

ارزیابی خصوصیات جوانه‌زنی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تاثیر تیمارهای مختلف امواج فراصوت

حمید مقبلی*، احمد غلامی، محمدرضا عامریان و حمید عباس‌دخت

ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر شدت (۲۰-، ۳۰ و ۴۰ کیلو هرتز) و مدت زمان استفاده از امواج فراصوت (۲-، ۴-، ۶ و ۸ دقیقه) بر خصوصیات جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی کنجد، دو آزمایش جداگانه بصورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه و گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. در آزمایش اول، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، ضریب یکنواختی جوانه‌زنی، درصد جوانه‌های غیرطبیعی، بنیه گیاهی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی از جمله میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز اندازه‌گیری شد. در آزمایش دوم درصد و سرعت سبز شدن و شاخص‌های مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ، طول ریشه و ساقه، نسبت طول ریشه به ساقه و بیوماس کل اندازه‌گیری شد. فاکتور مدت زمان استفاده از امواج فراصوت بطور معنی‌داری تمام صفات مورد مطالعه در هر دو آزمایش را تحت تاثیر قرار داد به گونه‌ای که بیشترین و کمترین میانگین بدست آمده بترتیب مربوط به سطح ۸ و ۲ دقیقه کاربرد امواج فراصوت بود. عامل شدت امواج مورد استفاده نیز بر اکثر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود و بیشترین و کمترین میانگین صفات بترتیب در شدت ۴۰ و ۲۰ کیلو هرتز بدست آمد. اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج فراصوت نیز در اغلب صفات معنی‌دار گردید. بر طبق نتایج بدست آمده می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کاربرد امواج فراصوت توانست تا حدود زیادی خصوصیات جوانه‌زنی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی را در گیاه کنجد بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، امواج فراصوت، پرایمینگ، جوانه‌زنی، کنجد

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۵۰۲۱۹۴۱، پست الکترونیکی: h.moqbeli@yahoo.com

مقدمه

کاهش عملکرد در بسیاری از گیاهان می‌شود. پرایمینگ بذر یکی از روش‌های بهبود جوانه‌زنی در گیاهان است. در فرایند پرایمینگ، بذر در شرایط کنترل شده قرار می‌گیرد و به لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آمادگی جوانه‌زنی را بدست می‌آورد (۲۵). مطالعات متعددی در مورد تاثیر پرایمینگ بر جوانه‌زنی و روش‌های مختلف آن انجام شده است. از جمله روش‌های پرایمینگ می‌توان به بیوپرایمینگ (۳۹)، هالوپرایمینگ و هیدروپرایمینگ (۵) و (۱۰)، اسمو

کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) یکی از مهمترین گیاهان روغنی در کشاورزی مناطق گرم و نیمه گرمسیر به شمار می‌رود (۳۵). جوانه‌زنی بذر، مرحله پیچیده و پویایی از رشد گیاه است و از طریق اثراتی که بر استقرار گیاهیچه دارد می‌تواند سبب بهبود عملکرد گیاهان شود (۱۴). پایین بودن سرعت جوانه‌زنی و غیریکنواختی جوانه‌زنی در ابتدای فصل رشد سبب ایجاد گیاهیچه‌های ضعیف، کاهش قدرت رقابت با علف‌های هرز و نهایتاً

پرایمینگ (۳۴) و (۵) و (۴۴) و (۲)، پرایمینگ مکانیکی (۲۸) و تنظیم کننده‌های رشد (۴) و (۱) و (۳۲) اشاره کرد. استفاده از روش‌های فوق نسبتاً وقت‌گیر بوده و به هزینه و نیروی کار زیادی نیاز دارد (۵۳). در سالهای اخیر پرایمینگ فیزیکی با استفاده از امواج فراصوت در تعداد زیادی از گیاهان زراعی از جمله ژوت (۱۶)، ذرت (۲۶)، گندم (۲۳)، جو (۵۴)، آفتابگردان (۳۷) و زیره سبز (۴۰) گزارش شده است.

امواج فراصوت بالاتر از دامنه شنوایی انسان هستند و با شدتی بین ۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۳). مزیت پرایمینگ با امواج فراصوت نسبت به سایر روش‌های متداول به دلیل کاربرد ساده‌تر و سرعت بالاتر در اجرا و ایجاد اثرات متعدد فیزیکی و شیمیایی در بذرها در مدت زمان کوتاه کاربرد آن است (۵۳). افزایش جذب آب و سرعت انتشار مواد (۲۴) و (۴۵)، از بین رفتن میکروارگانیزم‌های عامل پوسیدگی بذر (۵۱)، بالا رفتن سرعت واکنش‌های شیمیایی و افزایش فعال شدن آنزیم‌ها (۵۴)، از جمله تاثیر امواج فراصوت می‌باشد. یافته‌های محققین نشان داد فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز ارتباط تنگاتنگی با جوانه‌زنی بذر دارد (۵۵). نتایج مطالعه چین و همکاران نشان داد که فعالیت سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون و گلوتاتیون ریداکتاز در بذر گندم قرار گرفته در معرض امواج فراصوت بیشتر از شاهد بود. افزایش فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی حاصل از امواج فراصوت منجر به افزایش بیوستز کلروفیل و پروتئین و در نتیجه تولید بیوماس بالاتر در گندم شد (۲۰). مطالعات انجام شده نشان داد پرایمینگ، با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در کدوی تلخ شده است (۲۷). در مطالعه تاثیر تنظیم کننده‌های رشد و امواج فراصوت در ارکیده، افزایش درصد جوانه‌زنی و تشکیل آغازی‌های جوانه‌زنی نیز گزارش شده است (۵۲). در بررسی تاثیر امواج فراصوت و دما بر

جوانه‌زنی نوعی گراس توسط چین و همکاران، درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر بترتیب افزایش ۳۳/۵ و ۵۶/۷ درصد را نسبت به شاهد نشان داده است (۱۹). در مطالعه فاریابی و همکاران، تاثیر امواج فراصوت بر سرعت و درصد جوانه‌زنی بذور فلفل دلمه‌ای و تربچه مورد آزمایش قرار گرفت. بذره‌های مورد مطالعه در مدت زمان‌های ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه در معرض امواج فراصوت با شدت ۴۲ کیلوهرتز قرار گرفتند. نتایج نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی فلفل دلمه‌ای در تیمار ۴ دقیقه نسبت به شاهد افزایش یافته است. بهترین تیمار برای تربچه تیمار ۶ دقیقه بود و تاثیر تیمار ۸ دقیقه در بذور این گیاه، کاهش شدید جوانه‌زنی را نشان داد (۶). مطالعه انجام شده توسط سرخی‌لله‌لو و همکاران، نشان داد که درصد جوانه‌زنی بذور گیاه دارویی همیشه بهار با کاربرد ۱، ۴ و ۶ دقیقه امواج فراصوت بترتیب نسبت به تیمار شاهد از ۸۴/۲۳ به ۸۸/۰۱، ۹۲/۲۶ و ۸۵/۸۲ درصد افزایش یافته است (۳). قاسمی‌نژاد و همکاران، در بررسی تاثیر ربایش مغناطیسی و امواج فراصوت بر جوانه‌زنی بذور کنگر فرنگی گزارش کردند که امواج فراصوت سبب افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقچه‌چه و وزن خشک گیاهچه شده است (۷). با توجه به مشاهدات فاتح و همکاران، زمان‌های مختلف قرار گرفتن بذور رازیانه در معرض امواج فراصوت سبب افزایش درصد جوانه‌زنی شده است. در تحقیق مرغابی‌زاده و همکاران، امواج فراصوت با شدت ۲۲ کیلوهرتز در مدت زمان‌های ۲ و ۵ دقیقه سبب بهبود جوانه‌زنی، ویگور بذور و عملکرد نهایی گیاه زینان شد (۸). مطالعه گوس و همکاران نشان داد پرایمینگ با امواج فراصوت سبب افزایش ۴۴ درصدی سرعت جوانه‌زنی نخود شده است (۲۴). بهترین مدت زمان قرار گرفتن در معرض امواج فراصوت برای افزایش جوانه‌زنی و بهبود شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی در بذر جو، نخود، گندم و هندوانه بترتیب ۱۵، ۴۵، ۳۰ و ۵ دقیقه گزارش شده است (۲۴).

انتخاب نمونه و تیمار بذریه قبل از انجام پرایمینگ، نمونه‌های ۱۰ گرمی بذر کنجد به ازاء هر تکرار انتخاب گردید. نمونه‌ها با محلول ۱۰ درصد هیپوکلریت سدیم ضدعفونی و در ادامه با آب مقطر شستشو شدند. تیمارهای پرایمینگ با قرار دادن بذور در مدت زمان‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه و در شدت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز، در محیط آبی حمام فراصوت انجام گردید (۶) و (۵۴). دستگاه مولد امواج فراصوت مورد استفاده در این آزمایشات (Zagros FSZG v2) با توان خروجی ۵۰۰ وات و تولید امواج با شدت قابل تنظیم ۱۰ تا ۴۲ کیلوهرتز بود. پس از تیمار نمونه‌های ۱۰ گرمی در حمام فراصوت، تعداد ۱۰۰ بذر در هر تکرار برای اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی بصورت تصادفی انتخاب شد.

استخراج آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در مرحله آبنوشی و در مرحله سه روز پس از جوانه‌زنی در بذرها انجام شد. برای اندازه‌گیری، دو گرم از بذرها در مرحله آبنوشی و مرحله جوانه‌زنی برای استخراج آنزیم‌ها استفاده شد. زمان‌های ۴ ساعت (مرحله آبنوشی) و ۳۶ ساعت پس از کشت (مرحله جوانه‌زنی) بود (۴۳). جهت استخراج آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از روش سایرام و همکاران استفاده شد. ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه بذرها در ۵ میلی لیتر از محلول ۰/۱ مولار فسفات پتاسیم بافر (pH= ۷/۵) و ۰/۵ میلی‌مول EDTA، بوسیله هاون نرم سائیده و مخلوط حاصل از تنظیف عبور داده شد. سپس این محلول داخل تیوپ‌های ۱/۵ میلی‌لیتری ریخته شد و با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه بوسیله سانتریفوژ یخچال‌دار و در دمای ۴ درجه سانتیگراد همگن شد. مایع شفاف داخل تیوپ که حاوی عصاره آنزیمی مورد نظر بود، جهت تعیین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز مورد استفاده قرار گرفت. عصاره آنزیمی از بذرها در فاز آبنوشی و فاز جوانه‌زنی بصورت جداگانه استخراج و اندازه‌گیری شدند (۴۷).

