

طراحی و ساخت سامانه کشت الکتریکی و ارزیابی اثر آن بر بهبود عملکرد و نرخ جوانه‌زنی بذر چمن (*Festuca Arandinacea*)

نگارآهنگری نژاد^{۱*}، روزبه عباس زاده^۲ و احمد نوروزیان^۳

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- استادیار پژوهشکده کشاورزی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.

۳- کارشناس ارشد پژوهشی گروه گیاهان دارویی، پژوهشکده کشاورزی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸ کلمات کلیدی: بذر چمن، سامانه کشت الکتریکی، شدت میدان مغناطیسی، درصد جوانه‌زنی، نرخ جوانه‌زنی	استفاده از امواج الکتریکی، میدان مغناطیسی، نور، امواج صوتی و به منظور افزایش عملکرد و سرعت رشد محصولات کشاورزی را کشت الکتریکی گویند. در این پژوهش تأثیر شدت میدان مغناطیسی متناوب و مدت زمان‌های اعمال آن بر جوانه‌زنی بذر چمن (<i>Festuca Arandinacea</i>) با استفاده از سامانه‌ای که برای کشت الکتریکی ساخته شده بود مورد بررسی قرار گرفت. در این سامانه، سیم‌پیچ‌های هلم هلتز برای ایجاد میدانی یکنواخت طراحی شدند. تیمارهای آزمایش شامل میدان الکترومغناطیسی متناوب با شدت‌های ۰/۱ و ۱ میلی تسلا در مدت زمان‌های ۱۵، ۶۰ و ۲۴۰ دقیقه و تیمار شاهد (بدون قرار دهی بذر در میدان مغناطیسی) بودند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. به منظور ارزیابی سامانه، درصد جوانه‌زنی، نرخ جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه برای هر تیمار اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میدان مغناطیسی به‌طور معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی تأثیر گذاشت و برخی تیمارها نتایج بهتری را نسبت به شاهد نشان دادند. در مقایسه شاهد و تیمارهای بهینه مشاهده شد، درصد جوانه‌زنی ۱۲۴٪، سرعت جوانه‌زنی ۱۵۵٪، میانگین زمان جوانه‌زنی ۸٪ و طول ساقه‌چه ۶۴٪ بهبود یافتند. بیشترین نرخ، درصد جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه در تیمار میدان مغناطیسی ۱ میلی تسلا و مدت زمان ۶۰ دقیقه بود. به نظر می‌رسد با استفاده بهینه از سامانه کشت الکتریکی بتوان رشد و جوانه‌زنی بذر چمن را بهبود بخشید.

* عهده دار مکاتبات

Email:
nahangarnejad@modares.ac.ir

مقدمه

و ۱۵۴ دور انجام شد. استفاده از میدان متناوب جوانه‌زنی را در همه غلظت‌ها و طول ریشه را در بعضی تیمارها افزایش داد (۲۶). رشد سریع‌تر بذر گندم نیز با استفاده از میدان مغناطیس دائم ۷ میلی تسلا مشاهده و اثرات مثبت میدان مغناطیسی در بیوسنتز پروتئین‌ها، تکثیر سلول، فعالیت‌های بیوشیمیایی، میزان تنفس، فعالیت آنزیم‌ها، میزان اسیدنوکلئیک و دوره رشد و نمو نشان داده شد (۷). در نتیجه آبیاری با آب مغناطیسی از دید پارامترهای رشد و عملکرد گیاه گندم از جمله افزایش رنگدانه فوتوسنتتیک، فول‌ها و سنتر پروتئین گزارش شده است (۱۳). القاء ۱۰ میلی تسلا به وسیله یک میدان الکترومغناطیس با فرکانس ۵۰ هرتز موجب شد انحراف کروموزومی در سلول‌های مریستم ریشه ذرت به کمتر از ۱ درصد برسد (۲۵). قراردادن بذرها گندم در معرض میدان‌های مغناطیسی ثابت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی تسلا و مدت زمان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و نیز یک تیمار میدان مغناطیس دائم با شدت سه میلی تسلا نشان داد که میدان مغناطیسی به‌طور معنی‌داری بر متوسط زمان جوانه‌زنی تأثیر گذاشت، به‌طوری که بیشترین سرعت در تیمار میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی تسلا و مدت ۲۰ دقیقه به دست آمد و زمان نسبت به شاهد ۴۳ درصد کاهش یافت. تیمارهای میدان مغناطیسی به‌طور میانگین طول ساقچه‌چنه گندم را ۲۷ درصد افزایش داد (۱۰). در بررسی اثر میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر آفتابگردان و جرم نهایی گیاه در مرحله ابتدایی رشد، میدان مغناطیسی متغیر ۵۰ میلی تسلا و ۳۰ هرتز، آب مغناطیس شده (میدان ثابت ۱۵۰ میلی تسلا) و ترکیب آن دو در زمان‌های مختلف بکار رفت. مشخص شد در حالت ترکیب دو روش اثر مثبت معنی‌داری به دست می‌آید (۲۰). با اعمال میدان الکترومغناطیس ۳۰۰ میلی تسلا به مدت ۳۰ دقیقه به بذرها گندم و همچنین استفاده از آب مغناطیسی، افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی و تمامی پارامترهای رشد گیاه گندم و تعداد باندهای پروتئین مشاهده شد (۲۲). در بررسی اثر شدت‌های ضعیف میدان‌های

