Journal of Seed Research

ISSN (Print): 2383-2665
ISSN (Online): 2981-2461

The effect of electromagnetic field on the germination and growth of Sesame seedlings (*Sesamum indicum* L.)

Davar Molazem[1*]

[1] Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran, Email: davar.molazem@iau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024-8-24
Revised: 2024-9-11
Accepted: 2024-11-12

Keywords:
Magneto priming,
Seedling vigor index
Germination rate
Sesame

ABSTRACT

Seed priming with electromagnetic waves is a biotechnological tool and a simple, practical, effective, environmentally friendly and cost-effective approach to improve germination and plant growth characteristics. In order to investigate the germination behavior of sesame plants under electromagnetic fields at different times, a factorial experiment based on completely randomized design with the electromagnetic field factor at 7 levels and time factor at 5 levels was carried out in three replications at the Islamic Azad University, Astara branch in 2024. Sesame seeds were treated in a plastic bag under magnetic fields with intensity (control, 25, 50, 75, 100, 125 and 150 mT) and times (10, 30, 60, 90 and 120 minutes). The results of the analysis of variance showed that the effect of magnetic field and time and their interaction were significant for most traits. The electromagnetic field with the intensity of 50 mT for 60 minutes led to an increase in the germination rate compared to the control. The treatment of 150 mT in 120 minutes caused a significant decrease in all traits related to germination. The highest percentage of germination, radicle length, seedling length and seedling length vigor index were 99.2, 4.7, 7.46 and 740.032 respectively in the treatment of 75 mT for 90 minutes and the maximum stem length It was obtained with 3.056 cm in the control.

Cite this article: Molazem, D. (2023). The effect of electromagnetic field on the germination and growth of sesame seedlings (*Sesamum indicum* L.). *Seed Research*, 13 (3), 39-51.

©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

تحقیقات بذر
شاپا چاپی: ۲۶۶۵-۲۳۸۳
شاپا الکترونیکی: ۲۴۶۱-۲۹۸۱

اثر میدان الکترومغناطیسی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کنجد (*Sesamum indicum* L.)

داور ملازم[1]*

[1] استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران ، رایانامه: davar.molazem@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲

واژه‌های کلیدی:
مگنتوپرایمینگ
شاخص بنیه گیاهچه
سرعت جوانه‌زنی
کنجد

چکیده

پرایمینگ بذر با امواج الکترومغناطیس یک ابزار بیوتکنولوژیکی و یک رویکرد ساده، عملی، مؤثر، سازگار با محیط‌زیست و مقرون‌به‌صرفه برای بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاه مطرح است. به‌منظور بررسی رفتار جوانه‌زنی گیاه کنجد تحت میدان‌های الکترومغناطیسی در زمان‌های مختلف، آزمایشی در سال ۱۴۰۳ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با فاکتور میدان الکترومغناطیسی در ۷ سطح و زمان در ۵ سطح و در سه تکرار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا اجرا شد. بذور کنجد در یک کیسه پلاستیکی تحت میدان‌های مغناطیسی با شدت (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌تسلا)و زمان‌های (۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه) تیمار شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان‌داد که اثر میدان مغناطیسی و زمان و اثر متقابل آن‌ها برای اکثر صفات معنی‌دار بود. میدان الکترومغناطیسی با شدت ۵۰ میلی‌تسلا به‌مدت ۶۰ دقیقه منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد. تیمار ۱۵۰ میلی‌تسلا در ۱۲۰ دقیقه سبب کاهش معنی‌دار تمامی صفات مرتبط با جوانه‌زنی شد. بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول گیاهچه و شاخص طولی بنیه گیاهچه به‌ترتیب با۹۹/۲، ٤/۷، ۷/٤٦ و۷٤۰/۰۳۲ در تیمار ۷۵ میلی‌تسلا به‌مدت ۹۰ دقیقه و بیش‌ترین طول ساقه‌چه با ۳/۰۵٦ سانتی‌متر در تیمار شاهد به‌دست آمد.

استناد: ملازم، داور. (۱٤۰۲). اثر میدان الکترومغناطیسی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کنجد (*Sesamum indicum* L.). *تحقیقات بذر*، ۱۳ (۳)، ۵۱-۳۹.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاه یک‌ساله و از خانواده *Pedaliaceae* و جزء گیاهان دانه روغنی است. دانه گیاه دارای ٤٠ تا ٦٠ درصد روغن است. چین و هند از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان کنجد در جهان هستند. علاوه بر اهمیت خوراکی و دارویی، کنجاله آن برای تغذیه احشام بسیار مفید بوده و کاه کنجد نیز به‌عنوان خوراک دام کاربرد دارد(Baraki et al., 2020). گرچه کنجد از دیرباز محصول مناطق گرم و خشک جنوب کشور بوده است اما ویژگی‌های زراعی مطلوب و همچنین صرفه اقتصادی زراعت آن به‌دلیل افزایش شدید قیمت کنجد در چند سال اخیر موجب اقبال برای توسعه کشت این محصول در نیمه شمالی کشور شده است. بااین‌حال کنجد علیرغم داشتن پتانسیل بالا به‌دلایلی ازجمله مدیریت ضعیف زراعی، تنش‌های محیطی و عدم استفاده از ارقام اصلاح‌شده از عملکرد پایینی برخوردار است (Gholamhosseini et al., 2024). پرایمینگ بذر یک ابزار بیوتکنولوژیکی و یک رویکرد ساده، عملی، مؤثر، سازگار با محیط‌زیست و مقرون‌به‌صرفه برای بهبود تحمل گیاه به تنش‌های مختلف محیطی و افزایش جوانه‌زنی بذر است (Tanou et al., 2012; Hussain et al., 2016; Farooq et al., 2019; Mirmazloum et al., 2020). 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 (Flórez et al, 2007). ظهور و استقرار گیاهچه را بهبود بخشیده، گلدهی زودرس را تحریک کرده، خواب بذر را کاهش داده، جذب مواد مغذی و عملکرد را افزایش می‌دهد (Rehman et al., 2011; Singh et al., 2015; Ullah et al., 2019). همچنین اثرات نامطلوب تنش‌های غیرزیستی (شوری، خشکسالی، غرقابی، دمای بالا، تابش زیاد) و زیستی (پاتوژن‌های گیاهی) را کاهش می‌دهد(Kausar and Ashraf, 2003; Sharma et al., 2014; Kumar et al., 2016). در سال‌های اخیر، پرتوهای الکترومغناطیسی به عنوان روشی نوآورانه برای پرایمینگ بذرها مورد استفاده قرارگرفته است (Panuccio et al., 2018). پیش تیمارهای فیزیکی مانند قرار گرفتن در معرض تشعشعات الکترومغناطیسی مانند امواج مافوق‌صوت و تابش‌یونیزان، جایگزین‌های امیدوارکننده‌ای برای افزایش بازده محصولات کشاورزی هستند (Rifna et al., 2019). در سال‌های اخیر تحقیقات بر روی اثرات امواج الکترومغناطیسی، میدان مغناطیسی، امواج فراصوت و پرتوهای یونیزان در طول‌موج‌های مختلف بر بنیه بذر، پاسخ‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه متمرکزشده است (Ibrahim et al., 2020). امواج الکترومغناطیسی با تغییر واکنش‌های شیمیایی، جوانه‌زنی بذر را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، تشعشعات الکترومغناطیسی تشکیل یون‌های هیدروژن (H+) و هیدروکسیل (OH–) را در دانه‌ها تحریک کرده که برای چرخه تنش اکسیداتیو مهم است. علاوه بر این، تولید گلوکز ناشی از تشعشعات الکترومغناطیسی، جوانه‌زنی بذر را تسریع کرده و سیستم آنزیمی را فعال و رشد نهال و بهره‌وری گیاه را بهبود می‌بخشد (Ma et al., 2020). میدان‌های مغناطیسی پاسخ‌های مرتبط با استرس را در گیاهان القا کرده و منجر به افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها و سایر ترکیبات حفاظتی می‌شود (Wu et al., 2021). راجاگوپال (Rajagopal, 2009) گزارش داد که تابش امواج ماکروویو باعث افزایش قدرت بذر و رشد گیاهچه در گندم، جو و چاودار شد. قرار دادن دانه‌های جو در معرض امواج مغناطیسی و UV-C به‌مدت ۱۰ ثانیه باعث بهبود جوانه‌زنی بذر شد (Lazim and Ramadhan, 2020). تیمارهای حرارتی فرکانس‌رادیویی به‌طور قابل‌توجهی بر خواص فیزیولوژیکی دانه‌های گندم و ذرت تأثیر داشت و بنیه بذر، سرعت

