاه گیاه‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا قدردانی می‌گردد.

منابع

Abdul-Baki, A.A., and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria 1. Crop Science, 13(6): 630-633. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x

Afzal, I., Saleem, S., Skalicky, M., Javed, T., Bakhtavar, M.A., ul Haq, Z., Kamran, M., Shahid, M., Sohail Saddiq, M., Afzal, A., Shafqat, N., Dessoky, E.S., Gupta, A., Korczyk-Szabo, J., Brestic, M., and Sabagh, A.E.L. 2021. Magnetic field treatments improves sunflower yield by inducing physiological and biochemical modulations in seeds. Molecules, 26(7): 1-14. https://doi.org/10.3390/molecules26072022

Aghaee, A., Moradi, F., Zare-Maivan, H., Zarinkamar, F., Irandoost, H.P., and Sharifi, P. 2011. Physiological responses of two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to chilling stress at seedling stage. African Journal of Biotechnology, 10(39): 7617-7621.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

Akter, N., Biswas, P.S., Syed, M.A., Ivy, N.A., Alsuhaibani, A.M., Gaber, A., and Hossain, A. 2022. Phenotypic and molecular characterization of rice genotypes' tolerance to cold stress at the seedling stage. Sustainability, 14(9): 4871. https://doi.org/10.3390/su14094871

Al-Allaf, S.J.A., and Al-Baker, R.A.H. 2022. Effectiveness of magnetic field in stimulation of biochemical and enzymes activities in seedling and callus of *Nigella sativa*. International Journal of Health Sciences, 6(S2): 3301-3314. https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS2.5818

Alarcon, J.L.P., Cuesta, J.C., Molejon, M.R.B., Paragsa, J.D., and Ypon, N.M.Q. 2024. Investigating the influence of magnets in the growth of string bean (*Phaseolus vulgaris*) plant. American Journal of Life Science and Innovation, 3(1): 16-19. https://doi.org/10.54536/ajlsi.v3i1.2450

Arnon, D.I. 1975. Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology, 24: 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Bandumula, N. 2018. Rice production in Asia: Key to global food security. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 88: 1323-1328. https://doi.org/10.1007/s40011-017-0867-7

Bates, I., Waldern, R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Belcher, E.W. 1995. The effect of seed condition and length of stratification on the germination of loblolly pine seed. Tree Planters' Notes, 46(4): 138-142.

Carbonell, M., Martínez, E., Florez, M., Maqueda, R., Pintor-Lopez, A., and Amaya, J. 2008. Magnetic field treatments improve germination and seedling growth in *Festuca arundinacea* Schreb. and *Lolium perenne* L. Seed Science and Technology, 36: 31-37. https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.1.03

Carbonell, M.V., Martinez, E., and Amaya, J.M. 2000. Stimulation of germination in rice (*Oryza sativa* L.) by a static magnetic field. Electro- and Magnetobiology, 19(1): 121-128. https://doi.org/10.1081/JBC-100100303

Cong Dien, D., and Yamakawa, T. 2019. Phenotypic variation and selection for cold-tolerant rice (*Oryza sativa* L.) at germination and seedling stages. Agriculture, 9(8): 162. https://doi.org/10.3390/agriculture9080162

De Freitas, G.M., Thomas, J., Liyanage, R., Lay, J.O., Basu, S., Ramegowda, V., do Amaral, M.N., Benitez, L.C., Bolacel Braga, E.J., and Pereira, A. 2019. Cold tolerance response mechanisms revealed through comparative analysis of gene and protein expression in multiple rice genotypes. PLoS ONE, 14(6): e0218019. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218019

FAO. 2010. Rice in the global economy: Strategic research and policy issues for food security.

FAO. 2022. FAOSTAT online database. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Faraz Ali, M., Sajid Aqeel Ahmad, M., Gaafar, A.-R.Z., and Shakoor, A. 2024. Seed pre-treatment with electromagnetic field (EMF) differentially enhances germination kinetics and seedling growth of maize (*Zea mays* L.). Journal of King Saud University - Science, 36(5): 103184. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103184

Farooq, M.A., Niazi, A.K., Akhtar, J., Saifullah, Farooq, M., Souri, Z., Karimi, N., and Rengel, Z. 2019. Acquiring control: The evolution of ROS-Induced oxidative stress and redox signaling pathways in plant stress responses. Plant Physiology and Biochemistry, 141: 353-369. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.039

Florez, M., Carbonell, M.V., and Martínez, E. 2007. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. Environmental and Experimental Botany, 59(1): 68-75. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.10.006

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

Ghane, S.G., Lokhande, V.H., and Nikam, T.D. 2012. Differential growth, physiological and biochemical responses of Niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) cultivars to water-deficit (drought) stress. Acta Physiologiae Plantarum, 34(1): 215-225. https://doi.org/10.1007/s11738-011-0820-y

Hafeez, M.B., Zahra, N., Ahmad, N., Shi, Z., Raza, A., Wang, X., and Li, J. 2023. Growth, physiological, biochemical and molecular changes in plants induced by magnetic fields: A review. Plant Biology, 25(1): 8-23. https://doi.org/10.1111/plb.13459