روش‌های بیوفیزیکی با انتقال انرژی به گیاه قادر به تأثیرگذاری در فرایند رشد آن هستند. همچنین گیاهان قادر به واکنش در برابر تنش‌ها یا عوامل خارجی اعمال شده می‌باشند. الکتروسیته، مغناطیس، نور تکرنگ و صدا می‌تواند رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. این فناوری کشت الکتریکی^۱ نامیده می‌شود. مطالعات زیادی نشان داده‌اند که میدان مغناطیسی می‌تواند روی موجودات زنده تأثیر بگذارد. با این وجود سازوکار دقیق این تأثیرها هنوز نامشخص است. یک توصیف ممکن برای اثرات متعدد میدان مغناطیسی روی موجودات زنده، تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که با میانجی‌گری آهن انجام می‌گیرد. مطالعه اثر میدان ۱۵۰ میلی تسلا در مدت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه بر روی بعضی خواص بیولوژیکی ذرت نشان داد که میدان مغناطیسی سبب افزایش ۲۵ درصد در جوانه‌زنی، ۷۲ درصد در وزن و ۲۵ درصد در طول گیاه شد (۳). استفاده از میدان ۱۵۰ میلی تسلا برای سویا در زمان‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ دقیقه باعث افزایش ۳۷ درصد جوانه‌زنی، ۱۷۲ درصد وزن و ۳۷ درصد طول شد (۲). مطالعه خصوصیات تنفسی در گیاهچه‌های جو تحت تیمار با میدان مغناطیسی با شدت ۱۰ میلی تسلا نشان داد که شدت و میزان خروج CO₂ در شرایط تیمار حدود ۷۰ تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد (۴). اعمال تیمارهای مذکور بر آفتابگردان در زمان‌های یک، ۱۰، ۲۰، ۶۰ دقیقه و ۲۴ ساعت و درازمدت موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر شد (۸). افزایش در کلروفیل برگ و کربوهیدرات دانه‌های گندم نیز در اثر میدان الکترومغناطیس دیده شد (۱۲). در پژوهش دیگری اثر میدان مغناطیسی متناوب ۲۸/۳ هرتز بر جوانه‌زنی و رشد لوبیا در غلظت‌های مختلف CaCl₂ بررسی شد. اعمال میدان ۲۰ میکروتسلا توسط یک جفت سیم پیچ هلم هولتز با شعاع ۲۰ سانتی‌متر

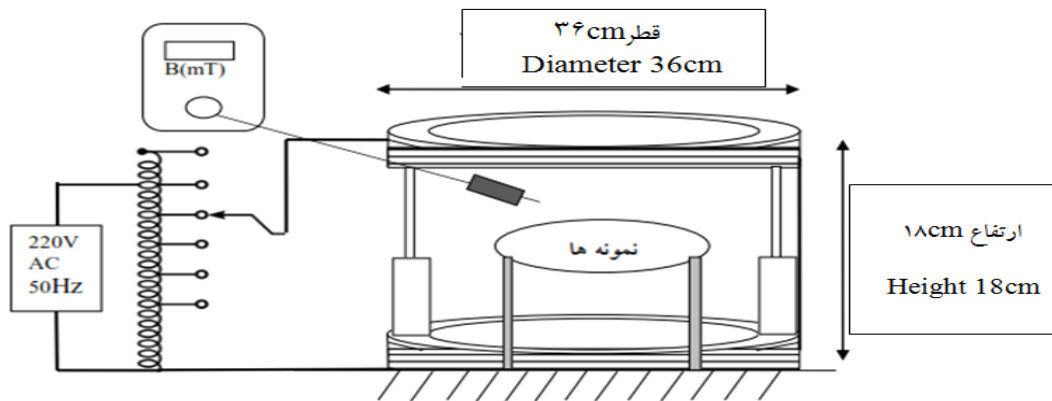
سرعت استقرار را در بذره‌های تیمار شده افزایش داد و با این کار ضمن صرفه جویی در مصرف آب، سریعتر از مرحله حساس جوانه‌زنی و استقرار عبور کرد. هدف این پژوهش مطالعه تأثیر میدان مغناطیسی بر رشد بذر چمن (بر پایه تجربیات قبلی) و تعیین نحوه بهینه اعمال میدان الکترومغناطیس است.

مواد و روش‌ها:

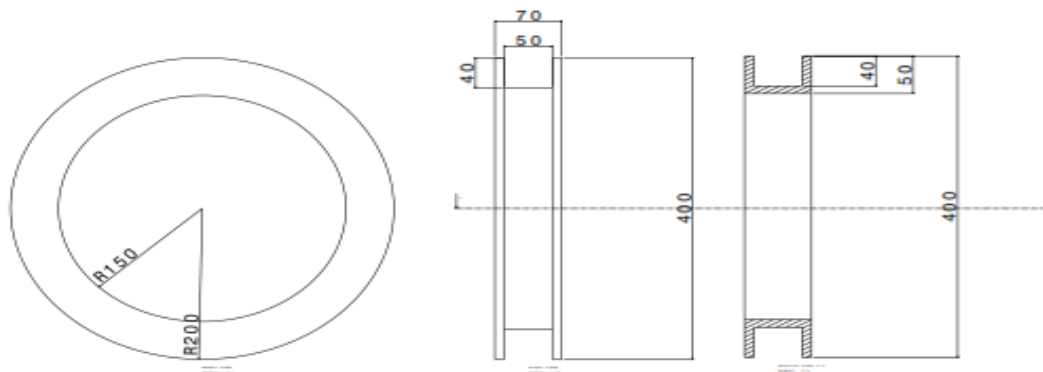
این تحقیق در اسفند ۱۳۹۳ در پژوهشکده کشاورزی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران به منظور بررسی تأثیر شدت‌های مختلف میدان و زمان‌های قرارگیری در معرض میدان‌های مغناطیسی متناوب، بر جوانه‌زنی بذور چمن (*Festuca arundinacea*) تهیه شده از شرکت هلندی Baren breg انجام شد. برای انجام آزمایش، بذور چمن ابتدا با آب جاری به مدت ۳۰ دقیقه شستشو داده شد. سپس با محلول ۱ درصد هیپوکلریت سدیم به مدت ۳ دقیقه ضد عفونی و در سه زمان ۲، ۳ و ۵ دقیقه با آب مقطر استریل به خوبی شستشو شدند. سپس در زیر هود لامینار به کمک پنس ۲۵ عدد بذر درون هر پتری روی دو لایه کاغذ واتمن شماره ۱ قرار داده شده و ۳ میلی‌لیتر آب به آن‌ها اضافه شد. برای ضد عفونی کردن پتری دیش‌ها قبل از قرار دادن بذور در آن‌ها ۳۰ دقیقه درون دستگاه در معرض اشعه UV قرار گرفتند. پتری‌ها در دمای متوسط 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد تحت میدان الکترومغناطیسی قرار گرفتند. برای اعمال میدان الکترومغناطیسی متناوب سامانه‌ای مطابق (شکل ۱) طراحی و ساخته شد. این سامانه از چهار بخش به شرح زیر تشکیل شده است:

۱- سیم پیچ هلم هولتز به قطر ۳۶ سانتی‌متر و ارتفاع متوسط ۱۸ سانتی‌متر و متشکل از دو سیم پیچ برای ایجاد شدت میدان مغناطیسی یکنواخت. به طور کلی از سیم پیچ‌های هلم هولتز در آزمایش‌ها برای ایجاد میدانی نسبتاً یکنواخت استفاده می‌شود و یکنواختی میدان در این سامانه نیز (در مقایسه با آهن ربا) با اندازه‌گیری با تسلامتر مورد تایید قرار گرفته است.

الکتریکی و مغناطیسی بر وضعیت آنتی اکسیدانی و رشد برگ‌های موسیر تأثیرات مشخصی بر رشد و سیستم آنتی اکسیدان برگ گیاه دیده شد (۶). پس از بررسی شدت‌ها و زمان‌های مختلف اعمال میدان مغناطیسی بر بذر خیار، تیمار یک ساعت اعمال میدان ۲۰۰ میلی‌تسلا به عنوان تیماری برای افزایش جوانه‌زنی بذر انتخاب شد. ضمناً فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بذره‌های مغناطیسی شده نسبت به شاهد افزایش یافت. به عنوان مثال افزایش ۸۳ درصدی کاتالاز ثبت شد (۵). به کارگیری میدان مغناطیسی موجب افزایش تحمل نمونه‌های کشت بافت انجیر سبز به استرس خشکی شد (۱۷). قراردادن بذور گندم در معرض میدان الکترومغناطیس ۰/۵ میلی‌تسلا و ۵۰ هرتز موجب ازدیاد جوانه‌زنی و همچنین افزایش وزن گیاهچه‌ها و طول ساقه آن‌ها شده است (۱۰). در مطالعه اثر میدان‌های مغناطیسی ایستا ۳۰ میلی‌تسلا و متناوب ۱۰ کیلوهرتز بر گندم به مدت چهار روز و هر روز پنج ساعت، افزایش جوانه‌زنی بذر، رشد گیاه و حفظ تمامیت غشا مشاهده شد (۲۳). در مورد بذر گوجه فرنگی، قدرت میدان مغناطیسی نسبت به رطوبت نسبی و مدت زمان قرار گرفتن در معرض میدان‌های مغناطیسی غیر یکنواخت تأثیر بیشتری بر عملکرد بذر داشت (۲۴). در تحقیق دیگری بذر آهار در میدان‌های ۱۵، ۱۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میکروتسلا در زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ قرار گرفتند. نتایج نشان داد کاربرد میدان مغناطیس عملکرد بذر را در آزمایشگاه و خاک افزایش داد. بهترین نتایج در شدت ۴۰۰ میکرو تسلا زمان‌های ۳۰ و ۲۴۰ دقیقه به دست آمد (۲۸). استفاده از میدان الکترومغناطیس ۲ میلی‌تسلا به مدت سه دقیقه در کشت آزمایشگاهی گیاه قهوه موجب افزایش طول ریشه، طول ساقه، تعداد جفت برگ، فتوسنتز خالص و غلظت رنگدانه فتوسینتیک شد (۱۴ و ۱۵). باتوجه به توسعه چمن کاری در کشور و ارزشمند بودن این گیاه و استفاده از بذر قستوکا در چمن کاری و با عنایت به نیاز آبی بالای چمن و شرایط کم آبی در کشور و اهمیت مرحله جوانه‌زنی و استقرار بذر، این امکان وجود دارد که بتوان



شکل (۱) شماتیک سامانه کشت الکتریکی
Figure (1) Electro-culture system schematic



شکل (۲) به ترتیب از چپ به راست: نمای بالا، جانبی و برش خورده قرقره ها (ابعاد بر حسب میلی متر)
Figure (2) Top view, lateral view, section view respectively (dimensions are based on millimeter)

وجود آمد. چگالی شار مغناطیسی بر حسب تسلا از رابطه ۱ محاسبه می شود (۱۱):

$$B = \frac{8 \mu_0 n I}{5^{3/2} R} \quad (1)$$

که در این معادله، I جریان الکتریکی بر حسب آمپر، n تعداد دور، R شعاع سیم پیچ بر حسب متر، μ_0 ثابت نفوذپذیری به مقدار $4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot M}{A}$ می باشد. با توجه به ثابت بودن قطر (۳۶ سانتی متر) و تعداد دور سیم پیچ هلم هولتز (۵۰۰ دور) تنها عامل مؤثر بر شدت میدان، جریان الکتریکی بود که با استفاده از اریاک کنترل شد. به منظور قرارگیری نمونه ها در میدان مغناطیسی ایجاد شده، جایگاهی طراحی و ساخته شد. جایگاه مذکور میزی با سطح چوبی و پایه های پلاستیکی و با ارتفاع متغیر بود که امکان ایجاد فضایی با میدان مغناطیسی مورد نظر برای بذور مختلف را فراهم می آورد.