جوانه‌زنی و فعالیت آنزیمی ازجمله سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD) را افزایش داد (Jiao et al., 2016). برخی از مطالعات نشان داده‌اند که قرار گرفتن کوتاه‌مدت بذر در معرض امواج ماکروویو، سرعت جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد، اما قرار گرفتن در معرض طولانی‌مدت اثرات نامطلوبی داشته است (Ragha et al., 2011; Lazim and Ramadhan, 2020; Brust et al., 2021).

پرتوهای الکترومغناطیسی غیر یونیزه بر انسان‌ها، 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 (Soran et al., 2014; Kaur et al., 2021). حافیظ و همکاران (Hafeez et al., 2023) در تحقیقی به بررسی تغییرات رشد، خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاهان تحت-تأثیر میدان‌های مغناطیسی پرداخته و نشان دادند که میدان‌های مغناطیسی توانایی تغییر فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تنفس، فتوسنتز، جذب مواد مغذی، روابط آبی و ویژگی‌های بیوشیمیایی شامل ژن‌های مرتبط با ROS، آنتی‌اکسیدان‌ها، آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و متابولیت‌های ثانویه را دارند. این مطالعه همچنین به تناقضات و نتایج ناهماهنگ در تحقیقات مختلف اشاره می‌کند که ممکن است به دلیل تفاوت‌های گونه‌ای و یا زمان و شدت مواجهه با میدان‌های مغناطیسی باشد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که میدان‌های مغناطیسی می‌توانند به عنوان یک ابزار موثر برای بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان مورد استفاده قرار گیرند. تافورئو و همکاران (Tafforeau et al., 2021) به بررسی تغییرات مولکولی و بیوشیمیایی در گیاهان تحت تأثیر میدان‌های الکترومغناطیسی پرداخته و نشان دادند که میدان‌های الکترومغناطیسی می‌تواند باعث تغییرات قابل‌توجهی در ساختار سلولی و فعالیت‌های متابولیکی گیاهان شوند. رادزویشیوز و همکاران (Radzevicius et al., 2022) در بررسی تأثیر پیش‌تیمار تابش میدان الکترومغناطیسی بر گل میخک نشان دادند که مواجهه اولیه با میدان‌های الکترومغناطیسی تأثیرات مثبتی بر رشد و کیفیت گل‌های میخک داشته است. یافته‌ها حاکی از آن است که گل‌های میخک که در معرض تابش میدان الکترومغناطیسی با شدت‌های مختلف قرار گرفته‌اند، دارای طول عمر گلدانی بیشتری بوده و ویژگی‌های گل‌دهی بهتری نسبت به گروه کنترل داشتند. به طور خاص، نتایج نشان داد که شدت میدان ۱۶۰ میلی‌تسلا به مدت ۱۰ دقیقه بهترین نتیجه را در بهبود رشد و ویژگی‌های گل‌دهی میخک‌ها داشت. مشنسکایا و همکاران (Mshenskaya et al., 2023) در بررسی تأثیر میدان الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار پایین (۱۴/۳ هرتز) بر حساسیت گندم به خشکی پرداخته و نشان دادند که میدان الکترومغناطیسی می‌تواند اثر محافظتی بر گیاهان در شرایط تنش داشته باشد. آلارکون و همکاران (Alarcon et al., 2024) در تحقیقی به بررسی تأثیر آهنربا بر رشد گیاه لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*)پرداختند. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از میدان‌های مغناطیسی به طور قابل توجهی رشد گیاه لوبیا سبز را تحت تأثیر قرار داده و سبب افزایش طول ساقه، تعداد برگ‌ها و وزن خشک گیاه نسبت به گروه کنترل (شاهد) شدند.

با توجه به مطالعه‌های انجام‌شده کاربرد میدان الکترومغناطیس ممکن است بر جوانه‌زنی بذر گیاهان مؤثر باشد و موجب بهبود جوانه‌زنی بذر گردد، اما شدت و مدت این پیش تیمارها در بذرهای مختلف

می‌تواند اثرات متفاوتی داشته باشد، لذا توصیه پژوهش‌های کاربردی با شدت و مدت‌های مختلف این تیمارها ضروری است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی واکنش‌های جوانه‌زنی بذر کنجد پس از اعمال تیمارهای میدان الکترومغناطیس بوده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات میدان‌های مغناطیسی بر برخی از ویژگی های مرتبط با جوانه‌زنی کنجد و تعیین شدت و مدت بهینه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳٤ تیمار به همراه تیمار شاهد در سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا و با دستگاه طراحی‌شده توسط گروه فیزیک و برق اجرا شد. بذرهای کنجد در داخل یک کیسه نازک پلاستیکی ریخته شده و سپس درون دستگاه تولید میدان مغناطیسی در معرض میدان‌هایی با شدت ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵و۱۵۰ میلی‌تسلا و زمان‌های ۱۰، ۳۰، ٦۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه قرارگرفتند. بذرها پس از دریافت تیمار در دسته‌های ۲۵ تایی درون پتری دیش‌های با قطر ۱۰ سانتی‌متر و روی کاغذ صافی واتمن مرطوب، توزیع‌شده و به‌مدت هفت روز در ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت‌نسبی مناسب قرارگرفتند. شمارش بذرهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه انجام و درنهایت صفاتی نظیر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و گیاهچه، وزن‌خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص بنیه طولی و وزنی گیاهچه اندازه‌گیری شد. درصد جوانه‌زنی از طریق رابطه بلچر (Belcher, 1975) و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها حداقل دو میلی‌متر بودند به‌عنوان جوانه‌زده محسوب شدند (ISTA, 2009).

