نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد سیزدهم، شماره ۱(۴۹)، بهار ۱۳۹۸، صفحه ۷۲ـ۵۷

تأثیر میدان الکترومغناطیس و امواج فراصوت بر جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه‌ای و درصد اسانس آویشن (*Thymus vulgaris* L.)

نادر آشناگر[۱]، تورج میرمحمودی[۲*]، و نادر جلیل‌نژاد[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

چکیده

تأثیر میدان الکترومغناطیس و امواج فراصوت بر جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه‌ای آویشن با انجام دو آزمایش جداگانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی در چهار تکرار در سال ۱۳۹۶ در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد بررسی شد. در آزمایش نخست، بذرها به مدت ۵، ۱۵ و ۳۰ دقیقه در معرض میدان الکترومغناطیس با شدت‌های ۵، ۵۰، ۱۰۰ میلی تسلا و در آزمایش دوم، بذرها به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه در معرض امواج فراصوت با شدت ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوهرتز قرار گرفتند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل زمان در شدت میدان الکترومغناطیسی و زمان در شدت امواج فراصوت بر کلیه صفات و شاخص‌های مورد بررسی معنی‌دار بود. در این تحقیق بالاترین درصد جوانه‌زنی (۹۷/۶۶ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۰/۲۰) طول ریشه‌چه (۸/۷۰ سانتی‌متر)، طول ساقه‌چه (۹/۶۷ سانتی‌متر)، وزن خشک ریشه‌چه (۴۱/۵ میلی‌گرم)، وزن خشک ساقه‌چه (۴۴/۷۵ میلی‌گرم)، وزن خشک گیاهچه (۸۶/۲۱ میلی‌گرم) و وزن خشک اندام هوایی (۰/۶۳ گرم) و کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی (۴/۸۴ روز) به بذرهای تیمار شده با شدت میدان الکترومغناطیسی ۵۰ میلی تسلا به مدت ۱۵ دقیقه اختصاص یافتند. همچنین، بالاترین درصد جوانه‌زنی (۹۰/۶۶ درصد) سرعت جوانه‌زنی (۰/۲۱)، طول ریشه‌چه (۷/۷۸ سانتی متر)، طول ساقه‌چه (۷/۶۵ سانتی‌متر)، وزن خشک ریشه‌چه (۴۱/۲۰ میلی‌گرم)، وزن خشک ساقه‌چه (۵۳/۶۰ میلی‌گرم)، وزن خشک گیاهچه (۹۴/۸۰ میلی‌گرم) و وزن خشک اندام هوایی (۳/۴۴ میلی‌گرم) به تیمار شدت امواج فراصوت ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶ دقیقه تعلق داشتند. بیشترین درصد اسانس نیز از شدت میدان الکترومغناطیسی ۵ میلی تسلا به مدت۳۰ دقیقه (۳/۴۴ درصد) و امواج فراصوت ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶دقیقه (۲/۹۵ درصد) به‌دست آمد. بنـابراین، این دو تیـمار برای بهبـود ویژگی‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای آویشن می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: اسانس، آویشن، جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