دو قرقره از جنس پلی اتیلن با تراشکاری مواد تفلونی ساخته شدند. پس از ساخت قرقره ها ۵۰۰ دور سیم لاک (از جنس مس) با قطر یک میلی متر به دور هریک از قرقره ها پیچانده شد. در طراحی قرقره ها یا بوبین ها، ابعاد و جنس طوری انتخاب شدند که قابلیت تحمل وزن سیم ها و حرارت ایجاد شده در آن ها را داشته باشند. شکل و ابعاد قرقره ها در شکل ۲ آورده شده است. مدل سازی قرقره ها با نرم افزار Catia انجام شده است.

به منظور ایجاد فاصله بین سیم پیچ ها چهار پایه طراحی و ساخته شد. در طراحی پایه ها امکان تغییر طول آن ها نیز در نظر گرفته شد. میدان مغناطیسی متناوب از طریق اعمال جریان متناوب سینوسی با فرکانس ۵۰ هرتز به دو سیم پیچ مذکور که به طور اتصال سری در مدار قرار گرفته بودند به



شکل (۳) نحوه چیدمان سامانه کشت الکتریکی
Figure (3) Electro culture system arrangement

و ۲۴۰ دقیقه به بذره‌های چمن اعمال شد. با توجه به تحقیقات قبلی (۱) در انتخاب تیمارها تلاش شد گستره وسیعی از شدت‌ها و زمان‌ها مورد بررسی قرار گیرد. شدت‌های انتخاب شده به مراتب کمتر از شدت‌های ارائه شده در بررسی منابع بودند. در تحقیقات مرور شده عمدتاً از میدان‌های ایستا استفاده شده بود که با توجه به عدم تغییر متناوب قطب‌های مغناطیس در آنها، می‌توان گفت از شدت عمل کمتری برخوردار هستند. انتخاب زمان‌ها براساس مضارب ۴ برای ۱۵ دقیقه انجام شد.

سپس نمونه‌ها در ژرminatور با ۱۳ ساعت تاریکی و ۱۱ ساعت روشنایی در دمای ثابت 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. شمارش روزانه بذره‌های جوانه زده، به مدت یک هفته و در زمان مشخص انجام شد. بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها بیش از دو میلی‌متر بود به‌عنوان بذره‌های جوانه‌زده شمارش شدند (۱۶). طول ساقه‌چه حداقل پنج ریز نمونه از هر تکرار اندازه‌گیری شد. برای به‌دست آوردن درصد جوانه‌زنی هر تکرار، تعداد بذره‌های جوانه زده بر تعداد کل بذور تقسیم و سپس در ۱۰۰ ضرب شد. جهت تعیین نرخ جوانه‌زنی^۱ از رابطه ۲ و برای تعیین متوسط زمان جوانه‌زنی^۲ از رابطه ۳ استفاده شد. (۱۸) و (۱۹). در این رابطه، GR نرخ جوانه‌زنی برحسب بذر

۲- اتوترانس واریاک مدل PDGC2-2 (ساخت کشور چین، شرکت Micro) برای کنترل ولتاژ متناوب. این دستگاه گونه‌ای ترانسفورمر الکتریکی است که تنها یک سیم‌پیچ دارد. سیم‌پیچ موجود در اتو ترانسفورماتور عمل سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه موجود در ترانسفورمر را انجام می‌دهد. در پژوهش اخیر واریاک به برق متناوب شهری با فرکانس ۵۰ هرتز و ولتاژ ۲۲۰ ولت متصل شد که با تغییر پیوسته ولتاژ امکان دست‌یابی به جریان‌های مورد نظر و در نتیجه شدت‌های میدان مغناطیسی معین را میسر می‌ساخت.

۳- مولتی‌متر مدل VC9805 (ساخت کشور چین، شرکت Gilsun) برای اندازه‌گیری شدت جریان. مولتی‌متر در مدار به‌طور سری مابین واریاک و سیم‌پیچ هلم هلتر قرار داده شد.

۴- تسلا متر مدل MG-3002 (ساخت کشور تایوان، شرکت Lutron) بر اساس حسگر اثر هال همراه با جبران خودکار دما، برای سنجش میدان مغناطیسی. برای افزایش دقت سامانه، اعمال میدان مغناطیسی روی گستره مورد نظر AC $(150\text{mT} \times 0.01\text{mT})$ تنظیم شد. در شکل ۳ نیز نحوه پیاده‌سازی اجزای مختلف سامانه کشت الکتریکی نشان داده شده است.

میدان الکترومغناطیس با شدت‌های صفر (شاهد)، ۰/۱ و ۱ میلی‌تسلا و در مدت زمان‌های صفر (شاهد)، ۱۵، ۶۰

1- Germination rate

2- Mean Germination Time

وارد می‌شود، احتمال می‌رود که میدان مغناطیس موجب افزایش تبادل یون‌ها و به تبع آن افزایش نرخ جوانه‌زنی بذر چمن شده باشد.

