



Investigation the Effect of Magnetic Field Priming, Humix, and Fulsaim Plus on the Yield and Yield Components of Sylvan Wheat Cultivar Irrigated with Domestic Wastewater

Ali Bagherzadeh^{1*}, Ehsan Afshar², Abolfazl Taleghani³

¹ Associate Professor, Department of Agriculture, Ma.C., Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

² Ph.D, Department of Agriculture, Ma.C., Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

³ Assistant Professor, Department of Agriculture, Ma.C., Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

* Corresponding Author's Email: Ali.Bagherzadeh1966@iaui.ac.ir

(Received: May. 4, 2025 – Accepted: September. 17, 2025)

ABSTRACT

Objective: In recent decades, the use of modern technologies to enhance the performance of agricultural products has gained increasing importance.

Material and methods: This study investigated the effect of magnetic field priming combined with humic substance and foliar pulse treatments on the performance of the wheat cultivar “Silvan” under irrigation using household wastewater at the research field of Islamic Azad University in Mashhad during the 1402-1403 growing season. Wheat seeds were treated with a magnetic field at four intensity levels (0, 50, 100, and 150 millitesla) for 20 minutes. Additionally, two levels of humic treatment (with or without seed inoculation) and two levels of foliar pulse application (applied or not applied) were examined.

Results: The results indicated that magnetic field treatment had a significant effect on all performance traits of wheat, whereas the humic and foliar pulse treatments only had a significant positive impact on traits related to kernel yield and its components. Moreover, the interaction between the magnetic field and humic treatments significantly increased spike density (per square meter), thousand kernel weight, grain yield, and germination percentage, demonstrating a positive synergy. Furthermore, the combined application of all three treatments significantly influenced grain yield; the highest yield (an average of 7925 kg/ha) was achieved with a 100 millitesla magnetic field priming along with humic and foliar pulse treatments, compared to the lowest yield (an average of 3932 kg/ha) observed in the untreated control.

Conclusion: These findings suggest that the use of magnetized water can substantially improve wheat performance under specific irrigation conditions.

Keywords: Wheat, Magnetic field, Humic acid, Fulsaim Pulse, Yield and yield components

Cite this article: Bagherzadeh, A., Afshar, E., Taleghani, A. 2025. Investigation the Effect of Magnetic Field Priming, Humix, and Fulsaim Plus on the Yield and Yield Components of Sylvan Wheat Cultivar Irrigated with Domestic Wastewater. *Sustainable Agricultural Science Research*, 5(1). 1-17.

DOI: <https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1205762>



© The Author(s).

Publisher: Islamic Azad University of Kerman Branch Press.

DOI: <https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1205762>

بررسی اثر پرایمینگ میدان مغناطیسی، هیومیکس و فولزایم پلاس بر عملکرد و اجزاء عملکرد گندم رقم سیلوان تحت آبیاری با پساب خانگی

علی باقرزاده^{۱*}، احسان افشار^۲، ابوالفضل طالقانی^۳

۱- دانشیار، گروه مهندسی کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: Ali.Bagherzadeh1966@iau.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۶)

چکیده

هدف: در دهه های اخیر، استفاده از فناوری های نوین جهت بهبود عملکرد محصولات زراعی اهمیت فزاینده ای یافته است.

مواد و روش ها: این پژوهش به بررسی اثر پرایمینگ میدان مغناطیسی به همراه تیمارهای هیومیکس و فولزایم پلاس بر عملکرد گندم رقم «سیلوان» در شرایط آبیاری با پساب خانگی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ پرداخته است. در این مطالعه، بذره های گندم به مدت ۲۰ دقیقه با میدان مغناطیسی در چهار سطح شدت (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی تسلا) تیمار شدند. همچنین دو سطح تیمار هیومیکس (تلقیح و عدم تلقیح) و دو سطح کاربرد فولزایم پلاس (اعمال یا عدم اعمال) بررسی شدند.

یافته ها: نتایج نشان داد که تیمار میدان مغناطیسی تأثیر معناداری بر تمامی صفات عملکردی گندم دارد، در حالی که تیمارهای هیومیکس و فولزایم پلاس تنها بر صفات مرتبط با عملکرد دانه و اجزای عملکرد تأثیر مثبت معنادار داشتند. علاوه بر این، تیمار مغناطیسی و تیمار هیومیکس بر افزایش تعداد سنبله (متر مربع)، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد جوانه زنی، نشان دهنده هم افزایی مثبت این دو عامل است. همچنین، ترکیب سه تیمار نیز به طور معناداری بر عملکرد دانه تأثیر گذاشت؛ به طوری که بیشترین عملکرد دانه (میانگین ۷۹۲۵ کیلوگرم در هکتار) در تیماری به دست آمد که بذرها با میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی تسلا تیمار شده و به همراه تیمار هیومیکس و کاربرد فولزایم پلاس مورد استفاده قرار گرفتند، در مقابل کمترین عملکرد (میانگین ۳۹۳۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد مشاهده شد.

نتیجه گیری: نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی شده می تواند بهبود قابل ملاحظه ای در عملکرد گندم تحت شرایط خاص آبیاری ایجاد کند.

واژه های کلیدی: فلزات سنگین، اصلاح کننده های خاک، ذرت

استناد:

Cite this article: Bagherzadeh, A., Afshar, E., Taleghani, A. 2025. Investigation the Effect of Magnetic Field Priming, Humix, and Fulsaim Plus on the Yield and Yield Components of Sylvan Wheat Cultivar Irrigated with Domestic Wastewater. *Sustainable Agricultural Science Research*, 5(1), 1-17.

DOI: <https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1205762>



© The Author(s).

ناشر: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

DOI: <https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1205762>

مقدمه

در جهان امروز، غلات به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین کالری و انرژی در سبد غذایی بشر شناخته می‌شوند؛ به طوری که تقریباً ۵۵ درصد از کالری مصرفی انسان از این محصولات به دست می‌آید (FAO, 2020). در میان غلات، گندم (*Triticum aestivum* L.) به دلیل سابقه کشت بیش از ۱۰ هزار ساله، اهمیت تاریخی و سهم بالای تولید در سطح جهانی—به‌ویژه در ایران—جایگاه ویژه‌ای دارد (Tilman *et al.*, 2011; Neupane *et al.*, 2022). تاریخچه کشت گندم به ۱۵ تا ۱۷ هزار سال قبل از میلاد بازمی‌گردد و توانایی این محصول در سازگاری با شرایط آب و هوایی متنوع، گواهی بر نقش کلیدی آن در تأمین امنیت غذایی جهانی است (Dhankher & Foyer, 2018). در سال‌های اخیر، عملکرد گندم به ویژه در ایران تحت تأثیر عواملی چون نوسانات بارندگی و شرایط نامساعد در مراحل حساس رشد مانند گلدهی و گرده‌افشانی دستخوش تغییرات شده است (Rosegrant & Cline, 2003). این چالش‌ها پژوهشگران را بر آن داشته تا با بهره‌گیری از روش‌های نوین پرایمینگ بذر به دنبال بهبود روند جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه باشند؛ فرآیندی که از طریق تحریک متابولیسم و افزایش فعال شدن آنزیم‌ها می‌تواند زمان آغاز رشد را تسریع نماید. از جمله رویکردهای نوین در پرایمینگ، استفاده از فناوری‌های بیوفیزیکی نظیر میدان‌های مغناطیسی است (Mughal & Fontan Sers, 2020). قرارگیری بذر در معرض این میدان‌ها باعث ایجاد تغییرات قابل‌توجهی در پتانسیل الکتریکی غشاء سلولی شده و به جذب بهتر آب و افزایش فعالیت‌های متابولیکی منجر می‌شود، امری که تسریع