* نگارنده‌ی مسئول toraj73@yahoo.com

مقدمه

آویشن (*Thymus vulgaris* L.) متعلق به تیره نعناع (Lamiaceae) همانند دیگر جنس‌های این تیره از جمله مرزه و مرزنگوش دارای ترکیبات فعال بیولوژیک متعدد در اسانس و عصاره می‌باشد که امروزه در صنایع دارویی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Aghajani *et al*., 2014). جوانه‌زنی مطلوب و در پی آن استقرار یکنواخت در مزرعه می‌تواند راه را برای تولید محصولی قابل قبول از نظر کیفی و کمّی هموار سازد. روش‌های بیوفیزیکی قادر به افزایش رشد گیاهان با استفاده از سطح بالای انرژی هستند (Das and Bhattacharya, 2006). این روش‌ها مقدار انرژی را، مستقل از منشأ آنها افزایش داده و پتانسیل الکتریکی غشای سلول را افزایش می‌دهند. میدان‌های الکترومغناطیسی با وسایل الکتریکی، سیم‌کشی الکتریکی و منابع طبیعی مانند خورشید و حتی موجودات زنده اطراف ما تولید می‌شود. آثار زیستی میدان‌های الکترومغناطیسی فقط به علت مؤلفه الکترومغناطیس باشد (Das and Bhattacharya, 2006). از روش‌های بیوفیزیکی پرایمینگ بذر، می‌توان به تیمار بذر توسط امواج فراصوتی و میدان مغناطیسی اشاره کرد. امواج فراصوتی، امواج مکانیکی هستند که فرکانس آنها بیش از ۲۰ کیلوهرتز بوده و دارای انرژی بالایی هستند و می‌توانند سبب بالا رفتن دمای بافت‌ها شوند. انرژی امواج فراصوتی قادر است قارچ‌ها، بیماری‌ها و میکروارگانیسم‌های موجود در خاک و یا روی پوسته‌ی بذر را کاهش دهد (Li and Ramaswamy, 2005). بذرهایی که از یک میدان مغناطیسی عبور داده می‌شوند، دچار تورم شده و در نتیجه فعالیت هورمون اکسین در این بذرها افزایش می‌یابد. همچنین، میزان تنفس در آنها افزایش یافته و دارای انرژی و فعالیت زیادتری شده که نتیجه‌ی آن جوانه‌زنی سریع‌تر و یکنواخت‌تر و ایجاد گیاهان مقاوم به تنش‌ها به خصوص تنش شوری است (Marinkovic *et al*., 2008). سرخی لله‌لو (Sorkhi llah Lo, 2009) در ارزیابی اثرات امواج فراصوت و میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) نشان داد در تیمارهای شش، چهار و یک دقیقه قرار گرفتن بذر در مجاورت امواج فراصوت KHZ۴۲، درصد جوانه زنی به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد از ۲۳/۸۴ به ۳۱/۸۸، ۲۶/۹۲ و ۸۲/۸۵ افزایش نشان داد ولی با مدت قرارگیری بیشتر تحت تاثیر امواج فراصوت درصد جوانه‌زنی بیشتر نشد. ملکی فراهانی و همکاران (Maleki Farahani *et al*., 2015) در مطالعه تأثیر میدان الکترومغناطیس و امواج فراصوت بر جوانه‌زنی بذر زیره سبز مشاهده کردند بیشترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰ درصد) برای تیمار ۴۰ کیلوهرتز با مدت زمان‌های چهار و شش دقیقه بوده و بیشترین میانگین مدت جوانه‌زنی را تیمار شاهد و تیمار ۵۹ کیلوهرتز به مدت زمان‌های دو و چهار دقیقه داشته است. مرغایی‌زاده و همکاران (Marghaeizadeh *et al*., 2014) گزارش کردند میدان مغناطیسی اعمال شده در زمان ۳۰ و ۴۵ دقیقه و امواج فراصوتی با زمان دو دقیقه بیشترین تاثیر را بر گیاه دارویی زنیان داشت.

تحقیق حاضر به‌منظور تأثیر میدان الکترومغناطیس و امواج فراصوت بر خصوصیات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بذر آویشن انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو آزمایش جداگانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد انجام شد. در آزمایش اول، بذرها در معرض شدت میدان الکترومغناطیسی ۵ (به‌عنوان شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ میلی تسلا به مدت ۵، ۱۵ و ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. در آزمایش دوم، بذرها به مدت ۴، ۸ و ۱۲ دقیقه در معرض امواج فراصوت با شدت ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوهرتز قرار گرفتند. برای اعمال تیمارهای الکترومغناطیسی در دستگاه الکترومغناطیس حلقه‌ای با صفحات طولی فیریت و کوئل سیم‌پیچ مسی به قطر ۰/۸ میلی‌متر با قدرت تولید فلوی مغناطیسی از صفر تا ۱۳۰ میکروتسلا با توجه به سیستم تغذیه الکتریکی متغیر قرار گرفتند که دستگاه به‌وسیله جریان آب سرد، خنک می‌شد. شدت‌های الکترومغناطیس با دستگاه اندازه‌گیری جریان مغناطیسی TES 1390 ساخت تایوان انجام شد.