در بررسی جوانه‌زنی بذر آفتابگردان تحت تیمار مغناطیس، فعالیت آنزیم α آمیلاز، دهیدروژناز و پروتئاز در بذرهای تیمار شده به طور معنی‌داری بالاتر از شاهد بود. فعالیت آنزیمی بیشتر در بذرهای تحت تیمار می‌تواند موجب راه‌اندازی^۲ جوانه‌زنی سریع و قدرت اولیه جوانه شود (۲۷).

در شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ نتایج مقایسه میانگین صفات مختلف جوانه زنی در تیمارهای بکار رفته به منظور تعیین مناسب‌ترین تیمار، ارائه شده است. در مورد میانگین زمان جوانه‌زنی به علت معنی‌دار نبودن اثر متقابل فاکتورهای اعمال میدان و مدت زمان، فقط عامل اصلی شدت میدان بررسی شد. اما برای سایر شاخص‌ها مقایسه میانگین‌ها برای اثرات متقابل صورت پذیرفت. اغلب تیمارها نسبت به شاهد نتایج بهتری داشتند. بهترین تیمار، اعمال میدان مغناطیسی ۱ میلی تسلا به مدت ۶۰ دقیقه بود. اگرچه با توجه به اشکال ۴، ۵ و ۷ عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مربوط به اعمال میدان ۱ mT در زمان‌های ۶۰ و ۲۴۰ دقیقه مشاهده می‌شود، اما با در نظرگیری میانگین‌های بدست آمده برای تیمار ۱ و ۶۰ دقیقه و مصرف کمتر انرژی در تیمار مذکور، اعمال میدان مغناطیسی ۱ میلی تسلا به مدت ۶۰ دقیقه تیمار مناسب‌تری است. عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای ۱/۱ و ۱ میلی تسلا در شکل ۶ نیز شایان توجه است. به نظر می‌رسد با در نظرگیری اثرات متقابل شدت و زمان، افزایش شدت میدان، بتواند باعث بهبود شرایط جوانه زنی شود. ولی به احتمال زیاد این موضوع می‌تواند تا شدت مشخصی ادامه یافته و بعد از آن اثرات خنثی یا منفی مشاهده شود. در مقایسه تیمارهای بهینه و شاهد، درصد جوانه‌زنی ۱۲۴ درصد، سرعت جوانه‌زنی ۱۵۵ درصد، میانگین زمان جوانه‌زنی ۸ درصد و طول ساقه‌چه ۶۴ درصد افزایش نشان داد.

جوانه‌زده برروز، n و a, b, c... به ترتیب نشان‌دهنده تعداد بذرهای جوانه‌زده پس از N و ۱، ۲، ۳، ... روز بعد از شروع آنگیری آن‌ها می‌باشد.

$$GR = (a/1) + (b-a/2) + (c-b/3) + \dots + (n-n-1/N) \quad (۲)$$

$$MGT = \frac{\sum(F.N)}{\sum F} \quad (۳)$$

در این رابطه، MGT متوسط زمان جوانه‌زنی برحسب روز، F تعداد بذر جدید جوانه‌زده در روز شمارش N ام و N روز شمارش می‌باشد. طبق روابط ۲ و ۳ درصد جوانه‌زنی، نرخ جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی و در پایان آزمایش طول جوانه‌های هر تیمار تعیین شد. تمامی داده‌های به دست آمده در نرم افزار اکسل^۱ وارد شدند. سپس تمامی این اطلاعات توسط برنامه SPSS در قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمایش فاکتوریل تحلیل شدند و پس از تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن برای تمامی آزمایش‌ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

در جدول ۱ خلاصه‌ای از نتایج تجزیه واریانس برای هر یک از شاخص‌های مورد ارزیابی، آورده شده است. این نتایج نشان دهنده اثر معنی‌داری برخی روش‌های اعمال شده بر شاخص‌های جوانه‌زنی چمن است. شدت میدان الکترومغناطیس اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر نرخ جوانه‌زنی و میانگین زمان آن و هم‌چنین طول ساقه چه داشت. زمان قرارگیری بذرهای چمن در معرض میدان متناوب نیز تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر درصد جوانه‌زنی و نرخ جوانه‌زنی آن داشت. در حالی که این تأثیر برای میانگین زمان جوانه‌زنی و طول ساقه چه مشاهده نشد. اثر متقابل شدت و زمان برای نرخ جوانه‌زنی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. این تأثیر برای درصد جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه در سطح ۵ درصد بود و برای میانگین زمان جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

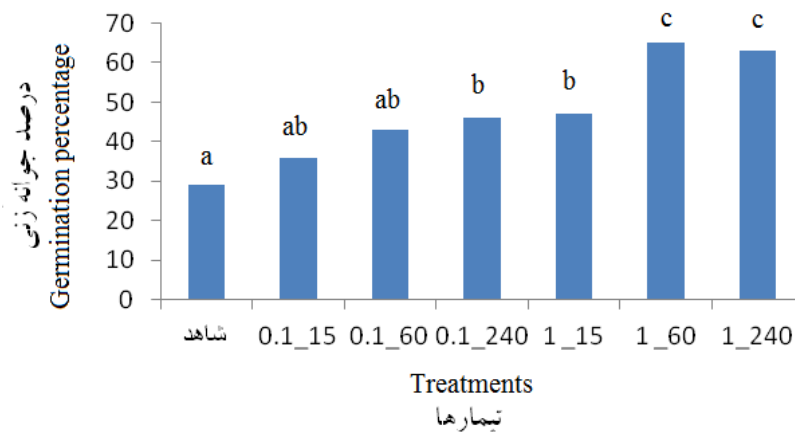
با توجه به اینکه در میدان مغناطیس بر ذرات باردار نیرو

