

تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر جوانه‌زنی، رشد اولیه و فعالیت برخی آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی بذر رازیانه^۱

*لطیفه پوراکبر، حسن صدقی، مجید اسدی سامانی: دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم

چکیده

بهنظور بررسی میدان‌های الکترومغناطیسی روی صفات جوانه‌زنی، بذرهای خشک و مرطوب گیاه رازیانه به مدت ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در معرض میدان‌های مغناطیسی با شدت‌های ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌تسلا قرار گرفت. در بذرهای تیمار شده رازیانه با میدان‌های مغناطیسی، سرعت جوانه‌زنی (GR)، شاخص جوانه‌زنی (GI)، ضریب سرعت جوانه‌زنی (GRC)، طول دانه‌رست‌ها، وزن خشک و تر دانه‌رست‌ها تحت شرایط کشت آزمایشگاهی افزایش یافت. همچنین در بذرهای در حال جوانه‌زنی تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی فعالیت آنزیم‌های آلفا آمیلاز، دهیدروژناز و پروتئناز به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. فعالیت آنزیمی بیشتر در بذرهای در حال جوانه‌زنی تیمار شده با میدان مغناطیسی می‌تواند به‌عنوان محرکی برای جوانه‌زنی سریع و نیروی اولیه جوانه‌زنی به‌کار رود.

مقدمه

همه گیاهان در روی زمین تحت میدان الکتریکی و مغناطیسی زندگی می‌کنند زیرا زمین یک مغناطیس است و میدان الکتریکی بین زمین و ابرها وجود دارد [۵]. در همین راستا همه موجودات زنده طی مراحل تکامل، عمل میدان مغناطیسی زمین (ژئومغناطیس) را تجربه کرده‌اند که جزئی طبیعی از محیط زیست آن‌هاست [۶]. بیومغناطیس به‌طور گسترده‌ای در مزارع کشاورزی به‌کار گرفته می‌شود و اثر آن بر رشد گیاه بسیار جالب است. یکی از عمده‌ترین مزایای استفاده از روش‌های تحریک مغناطیسی نسبت به روش‌های سنتی، فقدان باقیمانده‌های سمی در این فرایندها است [۱۴]. اغلب محققان با تحریک بذر با شدت‌های مختلف نشان داده‌اند که میدان مغناطیسی جوانه‌زنی و رشد دانه‌رست‌ها را افزایش می‌دهد. برای مثال به‌کارگیری میدان مغناطیسی در بذرهای خوابیده موجب افزایش رشد دانه‌رست‌های گندم، جو، ذرت، گوجه فرنگی و درختان میوه‌ای و دیگر گونه‌های درختی شده است [۸].

بررسی تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر روی باقلای مصری سفید^۲ و تربچه^۳ نشان داده است که میدان‌های مغناطیسی جوانه‌زنی را در نخود و تربچه تحریک کرده و تأثیری مثبت بر توسعه گیاه و تولید سالانه بذر داشته و

پنیرش ۹۰/۱۰/۷

دریافت ۹۰/۲/۲۴

l.pourakbar@urmia.ac.ir

*نویسنده مسئول

۱. *Feoniculum vulgare* Mill.

۲. lupine White

۳. Radish

محصول سالانه را افزایش می‌دهد [۲۲]، [۲۴]. همچنین نشان داده شده است که میدان مغناطیسی موجب افزایش جوانه‌زنی، وزن تر، طول ساقه در دو کولتیوار گندم شده [۱۴] و تأثیر مثبتی بر روی شاخص‌های بنبه بذر دارد [۲۹].

همچنین نشان داده شده است که میدان مغناطیسی تقسیم سلولی، تطویل و تمایز سلولی را بهبود می‌بخشد و بر بسیاری از فاکتورهای شیمیایی دخیل در جوانه‌زنی اثر می‌گذارد [۷]. میدان مغناطیسی موجب تغییرات اساسی در غلظت یونی عرض غشای سلولی شده و از این طریق فشار اسمزی و نهایتاً میزان آب ورودی به بذر را کنترل می‌کند و بدین ترتیب موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر می‌شود [۲۶].

از آنجا که گیاهان دارویی نقش مهمی در سیستم سلامتی جمعیت بزرگی از مردم جهان بازی می‌کنند، تحقیقات و به‌کارگیری روش‌هایی برای بهبود تکثیر و به‌کارگیری آن‌ها اهمیت زیادی دارد. از اهداف این پژوهش بررسی اثرات احتمالی شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی و طول زمان‌های اعمال آن بر روی بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، رشد و فعالیت آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی بذر گیاه رازیانه بود.