در آزمایش دوم برای بررسی اثر امواج فراصوت بر جوانه‌زنی بذر آویشن بذرها بر اساس تیمارهای مربوطه در دستگاه Digital Ultrasonic مدل LBS 2 (LIT15) ساخت کشور ایتالیا قرار گرفت. قبل از اعمال تیمار امواج فراصوت و الکترومغناطیس، ابتدا بذرها با قرار گرفتن در هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت سه دقیقه ضدعفونی و سپس با استفاده از آب مقطر جهت حذف باقیمانده هیپوکلریت سدیم از سطح بذر، چند مرتبه شستشو داده شدند. در هر دو آزمایش پس از اعمال تیمارها، تعداد ۲۵ بذر از هر تیمار در سه تکرار در داخل پتری‌دیش ۹ سانتی‌متری دارای یک عدد کاغذ صافی واتمن قرار داده شدند. پتری‌دیش‌ها در ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و دوره‌ی تاریکی و روشنایی ۱۲-۱۲ ساعت به مدت پانزده روز جهت جوانه‌زنی قرار داده شدند. تعداد بذور جوانه‌زده (خروج دو میلی‌متر ریشه‌چه به‌عنوان معیار جوانه‌زنی در نظر گرفته شد) در هر روز تا روز پانزدهم (Mazaheri and Majnon-Hosseini, 2002) شمارش و یادداشت شد.

شمارش بذرهای جوانه‌زده هر روز پس از شروع آزمایش انجام شد. در روز دهم طول ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه‌گیری و ثبت شدند. بعد از اتمام این دوره صفات زیر اندازه‌گیری شد:

سرعت جوانه‌زنی (GR): $\overline{GR} = \frac{n}{\sum Dn}$ (Mazaheri and Majnon-Hosseini, 2002).

$\overline{GR}$: سرعت جوانه‌زنی، n: تعداد کل روزهای آزمایش و Dn: تعداد بذور جوانه‌زده در روز nام بود.

درصد جوانه‌زنی: در پایان آزمون سرعت جوانه‌زنی، در هر تیمار و تکرار تعداد کل بذرهای جوانه‌زده شمارش گردید و با توجه به اینکه در هر کاغذ صافی ۲۵ عدد بذر قرار دارد، درصد جوانه‌زنی یا درصد بذور زنده هر تیمار تعیین گردید (Mazaheri and Majnon-Hosseini, 2002).

میانگین مدت جوانه‌زنی (MGT): با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Mazaheri and Majnon-Hosseini, 2002).

$$\overline{MGT} = \frac{\sum Dn}{\sum n}$$

در این رابطه D تعداد روزها پس از آزمون جوانه‌زنی و n تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز D می‌باشد.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه: در اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه از محل طوقه تا دو انتهای گیاه‌چه با خط‌کش اندازه‌گیری شد.

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه: این اندام‌ها به‌طور جداگانه در داخل پاکت به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در داخل آون

الکتریکی قرار داده شـــده و با استفاده از یک ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند.

وزن خشک اندام هوایی: بذرهای تیمار شده آویشن در تیمارهای مورد بررسی در اسفند ماه در دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد واحد مهاباد کشت شدند. برداشت بوته‌ها به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌های هوایی و استخراج و اندازه‌گیری درصد اسانس در مرحله گلدهی (Bitarafan *et al.*, 2017) انجام شد. استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و بـه‌وسیله‌ی دستگاه کلونجر به مدت سه ساعت صورت گرفت.

قبل از انجام تجزیه واریانس جهت برقراری مفروضات تجزیه واریانس در مورد صفاتی که از شمارش حاصل شده بودند و یا به‌صورت درصد بودند تبدیل داده (تبدیل آرکسینوس) صورت گرفت، سپس داده‌های حاصـل با اسـتـفاده از نرم‌افزار SAS.9.2 تجزیه واریانس گردید و همچنین مقایسه میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر زمان قرارگیری بذور در معرض میدان مغناطیسی بر کلیه صفات مورد بررسی به‌غیر از سـرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و درصد اسانس معنی‌دار بود، همچنین اثر شدت میدان مغناطیسی بر کلیه صفات به غیر از درصـد جـوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی، وزن خشک اندام هوایی و درصد اسانس معنی‌دار بود. اثر متقابل دو تیمار نیز بر کلیه صفات معنی‌دار بود (جدول ۱).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها از لحاظ مدت و شدت امواج فراصوت نشان داد که اثر مدت زمان قرارگیـری بذور بر کلیه صفات به‌غیر از طول ساقه‌چه، وزن خشک اندام هوایی و درصد اسانس معنی‌دار بود. همچنین، اثر شدت امواج نیز بر کلیه صفات به‌غیر از وزن خشک اندام هوایی و درصد اسانس معنی‌دار به‌دست آمد، اما اثر متقابل مدت در شدت امواج فراصوت بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول ۲).