رابطه (۱):

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

سرعت جوانه‌زنی از رابطه (۲) بر طبق روش ماگویر (Maguire,1962) محاسبه شد.

رابطه (۲):

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

در رابطه‌های فوق GP درصد جوانه‌زنی، n تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر پتری، N تعداد کل بذرهای کشت‌شده، GR سرعت جوانه‌زنی (day^{-1}) ، n..... , c,b,aبه ترتیب نشان‌دهنده‌ی تعداد بذرهای جوانه‌زده پس از ۱، ۲، ۳ و n روز از شروع آبگیری است. همچنین شاخص بنیه گیاهچه بر اساس رابطه اندرسون و عبدل باکی (Anderson & Abdul-Baki, 1973) محاسبه شد.

رابطه (۳):

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

رابطه (٤):

وزن‌خشک گیاهچه (ساقه‌چه + ریشه‌چه) (میلی‌گرم) × درصد جوانه‌زنی = شاخص وزنی بنبه گیاهچه

طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و گیاهچه و وزن‌خشک آن‌ها پس از اتمام دوره جوانه‌زنی اندازه‌گیری شدند. وزن‌خشک نمونه‌ها در اون ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲٤ ساعت قرارگرفته و سپس با ترازوی حساس با دقت یک میلی‌گرم توزین شدند. آنالیز آماری داده‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب CRD و به کمک نرم‌افزار MSTAT-C و XLSTAT-19انجام شد. در صورت نیاز اقدام به نرمال نمودن داده‌ها شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان‌داد که شدت میدان مغناطیسی، زمان اعمال میدان و اثر متقابل میدان در زمان بر تمامی صفات موردبررسی ازجمله درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک آن‌ها و شاخص وزنی و طولی بنیه گیاهچه معنی‌داری

بود (جدول ۱). این نتایج با یافته‌های تحقیقاتی شبرنگی (Shabrangy, 2024) در خصوص تأثیرات معنی‌دار میدان‌های مغناطیسی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها همخوانی دارد. ضرایب پراکندگی برای تمامی صفات محاسبه گردید. بیش‌ترین ضریب برای درصد جوانه‌زنی و کم‌ترین مقدار برای سرعت جوانه‌زنی به ترتیب با ۱۷/۱۸و ۲/۳٤به‌دست آمد. بیش‌ترین اثر میدان مغناطیسی بر درصد جوانه‌زنی درشدت ۷۵ میلی‌تسلا بود که با شدت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌تسلا اختلاف معنی‌داری دیده نشد ولی با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. کم‌ترین مقدار درصد جوانه‌زنی درشدت ۱۵۰ میلی‌تسلا مشاهده شد(جدول ۲). مطالعات ساری و همکاران (Sarı et al., 2023) نشان داد که استفاده از میدان مغناطیسی ثابت می‌تواند تأثیرات مثبتی بر جوانه‌زنی بذرهای لوبیا داشته باشد. در این تحقیق، بذرهای لوبیا به‌مدت ۱۰۰ دقیقه در معرض میدان‌های مغناطیسی با شدت‌های مختلف قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش شدت میدان مغناطیسی، جوانه‌زنی به صورت خطی افزایش می‌یابد. وثیقه شمس‌آبادی و همکاران (Vasiqeh Shamsabadi et al., 2017) در بررسی تأثیر میدان مغناطیسی بر برخی صفات فیزیولوژیک و جوانه‌زنی بذر گلرنک نشان‌داد که شدت میدان مغناطیسی بر روی صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن‌خشک گیاهچه و شاخص بنیه طولی معنی‌دار بود و تیمار ۱۰ میلی‌تسلا باعث افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه در بذرهای خشک و تر گلرنگ شد. افزایش میدان مغناطیسی به ۲۰ میلی‌تسلا سبب افزایش درصد جوانه‌زنی در بذرهای خشک شد ولی طول ریشه‌چه کاهش یافت. در تحقیقی اثر میدان مغناطیسی حدود ٤۰۰ میلی‌تسلا در دوره‌های زمانی صفر(شاهد)، ۳۰، ٦۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه بر 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 (Al-Allaf & Al-Baker, 2022).

جدول ۱- تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاه کنجد تحت میدان الکترومغناطیسی در زمان‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	طول گیاهچه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک گیاهچه	شاخص طولی بنیه گیاهچه	شاخص وزنی بنیه گیاهچه
میدان مغناطیسی	٦	۱۸٤/۲۹**	۷/۰۷۸**	۱/۵۱**	۱/٦۹۷**	۵/۵٤۲**	۰/۰۷٦**	۰/۱۸۱**	۰/۱۷۵**	۷٦۲۹۲/۷٤**	۳۵۳٦/۸۵**
زمان	٤	۱۳/٦۹**	۱/۸۷۱*	۰/۷۸**	۰/٦۳٤*	۳/۳۲۹**	۰/۰۲۱**	۰/۱۱۲*	۰/۲۱۷**	۳۵٤۷۳/۲۲**	۲٦۷۱/۱۱**
میدان مغناطیسی×زمان	۲٤	۸/٤۹**	۰/۵۸۳*	۰/۵۳**	۰/۰۹۹**	۰/۷۸٤**	۰/۰۰۹*	۰/۰۳۹**	۰/۰۵۸**	۸۳٤۹/۰۰۲**	۵۹۷/۰٦۸**
اشتباه آزمایشی	۷۰	۳/۸۵٤	۰/۰۷۷	۰/۰۲	۰/۰۱٤	۰/۰٤۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱۹	۰/۰۲۰	۵۹۰/۸۳۸	۲۰۷/٦۵۵
ضریب تغییرات٪		۲/۰۵	۲/۳٤	٤/۳۰	٤/۵۰	۳/٤۸	۹/۱۰	۸/۰۱	٦/۲۳	٤/۳۲	٦/٦۳