تأثیر امواج فراصوت به پارامترهای آن مانند شدت، و مدت زمان بستگی دارد. امواج فراصوت با شدت‌های ۱ تا ۴۲ کیلوهرتز و مدت زمان بین ۳ ثانیه تا ۶۰ دقیقه، بسته به گونه برای پرایمینگ مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶). تحقیقات در مورد بذرهایی که تحت تیمارهای مختلف پرایمینگ قرار گرفته اند نشان می‌دهد که پرایمینگ بذور باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی از جمله یکنواختی، سرعت و درصد جوانه‌زنی، افزایش جوانه‌زنی در طیف وسیعی از دما و کاهش ایجاد بیماری در بذر شده است (۳۶). افزایش استقرار گیاه و مقاومت به استرس‌های محیطی و افزایش قدرت رقابت با علف‌های هرز در مراحل بعدی رشد گیاه، از دیگر مزایای استفاده از بذور پرایم شده است (۳۹). تأثیر مثبت امواج فراصوت بر شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاهان تیمار شده با امواج فراصوت گزارش شده است. اهمیت جوانه‌زنی در استقرار اولیه گیاهان زراعی از جمله کنجد و پایین بودن توان رقابت با علف‌های هرز بدلیل کندی جوانه زنی و رشد بی‌بهره در یک چهارم ابتدایی دوره زندگی گیاه، از جمله دلایل بررسی تأثیر شدت و مدت زمان استفاده از امواج فراصوت بر شاخص‌های جوانه‌زنی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کنجد است در این تحقیق است.

مواد و روشها

مواد گیاهی و فاکتورهای مورد مطالعه: بمنظور بررسی تأثیر شدت و مدت زمان استفاده از امواج فراصوت بر شاخص‌های جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی کنجد رقم هلیل (Sesamum indicum L. cv. Halil)، دو آزمایش بصورت جداگانه در آزمایشگاه و گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۱۳۹۴ انجام شد. دو عامل مورد مطالعه: ۱- مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج فراصوت در چهار سطح (۲- ۴- ۶ و ۸ دقیقه) و ۲- شدت امواج فراصوت در سه سطح (۲۰- ۳۰ و ۴۰ کیلوهرتز) (۲۲) بود.

اندازه‌گیری طول ریشه‌چه (RL) و ساقه‌چه (PL)، از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر استفاده شد. همچنین سایر صفات مورد آزمایش بر اساس روابط زیر محاسبه گردید:

شاخص بنیه‌بذر (SVI) بر اساس رابطه (۱) بصورت زیر محاسبه گردید (۱۱):

$$\text{رابطه (۱)} \quad SV = (PL + RL) \times GP$$

درصد جوانه‌زنی (GP) از رابطه (۲) محاسبه شد (۵۰):

$$\text{رابطه (۲)} \quad GP = \frac{\sum n}{N} \times 100$$

که در این رابطه n: تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر شمارش و N: تعداد کل بذرها در تیمار است.

سرعت جوانه‌زنی (SG) مطابق با رابطه (۳) محاسبه شد

$$\text{رابطه (۳)} \quad SG = \frac{\sum ni}{Di}$$

که در این رابطه ni: تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر شمارش و Di: تعداد روز پس از کاشت بذر می‌باشد.

متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT) بر اساس رابطه (۴)

$$\text{رابطه (۴)} \quad MGT = \frac{\sum nd}{\sum n}$$

در این رابطه n: تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر روز و d: تعداد روزهای سپری شده از شروع آزمایش است.

متوسط جوانه‌زنی روزانه (MDG) طبق رابطه (۵) محاسبه

$$\text{رابطه (۵)} \quad MDG = \frac{FGP}{d}$$

که FGP درصد جوانه‌زنی نهایی و d: شماره روز تا زمان حداکثر جوانه‌زنی می‌باشد.

ضریب یکنواختی جوانه‌زنی (CUG) بر اساس رابطه (۶) بصورت زیر محاسبه شد (۱۷):

$$\text{رابطه (۶)} \quad CUG = \frac{\sum n}{\sum [D - Di]^2} \times ni$$

که ni: تعداد بذره‌های جوانه‌زده در روز i ام و Di شماره روزهای شمارش شده از شروع کاشت و D⁻ میانگین زمان جوانه‌زنی است.

سنجش آنزیم سوپراکسیددیسموتاز: جهت تعیین مقدار سوپراکسیددیسموتاز از روش سایریم و همکاران استفاده شد (۴۷). برای تهیه ترکیب واکنش از ۱۳ میلی‌مول مینوین، ۲۵ میکرومول نیتروبلوتترازولیوم (NBT)، ۶ میکرومول محلول ۰/۵ مولار EDTA، ۱/۵ میلی‌لیتر از محلول ۱ مولار فسفات بافر (pH= ۷/۸)، ۶۰ میکرومول ریوفلاوین ۱ میلی‌مولار و ۵۰ میلی‌مول سدیم بیکرینات استفاده شد. سپس ۲/۹ میلی‌لیتر از مخلوط حاصل را داخل تیوپ استریل ریخته، بلافاصله پس از افزودن ۲ میکرومول ریوفلاوین و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی، بمدت ۱۵ دقیقه زیر نور لامپ فلورسانس ۲×۱۵ وات قرار داده شد. جهت تعیین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز، مخلوط حاصل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر در دمای ۲۳ ± ۲ درجه سانتیگراد طیف سنجی گردید.

سنجش آنزیم کاتالاز: برای تعیین مقدار آنزیم کاتالاز موجود در عصاره آنزیمی از روش سایریم و همکاران استفاده شد (۴۸). بدین ترتیب که ترکیبی از ۱۵ میکرولیتر H₂O₂ و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی برداشته و با استفاده از محلول ۰/۱ مولار فسفات بافر (pH ۷) حجم محلول را به ۳ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس ترکیب حاصله در طول موج ۲۴۰ نانومتر، در مدت ۵ دقیقه هر ۵ ثانیه یکبار، مورد طیف سنجی قرار گرفت.

اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی: برای اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی، تعداد ۱۰۰ بذر پراریم شده برای هر تکرار انتخاب شد. کاشت بذرها در پتری‌دیش‌هایی با قطر ۱۲ سانتی‌متر و در فیلترهای کاغذی مرطوب انجام شد و در ادامه به ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۹۵٪ منتقل شدند (۳۰). شمارش بذره‌های جوانه‌زده بصورت روزانه و در ساعت ۸ صبح انجام شد. در پایان روز هفتم (پایان آخرین جوانه‌زنی) تعیین و شمارش گیاهچه‌های طبیعی و غیر طبیعی انجام شد. برای

و MSTAT-C مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد (۴۹).

نتایج

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده شدت و مدت زمان کاربرد امواج فراصوت بر فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی کتجد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. (جدول ۱). با افزایش شدت و مدت زمان قرار گرفتن بذر در معرض امواج فراصوت، فعالیت آنزیم کاتالاز بصورت معنی‌داری افزایش یافته است. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی در مدت زمان ۸ دقیقه قرار گرفتن بذر در معرض امواج فراصوت حاصل شد (جدول ۲). فعالیت کاتالاز در مدت زمان ۸ دقیقه در مقایسه با مدت زمان ۴ و ۲ دقیقه بترتیب افزایش ۳۲/۲۵٪ و ۴۳/۵٪ را در فاز آبنوشی و تفاوت ۱۸/۵۵٪ و ۳۰٪ را در فاز جوانه‌زنی بذر نشان داد. فعالیت آنزیم کاتالاز در مدت زمان ۸ و ۶ دقیقه تفاوت معنی‌داری را در هیچ‌کدام از فازهای آبنوشی و جوانه‌زنی نشان نداد. مقایسه میانگین نشان داد بالاترین فعالیت آنزیم کاتالاز در شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج مشاهده شد با این وجود فعالیت کاتالاز در فاز آبنوشی در شدت‌های ۴۰ و ۳۰ کیلوهرتز تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). در فاز آبنوشی بذر، فعالیت آنزیم با شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج فراصوت در مقایسه با شدت ۲۰ کیلوهرتز، افزایش ۱۹/۰۶٪ را نشان داد. بر اساس مقایسات میانگین، فعالیت آنزیم کاتالاز در شدت ۴۰ کیلوهرتز در مقایسه با شدت ۳۰ و ۲۰ کیلوهرتز، بترتیب تفاوت ۸/۱۳٪ و ۱۲/۸۹٪ را در فاز جوانه‌زنی نشان داد. علی‌رغم روند افزایش فعالیت این آنزیم همزمان با افزایش شدت امواج، فعالیت کاتالاز در شدت ۲۰ و ۳۰ کیلوهرتز در فاز جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نداد (جدول ۲). بر اساس نتایج، اثر متقابل مدت

آزمایش دوم در گلخانه: مواد گیاهی و تیمارها: برای بررسی اثرات امواج فراصوت بر شاخص‌های مورفولوژیکی و رشد گیاه کتجد، آزمایش دوم در گلخانه انجام شد. پس از تیمار بذر در حمام فراصوت، تعداد ۱۰ بذر در هر تکرار بصورت تصادفی انتخاب و در عمق ۲ سانتی‌متر گلدان‌هایی با قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر کاشت شدند. گلدان‌ها، در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در شرایط طول روز ۱۳ ساعت و میانگین دمای ۲۶ درجه و رطوبت ۷۰ درصد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی و سبز شدن: پس از جوانه‌زنی و سبز شدن، شمارش تعداد گیاهچه‌های سبز شده بصورت روزانه انجام و در پایان روز هشتم (پایان سبز شدن)، شاخص‌های سرعت (SE) و درصد سبز شدن (EP) با استفاده از روابط زیر اندازه‌گیری شد (۱۸):

$$\text{رابطه (۷)} \quad SE = \frac{\sum ni}{Di}$$

$$\text{رابطه (۸)} \quad EP = \frac{\sum ni}{\sum ni di} \times 100$$

Ni: تعداد بذرهای سبز شده در هر شمارش و Di تعداد روز پس از کاشت بذر است.

اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژیکی: پس از اندازه‌گیری صفات فوق، با حذف بوته‌های اضافی، تعداد ۴ بوته بصورت تصادفی در هر گلدان انتخاب شد. شاخص‌های مورفولوژیکی شامل تعداد برگ (NL) و سطح برگ (LA)، طول ساقه (SHL)، طول ریشه (RL)، بیوماس کل (TDW) و نسبت ریشه به ساقه (SHL/RL) در پایان روز ۳۵ ام در گلخانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه (leaf area meter) استفاده شد. بیوماس کل توسط ترازوی با دقت یک هزارم گرم تعیین شد.

تجزیه آماری: آزمایشات بصورت فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار در ۴ تکرار انجام شد. اطلاعات جمع‌آوری شده برای هر صفت با استفاده از نرم‌افزار SAS

زمان و شدت امواج بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار نگرید (جدول ۱).