و همگام‌سازی روند جوانه‌زنی بذر را به همراه دارد (Balakhnina *et al.*, 2022; Cecchetti *et al.*, 2022). (Savary *et al.*, 2012). افزون بر این، استفاده همزمان از محلول‌های معدنی مانند سولفات روی در فرآیند پرایمینگ، علاوه بر تقویت رشد ساقه و افزایش وزن خشک آن، داده‌های تجربی نشان داده‌اند که به بهبود عملکرد دانه در گندم کمک شایانی می‌کند (MacDonald & Mohan, 2025; Khoury *et al.*, 2014). همچنین، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که میدان مغناطیسی می‌تواند باعث افزایش جذب آب و مواد مغذی توسط گیاهان شود و تغییرات در بیان ژن‌ها و فعالیت‌های آنزیمی ایجاد کند (Liang, 2022). علاوه بر این، میدان‌های مغناطیسی نقش مهمی در تنظیم متابولیسم سلولی ایفا می‌کنند (Van Loon *et al.*, 2019). همچنین، استفاده از میدان‌های الکترومغناطیسی در بهبود کیفیت و سرعت جوانه‌زنی بذرهای مورد توجه قرار گرفته است (Rathod & Anand, 2016; Cassman *et al.*, 2010). علاوه بر استفاده از فناوری‌های بیوفیزیکی، بهره‌گیری از ترکیبات هیومیکی به ویژه اسید هیومیک که حاصل تجزیه مواد آلی در خاک است نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک و تحریک رشد ریشه‌ای دارد (Savary *et al.*, 2012; Maffei, 2014). تلفیق این رویکردها به عنوان استراتژی‌ای یکپارچه، می‌تواند باعث تقویت تثبیت گیاهچه و تسریع فرآیند تقسیم سلولی شده و نهایتاً بازده نهایی محصول را افزایش دهد (Rizk *et al.*, 2025). تحقیقات نشان می‌دهد که به‌کارگیری هیومیکس در ترکیب با روش‌های پیشرفته پرایمینگ مانند میدان مغناطیسی و فولزایم پلاس، در شرایط خاص آبیاری با منابع نامناسب مانند پساب خانگی،

از پیش ضروری به نظر می‌رسد (Van Loon *et al.*, 2019). بهره‌برداری از منابع آبی جایگزین، مانند پساب خانگی به همراه روش‌های نوین پرایمینگ، می‌تواند به کاهش هزینه‌های تولید و حفاظت از منابع طبیعی بینجامد (Cassman *et al.*, 2010). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که تلفیق فناوری‌های پیشرفته در زمینه مدیریت بذر و بهبود شرایط اولیه رشد، می‌تواند موجب ارتقاء بهره‌وری و ثبات عملکرد محصول گردد (Savary *et al.*, 2012; Fischer *et al.*, 2014; Khoury *et al.*, 2014). پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر ترکیبی روش‌های پرایمینگ میدان مغناطیسی، هیومیکس و فولزایم پلاس بر عملکرد گندم تحت شرایط آبیاری با پساب خانگی طراحی شده است. انتظار می‌رود نتایج حاصل چارچوبی علمی برای تدوین استراتژی‌های نوین مدیریتی در بخش منابع آبی و کشاورزی پایدار فراهم نماید (Neupane *et al.*, 2022). این مطالعه می‌تواند زمینه‌ساز بهره‌برداری بهینه از فناوری‌های نوین در مقابله با چالش‌های ناشی از محیط‌های نامساعد و محدودیت‌های منابع طبیعی باشد. در نهایت، تلفیق دانش زیست‌فناوری و روش‌های نوین پرایمینگ به عنوان رویکردی یکپارچه در بهبود جوانه‌زنی بذر، تثبیت گیاهچه و افزایش عملکرد گندم به‌کار گرفته می‌شود. همچنان که تحقیقات اخیر نشان داده‌اند، ترکیب این فناوری‌ها نه تنها زمان آغاز رشد را تسریع می‌بخشد بلکه در بهبود فرآیندهای حیاتی گیاه و مقاومت آن در برابر شرایط استرس‌زا نیز مؤثر است (Cassman *et al.*, 2010; Savary *et al.*, 2012; Erez & Özbek, 2024).

تأثیر قابل توجهی بر بهبود فرآیندهای متابولیکی بذر و افزایش عملکرد گندم دارد (Dhankher & Foyer, 2018). همچنین، مطالعات نشان داده‌اند که اسید هیومیک می‌تواند نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد گیاهان داشته باشد؛ چرا که این مواد از تجزیه مواد آلی در خاک به‌وجود آمده و می‌توانند به عنوان یک منبع طبیعی برای تقویت رشد گیاهان مطرح شوند (Van Loon *et al.*, 2019; Neupane *et al.*, 2022). ترکیب همزمان این رویکردها - استفاده از فناوری‌های بیوفیزیکی به‌همراه ترکیبات هیومیکی می‌تواند به‌عنوان استراتژی یکپارچه‌ای برای افزایش استحکام استقرار گیاهچه و بهبود سازگاری گیاه با شرایط نامساعد محیطی عمل کند (Khoury *et al.*, 2014). این تلفیق منجر به تسریع روند تقسیم سلولی و بهبود جوانه‌زنی شده و نهایتاً بازده نهایی محصول را افزایش می‌دهد (Cassman *et al.*, 2010). به بیان دیگر، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که همگام‌سازی فرآیندهای فیزیولوژیکی اولیه بذر با استفاده از تکنیک‌های نوین، قابلیت افزایش پایداری و عملکرد گندم را به‌شدت دارا است (Savary *et al.*, 2012). علاوه بر این، بهینه‌سازی فرآیندهای کاشت، داشت و برداشت نیز به‌عنوان یکی از ارکان افزایش بهره‌وری در کشت گندم مطرح است. زمان‌بندی دقیق در برداشت، به همراه استفاده از روش‌های پرایمینگ مزرعه - که شامل خیساندن دقیق بذرها در آب پیش از کاشت می‌شود - موجب افزایش همگنی رشد گیاهچه و مقاومت بهتر آن در برابر چالش‌های محیطی شده است (Liang, 2022). با توجه به چالش‌های رو به افزایش ناشی از تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی، استفاده از فناوری‌های نوین در کشاورزی پایدار بیش

مواد و روش ها

اجرای این مطالعه در قالب طرح بلوک های کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با رعایت استانداردهای نمونه برداری و اندازه گیری صفات، زمینه ای مناسب برای ارزیابی تأثیر مجموعه عوامل پرایمینگ (میدان مغناطیسی، هیومیکس و فولزایم پلاس) انجام شد.

موقعیت جغرافیایی و خصوصیات اقلیمی

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد اجرا گردید. مختصات جغرافیایی این منطقه در بازه عرض جغرافیایی $36^{\circ}6'$ تا $59^{\circ}15'$ شمالی و طول جغرافیایی $37^{\circ}60'$ تا $35^{\circ}43'$ شرقی تعیین شده است. ارتفاع شهر مشهد از سطح دریا بین ۹۵۰ تا ۱۱۵۰ متر واقع شده که منطقه را در اقلیم معتدل سرد و نیمه خشک قرار می دهد. میانگین بارندگی سالانه نیز طبق سوابق اقلیمی، حدود ۲۷۶.۷ میلی متر گزارش شده است. این شرایط اقلیمی به عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر در تعیین عملکرد محصول و نحوه جذب آب توسط گیاه، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب نموده و در مطالعات اخیر به طور ویژه مورد بررسی قرار گرفته است.

این اطلاعات اقلیمی در کنار سایر داده های مربوط به دمای متوسط، شبنم و رطوبت نسبی هوای منطقه، زمینه ای مناسب برای ارزیابی تأثیر استرس های محیطی بر رشد و عملکرد گندم فراهم می آورد.