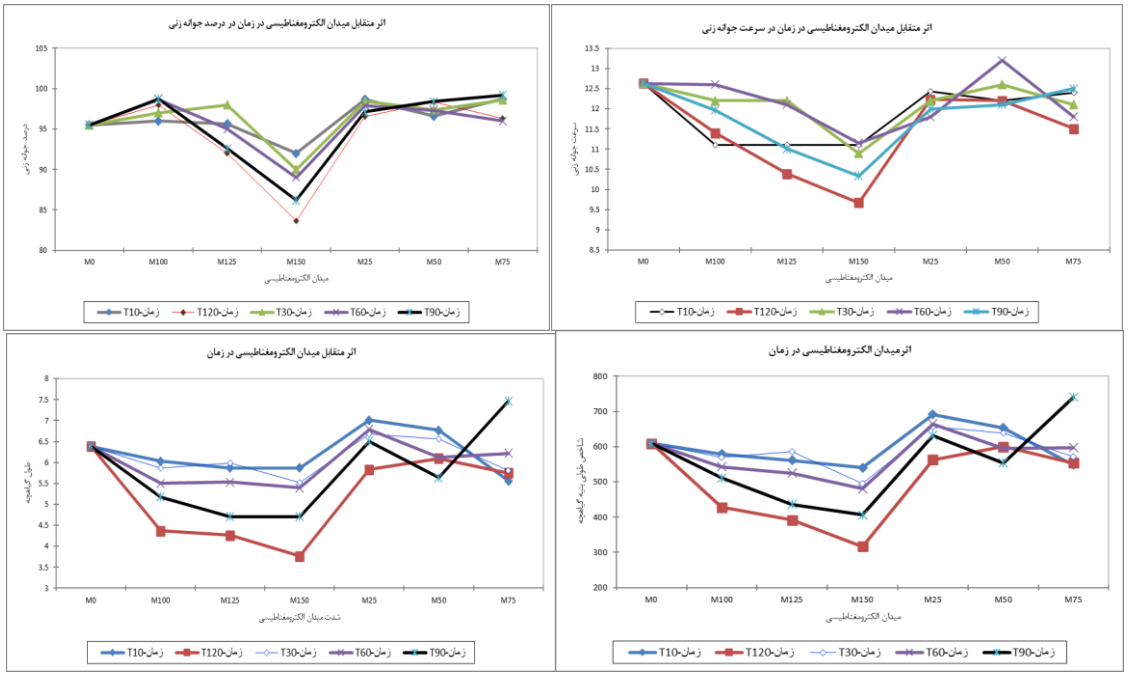
ns, **و*، به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح فاکتور زمان در سطوح فاکتور شدت میدان نشان‌داد که ازنظر صفت درصد جوانه‌زنی بین شاهد با سایر سطوح شدت‌ها به‌غیراز ۱۵۰ میلی‌تسلا اختلاف معنی‌داری در مدت‌زمان ۱۰و ۳۰ دقیقه وجود نداشت. با افزایش زمان تأثیر میدان الکترومغناطیسی رفتار جوانه‌زنی بذور متغیر شده به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در میدان ۷۵ میلی‌تسلا در ۹۰ دقیقه به‌دست آمد که با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. نتایج جوانه‌زنی گویای آن بود که تقریباً تا ۱۰۰ میلی‌تسلا سبب افزایش و پس از آن سبب کاهش این صفت می‌شود. در مدت ۱۰ و ۳۰ دقیقه میدان مغناطیسی بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی در شاهد به‌دست آمد اما با افزایش مدت تابش به ٦۰ دقیقه بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی درشدت ۵۰ میلی‌تسلا به‌دست آمد که با تمام ترکیب‌های تیماری اختلاف معنی‌داری داشت و با افزایش زمان به ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه سرعت جوانه‌زنی درشدت های بالا کاهش یافت. در مدت تابش ۹۰ دقیقه و شدت میدان ۷۵ میلی‌تسلا بیش‌ترین طول گیاهچه، وزن‌خشک ریشه‌چه و شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه به‌دست آمد که با شاهد اختلاف معنی‌دای داشت و تقریباً در تمامی تیمارها شدت میدان بالای ۱۰۰ میلی‌تسلا سبب کاهش طول گیاهچه شد. در تحقیقی تأثیر میدان الکترومغناطیسی بر صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم بررسی شد و نتایج نشان داد که میدان الکترومغناطیسی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه شد (Ahmad et al., 2019).

اثر شدت میدان در زمان برای وزن خشک ساقه‌چه نشان‌داد که بیش‌ترین مقدار متعلق به تیمار شدت میدان ۲۵ میلی‌تسلا در زمان ٦۰ دقیقه با ۲/۰٤۰ میلی‌گرم و کم‌ترین مقدار در تیمار ۱۰۰ میلی‌تسلا با ۱۲۰ دقیقه بود. کم‌ترین مقدار این صفت در میدان با شدت ۱۰۰ در ۱۲۰ دقیقه حاصل شد (جدول ۲). کاتریا و همکاران (Kataria et al., 2017) نشان دادند که پیش‌تیمار بذرهای سویا و ذرت با میدان مغناطیسی می‌تواند جوانه‌زنی و رشد اولیه این گیاهان را بهبود بخشد. جانعلی‌زاده قزوینی و همکاران (Janalizadeh Qazvini et al., 2015) اثر شدت‌های میدان مغناطیسی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌تسلا) را در زمان‌های (۱۰، ۲۰، ۳۰، ٦۰ و ۱۲۰ دقیقه) بر روی جوانه‌زنی بذر کنجد مطالعه کردند. نتایج نشان‌داد که میدان‌های مغناطیسی اثر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نهایی نداشتند. پرایمینگ بذرها با میدان مغناطیسی با شدت ۵۰ میلی‌تسلا به‌مدت ۲۰ دقیقه منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد شد اما کلیه سطوح تیمار ۱۰۰ میلی‌تسلا منجر به کاهش سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد شدند. در این آزمایش بیش‌ترین طول ریشه‌چه، طول گیاهچه و نیز شاخص طولی بنیه گیاهچه متعلق به تیمار ۷۵ میلی‌تسلا به‌مدت ٦۰ دقیقه و بیش‌ترین وزن‌خشک گیاهچه و شاخص وزنی بنیه گیاهچه متعلق به تیمار ۱۰۰ میلی‌تسلا برای ۲۰ دقیقه بود. درجه‌بندی تیمارها نشان‌داد که قرار گرفتن بذرها به‌مدت یک ساعت در معرض میدانی با شدت ۵۰ میلی‌تسلا و نیز ۱۰ دقیقه در معرض ۲۵ میلی‌تسلا بهترین نتایج را به دنبال دارد. نتایج آزمایش اختلاف معنی‌داری در شاخص طولی بنیه گیاهچه نشان‌داد و بیش‌ترین مقدار آن در ۷۵ میلی‌تسلا در زمان ۹۰ دقیقه بود که با سایر تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری داشت. کم‌ترین مقدار این صفت در میدان ۱۵۰ با ۱۲۰ دقیقه مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار شاخص وزنی بنیه گیاهچه در ۲۵ میلی‌تسلا در زمان ۱۰ دقیقه به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار این صفت درشدت میدان ۱۵۰ و ۱۰۰ میلی‌تسلا با ۱۲۰ دقیقه مشاهده شد که بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری نبود. کتسنیوز و همکاران (Katsenios et al., 2021) سه گونه (کلم پیچ، گندم