مواد و روش‌ها

بذرهای رازیانه از مرکز فروش بذرهای گیاهان دارویی اصفهان تهیه گردید و در دو وضعیت خشک و تر (بذرهای قبل از اعمال میدان مغناطیسی به مدت ۶ ساعت در داخل آب مقطر خیس‌انده شده بودند) به مدت ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در معرض شدت میدان الکترومغناطیسی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌تسلا در آزمایشگاه ابر رسانی دانشگاه ارومیه قرار گرفت. برای اعمال تیمار از تولید کننده میدان مغناطیسی ساخت ایران با قدرت تولید میدان مغناطیسی تا ۲ تسلا، برای ایجاد شدت میدان‌های ذکر شده از منبع تغذیه AP ۱۰۰۹۰ (دی‌سی پاورسپلی^۱) ساخت انگلیس و برای سنجش میدان مغناطیسی ایجاد شده از دستگاه تسلا متر مدل فیو^۲ ساخت آلمان با قابلیت اندازه‌گیری ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌تسلا استفاده شد. بعد از قرار گرفتن بذرهای تیمارهای مورد نظر، با هیپوکلریت ۵٪ ضد عفونی شد. سپس دسته‌های ۵۰ تایی از بذرهای مذکور تهیه و درون ظروف پتری دیش استریل که حاوی کاغذ صافی و آب مقطر بود در ۳ تکرار قرار گرفت و به مدت ۱۰ روز درون انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. برای تیمار شاهد بذرهای در دو وضعیت خشک و تر و بدون اعمال هر گونه میدان مغناطیسی کشت شدند. در این مدت در صورت کمبود رطوبت، آب مقطر به آن‌ها اضافه شد. هر روز تعداد بذرهای جوانه‌زده شمارش شد. بعد از ۱۰ روز، پتری دیش‌ها از انکوباتور خارج و درصد و شاخص جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه چه و ریشه چه، وزن تر و خشک دانه رست‌ها اندازه‌گیری شد. شاخص بنبه دانمرست‌ها با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد [۵]:

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد کل بذرهای جوانه زده بعد از روز دهم}}{\text{تعداد کل بذرهای کشت شده در هر پتری}} \times 100$$

۱. DC power supply

۲. PHYWE

$$\text{شاخص جوانه‌زنی} = \frac{\sum niTi}{N}$$

$$\text{ضریب سرعت جوانه‌زنی} = \frac{\sum ni}{\sum niTi} \times 100$$

ni = تعداد بذر جوانه زده در روز Ti N = تعداد کل بذرهای کشت شده

همچنین ویگور دانهرست‌ها (شاخص بنیه گیاه) بر اساس فرمول عبدال باکی^۱ و آندرسون^۲ [۱] محاسبه شد:

طول کل (سانتی‌متر) × درصد جوانه‌زنی = شاخص بنیه گیاهچه I

وزن خشک (گرم) × درصد جوانه‌زنی = شاخص بنیه گیاهچه II

میزان فعالیت آنزیم‌های مرتبط با فرایندهای جوانه‌زنی در بذر گیاهان شاهد و تیمار یافته با میدان مغناطیسی،

۲۴ ساعت بعد از جذب آب مقطر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری فعالیت آلفا آمیلاز از روش روبرت^۳ و وایت هاوس^۴ [۲۷] استفاده گردید. یک گرم بذر جوانه زده توزین و با ۳ میلی‌لیتر آب مقطر سرد شده با یخ در داخل هاون سرد له شد. ماده همگن حاصل بعد از صاف کردن بمدت ۵ دقیقه با نیروی ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. از محلول صاف رویی برای سنجش فعالیت آنزیم استفاده شد. به تعداد لوله‌های محتوی آنزیم (تکرار*تیمار) ظرف تهیه شده و در هر کدام ۰/۵ میلی‌لیتر معرف ید و ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد. سپس سیستم زیر برقرار گردید: در هر لوله آزمایش ۳ میلی‌لیتر محلول نشاسته ۱٪، ۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲ میلی‌لیتر محلول آنزیم استخراجی اضافه و سریع به هم زده شد. پس از گذشت ۵ دقیقه ۱ میلی‌لیتر از محلول مذکور، برداشته و به داخل ظرف محتوی ۰/۵ میلی‌لیتر ید و ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد. نشاسته در مجاورت محلول فوق رنگ آبی را ظاهر کرد. جذب تمام نمونه‌ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل KLB ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد. میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز با استفاده از منحنی استاندارد نشاسته بر حسب درصد نشاسته تجزیه شده به‌وسیله آنزیم تعیین شد.

فعالیت آنزیم پروتئاز با استفاده از روش کونیتز^۵ [۱۷] اندازه‌گیری شد. ۱ گرم از دانه‌های در حال جوانه‌زنی در ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۲ مولار له شد و در دور ۱۲۰۰۰ و دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس از محلول رویی برای سنجش فعالیت آنزیمی استفاده شد. ۰/۲ میلی‌لیتر بافر فسفات به ۰/۱ میلی‌لیتر با pH ۷/۶ از محلول رویی اضافه کرده و سپس حجم آن با استفاده از آب مقطر به ۱ میلی‌لیتر رسانده شد. واکنش با اضافه کردن ۱ میلی‌لیتر کازئین ۱ درصد به‌عنوان سوسترا آغاز شد. بعد از انکوبه کردن لوله‌ها در دمای ۵۰ درجه برای ۲ ساعت واکنش با اضافه کردن ۳ میلی‌لیتر محلول TCA (تری کلرو استیک اسید) ۵٪ متوقف شد. سپس در دور ۱۴۰۰۰ و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. مقدار پروتئین محلول رویی به‌وسیله روش لوری [۱۷] با استفاده از آلومین سرم گاوی به‌عنوان استاندارد اندازه‌گیری شد.