علاوه بر این، مطالعات اخیر نشان داده اند که تغییرات اقلیمی می تواند به طور مستقیم بر فرایندهای رشد اولیه، مانند جوانه زنی و تثبیت گیاهچه تأثیرگذار باشد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نمونه برداری های خاک از محل اجرای طرح در سه عمق مختلف ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی متری صورت گرفت. هر نمونه به صورت جداگانه جمع آوری شده و جهت تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، به آزمایشگاه تخصصی ارسال گردید. نتایج حاصل از آزمون های خاک شامل مواردی نظیر بافت، pH، درصد مواد آلی، ظرفیت تعویض کاتیونی و محتوی عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم بود (جدول ۱). تحلیل های انجام شده نشان داد که خصوصیات خاک در این منطقه برای کشت گندم مناسب بوده و تغییرات قابل توجهی در عمق های مختلف مشاهده نمی شود؛ اما به دلیل تفاوت هایی در ساختار ذرات، داده های آزمون به عنوان مبنایی برای تفسیر نتایج عملکرد محصول به کار گرفته شدند.

مطالعات اخیر بر اهمیت ارزیابی دقیق خصوصیات خاک تاکید دارند چرا که تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، در تبیین پاسخ گیاه به تیمارهای مختلف پرایمینگ و نیز مدیریت آبیاری نقش کلیدی ایفا می کند.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک محل آزمایش

عمق نمونه برداری	بافت خاک	رس	سیلت	شن	گچ (%)	آهک (%)	پتاسیم قابل جذب (PPM)	فسفر قابل جذب (PPM)	نیتروژن کل (%)	pH	هدایت الکتریکی dS/m	درصد اشباع خاک
۰-۳۰	لوم شنی	۱۲	۱۶	۷۲	۱.۳	۲۱	۲۲۵	۱۰/۴۶	۰/۱۲	۷/۷۵	۶/۲	۳۰
۳۰-۶۰	لوم شنی	۱۲	۱۴	۷۶	۷.۱	۲۱	۲۲۱	۹/۴۵	۰/۰۸	۷/۷۸	۵/۰	۲۹
۶۰-۹۰	شن لومی	۱۲	۱۲	۸۱	۱/۷	۲۱	۲۰۰	۸/۳۷	۰/۰۴	۸/۲۰	۴/۵	۲۷

تیمارهای آزمایش

در این پژوهش، تیمارهای آزمایشی شامل سه عامل اصلی بودند:

عامل اول، میدان مغناطیسی: به گونه‌ای که بذرها در چهار سطح شتاب‌دهنده‌ی میدان مغناطیسی با شدت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند. این تیمار با هدف افزایش فعالیت آنزیمی بذر و تسریع فرآیند جوانه‌زنی به کار گرفته شد؛ مطالعات متعدد نشان داده‌اند که میدان‌های مغناطیسی تاثیر مستقیمی بر تنظیم پتانسیل غشاء سلولی و جذب آب دارند.

عامل دوم، هیومیکس: این عامل در دو سطح به کار گرفته شد: بدون تلقیح (عدم استفاده از هیومیکس) و با تلقیح بذور با هیومیکس. استفاده از مواد هیومیکی موجب بهبود حاصلخیزی خاک، تقویت سیستم ریشه‌ای و افزایش فعالیت میکروبی خاک می‌شود که در نهایت عملکرد زراعی را بهبود می‌بخشد.

عامل سوم، فولزایم پلاس: این تیمار نیز در دو سطح تحت شرایط کاربرد و عدم کاربرد قرار گرفت. استفاده از این ماده به عنوان یک عامل تحریک‌کننده در فرآیندهای فیزیولوژیکی بذر و بهبود عملکرد گیاه مطرح است.

این سه عامل در یک طرح فاکتوریلی به صورت کاملاً تصادفی با ۱۶ ترکیب تیماری (۴ سطح میدان مغناطیسی $\times$ ۲ سطح هیومیکس $\times$ ۲ سطح فولزایم پلاس) و در چهار تکرار اجرا شدند. این طراحی امکان بررسی تعاملات بین عوامل و ارزیابی اثرات منفرد و ترکیبی آنها بر عملکرد محصول را فراهم آورده است.

آماده‌سازی بذور و کاشت گندم

ابتدا بذور گندم رقم سیلوان تحت تیمارهای هیومیکس و فولزایم پلاس به‌طور یکنواخت آغشته شدند. سپس این بذور خشک به‌منظور اعمال تیمار میدان مغناطیسی به صورت دسته‌های ۱۰۰ تایی در میان قطب‌های آهنربا قرار گرفتند تا بر اساس

که در تحقیقات اخیر به عنوان عوامل کلیدی در تسریع جوانه‌زنی شناخته شده‌اند.

صفات اندازه‌گیری شده

در این پژوهش، به منظور ارزیابی اثر تیمارهای آزمایشی، مجموعه‌ای از صفات عملکردی و کیفی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که عبارتند از:

تعداد سنبله در متر مربع: با شمارش دستی تعداد سنبله در ده بوته به‌طور نمایندگی در زمان برداشت ثبت گردید.

تعداد دانه در سنبله: میانگین تعداد دانه در سنبله‌های موجود از ده بوته مختلف محاسبه شد.

عملکرد دانه: پس از برداشت ده بوته از هر کرت، دانه‌ها جداگردیده و وزن دانه‌ها بر اساس استاندارد رطوبت ۱۴ درصد اندازه‌گیری و عملکرد در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) محاسبه گردید.

وزن هزار دانه: از هر کرت به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شد و با شمارش هزار دانه و وزن کردن در رطوبت ۱۴ درصد به دست آمد.

عملکرد بیولوژیکی: تعداد سنبله‌های موجود در ده بوته از هر کرت برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه، در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس وزن خشک کل بوته‌های موجود روی سطح خاک ثبت و عملکرد بیولوژیکی به گرم در متر مربع محاسبه گردید.

شاخص برداشت: با محاسبه نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی در نمونه‌برداری‌های مربوط به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تعیین شد.

شدت‌های تعیین‌شده (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌تسلا) تیمار شوند. این روش با دقت بالا انجام شد تا زمان و میزان قرارگیری بذور در معرض میدان همواره کنترل شود. کاشت بذور در تاریخ ۱۰ آبان ماه صورت پذیرفت؛ در این مرحله از مقدار بذر مصرفی معادل ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و با فاصله ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۵ سانتی‌متر استفاده گردید. همچنین، ابعاد هر کرت به طول ۴ متر و عرض ۳ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱ متر تعیین شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام و آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز گیاه و تعیین میزان رطوبت خاک تنظیم گردید. این روش‌های کاشت و آبیاری به‌منظور بهینه‌سازی جذب آب و کاهش اثرات تنش آب در شرایط نیمه‌خشک منطقه مورد استفاده قرار گرفت. تعدادی از مطالعات اشاره کرده‌اند که تنظیم دقیق شرایط کاشت و تیمار اولیه بذر می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر همگنی رشد و عملکرد نهایی محصول داشته باشد.

تلقیح بذور

پیش از اعمال تیمارهای میدان مغناطیسی و سایر عوامل، بذور گندم به منظور ایجاد پوشش مناسب، تحت تیمار مایع تلقیح قرار گرفتند. در این بخش از فرآیند، ابتدا از صمغ عربی به نسبت ۴۰ درصد به ازای هر کیلوگرم بذر استفاده گردید تا پوششی یکنواخت و قابل دلبستگی ایجاد شود. سپس، ۱۵ سی‌سی از مایع تلقیح تهیه‌شده به نسبت ۳۰ گرم به ازای هر کیلوگرم بذر در کیسه‌های پلاستیکی افزوده و بذور با دقت مخلوط شدند. این تکنیک باعث افزایش چسبندگی بذور و بهبود فرآیندهای اولیه مانند جذب آب و تثبیت گیاهچه می‌شود؛ مواردی

عملکرد کاه و علوفه: پس از حذف سه ردیف از طرفین و ۱ متر از بالا و پایین هر کرت، از مساحت ۳ متر مربع نمونه‌برداری شد و پس از خشک کردن، عملکرد کاه و علوفه تعیین گردید.