جدول (1) تجزیه واریانس اثر شاخص‌های میدان مغناطیسی بر صفات جوانه‌زنی بذر چمن
Table (1) ANOVA result of percentage germination on grass seed germination traits

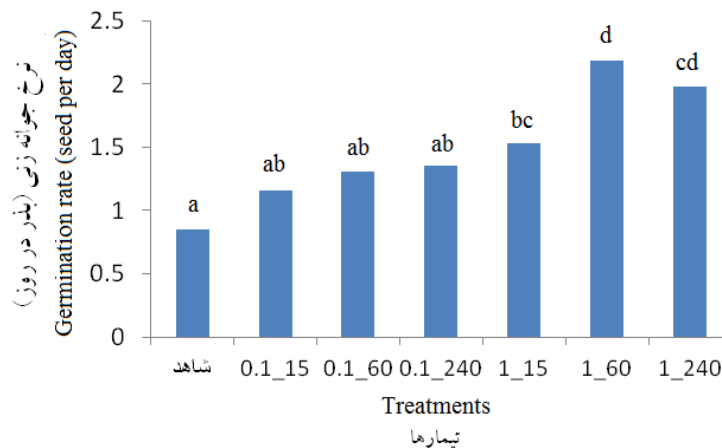
میانگین مربعات (Squares means)				
منابع تغییرات	جوانه‌زنی (درصد)	نرخ جوانه‌زنی (بذر در روز)	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)	طول ساقه چه (سانتی متر)
	Germination (Percentage)	Germination Rate (Seed per day)	Mean Germination Time (Day)	Shoot length (Centimeter)
شدت میدان (میلی تسلا) field intensify (mT)	** 1948	2.48**	2.18**	1.9**
مدت زمان (دقیقه) Time duration (minute)	780.9**	0.88**	1.1	0.8
شدت میدان × زمان field intensify × time	284.9*	0.36**	0.5	0.7*

** معنی‌داری در سطح احتمال 1٪

* معنی‌داری در سطح احتمال 5٪

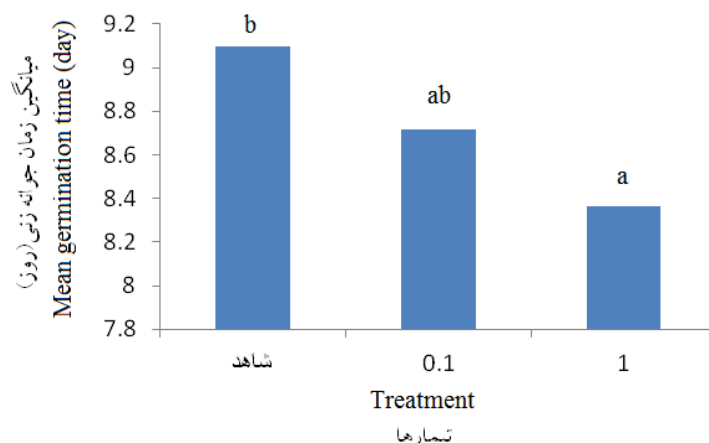


شکل (4) اثر تیمارهای مختلف میدان الکترومغناطیسی بر درصد جوانه‌زنی
Figure (4) Effect of electromagnetic field treatments on germination percentage



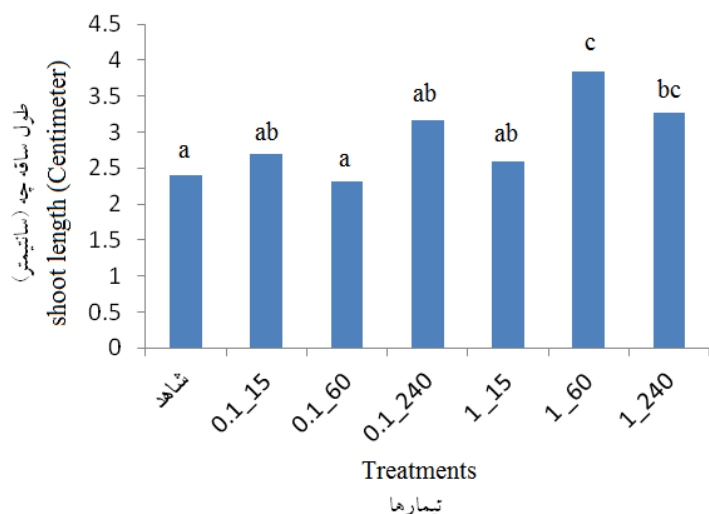
شکل (5) اثر تیمارهای مختلف میدان مغناطیسی بر نرخ جوانه‌زنی
Figure (5) Effect of electromagnetic field treatments on germination rate

آهنگری نژاد و همکاران: طراحی و ساخت سامانه کشت الکتریکی و ...



شکل (۶) اثر تیمارهای مختلف میدان الکترومغناطیسی بر میانگین زمان جوانه زنی

Figure (6) Effect of electromagnetic field treatments on Mean germination time



شکل (۷) اثر تیمارهای مختلف میدان الکترومغناطیسی بر طول ساقه چه

Figure (7) Effect of electromagnetic field treatments on shoot length

هستند. در صورت بهبود شرایط رشد و افزایش نرخ جوانه زنی می توان در مصرف آب نیز صرفه جویی نمود (۱). به نظر می رسد که در معرض قرار گرفتن بذرها در شدت میدان مغناطیسی یک میلی تسلا به مدت ۶۰ دقیقه اثر تحریک کنندگی مطلوبی بر صفات جوانه زنی دارد. تأثیر میدان مغناطیسی بر جوانه زنی بذرها توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است. به عنوان مثال افزایش درصد جوانه زنی بذور گوجه فرنگی در اثر پیش تیمار کوتاه مدت با میدان الکتریکی و مغناطیسی مستقیم دیده شده است (۲۱). اعمال میدان مغناطیسی ایستا در دامنه صفر تا ۲۵۰ میلی تسلا به مدت یک، دو، سه و