جدول ۱- آنالیز واریانس فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کنگد در شدت و مدت زمان‌های مختلف امواج فراصوت در آزمایشگاه

| منابع تغییر | درجه آزادی | df | آنزیم کاتالاز | آنزیم کاتالاز | آنزیم سوپراکسیددیسموتاز | آنزیم سوپراکسیددیسموتاز |
|--------------|------------|----|---------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| مدت زمان (T) | ۳ | ۳ | ۲/۴۵۵** | ۱/۸۶۳** | ۴۷/۶۶۰** | ۵۶/۹۷۲** |
| شدت (F) | ۲ | ۲ | ۰/۶۹۸** | ۰/۷۰۵** | ۱۲/۴۷۷** | ۱۴/۹۵۷** |
| (T×F) | ۶ | ۶ | ۰/۰۱۹ ^{ns} | ۰/۰۸۵ ^{ns} | ۰/۷۹۴ ^{ns} | ۱/۲۷۹ ^{ns} |
| خطا | ۳۶ | ۳۶ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۵۰ | ۱/۲۲ | ۱/۶۶۹ |
| CV | - | - | ۸/۲۶ | ۶/۶۸ | ۱۲/۰۱ | ۱۳/۵۱ |

** و * و ns بترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ و عدم معنی‌دار

جدول ۲- مقایسات میانگین اثر ساده شدت و مدت زمان استفاده از امواج فراصوت بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

| تیمار treatment | آنزیم کاتالاز در فاز آبنوشی | آنزیم کاتالاز در فاز جوانه‌زنی | آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز آبنوشی | آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز جوانه‌زنی |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| (T) مدت زمان (دقیقه) | | | | |
| ۸ | ۲/۸۷ ^a | ۳/۷۷ ^a | ۱۱/۵۶ ^a | ۱۱/۸۵ ^a |
| ۶ | ۲/۶۷ ^{ab} | ۳/۶۰ ^{ab} | ۱۰/۱۳ ^{ab} | ۱۰/۶۸ ^{ab} |
| ۴ | ۲/۰۸ ^c | ۳/۱۸ ^c | ۸/۰۸ ^c | ۸/۸۰ ^c |
| ۲ | ۱/۹۲ ^{cd} | ۲/۹۰ ^d | ۷/۱۴ ^d | ۶/۸۹ ^d |
| (F) شدت (کیلوهرتز) | | | | |
| ۴۰ | ۲/۵۶ ^a | ۳/۵۹ ^a | ۱۰/۱۴ ^a | ۱۰/۶۲ ^a |
| ۳۰ | ۲/۴۴ ^{ab} | ۳/۳۲ ^b | ۹/۱۶ ^{ab} | ۹/۳۱ ^b |
| ۲۰ | ۲/۱۵ ^c | ۳/۱۸ ^b | ۸/۳۷ ^{bc} | ۸/۷۴ ^{bc} |

میانگین با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

اثرات ساده شدت و مدت زمان کاربرد امواج فراصوت بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی کنگد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. (جدول ۱). بر اساس مقایسات میانگین، بیشترین فعالیت این آنزیم در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی در مدت زمان ۸ دقیقه کاربرد امواج بدست آمد (جدول ۲). در فاز آبنوشی بذر، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در مدت زمان ۸ دقیقه در مقایسه با مدت زمان ۶، ۴ و ۲ دقیقه، بترتیب افزایش ۱۴/۲۲٪ و ۴۳/۰۶٪ و ۶۱/۹۰٪ را نشان داد. در فاز جوانه‌زنی بذر، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در مدت زمان ۸ دقیقه کاربرد امواج در مقایسه با مدت زمان ۴ و ۲

دقیقه، بترتیب تفاوت ۳۴/۶۵ و ۷۱/۹۸٪ را نشان داد. تفاوت معنی‌داری این آنزیم در مدت زمان ۸ و ۶ دقیقه دیده نشد. با توجه به مقایسات میانگین، بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در شدت ۴۰ کیلوهرتز در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی مشاهده شد. فعالیت این آنزیم در شدت ۴۰ و ۳۰ کیلوهرتز تفاوت معنی‌داری در فاز آبنوشی نشان نداد (جدول ۲). اثر متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج بر آنزیم سوپراکسیددیسموتاز معنی‌دار نگرید (جدول ۱).

درصد جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر شدت و مدت زمان استفاده از امواج فراصوت بر درصد

سرعت جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر شدت، مدت زمان و اثر متقابل آنها بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل مدت زمان در شدت امواج نشان داد بیشترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به تیمار زمانی ۸ دقیقه و شدت ۴۰ کیلوهرتز و کمترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به تیمار پرایمینگ در مدت زمان ۲ دقیقه استفاده از امواج فراصوت با شدت ۲۰ کیلوهرتز بدست آمد (جدول ۶). بیشترین و کمترین سرعت جوانه‌زنی تفاوت ۹۲/۱۲٪ را نشان داد. مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد تفاوت میانگین سرعت جوانه‌زنی در بیشترین و کمترین شدت (۴۰ و ۲۰ کیلوهرتز) و بیشترین و کمترین مدت (۸ و ۲ دقیقه) بترتیب ۳۴/۱۴٪ و ۵۰/۲۴٪ بود (جدول ۵).

جوانه‌زنی بترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی بترتیب در شدت ۴۰ و ۲۰ کیلوهرتز بود. مقایسه میانگین اثرات ساده شدت و مدت زمان کاربرد امواج نشان داد با افزایش شدت و مدت زمان قرار گرفتن بذر در معرض امواج فراصوت، درصد جوانه‌زنی بصورت معنی‌داری افزایش یافته است. بیشترین درصد جوانه‌زنی در مدت زمان ۸ دقیقه قرار گرفتن بذور در معرض امواج حاصل شد و در مقایسه با مدت زمان ۴ و ۲ دقیقه بترتیب تفاوت ۱۱/۷۹٪ و ۱۷/۷۵٪ را نشان داد. افزایش درصد جوانه‌زنی در شدت ۴۰ کیلوهرتز در مقایسه با شدت‌های ۳۰ و ۲۰ کیلوهرتز بترتیب ۶/۸۴٪ و ۱۴/۶۶٪ بود. اثر متقابل مدت زمان و شدت امواج بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار نگردید (جدول ۱).

جدول ۳- آنالیز واریانس خصوصیات جوانه‌زنی کنجد تحت تاثیر پرایمینگ در شدت و مدت زمان‌های مختلف امواج فراصوت در آزمایشگاه

| منابع تغییر | درجه آزادی | درصد جوانه‌زنی (%) | سرعت جوانه‌زنی (% d ⁻¹) | متوسط جوانه‌زنی روزانه (s/d) | میانگین زمان تا جوانه‌زنی (d ⁻¹) |
|--------------|------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------|--|
| مدت زمان (T) | ۳ | ۴۴۹/۹۶** | ۵۲۳/۵۱** | ۲۰۸/۱۶** | ۱۳/۹۵** |
| شدت (F) | ۲ | ۵۴۰/۶۸* | ۳۷۹/۱۱** | ۴۱۵/۷۵** | ۵/۷۲** |
| (T×F) | ۶ | ۱۳/۲۳ ^{ns} | ۲۹/۴۶** | ۷/۶۸** | ۰/۵۱** |
| خطا | ۳۶ | ۱۸/۴۱ | ۶/۷۱ | ۱/۳۴ | ۰/۱۲ |
| CV | - | ۵/۰۴ | ۷/۷۴ | ۶/۵۴ | ۸/۰۸ |

** و * و ns بترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ و عدم معنی‌دار

مدت ۲ دقیقه و با شدت ۲۰ کیلوهرتز امواج فراصوت بدست آمد. تفاوت میانگین بیشترین و کمترین متوسط جوانه‌زنی ۶۳/۸۵٪ بود (جدول ۶). مقایسات میانگین نشان می‌دهد که متوسط جوانه‌زنی روزانه در مدت زمان ۲ تا ۸ دقیقه و شدت ۲۰ تا ۴۰ کیلوهرتز روند افزایشی دارد. با افزایش شدت و مدت زمان کاربرد امواج فراصوت، متوسط جوانه‌زنی روزانه با شیب بیشتری افزایش می‌یابد (جدول ۵).

متوسط جوانه‌زنی روزانه: اثرات ساده و متقابل شدت در مدت زمان استفاده از امواج بر متوسط جوانه‌زنی روزانه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). متوسط جوانه‌زنی روزانه با افزایش مدت زمان و شدت امواج فراصوت، تغییر معنی‌داری را از نظر آماری نشان داد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل مدت زمان در شدت امواج مورد استفاده نشان داد بیشترین (۲۹/۶۳) و کمترین (۱۰/۷۱) متوسط جوانه‌زنی روزانه بترتیب در تیمار پرایمینگ به مدت ۸ دقیقه و با شدت ۴۰ کیلوهرتز و تیمار

امواج فراصوت نیز روند مشابهی را در بهبود بنیه بذر می‌توان مشاهده کرد. تفاوت بیشترین و کمترین میانگین بنیه در شدت ۴۰ و ۲۰ کیلوهرتز تفاوت ۳۱/۵۹٪ را نشان داد (جدول ۵).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه: نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس، نشان می‌دهد که اثر متقابل، شدت در مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج فراصوت بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین نشان داد بیشترین (۴۶/۵۱) و کمترین (۲۶/۷۵) طول ریشه‌چه بترتیب در تیمار پرایمینگ به مدت ۸ دقیقه با شدت ۴۰ کیلوهرتز و تیمار پرایمینگ به مدت ۲ دقیقه با امواجی به شدت ۲۰ کیلوهرتز تفاوت ۷۳/۸۶٪ با یکدیگر را نشان داد. تفاوت بیشترین و کمترین طول ریشه‌چه ۷۳/۸۶٪ بود. بیشترین و کمترین طول ساقه‌چه نیز تفاوت ۷۱/۲۶٪ را نشان داد (جدول ۶). با توجه به مقایسه میانگین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، تفاوت معنی‌داری بین شدت و مدت زمان‌های مختلف کاربرد امواج مشاهده گردید. بر این اساس بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در شدت ۴۰ کیلوهرتز بدست آمد. همچنین با پرایمینگ بذر به مدت ۸ دقیقه، بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در کنگد مشاهده شد (جدول ۵). شدت امواج ۳۰ و ۲۰ کیلوهرتز بر طول ساقه‌چه تفاوت معنی‌داری نشان نداد.

ضریب یکنواختی جوانه‌زنی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده مدت زمان و شدت امواج مورد استفاده در سطح یک درصد بر ضریب یکنواختی جوانه‌زنی معنی‌دار بود و این صفت تحت تأثیر برهمکنش مدت زمان در شدت امواج مورد استفاده قرار نگرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین نشان داد ضریب یکنواختی جوانه‌زنی با افزایش شدت امواج مورد استفاده در پرایمینگ، بهبود یافته است (جدول ۵). بهینه‌ترین ضریب یکنواختی جوانه‌زنی مربوط به شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج فراصوت بدست آمد و

میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل شدت در مدت زمان استفاده از امواج فراصوت بر میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل مدت زمان استفاده از امواج در شدت امواج نشان داد با افزایش مدت و شدت امواج، میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد (جدول ۶). با توجه به مقایسه میانگین، بیشترین (۶/۱۵ روز) و کمترین متوسط (۲/۲۳ روز) زمان لازم برای جوانه‌زنی بترتیب مربوط به بذره‌های تیمار شده در مدت زمان ۲ دقیقه استفاده از امواج با شدت ۲۰ و در تیمار مدت زمان ۸ دقیقه استفاده از امواج با شدت ۴۰ کیلوهرتز مشاهده شد. با افزایش شدت و مدت زمان استفاده از امواج فراصوت در پرایمینگ بذر کنگد، میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش یافت. (جدول ۵). فاکتور شدت امواج سبب ایجاد تفاوت ۳۱/۴۸٪ بین بیشترین و کمترین میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی گردید. فاکتور مدت زمان کاربرد امواج تفاوت ۷۱/۸۱٪ بین بیشترین و کمترین میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی را نشان داد (جدول ۵).