۱ Abdul- Baki

۲. Anderson

۳. Roberts

۴. White house

۵. Kunitz

فعالیت آنزیم دهیدروژناز با استفاده از روش کیتوک^۱ و لاو^۲ [۱۶] تعیین شد. برای تخمین فعالیت دهیدروژنازی، دانه‌ها به دو بخش برش داده شدند. ۵ محور جنینی از هر کدام از دانه‌ها در ۴ سری آماده و ۱ میلی‌لیتر محلول ۲،۳ و ۵ تری فنیل تترازولیوم کلراید ۱٪ در داخل بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH، ۷/۲ اضافه شد و به مدت ۲ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در و محیط تاریک قرار داده شد. سپس محلول اضافه شده تخلیه و محورهای دانه با استفاده از آب مقطر شستشو داده شدند. در ادامه محورهای دانه در متیل سلوسولو^۳ به مدت یک شبانه روز خیسانده و تا استخراج فورمازان قرمز رنگ شده بر روی شیکر قرار گرفتند. در آخر شدت رنگ تولید شده با استفاده از اسپکتروفوتومتر در ۴۸۰ نانومتر سنجیده شد.

آنالیزهای آماری

برای آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها از برنامه‌های رایانه‌ای SPSS و اکسل استفاده شد. در همه نمودارها نتایج به صورت مقادیر میانگین سه تکرار بیان شد. بارهای عمودی نشان‌دهنده $\pm SE$ برای سه تکرار است. اختلاف بین تیمارها با استفاده از آنالیز واریانس آنوا^۴ در سطح آماری ۵٪ ($p \leq 0.05$) انجام شد.

نتایج

نتایج حاصل از تأثیر میدان مغناطیسی بر درصد، شاخص، ضریب و سرعت جوانه‌زنی، طول کل دانه‌رست‌ها و وزن تر و خشک دانه رست‌ها در جدول ۱ آورده شده است. طبق این جدول: میدان مغناطیسی در شدت ۵۰ میلی‌تسلا در بازه زمانی ۳۰ دقیقه در وضعیت مرطوب بذر نه تنها تأثیری بر درصد و شاخص جوانه‌زنی نداشت، بلکه نسبت به شاهد کمتر بود، ولی در بقیه شدت‌های میدان مغناطیسی و در تمام بازه‌های زمانی، درصد و شاخص جوانه‌زنی نسبت به شاهد و وضعیت خشک بذر افزایش معنی‌دار یافت که در بین شدت‌ها، شدت ۲۵ میلی‌تسلا و ۷۵ میلی‌تسلا بیش‌ترین تأثیر را نشان داد. میدان مغناطیسی در شدت ۵۰ میلی‌تسلا در تمام بازه‌های زمانی و در ۷۵ میلی‌تسلا در بازه‌های زمانی ۳۰ و ۶۰ دقیقه در وضعیت خشک بذر تأثیری بر شاخص و درصد جوانه‌زنی نشان نداد، ولی در بقیه شدت‌ها و بازه‌های زمانی فاکتورهای نام‌برده نسبت به شاهد افزایش نشان داد.

بررسی تأثیر میدان مغناطیسی بر سرعت جوانه‌زنی حاکی از افزایش معنی‌دار این ضریب نسبت به شاهد در هر دو وضعیت مرطوب و خشک بود که بیش‌ترین اثر در وضعیت مرطوب بذر در شدت ۵۰ میلی‌تسلا در بازه زمانی ۳۰ دقیقه و کمترین اثر در شدت ۷۵ میلی‌تسلا در بازه زمانی ۱۵ دقیقه و در وضعیت خشک بذر بیش‌ترین اثر در شدت ۵۰ میلی‌تسلا در بازه زمانی ۱۵ دقیقه و کمترین اثر در ۷۵ میلی‌تسلا در بازه زمانی ۳۰ دقیقه مشاهده شد.

۱. Kittock ۲. Law ۳. methyl cellosolve ۴. ANOVA

میدان مغناطیسی در تمام شدت‌ها و بازه‌های زمانی تأثیر معنی‌داری نسبت به شاهد بر روی ضریب سرعت جوانه‌زنی نشان نداد. بررسی اثر میدان مغناطیسی بر طول کل دانه‌رست‌ها نشان داد که تمامی شدت‌های میدان مغناطیسی در کل بازه‌های زمانی اعمال شده اثر مثبت بر طول دانه‌رست‌ها داشته و در هر دو وضعیت بذر، طول کل دانه‌رست‌ها نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت که این افزایش در تمامی شدت‌ها به‌غیر از ۵۰ میلی‌تسلا در بازه زمانی ۱۵ دقیقه در وضعیت مرطوب بذر نسبت به وضعیت خشک بیش‌تر بود. حداکثر اثر در وضعیت مرطوب بذر در شدت ۲۵ میلی‌تسلا در بازه زمانی ۳۰ دقیقه مشاهده شد.

میدان مغناطیسی در تمام شدت‌ها و بازه‌های زمانی اعمال شده اثر مثبت بر روی وزن تر دانه‌رست‌ها داشت و در هر دو وضعیت نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد.

بررسی اثر میدان مغناطیسی بر وزن خشک حاکی از آن بود که در وضعیت تر بذر به‌غیر از شدت ۲۵ میلی‌تسلا و در بازه‌های زمانی ۳۰ و ۶۰ دقیقه و در وضعیت خشک بذر در بازه زمانی ۶۰ دقیقه بقیه شدت‌ها و بازه‌های زمانی اعمال شده اثر مثبت بر وزن خشک دانه‌رست‌ها داشته و نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار مشاهده شد.