پرایمینگ بذور آویشن با شدت میدان الکترومغناطیسی ۵۰ میلی تسلا در مدت زمان ۱۵ دقیقه با متوسط ۹۷/۶۶ درصد بالاترین و شدت میدان الکترومغناطیسی ۱۰۰ میلی تسلا در مدت زمان ۳۰ دقیقه به میزان ۷۳/۶۶ درصد کمترین درصد جوانه‌زنی را به خود اختصاص داد (جدول ۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیمارها زمان ۳۰ دقیقه در هر سه تیمار شدت میدان الکترومغناطیسی از میانگین جوانه‌زنی بالاتری در مقایسه با دو تیمار دیگر برخوردار بود به‌طوری‌که شدت میدان الکترومغناطیسی ۵ میلی تسلا به مدت ۳۰ دقیقه با متوسط ۸/۲۳ روز بیشترین متوسط زمان جوانه‌زنی را به خود اختصاص داد که در مقایسه با تیمار شاهد (۵ میلی‌تسلا به مدت ۵ دقیقه) با متوسط ۴/۹۸ روز، متوسط زمان جوانه‌زنی ۳۹/۴۸ درصد افزایش داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده در خصوص متوسط زمان جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی ممکن است که میدان‌های مغناطیسی ضعیف اثر تحریک‌کنندگی بیشتری نسبت به میدان‌های قوی‌تر داشته و یا حتی میدان‌های قوی اثر بازدارندگی بر جوانه‌زنی بذر داشته باشند (Aladjadjiyan, 2010). ملکی فراهانی و همکاران (Maleki Farahani *et al.*, 2015) گزارش کردند بیشترین درصد جوانه‌زنی بذور زیره سبز (۱۰۰ درصد) برای تیمار ۴۰ کیلوهرتز با مدت زمان‌های چهار و شش دقیقه

بوده و بیشترین میانگین مدت جوانه‌زنی را تیمار شاهد و تیمار ۵۹ کیلوهرتز به مدت زمان‌های ۲ و ۴ دقیقه به خود اختصاص داده است. واشیت و نگاراجان (Vashisth and Nagarajan, 2010) در آفتابگردان نشان دادند که تیمار نمودن بذر با میدان مغناطیسی در دامنه ۵۰ تا ۲۵۰ میلی تسلا به میزان ۴-۱ ساعت باعث افزایش جوانه‌زنی به میزان ۵ تا ۱۱ درصد و سرعت جوانه‌زنی به میزان ۹ تا ۵ درصد گردید.