دوروم و اسفناج) را در یک آزمایش گلخانه‌ای در سه مرحله رشد مختلف (بذری، گیاه چه و قبل از برداشت) تحت میدان الکترومغناطیسی قراردادند. نتایج نشان‌داد که وزن‌تر در هر سه گونه گیاهی افزایش یافت، درحالی‌که وزن‌خشک در گیاهان تیمار شده برای گندم و اسفناج در مقایسه با شاهد بیشتر بود. تیمار میدان الکترومغناطیسی هیچ تأثیر منفی در گیاهان نداشت بلکه باعث بهبود رنگ سبز در گندم و کاهش رنگ زرد در اسفناج شد.

ممتاز و همکاران (Mumtaz et al., 2024) در بررسی اثر امواج ماکروویو با شدت بالا بر روی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه جو نشان دادند که درصد جوانه‌زنی، رشد وزنی و طولی گیاهچه، مقادیر کلروفیل، کارتنوئید و محتوای پروتئین محلول در همه گروه‌های تیمار شده با امواج ماکروویو نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان‌داد. نتایج آزمایش آن‌ها نشان‌داد که سطوح هورمون اکسین در گیاهان تیمار شده سه برابر افزایش‌یافته ولی سطوح هورمون آبسیزیک اسید ۶۵٪ کاهش یافت. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2018) در تحقیقی تأثیر مگنتوپرایمینگ بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) بررسی و نتایج نشان داد که مگنتوپرایمینگ (به‌ویژه در ۲۰۰ میلی‌تسلا/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) در گیاه زوفای ۶۰ روزه شد. همچنین، میزان نشت الکترولیت‌ها (۲۷/۶ درصد) و پراکسیداسیون لیپیدی (۴۵ درصد) را کاهش داد و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز (۷۶ درصد)، کاتالاز (۴/۲ برابر)، آسکوربات پراکسیداز (۲/۴ برابر) و گایاکول پراکسیداز (۴۸ درصد) درشدت ۹۰ میلی‌تسلا افزایش یافت.



شکل ۱- برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاه کنجد تحت تأثیر میدان الکترومغناطیسی در زمان‌های مختلف

صفات مورفولوژیکی مرتبط با جوانه‌زنی نظیر طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه نیز تحت‌تأثیر میدان‌های مغناطیسی قرار گرفت. به‌طوری‌که بیش‌ترین طول ریشه‌چه و طول گیاهچه متعلق به تیمار ۷۵ میلی‌تسلا به‌مدت ۹۰ دقیقه و کم‌ترین طول ریشه‌چه و طول گیاهچه به‌ترتیب به مقدار ۲/۰٤ و ۳/۷٦۷ میلی‌متر در میدان الکترومغناطیس با شدت ۱۵۰ و مدت ۱۲۰ دقیقه بود. بیش‌ترین طول ساقه‌چه متعلق به تیمار ۵۰ میلی‌تسلا به‌مدت ۱۰ دقیقه به‌دست آمد که با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت، و کم‌ترین طول ساقه‌چه به مقدار ۱/۷٦۳ میلی‌متر در میدان الکترومغناطیس با شدت ۱۵۰ و مدت ۱۲۰ دقیقه به‌دست آمد که با تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. بیش‌ترین وزن‌خشک ریشه‌چه متعلق به تیمار شاهد بود که با تیمار ۷۵ میلی‌تسلا در ۹۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری نداشت.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی در زمان‌های مختلف برای خصوصیات جوانه‌زنی کنجد