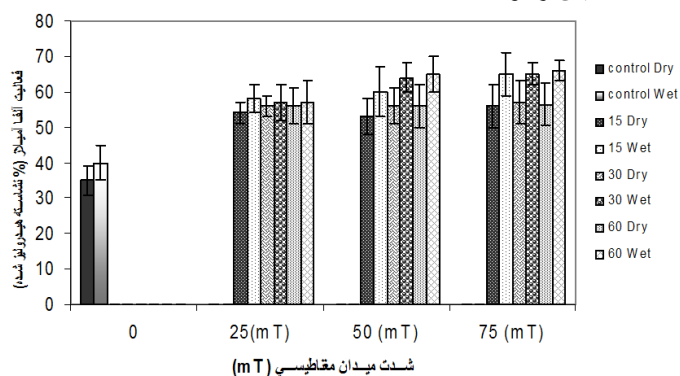
بررسی اثر میدان مغناطیسی بر شاخص بنیه I گیاه رازیانه نشان دهنده آن است که با اعمال میدان مغناطیسی در تمام شدت‌ها و بازه‌های زمانی شاخص فوق افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. حداکثر اثر بر روی این شاخص در وضعیت مرطوب بذر در شدت ۲۵ میلی‌تسلا و با بازه زمانی ۱۵ دقیقه و کمترین اثر در این وضعیت خشک بذر در شدت ۲۵ میلی‌تسلا و بازه زمانی ۱۵ دقیقه مشاهده گردید.

بررسی اثر میدان مغناطیسی بر شاخص بنیه II گیاه رازیانه نشان‌دهنده آن است که با اعمال میدان مغناطیسی در تمام شدت‌ها و بازه‌های زمانی شاخص فوق افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. حداکثر اثر بر روی این شاخص در وضعیت مرطوب بذر در شدت ۲۵ میلی‌تسلا و با بازه زمانی ۱۵ دقیقه و کمترین اثر در وضعیت مرطوب بذر در شدت ۲۵ میلی‌تسلا و بازه زمانی ۶۰ دقیقه مشاهده شد.

بررسی تأثیر میدان مغناطیسی با بازه‌های مختلف زمانی بر روی فعالیت آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم α -آمیلاز (نمودار ۱) و دهیدروژناز (نمودار ۲) با اعمال میدان مغناطیسی در تمام بازه‌های زمانی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشته است. همچنین فعالیت آنزیم‌های فوق در وضعیت مرطوب بذرهای شاهد نسبت به وضعیت خشک شاهد بیش‌تر بود، که این افزایش فقط در آنزیم دهیدروژناز معنی‌دار بود.

فعالیت آنزیم پروتئاز (نمودار ۳) با اعمال میدان مغناطیسی، در تمام شدت‌ها در بازه‌های زمانی ۱۵ و ۶۰ دقیقه در وضعیت خشک و در شدت ۲۵ میلی‌تسلا در بازه زمانی ۳۰ دقیقه فقط نسبت به شاهد خشک افزایش معنی‌دار داشت ولی در تمام شدت‌ها و بازه‌های زمانی دیگر فعالیت این آنزیم هم نسبت به شاهد خشک و هم نسبت

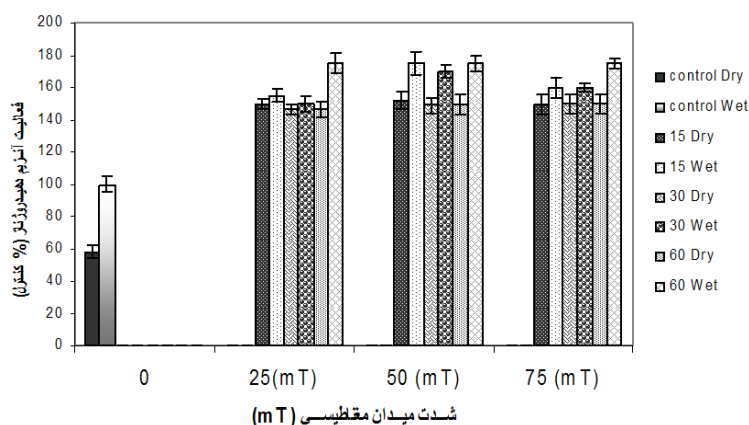
به شاهد مرطوب افزایش نشان داد. همچنین فعالیت آنزیم فوق در وضعیت مرطوب بذرهای شاهد نسبت به وضعیت خشک بذرهای شاهد بیشتر بود.



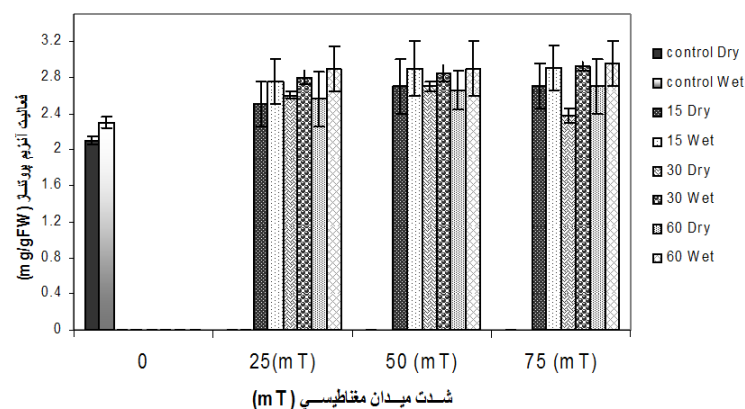
نمودار ۱. تغییرات در فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز ۲۴ ساعت بعد از آماس در بذرهای شاهد و تحت تیمار شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی به مدت ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در دو وضعیت مختلف مرطوب و خشک بذر رازیانه. ستون‌ها نماینده میانگین سه تکرار و بارهای عمودی نشان‌گر انحراف استاندارد است و میزان معنی‌دار تغییرات در گروه تجربی در مقایسه با شاهد بر اساس آزمون آنوا در سطح ۰/۰۵ است.