درصد جوانه‌زنی: انتخاب و شمارش بذر: ابتدا یک تعداد معین بذر (۱۰۰ عدد) مشخص می‌شود. ضد عفونی و خیساندن: بذرها برای کاهش آلودگی به مدت ۵-۱۰ دقیقه در محلول رقیق وایتکس قرار گرفته، سپس با آب مقطر شسته و برای چند ساعت یا یک شب خیسانیده می‌شوند. کاشت و ایجاد شرایط مطلوب: بذرها روی کاغذ صافی یا پلیت ژل‌دار قرار گرفته و در محیط کنترل شده با دمای ثابت (۲۰-۲۵ درجه سانتی گراد)، رطوبت کافی و نور مناسب نگهداری می‌شوند. شمارش جوانه‌ها: پس از مدت استاندارد (۷ روز)، تمام بذور دارای ریشه چه ≤ 2 میلی‌متر به عنوان جوانه زده ثبت می‌شوند.

ارتفاع بوته و طول سنبله: طبق روش‌های استاندارد، این صفات اندازه‌گیری شدند.

سنجش میزان کلروفیل: در زمان گلدهی، با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج دستی مدل SPAD CM200 میزان کلروفیل برگ‌ها اندازه‌گیری گردید.

تعیین محتوی آب نسبی برگ‌ها (RWC): با نمونه‌برداری از برگ‌های کاملاً توسعه یافته، طبق فرمول زیر درصد RWC تعیین شد (FAO, 2020):

$$RWC = \frac{100 \times (\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن اشباع برگ})}{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن تر برگ}}$$

درصد پروتئین دانه: با استفاده از روش کلدال درصد نیتروژن دانه به دست آمد (FAO, 2020):

این مجموعه صفات به دقت انتخاب شده‌اند تا بتوانند پاسخ‌های بیولوژیکی گیاه را نسبت به تیمارهای ارائه شده نشان دهند و مقایسه عملکرد بین تیمارهای مختلف را ممکن سازند.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از این مطالعه در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. سپس مقایسه میانگین‌های تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد سنبله در متر مربع

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۲ نشان دادند که از بین فاکتورهای مورد بررسی تنها اثرات اصلی تیمار بذور با میدان مغناطیسی، هیومیکس و فولزایم پلاس بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود و سایر اثرات متقابل دو و سه گانه تاثیر معنی داری بر این صفت نداشتند. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در متر مربع (میانگین ۷۷۱.۶۹ عدد) مربوط به تیمار تحت میدان مغناطیسی با شدت ۱۰۰ میلی‌تسلا به همراه کاربرد هیومیکس و فولزایم پلاس بود؛ در مقابل، کمترین تعداد سنبله با میانگین ۵۹۳.۳۸ عدد در تیمار کنترل (عدم استفاده از میدان مغناطیسی به همراه عدم استعمال هیومیکس و فولزایم پلاس) مشاهده گردید (جدول ۳). همچنین، اثر متقابل میدان مغناطیسی و هیومیکس نشان داد که ترکیب میدان با

شدت ۱۰۰ میلی تسلا و تلقیح بذور با هیومیکس به بیشترین تعداد سنبله منجر می شود (شکل ۱). این یافته ها تأیید می کند که میدان های مغناطیسی از طریق بهبود فعالیت یونی سلول های گیاهی، موجب افزایش جذب آب و انتقال مواد مغذی و در نتیجه بهبود رشد شاخه های گلدهی می شوند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تیمارهای پرایم بذور با میدان مغناطیسی، هیومیکس و فولزایم پلاس

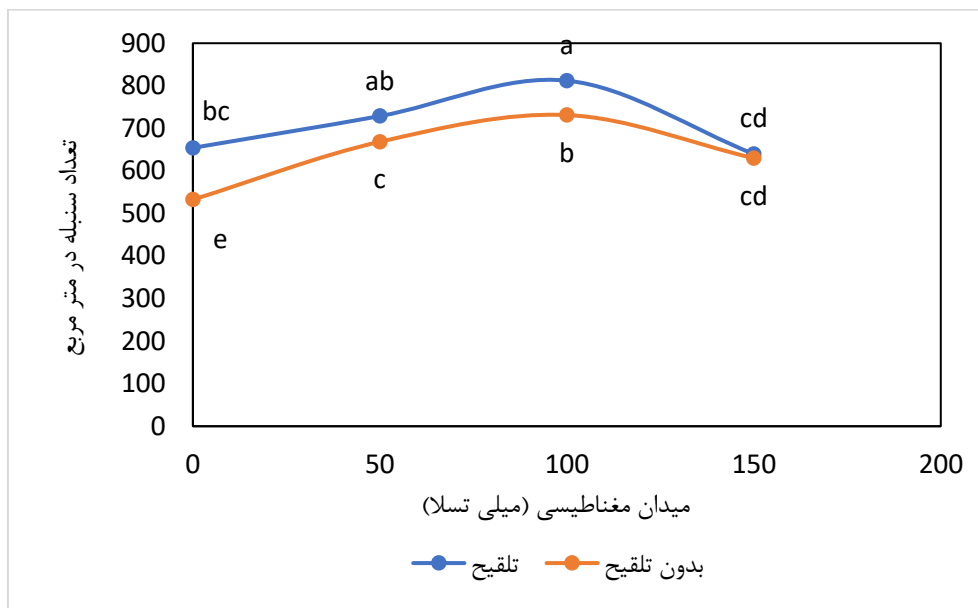
میانگین مربعات						
منبع تغییرات	درجه آزادی	تعداد سنبله در متر مربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
تکرار	۳	۱۲۶۶/۸۹ns	۰/۱۵ns	۱۰/۲۷ns	۴۵۳۹۰۴/۶ns	۱۵۸۱۲۴۳/۲ns
میدان مغناطیسی (M)	۳	۹۲۸۹۸/۸۹**	۱۲۸/۷۲**	۶۶۹/۰۲**	۲۳۲۹۵۸۲۱/۹**	۷۳۱۷۳۷۰/۸**
هیومیکس (H)	۱	۱۷۳۹۱/۰۱**	۲۵/۰۰**	۲۳۲/۵۶**	۸۴۷۰۹۰/۱*	۱۲۲۱۱۵۳۰/۳*
فولزایم پلاس (F)	۱	۱۴۶۷۱/۲۶**	۱۰۰/۰۰**	۶/۲۵ns	۵۷۱۷۲۵/۲ns	۷۷۹۵۲۶۴/۰*
M×H	۳	۵۳۵۰/۵۵*	۲/۱۶ns	۱۷/۱۸*	۲۷۱۴۹۶۴/۴**	۲۷۲۰۲۹۶/۹ns
M×F	۳	۱۳۶۱/۸۰ns	۲/۵۰ns	۰/۵۴ns	۵۰۵۳۷۰/۰ns	۱۰۹۱۹۷۱/۸ns
H×F	۱	۱۹/۱۴ns	۵/۰۶ns	۰/۲۵ns	۱۳۵۷۵/۲۷*	۷۹۶۶۵/۱ns
M×H×F	۳	۹۵۸/۲۶ns	۱/۲۲ns	۰/۲۰ns	۸۶۲۸۸۴/۳*	۱۱۱۶۵۲۲/۱ns
خطا	۴۵	۱۴۰۱/۷۲	۲/۵۲	۶/۰۱	۲۲۴۴۶۵/۸۲	۱۸۳۹۴۳۴/۶
ضریب تغییرات (%)	-	۵/۶۱	۵/۸۸	۷/۶۴	۸/۳۸	۱۰/۲۰

ns و *، ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیرمعنی داری می باشد.