زمان	شدت میدان الکترومغناطیسی (میلی‌تسلا)	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	وزن‌خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم)	وزن‌خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم)	وزن‌خشک گیاهچه (میلی‌گرم)	شاخص طولی بنیه گیاهچه	شاخص وزنی بنیه گیاهچه
۱۰ دقیقه	شاهد	۹۵/۵a	۱۲/۶۳a	۳/۸۹a	۳/۰۵۶a	۶/۳۸b	۰/۷۱۹a	۱/۵۷۳b	۲/۲۹۲۳bc	۶۰۹/۳۷۴b	۲۱۸/۹۵۲۵cd
	۲۵	۹۸/۶a	۱۲/۴۳a	۳/۵۹b	۳/۰۲a	۷/۰۱a	۰/۶۵۸ab	۱/۹۹۶a	۲/۶۵۵a	۶۹۱/۶۵۳a	۲۶۱/۹۰۸۳a
	۵۰	۹۶/۶a	۱۲/۲a	۳/۲۳c	۳/۰۹a	۶/۷۷a	۰/۵۶۳cd	۱/۹۸۵a	۲/۵۴۸۷a	۶۵۳/۹۸۲a	۲۴۶/۰۶۴ab
	۷۵	۹۸/۷a	۱۲/۴a	۲/۶۵d	۲/۶۳b	۵/۵۶d	۰/۴۹۱d	۱/۶۶۶b	۲/۱۵۸۳c	۵۴۸/۷۷۲c	۲۱۳/۰۲۷cd
	۱۰۰	۹۶a	۱۱/۱b	۳/۶۷ab	۲/۶۱b	۶/۰۳c	۰/۵۹bc	۱/۷۰۳b	۲/۲۹۳۳bc	۵۷۸/۸۸bc	۲۲۰/۱۶cd
	۱۲۵	۹۵/۶a	۱۱/۱b	۳/۵۴b	۲/۱۵c	۵/۸۷cd	۰/۶۲۶bc	۱/۵۰۴b	۲/۱۳۰۷c	۵۶۱/۵۶c	۲۰۳/۸۱d
	۱۵۰	۹۲b	۱۱/۱b	۳/۴۸b	۲/۱۱c	۵/۸۷cd	۰/۶۲۶bc	۱/۶۱۶b	۲/۲۴۳۳bc	۵۴۰/۰۴c	۲۰۶/۳۰۶cd
۳۰ دقیقه	شاهد	۹۵/۵a	۱۲/۶۳a	۳/۸۹a	۳/۰۵۶a	۶/۳۸a	۰/۷۱۹a	۱/۵۷۳b	۲/۲۹۲۳a	۶۰۹/۳۷bc	۲۱۸/۹۵۲۵a
	۲۵	۹۸/۴۳a	۱۲/۲ab	۳/۴۵b	۲/۸۰۳bcd	۶/۶۸a	۰/۶۱۷b	۱/۷۳۳ab	۲/۳۵۰۷a	۶۵۷/۵۳a	۲۳۱/۳۴۷۵a
	۵۰	۹۷/۴a	۱۲/۶ab	۳/۱۸cd	۲/۹۸ab	۶/۵۶a	۰/۴۹c	۱/۸۴۷a	۲/۳۳۷۳a	۶۳۸/۹۴ab	۲۲۷/۶۵۶۳a
	۷۵	۹۸/۶a	۱۲/۱b	۲/۹۸d	۲/۷۶cd	۵/۸bc	۰/۵۴bc	۱/۷۴۲ab	۲/۲۸۴a	۵۷۱/۸۸c	۲۲۵/۲۰۲۴a
	۱۰۰	۹۷a	۱۲/۲ab	۳/۳۴bc	۲/۸۷abc	۵/۸۷b	۰/۵۳۳bc	۱/۸۴۳a	۲/۳۷۶a	۵۶۹/۳۹c	۲۳۰/۵۳۶۷a
	۱۲۵	۹۸a	۱۲/۲ab	۳/۳۴bc	۲/۸۷abc	۵/۹۸b	۰/۶۱۳b	۱/۸۴۳a	۲/۴۵۶a	۵۸۶/۰۴c	۲۴۰/۷۵۳۳a
	۱۵۰	۹۰b	۱۰/۸۹c	۳/۰۹cd	۲/۶۵۳d	۵/۵۱۳c	۰/۵۸۰bc	۱/۸۶۳a	۲/۴۴۴a	۴۹۶/۴d	۲۱۹/۸۶۸a
۶۰ دقیقه	شاهد	۹۵/۵ab	۱۲/۶۳b	۳/۸۹a	۳/۰۵۶a	۶/۳۸b	۰/۷۱۹a	۱/۵۷۳c	۲/۲۹۲bc	۶۰۹/۳۷۴b	۲۱۸/۹۵۲۵bc
	۲۵	۹۷/۹ab	۱۱/۸c	۳/۴۶b	۳/۰۵a	۶/۷۹a	۰/۵۹۱b	۲/۰۴a	۲/۶۳۱a	۶۶۴/۷۴۱a	۲۵۷/۶۰۷۵a
	۵۰	۹۷/۳ab	۱۳/۲a	۲/۸۹d	۲/۸۷ab	۶/۱۲b	۰/۴۴۸c	۱/۷۰bc	۲/۱۵۲c	۵۹۵/۴۷۶b	۲۰۹/۳۸۹۶c
	۷۵	۹۶ab	۱۱/۸c	۳/۰۱cd	۲/۸۱b	۶/۲۲b	۰/۶۰۱b	۱/۸۷ab	۲/۴۷۱ab	۵۹۷/۱۲b	۲۳۷/۲۱۶ab
	۱۰۰	۹۸/۶۶a	۱۲/۶b	۳/۰۳cd	۲/۳۴c	۵/۵c	۰/۵۴b	۱/۶۳c	۲/۱۷c	۵۴۲/۶۶۶c	۲۱۴/۰۹۳bc
	۱۲۵	۹۵b	۱۲/۱c	۳/۲۸b	۲/۲۲c	۵/۵۳c	۰/۶۰۶b	۱/۵۸c	۲/۱۹c	۵۲۵/۳۵c	۲۰۸/۳۶۶۷c
	۱۵۰	۸۹c	۱۱/۱۵d	۳/۲۲bc	۲/۲۲c	۵/۳۹c	۰/۵۸۲b	۱/۶۰c	۲/۱۸۵c	۴۸۰/۷۰۳۳d	۱۹۴/۴۳۹۷c
۹۰ دقیقه	شاهد	۹۵/۵bc	۱۲/۶۳a	۳/۸۹b	۳/۰۵۶a	۶/۳۸b	۰/۷۱۹a	۱/۵۷۳bc	۲/۲۹۲ab	۶۰۹/۳۷۴b	۲۱۸/۹۵۲۵ab
	۲۵	۹۷/۱۳ab	۱۲c	۳/۱c	۲/۸۲۳b	۶/۵۰۳b	۰/۵۱۳b	۱/۸۵a	۲/۳۶۳ab	۶۳۱/۷۱۹۳b	۲۲۹/۶۳۶۳ab
	۵۰	۹۸/۴ab	۱۲/۱bc	۲/۷۸de	۲/۷۵۶b	۵/۶۳۳c	۰/۴۸۸b	۱/۶۵۳abc	۲/۱۴۱bc	۵۵۴/۳۰۵۳c	۲۱۰/۷۲۱۷bc
	۷۵	۹۹/۲a	۱۲/۵ab	۴/۷a	۲/۸۳b	۷/۴۶a	۰/۶۹۵a	۱/۷۵ab	۲/۴۴۵۳a	۷۴۰/۰۳۲a	۲۴۲/۵۷۷۱a
	۱۰۰	۹۸/۷۶ab	۱۱/۹۶c	۲/۹۶۶cd	۲/۴۲۶c	۵/۱۷۶d	۰/۴۸۶b	۱/۶۸abc	۲/۱۶۶۷bc	۵۱۱/۳۲۹d	۲۱۴/۰۱۶۱bc
	۱۲۵	۹۲/۶c	۱۱/۰۱d	۲/۸۹cde	۲/۰۱d	۴/۷۱e	۰/۵۴b	۱/۴۵۳c	۲/۱۹۳۳c	۴۳۶/۱۴۶e	۱۸۴/۵۸۲۷d
	۱۵۰	۸۶/۲d	۱۰/۳۳e	۲/۶۹e	۲/۱۲d	۴/۷۱e	۰/۵۰b	۱/۶۹۶abc	۲/۱۹۸۷abc	۴۰۶/۰۰۲e	۱۸۹/۴۵۰۹cd
۱۲۰ دقیقه	شاهد	۹۵/۵a	۱۲/۶۳a	۳/۸۹a	۳/۰۵۶a	۶/۳۸a	۰/۷۱۹a	۱/۵۷۳bc	۲/۲۹۲۳a	۶۰۹/۳۷۴a	۲۱۸/۹۵۲۵a
	۲۵	۹۶/۵۶a	۱۲/۲۳a	۲/۷۸c	۲/۴۹۳c	۵/۸۳b	۰/۴۷۵cd	۱/۸۴۴a	۲/۳۲a	۵۶۲/۹۸۳۷bc	۲۲۴/۱۲۹۳a
	۵۰	۹۸/۳۳a	۱۲/۲a	۲/۹۶c	۲/۷b	۶/۰۹۶ab	۰/۵۱۸bc	۱/۶۲۶abc	۲/۱۴۵ab	۵۹۹/۹۲۸۷ab	۲۱۱/۰۳۵۶a
	۷۵	۹۶/۳۳a	۱۱/۵۰b	۳/۲۱b	۲/۵۵۳bc	۵/۷۵b	۰/۵۸۳b	۱/۶۸ab	۲/۲۶۳۳ab	۵۵۴/۱۸۳۳c	۲۱۸/۰۱۶۷a
	۱۰۰	۹۸a	۱۱/۴b	۲/۸۱c	۲/۰۹d	۴/۳۷c	۰/۴۴۸cd	۱/۴۱۶c	۱/۸۶۴۷c	۴۲۸/۲۶d	۱۸۲/۷۳۷۳bc
	۱۲۵	۹۲b	۱۰/۳۹c	۲/۷۷c	۱/۹۷d	۴/۲۶۳c	۰/۵۳۲bc	۱/۴۹۶bc	۲/۰۲۸۷bc	۳۹۲/۲۸d	۱۸۶/۶۵b
	۱۵۰	۸۳/۶۶c	۹/۶۷۳d	۲/۰۴d	۱/۷۶۳e	۳/۷۶۶d	۰/۴۱۲d	۱/۴۸۶bc	۱/۸۹۹c	۳۱۶/۲۸e	۱۵۹/۴۷۸c