جدول ۱. میانگین صفات جوانه‌زنی در گیاه رازیانه تحت شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی و دو وضعیت خشک و مرطوب بذر. علامت* معرف تفاوت آماری در سطح ۰/۰۵ ($p < 0.05$) بر اساس آزمون آنوا است.

شاخص بنیه II	شاخص بنیه I	وزن خشک دانه رست‌ها (گرم)	وزن تر دانه رست‌ها (گرم)	طول کل دانه رست‌ها (سانتی‌متر)	سرعت جوانه زنی	ضریب سرعت جوانه زنی	شاخص جوانه زنی	درصد جوانه‌زنی (%)	وضعیت بذر	زمان (دقیقه)	شدت میدان مغناطیسی (میلی‌تسلا)
۱/۹۳۶	۴۶۰/۲۴	۰/۰۲۲	۰/۳۶۴	۵/۲۳	۳/۴۴	۱۳/۳	۳۶/۶۱	۸۸	خشک	-	شاهد
۱/۸۴۸	۴۳۶/۴۸	۰/۰۲۱	۰/۳۴۷	۴/۹۶	۳/۶	۱۳/۱	۳۸	۸۸	مرطوب	-	
۲/۸۵۲*	۸۱۰/۵۶*	۰/۰۴۲*	۰/۵۷۲*	۹/۶۸*	۴/۷۳*	۱۳/۰۶	۴۳/۵*	۹۲	خشک	۱۵	۲۵
۳/۲۹۸*	۱۲۳۵/۷*	۰/۰۳۴*	۰/۵۳۱*	۱۲/۷۲*	۴/۹*	*۱۳/۵	۴۱/۱۶*	۹۷*	مرطوب		
۲/۸۵۲*	۱۱۳۵/۲۵*	۰/۰۳۱*	۰/۵۰*	۱۲/۳۴*	۴/۹*	۱۳/۳۳	۳۸/۳۸	۹۲	خشک	۳۰	۲۵
۲/۶۶۸*	۱۲۱۹*	۰/۰۲۹	۰/۴۷*	۱۳/۲۵*	۴/۷۳*	*۱۳/۷	۴۰*	۹۲*	مرطوب		
۲/۴۳*	۸۷۳*	۰/۰۲۷	۰/۴۲۱*	۹/۷*	۴/۹*	۱۲/۷	۳۶/۱	۹۰	خشک	۶۰	۲۵
۲/۴۱۸*	۱۰۵۰/۹*	۰/۰۲۶	۰/۴۶۵*	۱۱/۳*	۴/۹۸*	۱۳/۵	۴۱*	۹۳*	مرطوب		
۲/۷۲۸*	۱۰۰۳/۲*	۰/۰۳۱*	۰/۵۴۳*	۱۱/۴*	۵/۲۵*	۱۲/۹	۳۶	۸۸	خشک	۱۵	۵۰
۲/۴۷*	۱۰۳۳/۶*	۰/۰۲۶	۰/۵۴۴*	۱۰/۸۸*	۴/۷۶*	۱۳/۶	۴۱/۳۶*	۹۵*	مرطوب		
۲/۴۳۶*	۱۰۰۷/۴۶*	۰/۰۲۸*	۰/۴۷۵*	۱۱/۵۸*	۴/۷۶*	۱۳/۲	۳۶/۴۴	۸۷	خشک	۳۰	۵۰
۲/۳۲۴*	۱۰۹۷/۲۶*	۰/۰۲۸*	۰/۴۵*	۱۳/۲۲*	۵/۲۵*	۱۳/۴۶	۳۵	۸۳	مرطوب		
۲/۶۴*	۹۳۹/۸۴*	۰/۰۳۰*	۰/۴۷۹*	۱۰/۶۸*	۴/۹*	۱۳/۲۳	۳۹/۳۸*	۸۸	خشک	۶۰	۵۰
۲/۶۰۴*	۱۱۹۳/۱۹*	۰/۰۲۸*	۰/۴۴۳*	۱۲/۸۳*	۵/۱*	*۱۳/۷۳	۴۵/۹۲*	۹۳*	مرطوب		
۲/۶۶۸*	۱۰۷۸/۲۴*	۰/۰۲۹*	۰/۴۳۷*	۱۱/۷۲*	۴/۵۳*	۱۳/۵	۳۸/۴۷*	۹۲	خشک	۱۵	۷۵
۲/۷۱۶*	۱۲۰۴/۷۴*	۰/۰۲۸*	۰/۴۷۱*	۱۲/۴۲*	۴/۷۳*	*۱۳/۸	۳۹/۹۵*	۹۷*	مرطوب		
۲/۹۰۴*	۱۰۴۷/۲*	۰/۰۳۳*	۰/۴۹۱*	۱۱/۹*	۴/۲۱*	۱۳/۳	۳۷/۷۴	۸۸	خشک	۳۰	۷۵
۲/۷۶*	۱۱۵۷/۳۶*	۰/۰۳۰*	۰/۴۶۱*	۱۲/۵۸*	۵/۰۲*	۱۳/۰۶	۴۲*	۹۲*	مرطوب		
۲/۳۴۹*	۹۹۱/۸*	۰/۰۲۷*	۰/۴۰۲*	۱۱/۴*	۴/۶*	۱۳/۱	۴۰*	۸۷	خشک	۶۰	۷۵
۲/۶۰۴*	۱۱۸۵/۷۵*	۰/۰۲۸*	۰/۴۶۵*	۱۲/۷۵*	۵/۰۶*	۱۳/۳	۴۲/۶۴*	۹۳*	مرطوب		