طول و وزن خشک ریشه‌چه: در مطالعه حاضر تیمار اثر متقابل شدت میدان الکترومغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا در مدت زمان ۱۵ دقیقه با متوسط ۸/۷۰ سانتی‌متر علاوه بر اینکه بالاترین طول ریشه‌چه را به خود اختصاص داد مقدار صفت مذکور را مقایسه با دو ترکیب تیمارهای شدت میدان الکترومغناطیسی ۱۰۰ میلی تسلا در دو زمان ۱۵ و ۳۰ دقیقه (به‌ترتیب با متوسط ۵/۶۴ و ۵/۷۲ سانتی‌متر) به‌ترتیب ۳۵/۱۷ و ۳۴/۲۵ درصد افزایش داد. در این تحقیق با افزایش شدت میدان مغناطیسی در زمان ۵ و ۳۰ دقیقه از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌تسلا از طول ریشه‌چه کاسته شد به‌طوری‌که در شدت میدان ۱۰۰ میلی‌تسلا و زمان ۳۰ دقیقه با متوسط ۵/۷۲ سانتی‌متر به حداقل مقدار رسید. اما در زمان ۱۵ دقیقه افزایش شدت میدان از ۵ به ۵۰ میلی‌تسلا بر طول ریشه‌چه افزود و افزایش شدت میدان به ۱۰۰ میلی‌تسلا طول ریشه‌چه را کاهش داد. بالاترین وزن خشک ریشه‌چه با متوسط ۴۱/۵ و ۳۷/۵ میلی‌گرم به بذور قرار گرفته در شدت میدان الکترومغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا به مدت زمان ۱۵ و ۳۰ دقیقه اختصاص داشت این درحالی بود که کمترین مقدار به ترکیبات تیماری شدت میدان الکترومغناطیسی ۵ و ۱۰۰ میلی‌تسلا در مدت زمان ۱۵ دقیقه اختصاص داشت (جدول ۲). نتایج نشان داد با افزایش شدت میدان مغناطیسی در مدت زمان ۵ دقیقه وزن خشک ریشه‌چه اگرچه کاهش نشان داد اما این کاهش معنی‌دار نبود اما در دو زمان ۱۵ و ۳۰ دقیقه با افزایش شدن میدان مغناطیسی از ۵ به ۵۰ به صورت معنی‌دار بر مقدار وزن خشک ریشه‌چه افزوده و از ۵۰ به ۱۰۰ از مقدار صفت مذکور کاسته شد (جدول ۲). مهدوی و همکاران (Mahdavi *et al.*, 2008) نشان دادند که میدان مغناطیسی ۸۸ و ۱۲۸ میکروتسلا به مدت ۱۲ و ۲۴ ساعت روی وزن خشک ریشه‌چه علف هرز سوروف (*Echinochloa crusgalli* L.) اثر گذاشت و آن را نسبت به شاهد افزایش داد.

طول و وزن خشک ساقه‌چه: بر اساس نتایج تحقیق حاضر قرارگیری بذور آویشن در میدان الکترومغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۹/۶۷ و ۹/۸۶ سانتی‌متر بیشترین طول ساقه‌چه را به خود اختصاص دادند. کمترین مقدار صفت مذکور نیز به تیمار شدت میدان الکترومغناطیسی به مدت ۵ دقیقه با متوسط ۵/۶۲ سانتی‌متر اختصاص داشت. در بررسی حاضر، بالاترین وزن خشک ساقه‌چه به تیمارهای اثر متقابل شدت میدان الکترومغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا در مدت زمان ۵ دقیقه با متوسط ۴۹/۸۰ میلی‌گرم و شدت میدان الکترومغناطیسی ۵ میلی‌تسلا در مدت زمان ۱۵ دقیقه با متوسط ۴۸/۳۴ میلی‌گرم اختصاص داشت (جدول ۲). لازم به ذکر است که بین دو ترکیب تیماری مذکور و تیمار شدت میدان الکترومغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا در مدت زمان ۱۵ دقیقه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری دیده نشد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیمارها

مشاهده شد با افزایش دو سطح ۵ و ۵۰ میلی‌تسلا میدان الکترومغناطیسی در مقایسه با سطح ۱۰۰ میلی‌تسلا و همچنین دو زمان ۵ و ۱۵ دقیقه در مقایسه با زمان ۳۰ دقیقه از وزن خشک ساقه‌چه بالاتری برخوردار بودند. در این مطالعه کمترین وزن خشک ساقه‌چه با متوسط ۲۸/۱۰ و ۲۸/۳۶ میلی‌گرم به‌ترتیب به دو تیمار شدت میدان الکترومغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا در مدت زمان ۵ و ۳۰ دقیقه اختصاص داشت.

در پژوهشی با بررسی اثر میدان الکترومغناطیسی بر گندم بهاره بیان شد، بذرهایی که تحت تأثیر میدان الکترومغناطیسی قرار گرفتند نسبت به بذرهای شاهد طول ساقه‌چه بیشتری داشتند (Kordas, 2002). تیمارهای میدان مغناطیسی به‌طور میانگین طول ساقه‌چه گندم را ۲۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. نتایج آزمایش مارتینز و همکاران (Martinez *et al*., 2009) نشان داد که بذرهای عدس (*Lentil lens* Medic)، نخود (*Cicer arietinum* L.) تیمار شده با میدان مغناطیسی ۱۲۵ میلی‌تسلا به مدت ۱۰ دقیقه طول ساقه‌چه و گیاهچه را به‌صورت معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش دادند. سرخی لله‌لو (Sorkhi llah Lo, 2009) گزارش کرد هر چه میزان قرار گرفتن بذرهای همیشه بهار در میدان الکترومغناطیسی بیشتر باشد وزن تر ساقه‌چه نیز افزایش خواهد یافت، همچنین میدان الکترومغناطیسی باعث کاهش تعداد روز تا ظهور اولین برگ می‌شود.