جدول ۳- نتایج مقایسات میانگین اثرات اصلی پرایمینگ بذر با میدان مغناطیسی، هیومیکس و فولزایم پلاس بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد گندم

میدان مغناطیسی	تعداد سنبله در متر مربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
۰	۵۹۳/۳۸d	۲۴/۷۵c	۲۶/۵۰c	۴۳۳۶/۴d	۱۰۳۱۲/۴c
۵۰	۶۶۸/۵۶b	۲۷/۲۵b	۳۳/۸۱b	۶۲۰۸/۸b	۱۴۰۵۶/۹b
۱۰۰	۷۷۱/۶۹a	۳۰/۸۷a	۴۰/۵۰a	۷۰۴۲/۱a	۱۵۳۴۷/۸a
۱۵۰	۶۳۴/۸۱c	۲۵/۰۰c	۲۷/۵۶c	۵۰۲۳/۷c	۱۳۴۶۷/۳b
هیومیکس					
تلقیح	۶۸۳/۵۹a	۲۶/۳۴b	۳۴/۰۰a	۵۷۶۷/۷a	۱۳۷۳۲/۹a
بدون تلقیح	۶۵۰/۶۲b	۲۷/۵۹a	۳۰/۱۸b	۵۵۳۷/۸b	۱۲۸۵۹/۳b
فولزایم پلاس					
عدم کاربرد	۶۵۱/۹۶b	۲۵/۷۱b	۳۱/۷۸a	۵۵۵۸/۳a	۱۲۹۴۷/۱b
کاربرد	۶۸۲/۲۵a	۲۸/۲۱a	۳۲/۴۰a	۵۷۴۷/۳a	۱۳۶۴۵/۱a

تیمارهای دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.



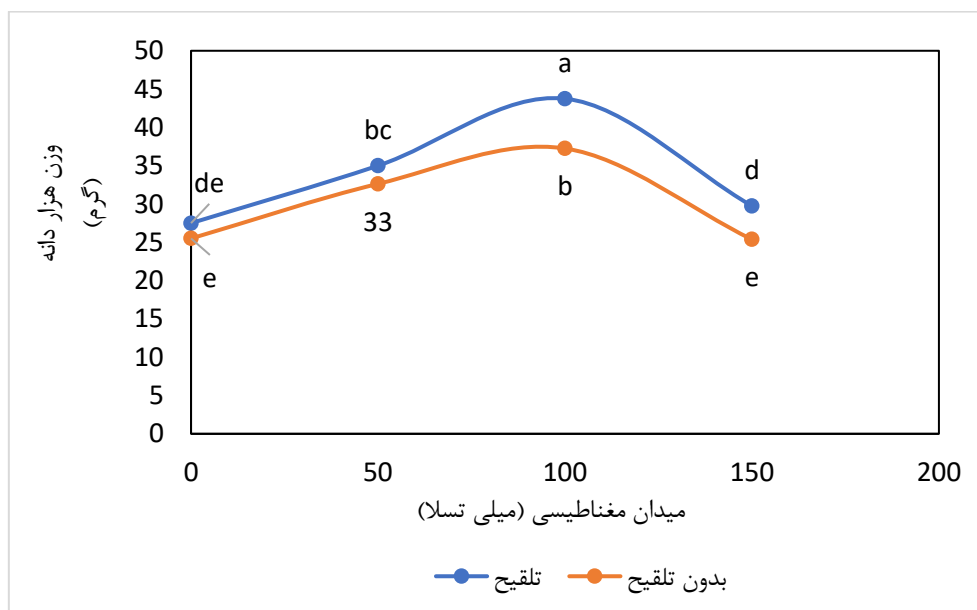
شکل ۱- نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل میدان مغناطیسی و تلقیح هیومیکس بر تعداد سنبله در متر مربع

تعداد دانه در سنبله

اثر اصلی تیمارهای اعمال شده بر تعداد دانه در هر سنبله معنی‌دار بود (جدول ۲)؛ به‌طوری که بیشترین تعداد دانه در سنبله (میانگین ۳۰.۸۷ عدد) در تیمار میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا ثبت شد و در تیمار شاهد (بدون قرارگیری بذور در معرض میدان مغناطیسی) کمترین تعداد (میانگین ۲۴.۷۵ عدد) مشاهده گردید (جدول ۳). علاوه بر این، تلقیح بذور با استفاده از هیومیکس نیز به افزایش تعداد دانه در سنبله منجر شد. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیب تیمارهای بیوفیزیکی (میدان مغناطیسی) و بیوشیمیایی (هیومیکس) می‌تواند عملکرد زایشی را بهبود بخشد، چرا که تنظیم مناسب فعالیت‌های سلولی موجب افزایش تقسیم سلولی در نواحی زایشی و بهبود تعداد دانه‌های تشکیل شده می‌گردد.

وزن هزار دانه

تحلیل نتایج نشان داد که هم اثر اصلی تیمار بذور با میدان مغناطیسی و تلقیح هیومیکس و هم اثر متقابل بین میدان مغناطیسی و هیومیکس بر وزن هزار دانه معنی‌دار است (جدول ۲، شکل ۲). همچنین، تیمار کاربرد فولزایم پلاس موجب افزایش قابل‌توجهی در وزن هزار دانه گردید (جدول ۳). افزایش وزن دانه نشان‌دهنده بهبود فرآیندهای پر کردن دانه و افزایش ذخایر اندوزشی در دوران رشد است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که فناوری‌های پرایمینگ نه تنها سرعت جوانه‌زنی را افزایش می‌دهند بلکه کیفیت شکل‌گیری دانه را از طریق بهبود انتقال مواد مغذی به دانه نیز ارتقاء می‌بخشند.

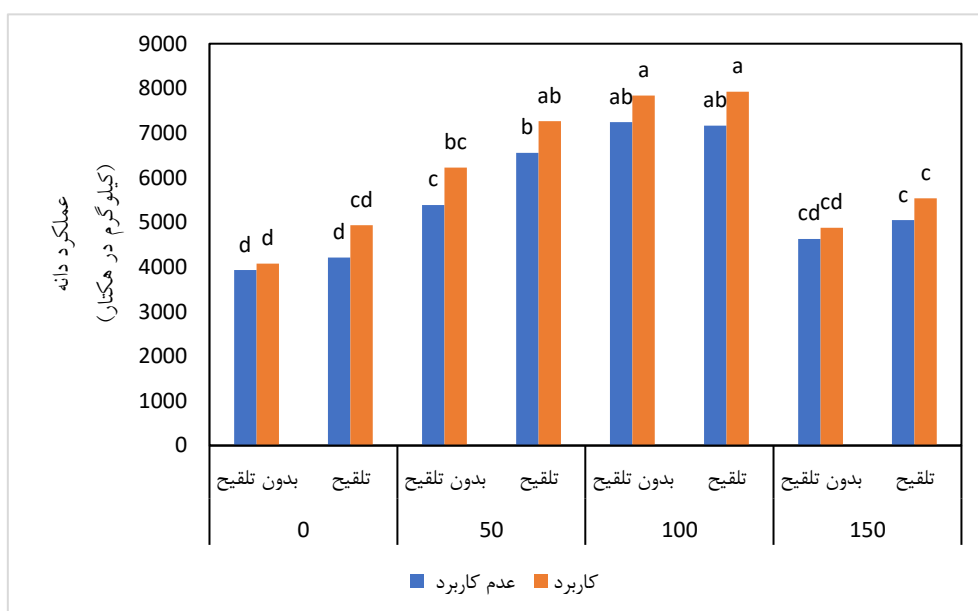


شکل ۲- نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل میدان مغناطیسی و تلقیح هیومیکس بر وزن هزار دانه

عملکرد دانه

بررسی‌های آماری اثر اصلی تیمارهای میدان مغناطیسی، هیومیکس و فولزایم پلاس و همچنین اثرات متقابل و سه‌گانه این عوامل بر عملکرد دانه گندم معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳، شکل ۳). بیشترین عملکرد دانه (میانگین ۷۹۲۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ترکیبی بذر با میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا به همراه هیومیکس و فولزایم پلاس حاصل گردید؛ در حالی که

کمترین عملکرد (میانگین ۳۹۳۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که اعمال میدان مغناطیسی می‌تواند از طریق تقویت روندهای جوانه‌زنی و رشد رویشی، نقش کلیدی در افزایش عملکرد نهایی دانه داشته باشد. به عبارت دیگر، افزایش کارایی مصرف آب و بهبود انتقال هومیک ترکیبات آلی باعث افزایش همگنی تقسیم سلولی در گیاهچه‌های جوانه‌زده و بهبود عملکرد دانه می‌شود (Maffei, 2014).