بنیه‌بذر: اثر ساده مدت زمان کاربرد امواج فراصوت و اثر متقابل مدت زمان و شدت امواج استفاده شده در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده شدت امواج در سطح احتمال پنج درصد بر بنیه‌بذر معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بالاترین بنیه‌بذر مربوط به تیمار پرایمینگ با امواج فراصوت با شدت ۴۰ کیلوهرتز در مدت زمان ۸ دقیقه با شاخص (۷۵/۴۳) و کمترین بنیه‌بذر در تیمار با شدت ۲۰ کیلوهرتز در مدت زمان ۲ دقیقه با میانگین (۳۲/۲۵) بدست آمد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر مدت زمان استفاده از امواج بر بنیه‌بذر مشخص می‌کند که با افزایش مدت زمان قرار گرفتن بذور در معرض امواج، بنیه‌بذر روند افزایشی را نشان می‌دهد. کمترین و بیشترین بنیه در مدت ۸ و ۲ دقیقه تفاوت ۸۵/۵۳٪ با یکدیگر را نشان داد. همچنین با افزایش شدت

تفاوت ۰.۱۷/۹۴ را با شدت ۲۰ کیلوهرتز امواج نشان داد. مدت ۸ و ۲ دقیقه تفاوت ۰.۳۸/۸۸ را با یکدیگر نشان داد در مدت زمان ۸ دقیقه نیز مناسب‌ترین ضریب جوانه‌زنی مشاهده گردید. بیشترین و کمترین ضریب یکنواختی در

جدول ۴- آنالیز واریانس خصوصیات جوانه‌زنی کنجد تحت تاثیر پرایمینگ در شدت و مدت زمان‌های مختلف امواج فراصوت در آزمایشگاه

| منابع تغییر | درجه آزادی | شاخص بذر | طول ریشه چه (mm) | طول ساقه چه (mm) | ضریب یکنواختی جوانه‌زنی (d ⁻²) | درصد جوانه غیر طبیعی (%) |
|--------------|------------|-----------|------------------|------------------|--|--------------------------|
| مدت زمان (T) | ۳ | ۲۲۸۹/۶۳** | ۶۰۵/۸۷** | ۲۴۳/۴۷** | ۰/۰۴۸۱** | ۱۴/۶۱۱** |
| شدت (F) | ۲ | ۷۸۸/۷۶* | ۹۸/۹۰** | ۵۶/۲۲** | ۰/۰۲۴۸** | ۱۱/۵۴۰** |
| (T×F) | ۶ | ۴۲/۲۴** | ۹/۵۴** | ۶/۸۶** | ۰/۰۰۰۵ ^{ns} | ۴/۰۲۲** |
| خطا | ۳۶ | ۸/۸۶ | ۱/۹۸ | ۱/۴۵ | ۰/۰۰۲۱ | ۰/۰۴۲ |
| CV | - | ۵/۸۱ | ۳/۹۰ | ۵/۳۳ | ۱۰/۸۱ | ۲۲/۸۲ |

** و * و ns بترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ و عدم معنی‌دار

جدول ۵- مقایسات میانگین اثر ساده شدت و مدت زمان استفاده از امواج فراصوت بر خصوصیات جوانه‌زنی کنجد در آزمایشگاه.

| تیمار treatment | GP (%) | SG (d ⁻¹) | MDG (s/d) | MGT (d ⁻¹) | CUG (d ⁻²) | SVI - | RL mm | PL mm | abnormal seedlings% (T) مدت |
|--------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| زمان (دقیقه) | ۹۲/۰۱ ^a | ۴۲/۳۱ ^a | ۲۳/۷۴ ^a | ۳/۳۷ ^d | ۰/۳۶ ^a | ۶۶/۵۷ ^a | ۴۴/۳۶ ^a | ۲۷/۷۴ ^a | ۲/۴۱ ^a |
| ۶ | ۸۸/۰۲ ^{ab} | ۳۴/۷۱ ^b | ۱۷/۱۱ ^b | ۳/۷۶ ^c | ۰/۳۸ ^a | ۵۸/۳۶ ^b | ۴۰/۳۴ ^b | ۲۵/۶۸ ^b | ۱/۰۴ ^b |
| ۴ | ۸۲/۳۰ ^c | ۲۸/۶۷ ^c | ۱۵/۶۰ ^c | ۴/۷۱ ^b | ۰/۴۴ ^b | ۴۴/۰۹ ^c | ۳۳/۰۱ ^c | ۲۰/۴۶ ^c | ۰/۱۶ ^{bc} |
| ۲ | ۷۸/۱۴ ^{cd} | ۲۸/۱۶ ^c | ۱۴/۴۱ ^c | ۵/۷۹ ^a | ۰/۵۰ ^c | ۳۵/۸۸ ^d | ۲۷/۹۳ ^d | ۱۷/۹۵ ^d | ۰/۰۰ ^c |
| (F) شدت (کیلوهرتز) | ۹۰/۹۴ ^a | ۳۷/۹۵ ^a | ۲۳/۱۴ ^a | ۳/۷۸ ^c | ۰/۳۹ ^a | ۵۸/۴۳ ^a | ۳۸/۷۹ ^a | ۲۴/۶۹ ^a | ۱/۸۴ ^a |
| ۳۰ | ۸۵/۱۱ ^b | ۳۴/۱۵ ^b | ۱۶/۹۸ ^b | ۴/۴۸ ^b | ۰/۴۱ ^a | ۵۰/۸۵ ^b | ۳۶/۳۰ ^b | ۲۲/۸۰ ^b | ۰/۶۸ ^b |
| ۲۰ | ۷۹/۳۱ ^c | ۲۸/۲۹ ^c | ۱۳/۰۳ ^c | ۴/۹۷ ^a | ۰/۴۶ ^b | ۴۴/۴۰ ^c | ۳۴/۱۵ ^c | ۲۱/۴۰ ^b | ۰/۱۹ ^b |

میانگین با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۱٪ تفاوت معنی داری ندارند.

اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیشترین درصد جوانه‌های غیرطبیعی با (۰.۴،۵۰٪) در تیمار پرایمینگ با امواج فراصوت با شدت ۴۰ کیلوهرتز در مدت ۸ دقیقه و کمترین (۰٪) در پرایمینگ با شدت ۲۰ کیلوهرتز در مدت ۲ دقیقه بدست آمد (جدول ۶).

نتایج آزمایش در گلخانه: درصد سبز شدن: تجزیه واریانس داده‌های آزمایش دوم در گلخانه نشان داد که اثر ساده و برهمکنش شدت و مدت زمان کاربرد امواج فراصوت بر درصد سبز شدن کنجد در سطح احتمال یک

درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی: تاثیر معنی‌دار مدت و شدت امواج مورد استفاده بر درصد جوانه‌های غیرطبیعی در جدول ۴ نشان داده شده است. درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی همچنین تحت تاثیر معنی‌دار برهمکنش شدت و مدت زمان امواج مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۴). با افزایش شدت امواج مورد استفاده برای پرایمینگ، درصد جوانه‌های غیرطبیعی افزایش نشان داد. تفاوت بیش از ۸ برابر بین بیشترین و کمترین درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی در شدت ۴۰ و ۲۰ کیلوهرتز مشاهده شد (جدول ۵). بر

با میانگین ۹۱/۵۴٪ و کمترین درصد سبز شدن با میانگین ۷۴/۶۵٪. بترتیب در مدت زمان ۶ و ۲ دقیقه استفاده از امواج فراصوت بدست آمد (جدول ۹). مقایسه میانگین همچنین نشان داد بالاترین و پایین‌ترین درصد سبز شدن نیز بترتیب در شدت ۴۰ و ۲۰ کیلوهرتز به میزان ۸۶/۲۹٪ و ۸۳/۱۴٪ بدست آمد (جدول ۸).

درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر متقابل شدت در مدت زمان کاربرد امواج فراصوت نشان داد بیشترین و کمترین درصد سبز شدن با ۹۳/۴۵٪ و ۷۴/۰۷٪ بترتیب در تیمار ۶ دقیقه استفاده از امواج با شدت ۳۰ کیلوهرتز و تیمار ۲ دقیقه استفاده از امواج با شدت ۲۰ کیلوهرتز، تفاوت ۲۶/۱۶٪ را نشان داد (جدول ۹). مقایسه اثرات ساده مدت زمان نشان داد بیشترین درصد سبز شدن

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج فراصوت بر خصوصیات جوانه‌زنی کنگد در آزمایشگاه