*حروف غیر مشابه نشانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است.

کم‌ترین وزن‌خشک ریشه‌چه به مقدار ۰/٤۱۲ میلی‌گرم در میدان الکترومغناطیس با شدت ۱۵۰ و مدت ۱۲۰ دقیقه به‌دست آمد که با تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲). نتایج صراف و همکاران (Sarraf et al., 2021) 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 و همکاران (Faraz Ali et al., 2024) در بررسی اثر پیش تیمار دو ژنوتیپ ذرت (*Zea mays* L.) شامل FH-1046 و YH-5427 با میدان الکترومغناطیسی بر روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نشان‌داد که پیش تیمار بذرها با شدت‌ها و زمان‌های مختلف میدان‌های الکترومغناطیسی در افزایش بهره‌وری محصولات مفید است. تیمارها شامل میدان صفر (شاهد) و ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌تسلا به‌مدت ۳ و ٦ دقیقه بود. نتایج او نشان‌داد که قرار گرفتن در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی باعث بهبود جوانه‌زنی بذر تا ۵۰ درصد می‌شود. ویژگی‌های مورفولوژیکی مانند سطح برگ، ارتفاع بوته، وزن‌تر و خشک افزایش یافت. تیمار با شدت میدان ۱۸۰ میلی‌تسلا به‌مدت ۳ دقیقه و ۱۲۰ میلی‌تسلا در ٦ دقیقه بیش‌ترین تأثیر را بر روی جوانه‌زنی داشتند. ژنوتیپ FH-1046در مقایسه با YH-5427 نسبت میدان‌های الکترومغناطیسی حساس‌تر بود. کتسنیوز و همکاران (Katsenios et al., 2016) در بررسی میدان الکترومغناطیس پالسی در مدت‌های صفر، ۱۵، ۳۰ و ٤۵ دقیقه به‌عنوان تیمار قبل از کاشت در بذر گندم دوروم به‌مدت سه سال در آزمایش مزرعه‌ای، تأثیر مثبت میدان الکترومغناطیسی پالسی را درکشت گندم دوروم را ثابت نمودند. میدان مغناطیسی باعث افزایش جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، وزن‌خشک، سطح‌برگ، محتوای‌کلروفیل، سرعت‌فتوسنتز، سرعت‌تعرق، رسانایی‌روزنه‌ای و عملکرد دو رقم گندم دوروم شد. مدت‌زمان ۳۰ و ٤۵ دقیقه تیمار میدان مغناطیسی قبل از کاشت بهترین نتایج را به همراه داشت. تمام تیمارهای میدان مغناطیسی اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نشان‌داد. آلوارز و همکاران (Alvarez et al., 2021) نشان دادند که پیش‌تیمار مغناطیسی می‌تواند تأثیرات مثبتی بر عملکرد جوانه‌زنی بذرهای تریتیکاله تحت شرایط تنش اسمزی داشته باشد. در این تحقیق، بذرهای تریتیکاله تحت پیش‌تیمار مغناطیسی قرار گرفتند و نتایج نشان داد که این روش می‌تواند عملکرد جوانه‌زنی را بهبود بخشد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که پیش‌تیمار مغناطیسی می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط تنش اسمزی مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری:

اثر میدان الکترومغناطیسی بر روی صفات وابسته به جوانه‌زنی ازجمله درصد و سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود و سبب افزایش این شاخص‌ها شد. طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و طول گیاهچه در اثر میدان‌های الکترومغناطیسی افزایش یافت. به نظر می‌رسد افزایش فعالیت فیزیولوژیکی بذر کنجد به‌دلیل جذب بیشتر آب توسط بذرهای تیمار شده با میدان الکترومغناطیسی باشد که مسئول افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و بهبود شاخص‌های بنیه گیاهی در این آزمایش‌شده است. تیمار ۷۵ میلی‌تسلا در ۹۰ دقیقه سبب افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه شد و تیمار ۲۵ میلی‌تسلا در زمان ۱۰ دقیقه شاخص وزنی بنیه گیاهچه را بهبود بخشید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده به نظر می‌رسد مگنتوپرایمینگ در دامنه تیمارهای ذکرشده، جوانه‌زنی و استقرار بهتر کنجد را به دنبال داشته باشد. البته لازم است نتایج این آزمایش در شرایط مزرعه هم مورد ارزیابی قرار گیرد.

References

Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria 1. Crop science, 13(6), 630-633.

Ahmad, M., Hussain, M., & Ali, S. 2019. Effect of electromagnetic field on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Physiology, 234, 1-8 .

Al-Allaf, S. J. A., & 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., & 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 .

Alvarez, J., Martinez, E., Florez, M., & Carbonell, V. 2021. Germination Performance and Hydro-Time Model for Magneto-Primed and Osmotic-Stressed Triticale Seeds. Romanian Journal of Physics, 66, 801.

Baraki, F., Gebregergis, Z., Belay, Y., Berhe, M., Teame, G., Hassen, M., Gebremedhin, Z., Abadi, A., Negash, W., & Atsbeha, A. 2020. Multivariate analysis for yield and yield-related traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. Heliyon, 6(10).