شکل ۳- نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل میدان مغناطیسی، تلقیح هیومیکس و کاربرد فولزایم پلاس بر عملکرد دانه گندم

عملکرد بیولوژیک

اثر اصلی تیمارهای آزمایشی بر عملکرد بیولوژیک گندم نیز معنی‌دار بود (جدول ۲)؛ به‌طوری‌که بیشترین عملکرد بیولوژیک (میانگین ۱۵۳۴۷.۸ کیلوگرم در هکتار) به عنوان نتیجه تیمار میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا به همراه سایر تیمارها مشاهده شد (جدول

۳). عملکرد بیولوژیک که نمایانگر رشد کل گیاه از جمله رشد رویشی و ریشه‌ای است، مستقیماً تحت تأثیر روش‌های پرایمینگ قرار می‌گیرد. افزایش عملکرد بیولوژیک می‌تواند نشان‌دهنده بهبود شرایط محیطی، افزایش جذب آب و مواد مغذی و تنظیم بهینه

فعالیت‌های فیزیولوژیکی در دوران رشد باشد و باشد (Canellas *et al.*, 2020; Erez & Özbek, 2024).

شاخص برداشت

نتایج ارائه شده در جداول ۴ و ۵ نشان دادند که از بین عوامل مورد بررسی تنها اثر اصلی تیمار بذور با میدان مغناطیسی، اثر متقابل میدان مغناطیسی در هیومیکس (شکل ۴) و همچنین اثر متقابل هیومیکس در فولزایم پلاس بر شاخص برداشت گندم (شکل ۵) معنی دار بود. نتایج مقایسات میانگین مربوط به اثر متقابل تیمار با میدان مغناطیسی در کاربرد هیومیکس نشان داد که بالاترین شاخص برداشت با میانگین ۵۰/۸۷ درصد

مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی تسلا و کاربرد هیومیکس بود و کمترین شاخص برداشت نیز با میانگین ۳۶/۱۲ درصد مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی تسلا و عدم استفاده از هیومیکس می باشد. این امر بیانگر تاثیر مثبت میدان مغناطیسی بر شاخص برداشت و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه می باشد. نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل هیومیکس در فولزایم پلاس نیز حاکی از آن بود که بیشترین شاخص برداشت با میانگین ۴۶/۰۶ درصد مربوط به تیمار کاربرد هیومیکس و فولزایم بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۳۰/۰۶ درصد از تیمار عدم مصرف هیومیکس و فولزایم پلاس بدست آمد.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تیمارهای پرایم بذور با میدان مغناطیسی، هیومیکس و

فولزایم پلاس

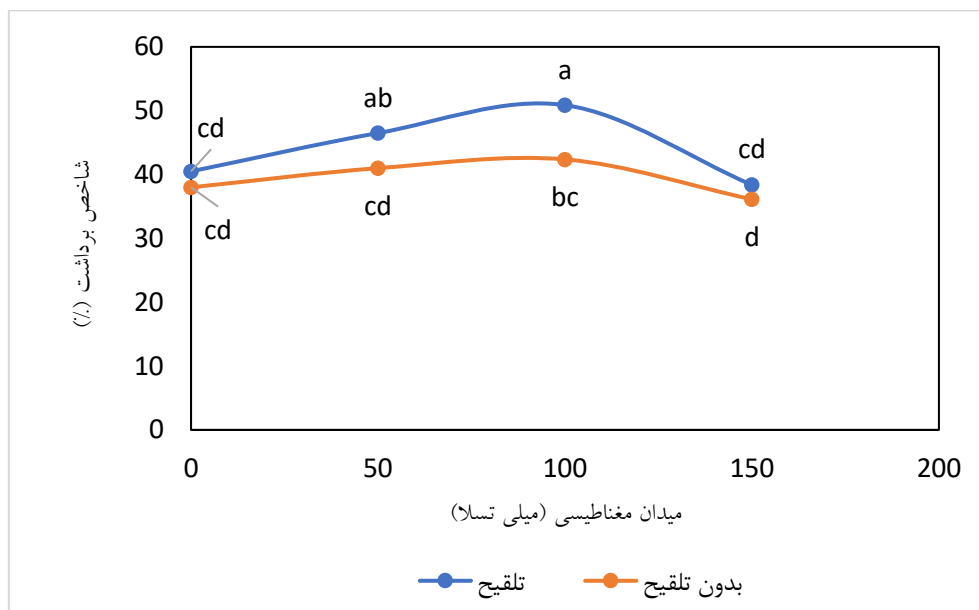
میانگین مربعات						
منبع تغییرات	درجه آزادی	شاخص برداشت	عملکرد کاه	درصد جوانه زنی	ارتفاع بوته	طول سنبله
تکرار	۳	۹۴/۳۵*	۱۶۵۸۹۷۲/۷۲ns	۶۲/۸۷**	۱۴/۳۵ns	۰/۰۹ns
میدان مغناطیسی (M)	۳	۲۸۹/۳۹**	۲۰۸۰۳۲۶۳/۵۶**	۵۹۱/۰۶**	۵۰۵/۷۷**	۲/۹۷**
هیومیکس (H)	۱	۳/۰۶ns	۶۶۱۹۶۸۵/۷۷ns	۶۸/۰۶*	۲۲/۵۶ns	۱/۲۶ns
فولزایم پلاس (F)	۱	۱/۵۶ns	۴۱۴۳۷۶۹/۱۴ns	۸۵/۵۶*	۹/۰۰ns	۰/۳۹ns
M×H	۳	۱۵۰/۷۲**	۷۱۷۷۷۶۵/۰۲ns	۴۲/۰۶*	۱۳/۳۵ns	۰/۰۱ns
M×F	۳	۱۷/۵۶ns	۱۱۶۰۴۱۴/۲۲ns	۷/۵۶ns	۳/۳۷ns	۰/۱۴ns
H×F	۱	۱۰۵/۰۶*	۷۷۹۹۰۹/۷۷ns	۰/۲۵ns	۱/۰۰ns	۰/۳۰ns
M×H×F	۳	۴۵/۲۲ns	۳۱۹۰۱۷۵/۱۰ns	۱/۸۳ns	۳/۴۵ns	۰/۰۵ns
خطا	۴۵	۲۶/۶۹	۱۹۰۵۶۴۴/۵	۱۳/۳۶	۱۸/۲۷	۰/۶۵
ضریب تغییرات (%)	-	۱۲/۹۳	۱۸/۰۶	۴/۳۳	۴/۷۲	۱۰/۵۰

ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، * و ** به ترتیب معنی داری می باشد.