نمودار ۲. تغییرات در فعالیت آنزیم دهیدروژناز ۲۴ ساعت بعد از آماس در بذره‌های شاهد و تحت تیمار شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی به مدت ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در دو وضعیت مختلف مرطوب و خشک بذر رازیانه. ستون‌ها نماینده میانگین سه تکرار و بارهای عمودی نشان‌گر انحراف استاندارد است و میزان معنی‌دار تغییرات در گروه تجربی در مقایسه با شاهد بر اساس آزمون آنوا در سطح ۰/۰۵ است.



نمودار ۳. تغییرات در فعالیت آنزیم پروتئاز ۲۴ ساعت بعد از آماس در بذره‌های شاهد و تحت تیمار شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی به مدت ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در دو وضعیت مختلف مرطوب و خشک بذر رازیانه. ستون‌ها نماینده میانگین سه تکرار و بارهای عمودی نشان‌گر انحراف استاندارد است و میزان معنی‌دار تغییرات در گروه تجربی در مقایسه با شاهد بر اساس آزمون آنوا در سطح ۰/۰۵ است.

بحث

اعمال میدان مغناطیسی در شدت‌ها و بازه‌های زمانی مختلف موجب تحریک و افزایش جوانه‌زنی و عمل‌کرد بذره‌های رازیانه شد که این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات انجام گرفته بر روی بذره‌های دیگر مثل آفتابگردان، گندم و ذرت همسویی نشان می‌دهد [۱۱]، [۱۲]، [۲۹]. همچنین تحقیقات نشان داده است که اعمال کوتاه مدت میدان مغناطیسی به بذرها، جوانه‌زنی و رشد دانه‌رست‌های آن‌ها را تسریع می‌کند [۳]، [۱۴].

پادلسنی^۱ و همکاران [۲۴] نشان داده اند که اعمال میدان مغناطیسی موجب افزایش بنیه گیاه در بذرهای نخودفرنگی شده و از طریق تحریک رشد دانه‌رست‌های جوان رشد یافته از بذرهای تحریک شده با میدان مغناطیسی، موجب توسعه طولانی‌تر ریشه‌ها و هیپوکوتیل می‌گردد. همچنین داو لینگ^۲ و همکاران [۸] نشان داده‌اند که اعمال میدان مغناطیسی به‌شدت KA/m ۴۸-۱۱۵ بر روی بافت‌های جدا کشت شده^۳ پرونوس ماریتیم^۴ موجب تحریک نوزایی و رشد بافت‌های جداکشت شده، گردیده و ریشه گیاهان رشد یافته از بافت‌های کشت شده تحت تیمار میدان مغناطیسی، طولانی‌تر از شاهد بوده است.

اعمال میدان مغناطیسی موجب می‌شود که جوانه‌زنی بذرها ۲ تا ۳ روز زودتر از شاهد رخ دهد. یکی از فرضیه‌های احتمالی برای توضیح اثرات مثبت مشاهده شده از میدان مغناطیسی را می‌توان در خواص پارامغناطیسی برخی اتم‌های سلول‌های گیاهی یافت که اعمال میدان مغناطیسی خارجی به این اتم‌ها موجب چرخش آن‌ها در راستای میدان مغناطیسی می‌شود. خواص مغناطیسی مولکول‌ها و توانایی آن‌ها در جذب و سپس تغییر انرژی میدان مغناطیسی به انواع دیگر انرژی و انتقال این انرژی به ساختارهای دیگر سلول‌های گیاهی، منجر به فعال شدن آن‌ها می‌شود [۴]. همچنین میدان مغناطیسی موجب تحریک تقسیم و تطویل سلولی و در نتیجه موجب افزایش طول ریشه و هیپوکوتیل می‌گردد [۷]. تحقیقات گراسیا^۴ و آرز^۵ [۱۳] بر روی بذرهای کاهو نشان داده است که میدان مغناطیسی به‌شدت ۱ تا ۱۰ میلی‌تسلا موجب افزایش جذب آب در بذرها شده و در نتیجه موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی در بذرها می‌شود.

افزایش طول ریشه و هیپوکوتیل به‌عنوان بنیه بیش‌تر که گاهی اوقات قدرت رشد گیاهان نیز نامیده می‌شود، منجر به پویایی رشد و توسعه دانه‌رست‌ها و نهایتاً افزایش عملکرد سالانه گیاه می‌شود [۲۴].

در این پژوهش نشان داده شد که فعالیت برخی آنزیم‌های دخیل در امر جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. در تغییرات مشاهده شده در فعالیت آنزیم‌ها باز آب به‌عنوان عاملی اصلی می‌تواند نقش داشته باشد [۱۰].