| abnormal seedling (%) | PL mm | RL mm | SVI - | MGT (d ⁻¹) | MDG (s/d) | SG (% d ⁻¹) | شدت (kHz) | مدت زمان (min) |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|-----------|----------------|
| ۰/۰۰ ^e | ۱۷/۲۶ ^f | ۲۶/۷۵ ⁱ | ۳۲/۲۵ ^g | ۶/۱۵ ^c | ۱۰/۷۱ ^h | ۲۵/۱۴ ^h | ۲۰ | |
| ۰/۰۰ ^e | ۱۷/۹۵ ^f | ۲۸/۲۶ ^{hi} | ۳۶/۱۷ ^{fg} | ۵/۷۵ ^{bc} | ۱۳/۳۷ ^g | ۲۷/۲۱ ^{fgh} | ۳۰ | ۲ |
| ۰/۰۰ ^e | ۱۸/۶۶ ^f | ۲۸/۸۰ ^{hi} | ۳۹/۲۴ ^f | ۵/۴۷ ^{bc} | ۱۹/۱۵ ^{cd} | ۳۲/۱۵ ^{def} | ۴۰ | |
| ۰/۱۰ ^{de} | ۱۹/۲۳ ^f | ۳۱/۰۲ ^{gh} | ۳۹/۴۸ ^f | ۵/۴۵ ^{bc} | ۱۲/۱۰ ^{gh} | ۲۶/۴۱ ^{gh} | ۲۰ | |
| ۰/۱۵ ^{de} | ۱۹/۷۲ ^{ef} | ۳۱/۸۱ ^{fg} | ۴۱/۷۸ ^f | ۴/۷۳ ^{abc} | ۱۴/۱۷ ^{fg} | ۲۸/۴۵ ^{efgh} | ۳۰ | ۴ |
| ۰/۲۵ ^{de} | ۲۲/۴۴ ^{de} | ۳۶/۲۰ ^{ef} | ۵۱/۰۲ ^{de} | ۳/۹۵ ^{abc} | ۲۰/۵۵ ^c | ۳۱/۱۵ ^{defg} | ۴۰ | |
| ۰/۱۵ ^{de} | ۲۳/۴۰ ^{cd} | ۳۷/۳۷ ^{de} | ۴۹/۳۸ ^e | ۴/۰۵ ^{abc} | ۱۲/۳۲ ^{gh} | ۲۸/۱۲ ^{efgh} | ۲۰ | |
| ۰/۳۵ ^{de} | ۲۵/۵۵ ^{bc} | ۴۰/۰۰ ^{cd} | ۵۷/۳۰ ^c | ۳/۸۰ ^{abc} | ۱۵/۷۸ ^{de} | ۳۵/۸۲ ^{cd} | ۳۰ | ۶ |
| ۲/۶۲ ^b | ۲/۱۰ ^{ab} | ۴۳/۶۶ ^{ab} | ۶۸/۴۲ ^b | ۳/۴۶ ^{ab} | ۲۳/۲۵ ^b | ۴۰/۲۰ ^{bc} | ۴۰ | |
| ۰/۵۱ ^d | ۲۵/۷۱ ^{bc} | ۴۱/۴۶ ^{bc} | ۵۶/۵۰ ^{cd} | ۴/۲۳ ^{abc} | ۱۷/۰۰ ^{de} | ۳۳/۵۰ ^{de} | ۲۰ | |
| ۲/۲۲ ^c | ۲۷/۹۸ ^{ab} | ۴۵/۱۳ ^a | ۶۸/۱۸ ^b | ۳/۶۵ ^{abc} | ۲۴/۶۰ ^b | ۴۵/۱۴ ^{ab} | ۳۰ | ۸ |
| ۴/۵۰ ^a | ۲۹/۵۶ ^a | ۴۶/۵۱ ^a | ۷۵/۴۳ ^a | ۲/۲۳ ^a | ۲۹/۶۳ ^a | ۳۰ ^a | ۴۰ | |

میانگین با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر شدت، مدت زمان و اثر متقابل آنها بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). مقایسه میانگین برهمکنش متقابل شدت و مدت زمان کاربرد امواج نشان داد بیشترین (۱۵/۲۴ سانتی‌متر مربع) و کمترین (۱۰/۰۸ سانتی‌متر مربع) سطح برگ بترتیب مربوط به ترکیب تیماری ۸ دقیقه کاربرد امواج با شدت ۴۰ کیلوهرتز و ترکیب تیماری ۴ دقیقه کاربرد امواج با شدت ۲۰ کیلوهرتز است. بر این اساس بیشترین و کمترین سطح برگ تفاوت ۵۱/۱۹٪ را با یکدیگر نشان دادند (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها همچنین نشان داد که تیمار ۸ دقیقه کاربرد امواج با شدت ۴۰ کیلوهرتز و تیمار ۶ دقیقه کاربرد

سرعت سبز شدن: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر شدت امواج مورد استفاده، مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج فراصوت و برهمکنش متقابل آنها بر سرعت سبز شدن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۷). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بالاترین سرعت سبز شدن (۴۶/۵۹) مربوط به تیمار مدت زمان ۸ دقیقه استفاده از امواج با شدت ۴۰ کیلوهرتز و پایین‌ترین سرعت سبز شدن با (۲۵/۰۹) مربوط به بذور قرار گرفته در معرض امواج فراصوت در مدت زمان ۲ دقیقه با شدت ۲۰ کیلوهرتز امواج بود و تفاوت بیشترین و کمترین سرعت سبز شدن ۸۵/۶۹٪ بدست آمد (جدول ۹).

معنی‌داری در تعداد برگ در مدت زمان‌های ۲ و ۴ و ۶ دقیقه با یکدیگر مشاهده نگردید. همچنین بالاترین تعداد برگ در شدت ۴۰ کیلوهرتز (۷/۳۱) بدست آمد و با شدت ۳۰ کیلوهرتز در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۸). بر اساس نتایج برهمکنش مدت و شدت امواج بر تعداد برگ از نظر آماری معنی‌دار نگردید (جدول ۷).

امواج با شدت ۴۰ کیلوهرتز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (جدول ۹).

تعداد برگ: تاثیر مدت امواج در سطح آماری یک درصد و شدت امواج در سطح پنج درصد بر تعداد برگ کنجد در گلخانه معنی‌دار شد (جدول ۷). مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورهای مورد مطالعه نشان داد بالاترین تعداد برگ در مدت زمان ۸ دقیقه بدست آمد (۷/۷۸). تفاوت

جدول ۷- آنالیز واریانس شاخص‌های رشد و مورفولوژیکی کنجد قرارگرفته در شدت و مدت زمان‌های مختلف امواج فراصوت در گلخانه

| منابع تغییر | درجه آزادی | df | SOV | TDW | RL | RL | SHL | NL | LA | SE | EP |
|--------------|------------|---------|-----------|--------------------|---------|---------|---------------------|---------|-----------|---------|---------|
| | | | | SHL | SHL | SHL | SHL | SHL | SHL | SHL | |
| مدت زمان (T) | ۳ | ۷۴/۹۴** | ۱۱۵۴/۲۶** | ۳/۴۰** | ۷۶/۷۶** | ۳۵/۲۳** | ۰/۰۰۵* | ۳۴/۶۲** | ۱۱۵۴/۲۶** | ۸۱۴/۴** | ۷۴/۹۴** |
| شدت (F) | ۲ | ۴۵/۹۶** | ۲۳۵/۶۸** | ۰/۹۹* | ۴۱/۴۲** | ۱۶/۰۶** | ۰/۰۰۱ ^{NS} | ۷/۳۹** | ۲۳۵/۶۸** | ۲۶/۹۹** | ۴۵/۹۶** |
| (T×F) | ۶ | ۳۲/۷۱** | ۳۱/۲۵** | ۰/۲۵ ^{NS} | ۷/۰۰** | ۴/۱۷* | ۰/۰۰۴ ^{NS} | ۱/۰۷* | ۳۱/۲۵** | ۱۴/۵۶** | ۳۲/۷۱** |
| خطا | ۳۶ | ۸/۸۶ | ۴/۲۹ | ۰/۲۷ | ۱/۶۸ | ۰/۸۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۴۱ | ۴/۲۹ | ۳/۰۷ | ۸/۸۶ |
| ضریب تغییرات | - | ۳/۰۳ | ۴/۸۸ | ۴/۸۷ | ۵/۱۷ | ۷/۴۶ | ۷/۹۶ | ۸/۰۴ | ۴/۸۸ | ۳/۰۳ | ۳/۰۳ |

** و * و ns بترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ و عدم معنی‌دار

جدول ۸- مقایسات میانگین اثر ساده شدت و مدت زمان استفاده از امواج فراصوت بر شاخص‌های رشد و مورفولوژیکی کنجد در گلخانه

| تیمار | EP | SE | LA | NL | SHL | RL | RL/SHL | TDW |
|--------------|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| treatment | (%) | (% d ⁻¹) | cm ² | - | cm | cm | - | gr |
| مدت زمان (T) | | | | | | | | |
| ۸ | ۹۰/۷۳ ^{ab} | ۴۴/۹۰ ^a | ۵۲/۷۱ ^a | ۷/۷۸ ^a | ۲۸/۱۱ ^a | ۱۴/۳۸ ^a | ۰/۵۱ ^a | ۹/۷۵ ^a |
| ۶ | ۹۱/۵۴ ^a | ۳۹/۶۲ ^b | ۴۸/۲۰ ^b | ۷/۱۰ ^b | ۲۵/۹۲ ^b | ۱۲/۵۸ ^b | ۰/۴۸ ^{ab} | ۹/۲۰ ^{ab} |
| ۴ | ۸۳/۳۹ ^c | ۳۳/۴۶ ^c | ۳۸/۰۹ ^c | ۶/۸۷ ^b | ۲۳/۹۰ ^c | ۱۱/۰۴ ^c | ۰/۴۶ ^{bc} | ۷/۰۳ ^c |
| ۲ | ۷۴/۶۵ ^d | ۲۵/۷۶ ^d | ۳۱/۰۰ ^d | ۶/۵۲ ^b | ۲۲/۲۷ ^c | ۱۰/۶۰ ^c | ۰/۴۷ ^{bc} | ۶/۲۰ ^d |
| شدت (F) | | | | | | | | |
| ۴۰ | ۸۶/۲۹ ^a | ۳۷/۰۸ ^a | ۴۶/۴۴ ^a | ۷/۳۱ ^a | ۲۶/۷۹ ^a | ۱۳/۱۶ ^a | ۰/۴۹ ^a | ۸/۷۳ ^a |
| ۳۰ | ۸۵/۸۰ ^{ab} | ۳۶/۲۱ ^{ab} | ۴۲/۳۱ ^b | ۷/۰۷ ^{ab} | ۲۴/۷۵ ^b | ۱۲/۱۳ ^b | ۰/۴۹ ^a | ۸/۰۳ ^b |
| ۲۰ | ۸۳/۱۴ ^b | ۳۴/۵۲ ^b | ۴۷/۳۰ ^c | ۶/۸۲ ^b | ۲۳/۶۲ ^b | ۱۱/۱۶ ^c | ۰/۴۷ ^a | ۷/۳۷ ^c |

میانگین با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

طول ساقه در تیمار مدت زمان ۸ دقیقه کاربرد امواج با شدت ۴۰ کیلوهرتز بدست آمد و با تیمار مدت زمان ۸ دقیقه با شدت ۳۰ کیلوهرتز و همچنین تیمار مدت زمان ۶ دقیقه با شدت ۴۰ کیلوهرتز اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۹). بیشترین طول ریشه با ۱۵/۲۴ سانتی متر در تیمار ۸ دقیقه کاربرد امواج با شدت ۴۰ کیلوهرتز بدست

طول ساقه و ریشه: طول ساقه در سطح احتمال یک درصد و طول ریشه در سطح احتمال پنج درصد تحت تاثیر بر همکنش مدت زمان و شدت امواج مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۷). اثرات ساده مدت زمان و شدت امواج مورد استفاده نیز در سطح احتمال یک درصد بر میزان طول ساقه و ریشه گیاه کنجد معنی‌دار شد (جدول ۷). بالاترین

معرض امواج فراصوت بدست آمد و با مدت زمان ۶ دقیقه در یک گروه آماری قرار گرفت و نسبت به سایر تیمارها بطور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۸).

بیوماس کل (وزن خشک گیاهچه): اثر سطوح شدت امواج و مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش متقابل آنها در سطح احتمال پنج درصد بر بیوماس کل معنی‌دار بود (جدول ۷). بر اساس مقایسات میانگین، تفاوت ۷۵/۵۳ درصدی بین بیشترین (۱۰/۶۹ گرم) و کمترین (۶/۰۹ گرم) وزن خشک گیاهچه کنجد بترتیب در ترکیب تیماری ۸ دقیقه قرار دادن بذور معرض امواج فراصوت با شدت ۴۰ کیلوهرتز و در ترکیب تیماری ۲ دقیقه قرار گرفتن بذور در شدت ۲۰ کیلوهرتز امواج مشاهده شد (جدول ۹).