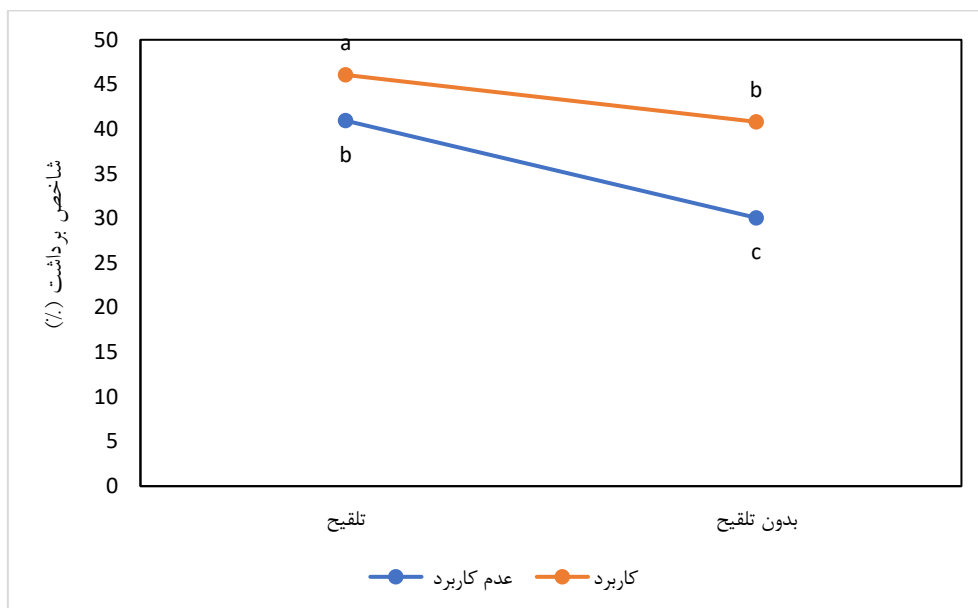
جدول ۵- نتایج مقایسات میانگین اثرات اصلی پرایمینگ بذر با میدان مغناطیسی، هیومیکس و فولزایم پلاس بر صفات مورفولوژیک گندم

میدان مغناطیسی	شاخص برداشت	عملکرد کاه	درصد جوانه زنی	ارتفاع بوته	طول سنبله
۰	۳۹/۲۵b	۵۹۷۶/۲b	۸۰/۵۶c	۸۴/۷۵d	۷/۲۵b
۵۰	۴۳/۷۵a	۷۸۴۸/۱a	۸۷/۸۱b	۹۱/۶۸b	۷/۸۱ab
۱۰۰	۴۶/۶۲a	۸۴۴۳/۸a	۹۱/۰۶a	۹۷/۸۱a	۸/۲۵a
۱۵۰	۳۷/۲۵b	۸۳۰۵/۶a	۷۸/۰۶c	۸۷/۸۷c	۷/۵۰b
هیومیکس					
تلقیح	۴۱/۹۳a	۷۹۶۵/۰a	۸۵/۴۰a	۹۱/۱۲a	۷/۸۴a
بدون تلقیح	۴۱/۵۰a	۷۳۲۱/۸a	۸۲/۳۴b	۸۹/۹۳a	۷/۵۶a
فولزایم پلاس					
عدم کاربرد	۴۱/۵۶a	۷۳۸۹/۰a	۸۳/۲۱a	۹۰/۱۵a	۷/۶۲a
کاربرد	۴۱/۸۷a	۷۸۹۷/۹a	۸۵/۵۳a	۹۰/۹۰a	۷/۷۸a

تیمارهای دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.



شکل ۴- نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل میدان مغناطیسی و تلقیح هیومیکس بر شاخص برداشت گندم



شکل ۵- نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل تلقیح هیومیکس و کاربرد فولزایم پلاس بر شاخص برداشت گندم

عملکرد کاه

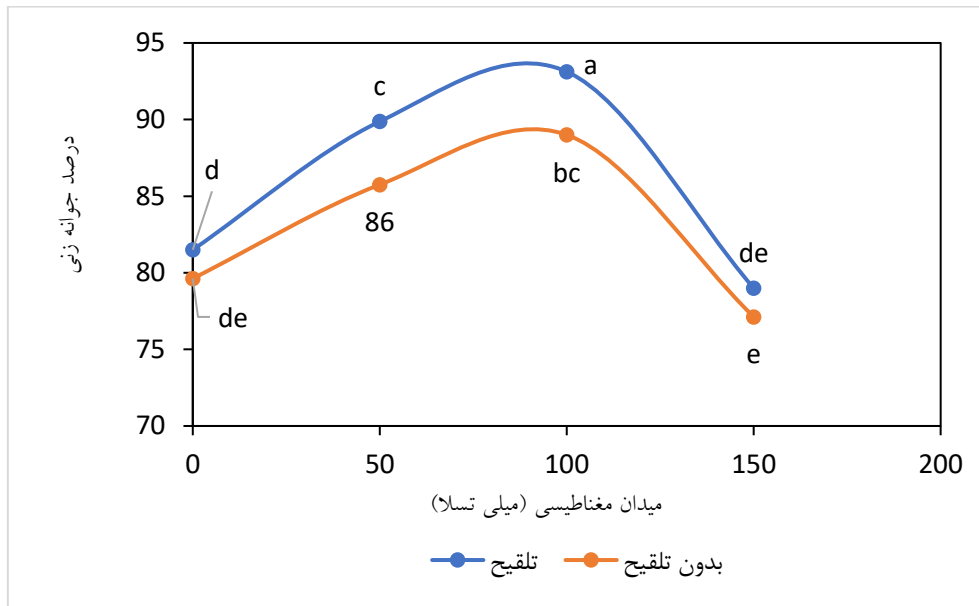
بررسی ها نشان می دهد که از بین عوامل مورد بررسی، تنها اثر اصلی تیمار بذور با میدان مغناطیسی بر عملکرد کاه گندم تأثیر معنی داری داشت (جدول ۴). نتایج مقایسات میانگین ها نشان داد که بیشترین عملکرد کاه با میانگین ۸۴۴۳/۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی تسلا بود که البته اختلاف معنی داری با تیمار ۱۵۰ و ۵۰ میلی تسلا نداشت، کمترین مقدار عملکرد کاه نیز با میانگین ۵۹۷۶/۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار عدم قرار گیری بذور در معرض میدان مغناطیسی بود (جدول ۵). مطالعات متعددی در خصوص اثر مثبت میدان مغناطیسی بر رشد اندام هوایی گیاهان گزارش شده است که در بخش های مربوط به عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بدان اشاره گردید.

درصد جوانه زنی

نتایج بررسی ها نشان داد که اثرات اصلی تیمار بذور با میدان مغناطیسی، هیومیکس و فولزایم پلاس و همچنین اثر متقابل میدان مغناطیسی در هیومیکس بر درصد جوانه زنی بذور گندم معنی دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسات میانگین اثر اصلی مصرف فولزایم پلاس نشان داد که بیشترین درصد جوانه زنی با میانگین ۸۵/۵۳ درصد بالاترین درصد جوانه زنی و تیمار عدم پرایم با فولزایم پلاس با میانگین ۸۳/۲۱ درصد مربوط به تیمار عدم تلقیح بذور با فولزایم پلاس بود (جدول ۵). نتایج مقایسات میانگین مربوط به اثر متقابل میدان مغناطیسی در هیومیکس نیز نشان داد که بالاترین درصد جوانه زنی با میانگین ۹۳/۱۲ درصد مربوط به تیمار بذر با میدان مغناطیسی با شدت ۱۰۰ میلی تسلا و تلقیح هیومیکس بود و کمترین درصد جوانه زنی نیز با میانگین ۷۷/۱۲ درصد مربوط به میدان مغناطیسی با

آزمی درون بذر می باشد که موج کاهش درصد جوانه زنی در میدان مغناطیسی ۱۵۰ میلی تسلا شده است.