آنزیم α -آمیلاز نقش بسیار مهمی در هیدرولیز نشاسته آندوسپرم به قندها دارد که انرژی لازم برای رشد ریشه‌ها و ساقه را تامین می‌کند [۹]. آمیلازها (آندو ۱ و ۴-D-گلوکان گلودهیدرولاز) از آنزیم‌های هیدرولازی است که در تمام موجودات زنده یافت می‌شود. این آنزیم به باندهای اورتو-گلوکوزیدی در آمیلوز که یک پلی‌ساکارید ذخیره‌ای عمده در بذرهای انواع گیاهان است، اتصال می‌یابد و نقشی کلیدی در متابولیسم کربوهیدرات‌های بذرهای در حال توسعه و جوانه‌زنی دارد [۲۸]. تحقیقات نشان داده است که تحریک کربوهیدرات‌ها در بذرهای در حال جوانه‌زنی از منابع عمده انرژی است و سوبستری مناسب برای مسیرهای دیگر مورد نیاز برای تکمیل جوانه‌زنی بذر را تامین می‌کند [۸]، [۱۹]. در این مورد نتایج این تحقیق با نتایج به‌دست آمده توسط واشیتا^۶، ناگراجان^۷ همکاران [۲۹] بر روی بذر آفتابگردان، و آکسیونو^۸ همکاران [۲] بر روی بذر گندم همخوانی نشان می‌دهد.

۱. Podlesny	۲. Dao-Liang	۳. <i>Prunus maritima</i>	۴. Gracia	۵. Arza
۶. Vashita	۷. Nagarajan	۸. Aksyonov		

طبق نتایج به‌دست آمده فعالیت آنزیم پروتئاز در بذرهای تحت تیمار نسبت به شاهد بیش‌تر بود. آنزیم‌های پروتئیکی که پروتئاز نیز نامیده می‌شوند، آنزیم‌هایی هستند که موجب شکستن باندهای پپتیدی در پروتئین‌های هدف می‌شوند. این آنزیم‌ها به‌طور گسترده‌ای در همه گیاهان توزیع شده‌اند [۱۵]. پروتئازها در تجزیه پروتئین‌ها در طی مراحل جوانه‌زنی سریع و زود هنگام و پروتئولیز پلاستیدها و تجزیه پروتئین‌های پیشگام در میتوکندری گیاه دخیل‌اند [۲۱]. با آغاز فعالیت آندوپروتئازها، پروتئین‌های ذخیره‌ای نامحلول در آب به پپتیدهای محلول تبدیل می‌شوند و این پپتیدها توسط آگزوپپتیدازها هیدرولیز می‌گردند [۲۹]. در این مورد نتایج حاصل با گزارش‌های مختلف در این زمینه همسویی نشان می‌دهد [۲۹].

فعالیت آنزیم دهیدروژناز در بذرهای تحت تیمار افزایش نشان داد که این نتیجه با نتایج کارهای انجام گرفته بر روی بذر هویج [۲۰]، گوجه فرنگی [۲۳] و آفتابگردان [۲۹] همسویی نشان می‌دهد. می‌توان گفت که اعمال میدان مغناطیسی بر روی بذر رازیانه، موجب افزایش توسعه گیاه و رشد نهایی دانه‌رست‌های رشد یافته از بذرها می‌شود و با افزایش رشد هیپوکوتیل و ریشه‌ها موجب افزایش شاخص بنیه می‌گردد. این یافته‌ها نیز با کارهای تحقیقی انجام گرفته بر روی بذرهای نخودفرنگی [۲۳]، آفتابگردان [۲۹] و سس و بونجه [۵] همسویی نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌گر آن است که بر حسب شاخص بنیه I و شاخص بنیه II که به‌عنوان قدرت رشد گیاهان شناخته می‌شود و نهایتاً بازده عمل‌کرد سالانه گیاه را تعیین می‌کند، شدت میدان مغناطیسی ۲۵ میلی‌تسلا در وضعیت مرطوب بذر و بازه زمانی ۱۵ دقیقه بهترین اثر را بر روی بذر رازیانه نشان می‌دهد. پس در نتیجه اعمال میدان مغناطیسی موجب افزایش شاخص‌های رشد بالاخص طول ریشه در دانه‌رست‌های رازیانه می‌شود که این عمل می‌تواند در کسب رطوبت و مواد غذایی از محیط نقش به‌سزایی داشته باشد. از طرف دیگر با افزایش فعالیت آنزیم‌های جوانه‌زنی و شاخص‌های جوانه‌زنی، اعمال میدان مغناطیسی می‌تواند به‌عنوان محرکی برای جوانه‌زنی سریع و نیروی اولیه جوانه‌زنی و افزایش بنیه بذرها بالاخص بذرهای گیاهان دارویی برای کشت انبوه آن‌ها استفاده کرد.

منابع

1. A. A. Abdul-Baki, J. D. Anderson, "Vigour determination in Soyabean by multiple criteria", *Crop Science*, 10 (1973) 31-34.
2. S. I. Aksyonov, A. A. Bulychev, T. Yu. Grunina, S. N. Goryachev, V. B. Turovetsky, "Effects of ELF-EMF treatment on wheat seeds at different stages of germination and possible mechanisms of their origin", *Electromagnetic Biology Medicine*. 20 (2001) 231-253.