آمد. این ترکیب تیماری با تیمارهای ۸ دقیقه قرار دادن بذور در معرض امواج در شدت‌های ۳۰ و ۲۰ کیلوهرتز و همچنین ترکیب تیماری ۶ دقیقه قرار دادن بذور در معرض امواج فراصوت با شدت ۴۰ کیلوهرتز تفاوت آماری معنی‌داری نداشت اما نسبت به سایر تیمارها به طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۹).

نسبت ریشه به ساقه: نتایج تجزیه واریانس بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار اثر ساده شدت امواج مورد استفاده و اثر متقابل شدت و مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج فراصوت بر نسبت ریشه به ساقه بود (جدول ۷). اثر ساده مدت زمان قرار دادن بذور در معرض امواج فراصوت بر این نسبت تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نشان داد. با توجه به جدول مقایسه میانگین بالاترین نسبت ریشه به ساقه در مدت زمان ۸ دقیقه قرار گرفتن بذور در

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل شدت و مدت زمان استفاده از امواج فراصوت بر شاخص‌های رشد و مورفولوژیکی کنجد در گلخانه

| TDW gr | RL mm | SH mm | LA cm ² | SE (% d ⁻¹) | EP (%) | مدت زمان (T) شدت (F) | |
|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|-------|
| | | | | | | (kHz) | (min) |
| ۶/۰۹ ^c | ۱۰/۴۴ ^{cd} | ۲۲/۰۸ ^{cd} | ۳۰/۷۴ ^f | ۲۵/۰۹ ^h | ۷۴/۰۷ ^c | ۲۰ | |
| ۶/۳۸ ^e | ۱۰/۶۷ ^{cd} | ۲۱/۸۱ ^d | ۳۱/۲۷ ^f | ۲۷/۰۶ ^{gh} | ۷۵/۵۷ ^{cd} | ۳۰ | ۲ |
| ۶/۱۴ ^e | ۱۰/۶۹ ^{cd} | ۲۲/۹۳ ^{bcd} | ۳۱/۰۰ ^f | ۲۵/۱۵ ^h | ۷۴/۳ ^{de} | ۴۰ | |
| ۶/۴۹ ^e | ۱۰/۰۸ ^d | ۲۳/۵۸ ^{bcd} | ۳۳/۵۶ ^{ef} | ۳۴/۰۴ ^{ef} | ۷۸/۳۵ ^c | ۲۰ | |
| ۶/۷۲ ^{de} | ۱۱/۴۴ ^{cd} | ۲۳/۴۲ ^{bcd} | ۳۷/۱۱ ^{de} | ۳۲/۹۶ ^{fg} | ۸۳/۸۸ ^b | ۳۰ | ۴ |
| ۷/۹۰ ^{cd} | ۱۱/۶۱ ^{cd} | ۲۴/۷۲ ^{bc} | ۴۳/۶۰ ^c | ۳۳/۳۹ ^{ef} | ۸۷/۹۶ ^{ab} | ۴۰ | |
| ۷/۹۷ ^{cd} | ۱۰/۳۰ ^{cd} | ۲۳/۴۲ ^{bcd} | ۴۳/۴۵ ^{cd} | ۳۶/۶۸ ^{de} | ۸۷/۸۷ ^{ab} | ۲۰ | |
| ۹/۴۱ ^{ab} | ۱۲/۳۳ ^{bc} | ۲۵/۳۰ ^b | ۴۶/۵۵ ^c | ۳۹/۰۱ ^{cd} | ۹۳/۴۵ ^a | ۳۰ | ۶ |
| ۱۰/۲۲ ^{ab} | ۱۵/۱۲ ^a | ۲۹/۰۷ ^a | ۵۴/۶۱ ^a | ۴۳/۱۹ ^{ab} | ۹۳/۳۱ ^a | ۴۰ | |
| ۸/۹۶ ^{bc} | ۱۳/۸۳ ^{ab} | ۲۵/۴۱ ^b | ۴۷/۳۰ ^{bc} | ۴۲/۳۰ ^{bc} | ۹۲/۳۰ ^a | ۲۰ | |
| ۹/۶۱ ^{ab} | ۱۴/۰۸ ^{ab} | ۲۸/۴۷ ^a | ۵۴/۳۴ ^{ab} | ۴۵/۸۲ ^{ab} | ۹۰/۳۲ ^a | ۳۰ | ۸ |
| ۱۰/۶۹ ^a | ۱۵/۲۴ ^a | ۳۰/۴۶ ^a | ۵۶/۵۱ ^a | ۴۶/۵۹ ^a | ۸۹/۵۸ ^{ab} | ۴۰ | |

میانگین با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

بحث

امواج فراصوت سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز در گندم شده است (۲۰). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در بذره‌های پرایم شده آفتابگردان نیز توسط بایلی و همکاران گزارش شده است. تاثیر آنزیم کاتالاز در فرایند تنفس گیاهان بوده و با

در تحقیق اخیر، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی کنجد با افزایش مدت و شدت امواج فراصوت افزایش یافت. بر اساس مطالعه چین و همکاران، ارتعاشات

است. افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز دلیل افزایش رشد جنین بذر و سرعت جوانه‌زنی عنوان شده است (۲۴). در مطالعه حاضر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن با کاربرد امواج فراصوت افزایش یافت. بیشترین درصد جوانه‌زنی در آزمایشگاه در مدت زمان ۸ دقیقه بدست آمد. در شرایط گلخانه با افزایش مدت زمان استفاده از امواج فراصوت تا سطح ۶ دقیقه، درصد سبز شدن کنجد افزایش و در مدت زمان به ۸ دقیقه، کاهش یافت. مناسب‌ترین تیمار زمانی کاربرد امواج فراصوت برای حداکثر سبز شدن در شرایط گلخانه ۶ دقیقه بدست آمد. بالاترین سرعت جوانه‌زنی و سرعت سبز شدن نیز بترتیب در شدت ۴۰ و ۳۰ کیلوهرتز امواج فراصوت مشاهده شد. تاثیر پرایمینگ بر افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر کاج در مطالعه جوانمرد و همکاران گزارش شده است (۲). نتایج مطالعه سرخی‌الله و همکاران در گیاه دارویی همیشه بهار نشان داد با افزایش مدت زمان کاربرد امواج فراصوت درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه در تیمارهای ۱ و ۴ دقیقه پرایم با امواج فراصوت نسبت به شاهد بطور معنی‌داری افزایش یافت و در تیمار ۶ و ۸ دقیقه کاهش معنی‌داری در صفات مورد مطالعه نسبت به شاهد دیده شد (۳). مطابق با یافته‌های فاریابی و همکاران، ۶ دقیقه بهترین تیمار زمانی پرایمینگ با امواج فراصوت برای تریچه بود و تاثیر تیمار ۸ دقیقه در بذور این گیاه، کاهش شدید جوانه‌زنی را نشان داد (۶). نتایج مطالعه گوس و همکاران بیانگر افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی در گندم، نخود، هندوانه و فلفل است. افزایش درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر نوعی گراس تیمار شده با امواج فراصوت توسط چین و همکاران گزارش شده است (۱۹). تاثیر امواج فراصوت به پارامترهای آن مانند شدت و مدت زمان بستگی دارد. امواج فراصوت با شدت‌های بین ۱-۴۲ کیلوهرتز و مدت زمان بین ۳ ثانیه تا ۶۰ دقیقه، بسته به گونه برای پرایمینگ مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶). در تحقیق ریسکا و

هضم و تجزیه آندوسپرم و ذخایر مواد غذای در لپه، سنتز برخی مواد ضروری برای تغذیه و رشد جنین را فراهم ساخته است. بر اساس مطالعات انجام شده مشخص شد بهبود عملکرد جوانه‌زنی در بذره‌های پرایم شده به وضوح با فعالیت بالاتر آنزیم کاتالاز همراه بوده است (۱۵). بر اساس گزارش اولسن و همکاران، فعالیت بالاتر آنزیم کاتالاز را می‌توان مرتبط با انتقال بهتر ذخایر چربی و رشد سریع‌تر گیاهچه مرتبط دانست. همچنین آنزیم کاتالاز در حذف H_2O_2 در فرایند β اکسیداسیون اسید چرب در گلی‌اکسیزوم‌ها نقش کلیدی ایفا می‌کند (۴۵). یافته‌های یاه و همکاران نیز نشان داد فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز ارتباط تنگاتنگی با جوانه‌زنی و طول عمر انباری بذر دارد (۵۵). در مطالعه عبادی و همکاران پیش تیمار بذر سبب بهبود آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مارتیغال شده و با کاهش تاثیر فرسودگی بذر سبب افزایش قدرت بذر شده است (۵).

در این تحقیق فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در فاز آبنوشی و جوانه‌زنی بذره‌های پرایم شده با امواج فراصوت روند افزایشی را نشان داد. در مطالعه چین و همکاران تاثیر امواج فراصوت بر فعالیت بالاتر سوپراکسیددیسموتاز در گندم گزارش شده است (۲۰). در مطالعه لیو و همکاران افزایش میزان فعالیت سوپراکسیددیسموتاز در فستوکا و چاودار وحشی تحت تاثیر امواج فراصوت گزارش شده است (۳۶). مطالعه تاثیر امواج فراصوت بر جوانه‌زنی جو توسط یلداگرد و مرتضوی نشان داد که افزایش جوانه‌زنی در جو به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی است (۵۴). مطابق با یافته‌های هسو و همکاران، پرایمینگ با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در کدوی تلخ شده است (۲۷). گوس و همکاران، گزارش نمودند که تغییرات آندوسپرم بوسیله امواج فراصوت منجر به افزایش آنزیم‌های مرتبط با هیدرولیز در بذر مانند کاتالاز شده

زمان سبز شدن بومادران را کاهش داد (۴۳). الیاسی‌راد و همکاران بیان نمودند که پرایمینگ بذر سبب افزایش شاخص بنیه بذر و کاهش مدت زمان جوانه‌زنی در انغوزه شده است (۲۱). همچنین تاثیر پرایمینگ بذر بر افزایش درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر آویشن توسط اسعدی و همکاران گزارش شده است (۱). بر اساس یافته‌های مک‌دونالد بهبود شرایط فیزیولوژیکی در بذرهای پرایم شده نقش مهمی در افزایش سرعت جوانه‌زنی و کاهش میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی دارد (۴۱).