وزن خشک گیاهچه: در این بررسی بذور تیمار شده با میدان الکترومغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۵ و ۱۵ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۸۶/۲۱ و ۸۱/۸۹ میلی‌گرم بالاترین وزن خشک گیاهچه‌ای را به خود اختصاص دادند. کمترین وزن خشک گیاهچه نیز به تیمار شدت میدان الکترومغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا در هر سه زمان ۵، ۱۵ و ۳۰ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۵۷/۷۷، ۵۸/۸۸ و ۵۸/۴۰ میلی‌گرم اختصاص داشت. راکوسیو و همکاران (Racuciu *et al*., 2008) بیان کردند که قرار گرفتن بذر ذرت در معرض میدان مغناطیسی کم (۵۰ میلی‌تسلا) اثر تحریک کنندگی بر مراحل اولیه رشد، وزن‌تر، رنگدانه‌هایی نظیر کلروفیل، میزان اسید نوکلئیک و افزایش طول گیاهچه داشت، اما میدان مغناطیسی قوی‌تر (بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌تسلا) اثر بازدارندگی روی صفات ذکر شده داشت. دهاوی و الخیری (Dhawi *et al*., 2009) بیان کردند که دوزهای پایین میدان متغیر مغناطیسی اثر تحریک‌کنندگی و دوزهای بالا اثر بازدارندگی بر رشد گیاهچه‌های خرما داشتند.

وزن خشک اندام هوایی: در بررسی حاضر بالاترین وزن خشک اندام هوایی در شدت میدان الکترومغناطیس ۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۱۵ دقیقه با متوسط ۰/۸۲ گرم ثبت شد. کمترین مقدار صفت مذکور نیز به تیمار شدت ۵ میلی‌تسلا در زمان ۵ و ۱۵ دقیقه، شدت ۱۰۰ میلی‌تسلا در زمان ۳۰ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۰/۴۸، ۰/۴۸ و ۰/۴۹ گرم اختصاص داشت. بر اساس نتایج تحقیق حاضر تیمار مذکور بالاترین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه را به خود اختصاص داد که در نهایت صفات مذکور موجب بهبود وزن خشک اندام هوایی در شرایط گلخانه گردید. مرغایی‌زاده و همکاران (Marghaeizadeh *et al*., 2014) اظهار داشتند میدان مغناطیسی در زمان ۳۰ دقیقه بیشترین تاثیر را بر عملکرد گیاه دارویی زنیان داشت. در مطالعه باصر کوچه‌باغ و همکاران

(Baser Kouchebagh *et al*., 2014) بیشترین عملکرد بیولوژیک (مقدار) در گیاه دارویی همیشه بهار مربوط به تیمار میدان مغناطیسی ۱۰ دقیقه و کمترین آن به تیمار شاهد بود.

درصد اسانس: بر اساس نتایج مقایسه میانگین ترکیبات تیماری شدت و مدت زمان قرارگیری بذر مشاهده شد در سطح ۵ میلی‌تسلا با افزایش مدت زمان قرارگیری بذور از ۵ به ۳۰ دقیقه به‌صورت معنی‌دار بر درصد اسانس افزوده شد به‌نحوی‌که سطح ۵ میلی‌تسلا در مدت زمان ۳۰ دقیقه با متوسط ۳/۴۴ درصد بالاترین درصد اسانس را به خود اختصاص داد. در شدت میدان ۵۰ میلی‌تسلا بین زمان‌های قرارگیری بذور از لحاظ درصد اسانس اختلاف معنی‌دار دیده نشد، اما در شدت میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا با افزایش زمان قرارگیری بذور از درصد اسانس گیاه کاسته شد، به‌طوری‌که در زمان ۳۰ دقیقه با متوسط ۱/۱۸ درصد به کمترین مقدار خود رسید. در مطالعه باصرکوچه باغ و همکاران (Baser Kouchebagh *et al*., 2014) قرارگیری بذور همیشه بهار در معرض اشعه لیزر به مدت ۱۵ دقیقه بالاترین و تیمار شاهد کمترین عملکرد اسانس را به خود اختصاص داد.