Hasan, M.M., Alharby, H.F., Uddin, M.N., Ali, M.A., Anwar, Y., Fang, X.-W., Hakeem, K.R., Alzahrani, Y., and Hajar, A.S. 2020. Magnetized water confers drought stress tolerance in Moringa biotype via modulation of growth, gas exchange, lipid peroxidation and antioxidant activity. Polish Journal of Environmental Studies, 29: 1625-1639. https://doi.org/10.15244/pjoes/110347

Heath, R.L., and Packer, I. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125: 189-198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Ibrahim, S., El-Liethy, M.A., Elwakeel, K.Z., Hasan, M.A.E.-G., Al Zanaty, A.M., and Kamel, M.M. 2020. Role of identified bacterial consortium in treatment of Quhafa wastewater treatment plant influent in Fayuom, Egypt. Environmental Monitoring and Assessment, 192(3): 1-10. https://doi.org/10.1007/s10661-020-8105-9

ISTA. 1979. The germination test. International Seed Testing Association. Seed Science and Technology, 4: 23-28.

Janalizadeh Qazvini, M., Nizami, A., Khazaei, H., Faizi, H., and Guldani, M. 2015. Effect of magnetic fields on seed germination and seedling growth of sesame (*Sesamum indicum* L.). Iranian Journal of Seed Research, 3(1): 1-13. [In Persian] http://dx.doi.org/10.29252/yujs.3.1.1

Kataria, S., Baghel, L., and Guruprasad, K.N. 2017. Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 10: 83-90. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.02.010

Katsenios, N., Bilalis, D., Efthimiadou, A., Aivalakis, G., Nikolopoulou, A.-E., Karkanis, A., and Travlos, I. 2016. Role of pulsed electromagnetic field on enzyme activity, germination, plant growth and yield of durum wheat. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 6: 152-158. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.03.010

Katsenios, N., Christopoulos, M.V., Kakabouki, I., Vlachakis, D., Kavvadias, V., and Efthimiadou, A. 2021. Effect of pulsed electromagnetic field on growth, physiology and postharvest quality of kale (*Brassica oleracea*), wheat (*Triticum durum*) and spinach (*Spinacia oleracea*) microgreens. Agronomy, 11(7): 1364. https://doi.org/10.3390/agronomy11071364

Kaur, S., Vian, A., Chandel, S., Singh, H.P., Batish, D.R., and Kohli, R.K. 2021. Sensitivity of plants to high frequency electromagnetic radiation: cellular mechanisms and morphological changes. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 20(1): 55-74. https://doi.org/10.1007/s11157-020-09563-9

Kausar, A., and Ashraf, M. 2003. Alleviation of salt stress in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) through seed treatments. Agronomie, 23(3): 227-234. https://doi.org/10.1051/agro:2002086

Kumar, A., Singh, M., Singh, P.P., Singh, S.K., Singh, P.K., and Pandey, K.D. 2016. Isolation of plant growth promoting rhizobacteria and their impact on growth and curcumin content in *Curcuma longa* L. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 8: 1-7. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.07.002

Lone, J., Shikari, A., Sofi, N., Ganie, S., Sharma, M., Sharma, M., Kumar, M., Saleem, M.H., Almaary, K.S., Elshikh, M.S., Dwiningsih, Y., and Raza, M.A. 2022. Screening technique based on seed and early seedling parameters for cold tolerance of selected f2-derived f3 rice genotypes under controlled conditions. Sustainability, 14(14): 8447. https://doi.org/10.3390/su14148447

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

Ma, Y., Dias, M.C., and Freitas, H. 2020. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. Frontiers in Plant Science, 11: 591911. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, 2(2): 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Mahdavi, B., Modares Sanavi, S.A.M., and Balouchi, H.R. 2008. Effect of electromagnetic field on seed germination and seedling growth of annual medics, barley, dodder and barnyard grass. Iranian Journal of Biology, 21(3): 433-443. [In Persian]

Maleki Narg Mousa, M., Balouchi, H., and Attarzadeh, M. 2015. Effect of seed priming on some germination traits and seedling growth of safflower under drought stress. Iranian Journal of Seed Research, 2(1): 1-10. [In Persian] https://doi.org/10.29252/yujs.2.1.1

Michel, B.E., and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology, 51(5): 914-916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914

Ministry of Agriculture-Jahad. 2019. Agricultural Statistics. Vol. 1. Crop Plants. Statistics, Information and Communication Technology Center, Ministry of Agriculture-Jahad, Tehran, Iran. [In Persian]

Mirmazloum, I., Kiss, A., Erdélyi, É., Ladányi, M., Németh, E.Z., and Radácsi, P. 2020. The effect of osmopriming on seed germination and early seedling characteristics of *Carum carvi* L. Agriculture, 10(4): 94. https://doi.org/10.3390/agriculture10040094

Mohammadi, R., Roshandel, P., and Tadayon, A. 2019. The effects of magnetopriming on the growth, physiology and antioxidant systems in hyssop. Nova Biologica Reperta, 6(1): 106-115. [In Persian] https://doi.org/10.29252/nbr.6.1.106