با افزایش سطوح مدت زمان و شدت امواج مورد استفاده در پرایمینگ بذر کنجد، ضریب یکنواختی جوانه‌زنی بهبود یافت. تاثیر امواج فراصوت بر شاخص‌های جوانه‌زنی زیان در مطالعه میرشکاری و همکاران نیز گزارش شده است. نتایج این محققین نشان داد پرایمینگ با امواج فراصوت سبب بهبود ضریب یکنواختی جوانه‌زنی در تمام تیمارها شد (۴۲). در پژوهش حاضر پرایمینگ فیزیکی با امواج فراصوت سبب افزایش بنیه گیاهچه کنجد شد. بنیه گیاهچه بیانگر قدرت بذر بوده و بر تمام شاخص‌های تعیین کننده توانایی بذر برای سبز شدن سریع و یکنواخت و همچنین نمو طبیعی گیاهچه‌ها در طیف وسیعی از شرایط مزرعه تاثیر گذار است (۲۱). در مطالعه جی و همکاران، افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز و افزایش سریع شدت تنفس در بذرهای پرایم شده چاودار وحشی، دلیل افزایش طول گیاهچه و در نتیجه افزایش شاخص بنیه‌بذر ذکر شده است. با توجه به اینکه بنیه‌بذر تحت تاثیر دو عامل طول گیاهچه و درصد جوانه‌زنی است، لذا افزایش شاخص بنیه در تیمارهایی با درصد بالای جوانه‌زنی و میانگین طول گیاهچه، در چاودار وحشی گزارش شده است (۳۱). تاثیر پرایمینگ با امواج فراصوت به مدت ۵ دقیقه بر شاخص بنیه در بومادران افزایش ۷۰ درصدی را نسبت به پرایمینگ با آب مقطر نشان داد (۴۳). چین و همکاران گزارش کردند که امواج فراصوت سبب

همکاران افزایش ۴۰ درصدی جوانه‌زنی در بذر صنوبر نروژی در مدت زمان ۵۰ ثانیه استفاده از امواج فراصوت گزارش شده است. نتایج این تحقیق همچنین بیانگر این است که مدت زمان مناسب تیمار امواج فراصوت برای پرایمینگ در بین ارقام و گونه‌ها بسیار متنوع است (۴۶). یافته‌های الدجاجیان تاثیر توأم مدت زمان و شدت امواج فراصوت را بر جوانه‌زنی گندم نشان می‌دهد و اینکه که تاثیر امواج فراصوت بر جوانه‌زنی، به شدت امواج و مدت زمان قرار گرفتن بذر در معرض امواج فراصوت بستگی دارد (۱۲). در تحقیق اخیر امواج فراصوت سبب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در کنجد در آزمایشگاه شد. مطالعات لیو و همکاران نشان داد امواج فراصوت بر سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در فستوکا و چاودار وحشی معنی‌دار بود. همچنین بین درصد و سرعت جوانه‌زنی همبستگی مثبتی با طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در فستوکا گزارش شده است (۳۶). افزایش طول گیاهچه‌های عدس تحت تاثیر امواج فراصوت، توسط الدجاجیان و همکاران گزارش شده است (۱۲). برخی محققین افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه ذرت را به افزایش سرعت جوانه‌زنی حاصل از پرایمینگ نسبت می‌دهند (۲۶).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد پرایمینگ بذر با امواج فراصوت سبب کاهش میانگین زمان لازم تا جوانه‌زنی و افزایش متوسط جوانه‌زنی روزانه در کنجد شده است. با افزایش مدت و شدت امواج مورد استفاده در کنجد میانگین جوانه‌زنی روزانه، میانگین زمان جوانه‌زنی و ضریب یکنواختی جوانه‌زنی بهبود یافت. ملکی فراهانی و همکاران (۴۰) در بررسی تاثیر میدان الکترومغناطیسی و امواج فراصوت بر جوانه‌زنی بذر زیره سبز نیز نتایج مشابهی را در افزایش سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، کاهش زمان لازم برای جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر گزارش کردند. یافته‌های میرشکاری و همکاران نشان داد امواج فراصوت در مقایسه با امواج مغناطیسی و لیزر، مدت

وزن خشک گیاهچه‌های بومادران در مطالعه میرشکاری و همکاران نیز گزارش شده است. بالاترین بیوماس در تیمار ۵ دقیقه کاربرد امواج فراصوت به میزان ۰٫۵۹ گرم به ازاء هر گیاهچه مشاهده شد (۴۲).

نتیجه‌گیری

پرایمینگ بذر کنگد با امواج فراصوت سبب افزایش شاخص‌های مورفولوژیکی، جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی کنگد شد. نتایج پژوهش اخیر نشان داد مدت و شدت امواج فراصوت با اثرات ساده و متقابل سبب بهبود صفات مورد مطالعه گردید. در آزمایش اول در آزمایشگاه، تیمار مدت زمان ۸ دقیقه با شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج، بیشترین سرعت و درصد جوانه‌زنی را نشان داد و با افزایش شدت و مدت زمان استفاده از امواج، علی‌رغم افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، جوانه‌های غیرطبیعی افزایش یافت که صفتی نامطلوب است. کمترین جوانه غیرطبیعی همراه با بالاترین سرعت و درصد جوانه‌زنی در بذرهای پرایم شده به مدت زمان ۶ دقیقه در شدت ۴۰ کیلوهرتز امواج بدست آمد. نتایج آزمایش دوم در گلخانه ضمن تایید اثرات مثبت امواج فراصوت بر جوانه‌زنی کنگد، نشان داد بالاترین درصد سبز شدن در ترکیب تیماری ۶ دقیقه کاربرد امواج با شدت ۳۰ کیلوهرتز مشاهده شد. در سایر صفات، تیمار ۸ دقیقه کاربرد امواج با شدت ۴۰ کیلوهرتز بالاترین میانگین صفات را نشان داد. با توجه به بیشتر بودن اهمیت و اولویت درصد سبز شدن بر تراکم بوته و عملکرد نهایی نسبت به سایر صفات، تیمار ۶ دقیقه کاربرد امواج فراصوت با شدت ۳۰ کیلوهرتز مناسب‌ترین ترکیب تیماری برای پرایمینگ در کنگد پیشنهاد می‌شود.

افزایش ۵۶/۷ درصد بنیه بذر نوعی چمن نسبت به شاهد شده است (۱۹).

بر اساس نتایج این مطالعه افزایش شدت و مدت زمان کاربرد امواج فراصوت سبب افزایش درصد و تعداد گیاهچه‌های غیرطبیعی در کنگد شده است. افزایش تعداد گیاهچه‌های غیر طبیعی به دلیل افزایش تخریب و آسیب به جنین است. نتایج مشابه در مطالعه گوس و همکاران در بذرهای لفل مورد مطالعه گزارش شده است (۲۴). در مطالعه فاریابی و همکاران تاثیر منفی مدت زمان زیاد کاربرد امواج فراصوت نیز به صورت کاهش شدید جوانه‌زنی در تربچه مشاهده شد (۶). نتایج مطالعه حاضر در گلخانه نشان داد امواج فراصوت سبب افزایش شاخص‌های مورفولوژیک از جمله افزایش طول ریشه، ساقه، تعداد و سطح برگ در کنگد شده است. نتایج تحقیق گوس و همکاران، بیانگر این است که استفاده از امواج فراصوت بمدت ۵ تا ۶۰ دقیقه ضمن افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، سبب افزایش شاخص‌های رشد از جمله سطح برگ، طول ریشه و ساقه در هندوانه و گندم شده است (۲۴). همچنین بر اساس یافته‌های ماشیکوا و همکاران، پیش تیمار بذر با امواج فراصوت سبب افزایش شاخص‌های رشد گیاهچه‌های آفتابگردان شده است (۳۷). در تحقیق حاضر پرایمینگ با امواج فراصوت سبب افزایش بیوماس کل در کنگد شده است. چین و همکاران گزارش کردند که افزایش فعالیت‌های بیوشیمیایی در متابولیسم گیاهان قرار گرفته در معرض امواج فراصوت سبب تسریع در بیوسنتز کلروفیل و پروتئین و نهایتاً افزایش رشد گیاهچه و بیوماس بالاتر در گندم شده است (۲۰). در مطالعه یوسفی تنها و همکاران افزایش وزن خشک ریشه‌چه در تیمارهای پرایمینگ بذر یونجه یکساله نیز گزارش شده است (۹). تاثیر امواج فراصوت بر افزایش

منابع

- ۱- اسعدی، علی محمد. حشمتی، غلامعلی. ۱۳۹۴. اثر تیمارهای مختلف بر شکستن خواب و تحریک جوانه‌زنی بذر آویشن خراسانی (*Thymus transcasicus* Ronn) و آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss) (مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۸(۱): ۱۲-۲۲).
- ۲- جوانمرد، زینب. طبری کوچکسرای، مسعود. احمدلو، فاطمه. ۱۳۹۳. تأثیر اسموپرایمینگ بر جوانه زنی و شاخص‌های کیفی فیزیولوژیکی بذر کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw) تحت تنش خشکی. مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۷(۳): ۳۹۵-۴۰۵.
- ۳- سرخی‌لله‌لو، فرشاد. ۱۳۸۸. ارزیابی اثرات امواج فراصوت و میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.)، ششمین کنگره علوم باغبانی ایران، رشت، دانشگاه گیلان.
- ۴- شمسی، فاطمه. روشندل، پرتو. خرازیان، نواز. ۱۳۹۴. اثر تیمارهای مختلف در شکست خواب و تحریک جوانه زنی بذر سلمه (*Atriplex leuococlada* Boiss). مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۸(۵۳): ۱۰۴۳-۱۰۵۳.
- ۵- عبادی، علی. پرمون، قاسم و جهانبخش، سدابه. ۱۳۹۵. تأثیر پیش‌تیمار بذر بر شاخص‌های قدرت گیاهچه در بذر فرسوده sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. *Seed Science Research*. 10 (1): 35-42.
- ۶- ماریتغال (*Silybum marianum*) مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۹(۳): ۵۶۶-۵۵۳.
- ۷- قاسمی نژاد، پیمان. مهر آفرین، علی. حسینی، مهسا و منصوری، معصومه. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر ربایش مغناطیسی و امواج فراصوت بر جوانه‌زنی بذر کنگر فرنگی (*Cynara scolymus*). دومین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.
- ۸- مرغابی‌زاده، غزال. قرینه، محمدحسین. فتیحی، قدرت‌الله و ابدالی، علیرضا. ۱۳۹۱. تأثیر امواج فراصوتی و میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی گیاه زنیان در شرایط آزمایشگاه. دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.
- ۹- یوسفی‌تنها، الهام. فلاح، سیف‌الله. ۱۳۹۵. اثر پرایمینگ بذر بر پارامترهای جوانه‌زنی بذر یونجه یکساله (*Medicago scutellata* L) تحت شرایط تنش سرما. مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۹(۳): ۶۵۹-۶۷۴.
- 10- Abbasdokht, H. 2010. The effect of hydropriming and halopriming on germination and early growth stage of wheat (*Triticum aestivum* L.) *DESERT* 16(1): 61-68.
- 11- Abdul – Baki, A. A., and J. D., Anderson, 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. *Crop Science* 13: 630-633.
- 12- Aladjadjian, A. 2011. Ultrasonic stimulation of the development of lentils and wheat seedlings. *Romanian journal of biophysics* 21(3): 179-187.
- 13- Aladjadjian, A. 2007. The use of physical methods for plant growing stimulation in bulgaria. *Journal of Central European Agriculture* 8(3): 369-380.
- 14- Ashraf, M., Foolad, M. R. 2005. Pre-sowing seed treatment e a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy* 88: 223-271.
- 15- Bailly, C., Benamer, A., Corbineau, F. and Come, D. 2000. Antioxidant systems in
- 16- Barton, S., Bullock, C. and Weir, D. 1996. The effects of ultrasound on the activities of some glucosidase enzymes of industrial importance. *Enzyme and Microbial Technology*. 18 (3): 190-194.
- 17- Bewley, J. D. and black, M. 1994. *Seeds: physiology of development and germination*. 2nd ed. Plenum Press, New York. Chapter Seeds: 1-33.
- 18- Bodsworth, S. and Bewley, J. D. 1981. Osmotic priming of seeds of crop species with polyethylene glycol as a means of enhancing early and synchronous germination at cool temperature. *Canadian Journal of Botany* 59: 672-676.
- 19- Chen, G., Wang, Q., Liu, Y., Li, Y., Cui, J., Liu, Y., Liu, H. and Zhang, Y. 2012. Modelling analysis for enhancing seed vigour of switch