در استفاده از روش کشت الکتریکی برای بذر چمن انتخاب مناسب نحوه اعمال میدان (شدت و زمان) اهمیت بسزایی دارد. به طوری که در تحقیق دیگری که در گذشته برای بذر چمن انجام شده بود اثر مثبتی در کاربرد میدان الکترومغناطیس مشاهده نشد. در این تحقیق میدان مغناطیسی متناوب با شدت های ۰/۵ و ۵ میلی تسلا در دو زمان ۵ و ۵۰ دقیقه و میدان ایستا با شدت ۵۰ میلی تسلا و زمان ۱۵۰ دقیقه به نمونه ها اعمال شدند. نتایج نشان داد هیچ اختلاف معنی داری بین تیمارها، در مورد درصد جوانه زنی و میانگین زمان جوانه زنی وجود نداشت. چمن ها هنگام رشد و جوانه زنی دارای نیاز آبی بالایی

مطالعه اثر میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی انجام شده‌اند از میدان مغناطیس ایستا (که توسط آهن‌ربا یا جریان مستقیم ایجاد می‌شود و معمولاً ایجاد آن راحت‌تر است)، استفاده شده است. در حالی که استفاده از میدان متناوب که در این پژوهش به کار رفته است، می‌تواند اثرگذاری متفاوتی داشته باشد. زیرا مثلاً در بسامد ۵۰ هرتز در هر ثانیه ۵۰ دفعه جای قطب‌های N و S تغییر می‌کند. از جمله مزیت‌های دیگر سامانه طراحی شده، ایجاد میدان یکنواخت در فضایی کافی برای نمونه‌ها و امکان به وجود آوردن میدان‌های مختلف با تغییر شدت جریان است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، اعمال میدان مغناطیسی متناوب با استفاده از سامانه طراحی شده جهت تحریک رشد اولیه بذر چمن، به‌عنوان یک عامل محرک رشد غیرشیمیایی، غیرتهاجمی و غیر مخرب امکان‌پذیر است و می‌تواند موجب بهبود شرایط کاشت این گیاه جذاب و دلپذیر شود. تحریک رشد گیاهچه بذر چمن از طریق تیمارهای میدان مغناطیسی ممکن است در مراحل پیشرفته‌تر رشد و نمو گیاه نیز تأثیر مثبت قابل توجهی داشته باشد که نیاز به آزمایش‌های تکمیلی دارد و می‌تواند به‌عنوان رویکردی نوین مورد بررسی بیشتر قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود در ادامه این پژوهش، اثر شدت‌های ۲ تا ۴ میلی‌تسلا در زمان‌های ۶۰ تا ۲۴۰ دقیقه مورد مطالعه قرار گیرد. البته در آزمایش‌های جوانه‌زنی، ممکن است تعداد زیاد تیمارها منجر به کاهش دقت شود و در این زمینه بهتر است تا محدودیت‌های لازم لحاظ شود.

چهار ساعت به آفتابگردان نیز جوانه‌زنی، سرعت رویش، طول گیاه و وزن خشک را افزایش داد. بهترین نتیجه در اعمال میدان‌های ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌تسلا به مدت ۲ ساعت حاصل شد. همچنین تیمار بذر آفتابگردان با میدان مغناطیسی، طول ساقه‌چه را ۶۱ تا ۴۱ درصد، طول ریشه‌چه را ۱۶ تا ۸۰ درصد، طول گیاهچه را ۱۲ تا ۵۷ درصد و شاخص بنیه را ۱۸ تا ۷۴ درصد افزایش داد (۲۷). با طراحی و ساخت سیم پیچ هلم هلتر مطالعات بیومغناطیس بر روی بذر سویا انجام شد و میدان‌های مغناطیس ایستا و متناوب موجب افزایش نرخ جوانه‌زنی بذر سویا شدند. بیشترین افزایش نسبت به شاهد ۱۸ درصد بود که توسط میدان متناوب با شدت ۱/۴ میلی‌تسلا و فرکانس ۶۰ هرتز بدست آمد (۱۱). میدان مغناطیس می‌تواند بر ذرات باردار نیرو اعمال کند و بدین وسیله ممکن است بر تبادل یون‌ها در غشا سلول اثر گذارد. ضمناً احتمال دارد با اثرگذاری بر آنزیم‌ها فرایندهای متابولیکی دچار تغییر شوند. همچنین ممکن است وجود عناصری با خواص مغناطیسی در سلول، اثربخشی میدان مغناطیسی را افزایش دهد به طوری که برخی الکترون‌های جفت نشده با قرارگیری در میدان جفت شوند. احتمال دارد میدان مغناطیسی بر نقل و انتقال سریع‌تر مواد ذخیره بذر به جوانه (رویانه) نقش داشته باشد و با توجه به اهمیت مرحله جوانه‌زنی و استقرار، این امکان وجود دارد که بتوان سرعت استقرار را در بذرهای تیمار شده افزایش داد و با این کار ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، سریع‌تر از مرحله حساس جوانه‌زنی و استقرار عبور کرد. به‌طور کلی تشخیص دقیق سازوکار این تأثیرگذاری در کشت الکتریکی، نیازمند بررسی‌های محققین بیولوژی و سایر حوزه‌های مرتبط است. همچنین در بیشتر پژوهش‌هایی که برای