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

Brust, H., Nishime, T., Wannicke, N., Mui, T., Horn, S., Quade, A., & Weltmann, K.-D. 2021. A medium-scale volume dielectric barrier discharge system for short-term treatment of cereal seeds indicates improved germination performance with long-term effects. Journal of Applied Physics, 129(4).

Faraz Ali, M., Sajid Aqeel Ahmad, M., Gaafar, A.-R. Z., & 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/https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103184

Farooq, M. A., Niazi, A. K., Akhtar, J., Saifullah, Farooq, M., Souri, Z., Karimi, N., & 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/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.039

Florez, M., Carbonell, M. V., & 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.

Gholamhosseini, M., Zainelzadeh Tabrizi, H., Abbasali Anderkhor, S., Mansouri, S., Shariati, F. and Parchami Iraqi, F. 2024. The effect of planting arrangement and plant density on the yield of unflowered sesame in Sari and Moghan. Plant Production Research, 31(1), 171-188. https://doi.org/10.22069/jopp.2023.21410.3045

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

Hussain, S., Khan, F., Cao, W., Wu, L., & Geng, M. 2016. Seed priming alters the production and detoxification of reactive oxygen intermediates in rice seedlings grown under sub-optimal temperature and nutrient supply. Frontiers in Plant Science, 7, 439.

Ibrahim, S., El-Liethy, M. A., Elwakeel, K. Z., Hasan, M. A. E.-G., Al Zanaty, A. M., & 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), 161. 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.). Iran Seed Research, 3(1), 1-13. SID. https://sid.ir/paper/263527/fa

Jiao, S., Zhong, Y., & Deng, Y. 2016. Hot air-assisted radio frequency heating effects on wheat and corn seeds: Quality change and fungi inhibition. Journal of Stored Products Research, 69, 265-271. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.09.005

Kataria, S., Baghel, L., & 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 .

Katsenios, N., Bilalis, D., Efthimiadou, A., Aivalakis, G., Nikolopoulou, A.-E., Karkanis, A., & 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/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.03.010

Katsenios, N., Christopoulos, M. V., Kakabouki, I., Vlachakis, D., Kavvadias, V., & 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://www.mdpi.com/2073-4395/11/7/1364

Kaur, S., Vian, A., Chandel, S., Singh, H. P., Batish, D. R., & 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., & Ashraf, M. 2003. Alleviation of salt stress in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) R. Br.) through seed treatments. Agronomie, 23(3), 227-234.

Kumar, A., Singh, M., Singh, P. P., Singh, S. K., Singh, P. K., & 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.

Lazim, S. K., & Ramadhan, M. N. 2020. Effect of Microwave and UV-C Radiation on Some Germination Parameters of Barley Seed Using Mathematical Models of Gompertz and Logistic: Analysis Study. Basrah Journal of Agricultural Sciences, 33(2), 28-41. https://doi.org/10.37077/25200860.2020.33.2.03

Ma, Y., Dias, M. C., & Freitas, H. 2020. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. Frontiers in Plant Science, 11, 591911.

Maguire, J. D. 1962. Speed of Germination—Aid in Selection and Evaluation for Seedling Emergence and Vigor. Crop science, 2(2), https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Mirmazloum, I., Kiss, A., Erdélyi, É., Ladányi, M., Németh, É. Z., & Radácsi, P. 2020. The Effect of Osmopriming on Seed Germination and Early Seedling Characteristics of *Carum carvi* L. Agriculture, 10(4), 94. https://www.mdpi.com/2077-0472/10/4/94

Mohammadi, R., Roshandel, P., and Tadayon, A. 2018. Investigating the growth, physiology and antioxidant system of hyssop under the influence of magnetopriming. New findings in biological sciences (Science Journal), 6(1), 106-115. SID. https://sid.ir/paper/250522/fa

Mshenskaya, N. S., Grinberg, M. A., Kalyasova, E. A., Vodeneev, V. A., Ilin, N. V., Slyunyaev, N. N., Mareev, E. A., & Sinitsyna, Y. V. 2023. The effect of an extremely low-frequency electromagnetic field on the drought sensitivity of wheat plants. Plants, 12(4), 826 .

Mumtaz, S., Javed, R., Rana, J. N., Iqbal, M., & Choi, E. H. 2024. Pulsed high power microwave seeds priming modulates germination, growth, redox homeostasis, and hormonal shifts in barley for improved seedling growth: Unleashing the molecular dynamics. Free Radical Biology and Medicine, 222, 371-385. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2024.06.013

Panuccio, M., Chaabani, S., Roula, R., & 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.

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

Ragha, L., Mishra, S., Ramachandran, V., & Bhatia, M. S. 2011. Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate. Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 2011.

Rajagopal, V. 2009. Disinfestation of stored grain insects using microwave energy. mspace.lib.umanitoba.ca

Rehman, H. U., Basra, S., Ahmed, M., & 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.

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

Sarı, M. E., Demir, İ., Yıldırım, K., & 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 .

Sarraf, M., Deamici, K. M., Taimourya, H., Islam, M., Kataria, S., Raipuria, R. K., Abdi, G., & Brestic, M. 2021. Effect of magnetopriming on photosynthetic performance of plants. International Journal of Molecular Sciences, 22, 9353 .

Shabrangy, A. 2024. Using Magnetic Fields to Enhance the Seed Germination, Growth, and Yield of Plants. In F. Maghuly (Ed.), Plant Functional Genomics: Methods and Protocols, Volume 2 (pp. 375-395). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3782-1_22

Sharma, H. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J., & 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.

Singh, N., Singh, R., Meena, V., & Meena, R. 2015. Can we use maize (*Zea mays*) rhizobacteria as plant growth promoter. Vegetos, 28(1), 86-99.

Soran, M.-L., Stan, M., Niinemets, Ü., & 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.

Tafforeau, M., Grémiaux, A., & Mildažienė, V. 2021. Molecular and biochemical changes in plants exposed to electromagnetic fields. Environmental and Experimental Botany, 178, 104-113 .

Tanou, G., Fotopoulos, V., & Molassiotis, A. 2012. Priming against environmental challenges and proteomics in plants: update and agricultural perspectives. Frontiers in Plant Science, 3, 31211.

Ullah, A., Nisar, M., Ali, H., Hazrat, A., Hayat, K., Keerio, A. A., Ihsan, M., Laiq, M., Ullah, S., & Fahad, S. 2019. Drought tolerance improvement in plants: an endophytic bacterial approach. Applied Microbiology and Biotechnology, 103, 7385-7397.

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. SID. https://sid.ir/paper/395946/fa

Wu, Y., Zhao, X., & Li, Y. 2021. Evaluation of seed germination under water stress conditions using polyethylene glycol (PEG) solutions. Plant Science Journal, 15(3), 245-256.