- grass (*Panicum virgatum* L.) using an ultrasonic technique. *bioma ss and bioenergy* 47: 426-435.
- 20- Chen, Y. P., Liu, Q., Yue, X. Z., Meng, Z. W. and Liang, J. 2013. Ultrasonic vibration seeds showed improved resistance to cadmium and lead in wheat seedling. *Environmental Science and Pollution Research* 20(7): 4807-4816.
- 21- Elyasirad, S., Mousavi, S. GH. and Sangari, Gh. 2016. Effects of Hydro and Osmopriming on Germination and Emergence of Asafoetida (*Ferula assa-foetida* L.). *Journal of Seed Ecophysiology* 1(2): 165-179.
- 22- Fateh, E., Noroozi, H., Farbod, M, and Gerami, F. 2012. Assessment of Fennel (*Foeniculum vulgare*) seed germination characteristics as influenced by ultrasonic waves and magnetic water. *European Journal of Experimental Biology* 2: 662-666.
- 23- Ghiyasi, M., Seyahjam, A. A., Tajbakhs, M., Amirnia, R. and Salehzade, H. 2008. Effect of osmopriming with polyethylene glycol (8000) on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds under salt stress. *Journal of Biological. Science.* 3(10): 1249-1251.
- 24- Goussous, S. J., Samarah, N.H., Alqudah, A. M. and Othman, M.O. 2010. Enhancing seed germination of four crops species using an ultrasonic technique. *Experimental Agriculture* 46: 231-242.
- 25- Harris, D., Joshi, A., Khan, P. A., Gothkar, P. and Sodhi, P. S. 1999. On-farm seed priming in semi-arid agriculture: Development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. *Experimental Agriculture* 35: 15-29.
- 26- Hebling, S. A. and Da silva, W. R. 1995. Effects low intensity ultrasound on the germination of corn seeds (*Zea mays* L.) under different water availabilities, *Scientia Agricola*, 52: 514-520.
- 27- Hsu, C. C., Chen, C. L., Chen, J. J. and Sung, J. M. 2003. Accelerated aging-enhanced lipid peroxidation in bitter melon seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. *Scientia Horticulture*. 98: 201-212.
- 28- Huard, S., Petit, H. V., Seoane, J. R. and Rioux, R. 1998. Effects of mechanical treatment of whole canola seeds on performance, diet digestibility and rumen parameters of lambs fed grass silage. *Canadian Journal of Animal Science*, 1998, 78: 657-664.
- 29- Hunter, E. A., Glasbey, C. A. and Naylor, R. E. L. 1984. The analysis of data from germination tests. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 102: 207-231.
- 30- ISTA. 2009. International rules for seed testing. The International Seed Testing Association (ISTA) Press, Switzerland.
- 31- Jie, L., Gongshe, L., Dongmei, Q., Fangfang, L. and Enhua W. 2002. Effects of PEG on germination and active oxygen metabolism in wild rye (*Leymus chinensis*) seeds. *Acta Prataculturae Sinica* 11: 59-65.
- 32- Kaneko, M., Itoh, H., Ueguchi, M., Tanaka, Ashikari, M. and Matsuoka, M. 2002. The α -amylase induction in endosperm during rice seed germination is caused by gibberellins synthesized in Epithelium. *Plant Physiol* 128: 1264-1270,
- 33- Khajeh-Hosseini, M., Lomholt, A. and Matthews, S. 2009. Mean germination time in the laboratory estimates the relative vigour and field performance of commercial seed lots of maize (*Zea mays* L.). *Seed Science and Technology* 37: 446-456.
- 34- Khalil, S. K., Mexal, J. G. and Ortiz, M. 1997. Osmotic priming hastens germination and improves seedling size of (*Pinus brutia* var. *eldarica*). *Tree Planters Notes* 48: 24-27.
- 35- Koca, H., Bor, M., Ozdemir, F. and Turkan, I. 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 60: 344-351.
- 36- Liu, J., Wang, Q., Karagic, D, Liu, X., Cui, J., Gui, J., Gu, M. and Gao, W. 2016 . Effects of ultrasonication on increased germination and improved seedling growth of aged grass seeds of tall fescue and Russian wild rye. *Scientific Reports* 6: 22403.
- 37- Machikowa, T., Kulrattanak, T. and Wonprasaid, S. 2013. Effects of Ultrasonic Treatment on Germination of Synthetic Sunflower Seeds. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering* 7: 13-16.
- 38- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science* 2: 176-177.
- 39- Mahmood, A., Can, O. T., Farooq, M. and Hayat, R. 2016. Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: a review . *FEMS Microbiology Ecology* 92: 112

- 40- Maleki, F. S., Rezazadeh, A. and Aghighi Sh. M. 2015. Effects of Electromagnetic Field and Ultrasonic Waves on Seed Germination of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Iranian Journal of Seed Research 2(1): 109-118.
- 41-McDonald, M., 2000. Seed priming In Seed Technology and its Biological Basis. Black, M. and Bewley, J. D. (Eds.). Sheffield Academic Press, Sheffield, UK. pp: 287-325.
- 42- Mirshekari, b. and Siyami, R. 2015. Effects of sowing date and pre-treatment methods on seed emergence and yield of yarrow (*Achillea santolina*). ARPN Journal of Agricultural and Biological Science. 10(2): 74-78.
- 43- Mirshekari, b., Farahvash, f., Siyami, R., Moghbeli, H. A. and Sotudeh, K. A. 2015. Ultrasonic irradiation could increase germination and seedling vigor of common yarrow (*Achillea millefolium*), as a medicinal plant. Acta agriculturae slovenica 105(2): 203-212.
- 44- Moradi, A. Younesi, O. 2009. Effects of osmo and hydro priming on seed parameters of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Australian Journal of Basic and Applied Sciences.3: 1696-1700.
- 45- Olsen, L. J. and Harada, J. J. 1995. Peroxisomes and their assembly in higher plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 46: 123-146.
- 46- Risca, I. M., Stiuca, P. and chiroiu, V. 2007. Ultrasound effects contributions on the Norway spruce seeds germination (*Picea abies* L. Karsten). Gen. Biol. Molec.8: 87-88.
- 47- Sairam, R.K. and Srivastava, G. C. 2001. Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* .L): Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activiy in tolerant and susceptible genotype. Journal of Agronomy and Crop Science 186: 63-70.
- 48- Sairam, R. K. , Veerabhadra, R. K. and Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science 163: 1037-1046.
- 49- SAS Institute. 1999. SAS/Stat User's Guide . Version 8.0. SAS Institute .Cary .NC
- 50- Scott, S. J., Jones, R. A., and Williams, W. A. 1984. Review of data analysis method for seed germination. Crop science 24:1192-1199.
- 51- Scouten, A. J. and Beuchat, L. R. 2002. Combined effects of chemical, heat and ultrasound treatments to kill Salmonella and Escherichia coli O157: H7 on alfalfa seeds. Journal of applied microbiology 92(4): 668-674.
- 52- Shin, Y. K., Baque, M.A., Elghamedi, S., Lee, E.J. and Paek, K.Y. 2011. Effects of activated charcoal, plant growth regulators and ultrasonic pretreatments on in vitro germination and protocorm formation of Calanthe hybrids. Australian Journal of Crop Science 5(5): 582-588.
- 53- Wang, Q., Chen, G., Yersaiyiti, H., Liu, Y., Cui, J., Wu, C., Zhang, and Y., He, X. 2012. modeling analysis on germination and seedling growth using ultrasound seed pretreatment in switchgrass. plos one 7(10): 47204
- 54- Yaldagard, M., Mortazavi, SA. and Tabatabaie, F. 2007. The effectiveness of ultrasound treatment on the germination stimulation of barley seed and its alpha-amylase activity. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology 1(10): 489-492.
- 55- Yeh, Y.M., Chiu, K.Y., Chen, C. L. and Sung, J. M. 2005. Partial vacuum extends the longevity of primed bitter melon seeds by enhancing their anti-oxidative activities during storage. Science Horticulture 104: 101-112.

Evaluation of germination, physiological and morphological characteristics of sesame (*sesamum indicum* L.) under different ultrasound treatment.

Moghbeli H., Gholami A., Amerian M.R. and Abbasdokht H.

Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Shahrood Univrsity of Technology, Shahrood, I.R. of Iran.

Abstract

In order to evaluate the effects of ultrasound intensity (20-30, 40 kHz) and ultrasound exposure time (2- 4- 6 and 8 minutes) on germination, physiological and morphological characteristics of sesame, two separate experiments were performed in laboratory and research greenhouse of Shahrood University of Technology. The trials arranged in a factorial experiment based on a randomized complete block design with four replications. In the first experiment, germination percentage, the speed of germination, mean germination time, mean day germination, seed vigor index, root and shoot length, the coefficient of uniformity of germination, abnormal seedling percentage and some physiological characteristics including the activity of catalase and superoxide dismutase enzymes were evaluated. In the second experiment, emergence percentage, speed of emergence and morphological characteristics including plant height, leaf number and leaf area, root length, root to shoot ratio and total biomass were measured. Based on results, ultrasound exposure time had significant effects on all studied characteristics in both experiments, so that the highest and lowest mean value was related to the 8 and 2 minute respectively. Ultrasound intensity significantly influenced most of the studied characteristics and the highest and lowest mean was obtained at 40 and 20 kHz respectively. The interaction of ultrasound intensity and ultrasound exposure time were significant on most of traits. According to the results, it can be concluded that the use of ultrasound irradiation could greatly improve the germination, morphological and physiological characteristics of sesame.

Key words: Enzyme, Germination, Priming, Sesame, ultrasound