منابع

1. Abbaszadeh, R., Rostamza, M., Hashemi, R.S., Masoudian, H.M. 2014. Study of magnetic field effect on grass (*Festuca arandinacea*) germination. 1st national ornamental plants congress 21,22 Oct 2014.(in Persian with English abstract).
2. Aladjadjiyan, A. 2003. Use of physical factors as an alternative to chemical amelioration. International Workshop on Agricultural Pollution, 19-21 September 2002, Edirne Turkey. Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE), 4(1): 662-667.
3. Aladjadjiyan, A. 2002. Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of *Zea mais*. Journal of Central European Agriculture, 3(2): 89-94.
4. Belyavskaya, N.A. 2004. Biological effects due to weak magnetic field of plants. Advances in Space Research, 34: 1566 – 1574.
5. Bhardwaj, J., Anand, A., Nagarajan, S. 2012. Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds, Plant Physiology and Biochemistry, 57: 67-73.
6. Cakmak, T., Cakmak, Z.E., Dumlupinar, R., Tekinay, T. 2012. Analysis of apoplastic and symplastic antioxidant system in shallot leaves: Impacts of weak static electric and magnetic field, Journal of Plant Physiology, 169(11): 1066-1073.
7. Cakmak, T., Dumlupinar, R., Erdal, S. 2009. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. Bioelectromagnetics, 31(2): 120-129.
8. Carbonell, M., Martinez, E., Flores, R.M. 2005. Influencia de campos magneticos estacionarios de 125mT y 250 mT en la germinacion de semillas de girasol (in Spanish). Ingenieria de Recursos Naturales y del Ambiente, 2(3): 34-39.
9. Faeghi, P., and Seyedpour, N. 2013. Effects of 50 Hz Electromagnetic Fields on Seed Germination and Early Growth in Wheat (*Triticum* spp.). Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences. 2 (5): 52-54.
10. Feizi, H., Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Shahtahmassebi, N & fotovat, A. 2012. Influence of intensity and exposure duration of magnetic field on behavior of seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agroecology. 3(4): 482-490. (in persian).
11. Gyawali S.R. 2008. Design and construction of Helmholtz coil for biomagnetic studies of soybean. MSc Thesis, University of Missouri – Columbia.

12. Hanafy, M.S., Mohamed, H. A., Abo EL-Hady, E.A. 2006. Effect of low frequency electric field on growth characteristics and protein molecular structure of wheat plant. *Romanian Journal of Biophysics*, 16(4): 253–271.
13. Hozayn, M., and Abdul Qados ,A.M.S. 2010. Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4): 677-682.
14. Isaac Aleman, E., Oliveira Moreira, R., Almeida Lima, A., Chaves Silva, S., González-Olmedo, J.L., Chalfun-Junior, A. 2014a. Effects of 60Hz sinusoidal magnetic field on in vitro establishment, multiplication, and acclimatization phases of *Coffea arabica* seedlings. *Bioelectromagnetics*, 35(6): 414-25.
15. Isaac Aleman E, Mboghli A, Fung Boix Y, Gonzalez-Olmedo J, Chalfun Jr A. 2014b. Effects of EMFs on Some Biological Parameters in Coffee Plants (*Coffea arabica* L.) Obtained by in vitro Propagation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(1): 95 -101.
16. ISTA. 2009. ISTA Rules. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. 47 pp.
17. Karimi, S., Hojati, S.h., Eshghi, S., Nazary Moghaddam, R., Jandoust, S. 2012. Magnetic exposure improves tolerance of fig ‘Sabz’ explants to drought stress induced in vitro, *Scientia Horticulturae*, 137: 95-99.
18. Maguire, I.D. 1982. Speed of germination- Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 22: 176-177.
19. Matthews, S., and Khajeh-Hosseini, M. 2007. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigor differences in seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Science Technology*, 35: 200-212.
20. Matwijczuk, A., Kornarzyński, K., Pietruszewski, S. 2012. Effect of magnetic field on seed germination and seedling growth of sunflower. *International Agrophysics*, 26(3): 271–278.
21. Moon, J.D., Chung, H.S. 2000. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. *Journal of Electrostatics*, 48: 103–114.
22. Omar,A. Alma Ghrabi And Esam. K. F. El Beshehy 2012. Effect of Weak Electro Magnetic Field on Grain Germination And Seedling Growth Of Different Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Cultivars. *Life Science Journal*, 9(4): 1615-1622.
23. Payez, A., Ghanati, F., Behmanesh, M., Abdolmaleki, P., Hajnorouzi, A., Rajabbeigi, E. 2013. Increase of seed germination, growth and membrane integrity of wheat seedlings by exposure to static and a 10-KHz electromagnetic field. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 32(4):417-29.

24. Poinapen, D., Brown, D. C.W., Beeharry, G. K., 2013, Seed orientation and magnetic field strength have more influence on tomato seed performance than relative humidity and duration of exposure to non-uniform static magnetic fields, *Journal of Plant Physiology*, 170(14): 1251-1258.
25. Racuciu, M. 2011. 50 Hz frequency magnetic field effects on mitotic activity in the maize root. *Romanian Journal Physics*, 21(1): 53–62.
26. Sakhnini, L. 2007. Influence of Ca²⁺ in biological stimulating effects of AC magnetic fields on germination of bean seeds, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 310(2): 1032-1034.
27. Vashisth, A., and Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal Plant Physiology*, 167: 149-156.
28. Zamiran, A., Saffari, V. R., Maleki, M. R. 2013. Seed Germination Enhancement of Zinnia (*Zinnia elegans*) Using Electromagnetic Field. *Journal of Ornamental Plants*, 3: 203-214.