شدت ۱۵۰ میلی تسلا و عدم کاربرد هیومیکس بود (شکل ۶). این امر نشان دهنده تاثیر منفی شدت بالای میدان مغناطیسی بر ساختار جنین و میزان فعالیت



شکل ۶- نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل میدان مغناطیسی در تلقیح هیومیکس بر درصد جوانه زنی گندم

مغناطیسی بدست آمد (جدول ۵). همانگونه که در بخش درصد جوانه زنی بیان شد، میدان مغناطیسی با شدت ۱۰۰ میلی تسلا موجب افزایش درصد جوانه زنی و به دنبال آن رشد اولیه بهتری نسبت به سایر تیمارها داشت که این امر موجب افزایش رشد و استفاده بهتر از منابع گردید که افزایش ارتفاع بوته نیز در این تیمار دور از انتظار نبود.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که اعمال میدان مغناطیسی با شدت ۱۰۰ میلی تسلا به مدت ۲۰ دقیقه به همراه تلقیح بذر با هیومیکس و استفاده از فولزایم پلاس به عنوان روش‌های پرایمینگ، تأثیر مثبتی بر

ارتفاع بوته و طول سنبله

براساس نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۴، تنها اثر تیمار بذر با میدان مغناطیسی بر ارتفاع بوته و طول سنبله در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود و سایر اثرات اصلی و متقابل تاثیر معنی داری بر این دو صفت نداشتند. نتایج مقایسات میانگین اثر اصلی میدان مغناطیسی بر ارتفاع بوته و طول سنبله نشان داد که بیشترین مقادیر به ترتیب با میانگین ۹۷/۸۱ و ۸/۲۵ سانتی متر مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی تسلا بود و کمترین میزان نیز با میانگین ۸۴/۷۵ و ۷/۲۵ سانتی متر از تیمار عدم قرار گیری بذور در معرض میدان

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از میدان مغناطیسی به همراه به‌کارگیری هیومیکس و فولزایم پلاس تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد گندم رقم سیلوان دارد. افزایش قابل توجه در تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه از مهم‌ترین دستاوردهایی است که می‌تواند در تدوین استراتژی‌های مدیریتی و بهبود بهره‌وری محصولات زراعی به کار گرفته شود. افزون بر این، افزایش شاخص برداشت نشان‌دهنده بهبود انتقال مواد فتوسنتزی به دانه بوده که پیامد آن افزایش کارایی مصرف آب و بهره‌وری نهایی محصول است. یافته‌های به‌دست‌آمده می‌تواند مبنای تدوین راهبردهای نوین در زمینه بهبود عملکرد محصولات زراعی، به‌ویژه گندم تحت شرایط استفاده از منابع آب نامناسب مانند پساب خانگی باشد. در نهایت، این پژوهش تأکید می‌کند که فناوری‌های نوین در پرایمینگ می‌توانند به عنوان ابزارهای کارآمد در توسعه کشاورزی پایدار به کار گرفته شده و زمینه‌های جدیدی برای افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی فراهم آورند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارند.

تمامی اجزای عملکردی گندم رقم سیلوان داشته است؛ از جمله بهبود تعداد سنبله در متر مربع، افزایش تعداد دانه در هر سنبله، افزایش وزن هزار دانه و نهایتاً بهبود عملکرد دانه. می‌توان استنباط کرد که این نتایج ناشی از تعدیل‌های فیزیولوژیکی ایجادشده در سطح سلولی و بهبود فرآیندهای جذب آب و انتقال مواد مغذی می‌باشد. تلفیق روش‌های بیوفیزیکی (میدان مغناطیسی) با رویکردهای بیوشیمیایی (استفاده از هیومیکس و فولزایم پلاس) نشان‌دهنده وجود تعاملات سینرژیک میان این تیمارهاست که باعث تقویت عملکرد زایشی می‌شود. تحلیل‌های آماری حاصل از آزمون‌های واریانس و آزمون‌های چند دامنه‌ای نشان می‌دهد که اثرات اصلی و متقابل این عوامل به‌طور معنادار متفاوت بوده و می‌تواند به عنوان راهکاری نوین برای افزایش تولید گندم مطرح گردد (Maffei, 2014). افزون بر این، بهبود شاخص برداشت و درصد جوانه‌زنی نشان‌دهنده ارتقاء فرآیندهای فتوسنتزی، همگنی تقسیم سلولی و بازتوزیع انرژی در گیاه است. یافته‌های ارائه‌شده هم‌راستا با مطالعات اخیر در زمینه فناوری‌های پرایمینگ بوده و تأکید می‌کنند که به‌کارگیری ترکیبی از روش‌های فیزیکی و شیمیایی نه تنها عملکرد زراعی را افزایش می‌دهد، بلکه موجب بهبود همگنی رشد و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (Canellas et al., 2020). از این رو پژوهش‌های آتی می‌بایست به بررسی دقیق‌تر تأثیرات مولکولی و فیزیولوژیکی این تیمارها پرداخته و مکانیزم‌های زیربنایی پشت بهبود عملکرد را به‌طور جامع روشن سازند.

REFERENCES

- Balakhnina, T., Bulak, P., Nosalewicz, M., Pietruszewski, S., and Włodarczyk, T. 2015. The influence of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding. *Acta Physiologiae Plantarum* 37, Article 59. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1802-2>
- Canellas, L. P., Canellas, N. O. A., Souza da, L. E. S. I., Olivares, F. L., and Piccolo, A. 2020. Plant chemical priming by humic acids. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 7, Article 12.
- Cassman, K. G., Grassini, P., and van Wart, J. 2010. Crop Yield Potential, Yield Trends, and Global Food Security in a Changing Climate. *Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation* 37–51. https://doi.org/10.1142/9781848166561_0004
- Cecchetti, D., Pawełek, A., Wyszowska, J., Antoszewski, M., and Szmidt-Jaworska, A. 2022. Treatment of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds with electromagnetic field influences germination and phytohormone balance depending on seed size. *Agronomy* 12(6), 1423. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061423>
- Dhankher, O. P., and Foyer, C. H. 2018. Climate resilient crops for improving global food security and safety. *Plant, Cell & Environment* 41(5), 953-957. <https://doi.org/10.1111/pce.13207>
- Erez, M. E., and Özbek, M. 2024. Magnetic field effects on the physiologic and molecular pathway of wheat (*Triticum turgidum* L.) germination and seedling growth. *Acta Physiologiae Plantarum* 46, Article 5. DOI:10.1007/s11738-023-03631-7
- FAO. 2020. The State of Food Security and Nutrition in the World. Transforming food systems for affordable healthy diets. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9692en>
- Fischer, R. A., Byerlee, D., and Edmeades, G. 2014. Crop yields and global food security: Will yield increase continue to feed the world? ACIAR Monograph No. 158, Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research.
- Khoury, C. K., Bjorkman, A. D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A., and Struik, P. C. 2014. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(11), 4001-4006. <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>
- Liang, G. 2022. Nitrogen fertilization mitigates global food insecurity by increasing cereal yield and its stability. *Information Processing in Agriculture*.
- MacDonald, M. T., and Mohan, V. R. 2025. Chemical seed priming: Molecules and mechanisms for enhancing plant germination, growth, and stress tolerance. *Current Issues in Molecular Biology* 47(3), 177. <https://doi.org/10.3390/cimb47030177>
- Maffei M. E. 2014. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in plant science* 5, 445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445>
- Mughal, M., and Fontan Sers, C. 2020. Cereal production, undernourishment, and food insecurity in South Asia. *Review of Development Economics* 24(3), 1164-1181. <https://doi.org/10.1111/rode.12659>

- Neupane, D., Adhikari, P., Bhattarai, D., Rana, B., and Ahmed, Z. 2022. Does climate change affect the yield of the top three cereals and food security in the world? *Earth* 3(1), 4. <https://doi.org/10.3390/earth3010004>
- Rathod, G. R., and Anand, A. 2016. Effect of seed magneto-priming on growth, yield and Na/K ratio in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Plant Physiology Reports* 21, 15–22. <https://doi.org/10.1007/s40502-015-0189-9>
- Rizk, R., Ahmed, M., Abdul-Hamid, D., Zedan, M., Tóth, Z., and Decsi, K. 2025. Resulting key physiological changes in *Triticum aestivum* L. plants under drought conditions after priming the seeds with conventional fertilizer and greenly synthesized zinc oxide nanoparticles from corn wastes. *Agronomy* 15(1), 211. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010211>
- Rosegrant, M. W., and Cline, S. A. 2003. Global food security: Challenges and policies. *Science*, 302(5652), 1917-1919. <https://doi.org/10.1126/science.1092958>
- Savary, S., Ficke, A., Aubertot, J. N., and Hollier, C. 2012. Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security. *Food Security* 4(4), 519-537.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., and Befort, B. L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(50), 20260–20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- van Loon, M. P., Hijbeek, R., and Ten Berge, H. F. M. 2019. Impacts of intensifying or expanding cereal cropping in sub-Saharan Africa on greenhouse gas emissions and food security. *Global Change Biology* 25(10), 3177-3190.