3. A. Aladjadjiyan, "Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of *Zea mays*", Central European Agriculture, 3, 2 (2002) 89-94.
4. A. Aladjadjiyan, "Influence of stationary magnetic field on lentil seeds", Agrophysics, 24 (2010) 321-324.
5. H. R. Balouchi, S. A. M. Sanavy, "Electromagnetic field impact on annual medics and dodder seed germination", International Agrophysics, 23 (2009) 111-15.
6. N. A. Belyavskaya, "Biological effects due to weak magnetic field on plants. Advances in Space Research", 34 (2004) 1566-1574.
7. K. J. Bradford, "A water relation analysis of seed germination rates", Plant Physiol, 94 (1990) 840-849.
8. Y. Dao-lian, G. Yu-qi, Z. Xue-ming, W. Shu-wen, "Effects of electromagnetic fields exposure on rapid micropropagation of beach plum (*Prunus maritima*)", Ecological Engineering, 35 (2009) 597-601.
9. H. Dehghanpour, R. Tavakkol Afshari, F. Sharifzadeh, S. Chavoshinasab, "Germination improvement and α -amylase and β -1,3- glucanase activity in dormant and non dormant seeds of Oregano (*Origanum vulgare*)", Australian Journal of Crop Science, 4 (2011) 421-427.
10. H. Dorna, R. Gorski, D. Szopinska, K. Tylkowska, J. Jurga, S. Wosinski, M. Tomczak, "Effect of a permanent magnetic field together with the shielding of an alternating electric field on carrot seed vigour and germination", Ecological Chemistry and Engineering, 17 (2010) 53-61.
11. G. Fischer, M. Tausz, M. Kock, D. Grill, "Effect of weak $16^{2/3}$ HZ magnetic fields on growth parameters of young sunflower and wheat seedlings", Bioelectromagnetics, 25: 8 (2005) 638-641.
12. M. Florez, M. V. Carbonell, E. Martinez, "Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: effects on germination and early growth", Environmental and Experimental Botany, 59 (2007) 68-75.
13. F. Garcia, L. Arza, "Influence of stationary magnetic field on water relations in *Lettuce* seeds. Part I: theoretical considerations", Bioelectromagnetics, 22 (2001) 589-595.
14. A. Gholami, S. Sharafi, "Effect of magnetic field on seed germination of two wheat cultivars", World Academy of Science, Engineering and Technology, 62 (2010) 279-282.

15. H. Habib, K. M. Fazili, "Plant protease inhibitors: a defense strategy in plants", *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 2:3 (2007) 68-85.
16. D. L. Kittock, A. G. Law, "Relationship of seedling vigour to respiration and tetrazolium chloride reduction by germinating wheat seeds", *Agronomy*, 60 (1968) 286-28.
17. M. Kunitz, "Crystalline soybean trypsin inhibitors II general properties", *General Physiology*, 30 (1947) 291-310.
18. O. H. Lowry, N. J. Rosebrough, A. L. Farr, R. J. Randal, "Folin Cioalleu. Biochemistry", 193 (1951) 265-267.
19. Y. Q. Mei, S. Q. Song, "Early morphological and physiological events occurring during germination of maize seeds", *Agriculture Science, China* 7 (2008) 950-957.
20. S. Nagarajan, V. K. Pandita, B. S. Modi, "Physiology and enzymatic activity of asiatic carrot seeds as affected by invigoration treatments", *Indian Plant Physiology*, 3 (2003) 222-227.
21. J. M. Palma, L. M. Sadalio, F. J. Corpas, M. C. Romero-puertas, I. McCarthy, L. A. DelRio "Plant proteases, protein degradation, and oxidative stress: role of peroxisomes", *Plant physiology and Biochemistry*, 40 (2002) 521-530.
22. V. K. Pandita, S. Nagarajan, J. S. Sinha, B. S. Modi, "Physiological and biochemical changes induced by priming in tomato seeds and its relation to germination and field emergence characteristics", *Indian Plant Physiology*, (2003) 249-254.
23. J. Podlesny, W. Lenartowicz, M. Sowinski, "The effect of pre-sowing treatment of seeds magnetic biostimulation on morphological feature formation and white lupine yielding", *Zecz. Problem, Post. Nauk Roln*, 495 (2003) 399-406.
24. J. Podesny, L. E. Misiak, A. Podesna, S. Pietruzewski, "Concentration of radicals in pea seeds after pre-sowing treatment with magnetic field", *Agrophysics*, 19 (2005) 243-249.
25. M. Prokop, S. Pietruszewski, K. Kornarzynski, "The preliminary investigation of magnetic and electric fields influence on germination, crops, and mechanical features of radish and skull radish roots", *Acta Agrophysica*. 62 (2002) 83-93.
26. F.G. Reina, L. A. Pascual, I. A. Fundora, "Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part II: experimental results", *Bioelectromagnetics*, 22 (2001) 596-602.

27. J. Roberts, D. G. White house, "Practical plant physiology", Long man, New York (1976).
28. Z. Shaheed Siddiqui, M. Ajmal Khan, "The role of enzyme amylase in two germinating seed morphs of *Halopyrum murcronatum* (L.) Staf, in saline and none-saline environment", *Acta Physiology Plant*, 33 (2011) 1185-1197.
29. A. Vashisth, S. Nagarajan, "Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field", *Plant Physiology*, 167 (2010) 149-156.