Mohidem, N.A., Hashim, N., Shamsudin, R., and Che Man, H. 2022. Rice for food security: Revisiting its production, diversity, rice milling process and nutrient content. Agriculture, 12(6): 741. https://doi.org/10.3390/agriculture12060741

Panuccio, M., Chaabani, S., Roula, R., and Muscolo, A. 2018. Bio-priming mitigates detrimental effects of salinity on maize improving antioxidant defense and preserving photosynthetic efficiency. Plant Physiology and Biochemistry, 132: 465-474. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.033

Radzevicius, A., Upadhyaya, S., and Zare, R. 2022. Pre-exposure impact of electromagnetic field radiation on carnation. Pakistan Journal of Botany, 54(1): 1-10.

Reddy, K.R., Seghal, A., Jumaa, S., Bheemanahalli, R., Kakar, N., Redoña, E.D., Wijewardana, C., Alsajri, F.A., Chastain, D., Gao, W., Taduri, S., and Lone, A.A. 2021. Morpho-physiological characterization of diverse rice genotypes for seedling stage high- and low-temperature tolerance. Agronomy, 11(1): 112. https://doi.org/10.3390/agronomy11010112

Rehman, H.U., Basra, S., Ahmed, M., and Farooq, M. 2011. Field appraisal of seed priming to improve the growth, yield, and quality of direct seeded rice. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 35(4): 357-365. https://doi.org/10.3906/tar-1004-954

Rifna, E.J., Ratish Ramanan, K., and Mahendran, R. 2019. Emerging technology applications for improving seed germination. Trends in Food Science and Technology, 86: 95-108. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.029

Sarı, M.E., Demir, İ., Yıldırım, K., and Memiş, N. 2023. Magnetopriming enhance germination and seedling growth parameters of onion and lettuce seeds. International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, 7(3): 468-475. https://doi.org/10.31015/jaefs.2023.3.1

Sarraf, M., Deamici, K.M., Taimourya, H., Islam, M., Kataria, S., Raipuria, R.K., Abdi, G., and Brestic, M. 2021. Effect of magnetopriming on photosynthetic performance of plants. International Journal of Molecular Sciences, 22: 9353. https://doi.org/10.3390/ijms22179353

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]

Shabrangy, A. 2024. Using magnetic fields to enhance the seed germination, growth, and yield of plants. In: Maghuly, F (Eds), Plant functional genomics: Methods and Protocols, 2: 375-395. Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3782-1_22

Sharma, H.S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J., and Martin, T. 2014. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. Journal of Applied Phycology, 26: 465-490. https://doi.org/10.1007/s10811-013-0101-9

Singh, N., Singh, R., Meena, V., and Meena, R. 2015. Can we use maize (*Zea mays*) rhizobacteria as plant growth promoter. Vegetos, 28(1): 86-99. https://doi.org/10.5958/2229-4473.2015.00012.9

Soran, M.-L., Stan, M., Niinemets, Ü., and Copolovici, L. 2014. Influence of microwave frequency electromagnetic radiation on terpene emission and content in aromatic plants. Journal of Plant Physiology, 171(15): 1436-1443. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.013

Ullah, A., Nisar, M., Ali, H., Hazrat, A., Hayat, K., Keerio, A.A., Ihsan, M., Laiq, M., Ullah, S., and Fahad, S. 2019. Drought tolerance improvement in plants: an endophytic bacterial approach. Applied Microbiology and Biotechnology, 103: 7385-7397. https://doi.org/10.1007/s00253-019-10045-4

Vasiqeh Shamsabadi, A., Modarres Sanavy, S.A.M., Modarres Vamghi, S.M., and Keshavarz, H. 2017. Effect of magnetic field on some physiological traits and germination of safflower crop seeds and four important weed species. Plant Research (Biology of Iran), 31(1): 184-196. [In Persian]

Xiao, N., Gao, Y., Qian, H., Gao, Q., Wu, Y., Zhang, D., Zhang, X., Yu, L., Li, Y., and Pan, C. 2018. Identification of genes related to cold tolerance and a functional allele that confers cold tolerance. Plant Physiology, 177(3): 1108-1123. https://doi.org/10.1104/pp.18.00209

Yongbin, Q., Summat, P., Panyawut, N., Sikaewtung, K., Ditthab, K., Tongmark, K., Chakhonkaen, S., Sangarwut, N., Wasinanon, T., Kaewmungkun, K., and Muangprom, A. 2023. Identification of rice accessions having cold tolerance at the seedling stage and development of novel genotypic assays for predicting cold tolerance. Plants, 12(1): 215. https://doi.org/10.3390/plants12010215

Zafar, S., and Jianlong, X. 2023. Recent advances to enhance nutritional quality of rice. Rice Science, 30(6): 523-536. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.05.004

Zhang, Q., Chen, Q., Wang, S., Hong, Y., and Wang, Z. 2014. Rice and cold stress: methods for its evaluation and summary of cold tolerance-related quantitative trait loci. Rice, 7: 1-12. https://doi.org/10.1186/s12284-014-0024-3

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.207]