شاخص‌های جوانه‌زنی: نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد با افزایش شدت امواج فراصوت از ۲۰ به ۶۰ کیلوهرتز و افزایش مدت قرارگیری بذور از ۴ به ۱۶ دقیقه بر درصد جوانه‌زنی بذور آویشن افزوده شد. قرارگیری بذور در معرض امواج فراصوت ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶ دقیقه و همچنین قرارگیری در معرض امواج ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۸ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۹۷/۳۳ و ۹۷/۶۶ درصد بالاترین و تیمارهای امواج فراصوت ۲۰ کیلوهرتز در مدت زمان ۱۶ و ۴ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۷۲ و ۷۱/۶۶ درصد کمترین درصد جوانه‌زنی بذر را به خود اختصاص دادند. در این تحقیق با افزایش شدت و مدت زمان قرارگیری بذور آویشن در معرض امواج فراصوت بر سرعت جوانه‌زنی بذور افزوده شد، به‌طوری‌که قرارگیری بذور در معرض امواج فراصوت با شدت ۴۰ و ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶ ساعت بالاترین سرعت جوانه‌زنی و تیمار امواج فراصوت ۲۰ کیلوهرتز به مدت ۴ و ۸ دقیقه کمترین سرعت جوانه‌زنی را به خود اختصاص دادند.

در این بررسی با افزایش شدت امواج فراصوت و مدت زمان قرارگیری بذور در آن به صورت معنی‌دار از مدت زمان جوانه‌زنی کاسته شد. تیمار امواج فراصوت ۴۰ و ۶۰ کیلوهرتز به‌ترتیب به مدت ۱۶ و ۸ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۶/۲۸ و ۶/۲۵ روز بالاترین و تیمار امواج فراصوت با شدت ۴۰ و۶۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶ ساعت با متوسط ۴/۶۲ و ۴/۶۰ روز کمترین سرعت جوانه‌زنی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). معمول‌ترین عوامل تحریک کننده شامل حرارت و تأثیرات مکانیکی بر روی غشای سلولی می‌باشد که این امواج، پوسته بذر را نفوذپذیر کرده و به دنبال آن جذب آب راحت‌تر صورت می‌گیرد که در نتیجه جوانه‌زنی و خروج گیاهچه از پوسته تسهیل می‌شود (Dhawi *et al*., 2009). نتایج تحقیق‌ها نشان می‌دهند که امواج فراصوت، سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی در بذر جو، تربچه و فلفل می‌شوند (Yaldagard *et al*., 2008). فاریابی و همکاران (Faryabi *et al*., 2008) گزارش دادند که درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور فلفل دلمه‌ای در اثر تیمار ۴ دقیقه در معرض امواج فراصوت نسبت به شاهد افزایش یافت.گزارش ساکی و همکاران (Saki *et*

al., 2009) نیز حاکی از اختلاف معنی‌دار تیمارهای فراصوت با شاهد در گیاه اسطوخودوس از نظر درصد جوانه‌زنی بود.

طول و وزن خشک ریشه‌چه: در تحقیق حاضر بالاترین طول ریشه‌چه به تیمار قرار گرفتن بذور در شدت امواج فرا صوت ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶ دقیقه با متوسط ۷/۷۹ سانتی‌متر و کمترین مقدار به بذور تیمار شده با امواج فراصوت ۲۰ کیلوهرتز به مدت ۸ دقیقه با متوسط ۵/۷۶ سانتی‌متر اختصاص داشت. در تحقیق حاضر در سطح امواج فراصوت ۶۰ کیلوهرتز افزایش زمان قرارگیری بذر اثر معنی‌دار بر طول ریشه‌چه نشان نداد (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیماری امواج فراصوت۴۰ و۶۰ کیلوهرتز به مدت ۸ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۴۴/۸۸ و ۴۴/۷۲ میلی‌متر بالاترین و تیمار بذور با امواج فراصوت ۲۰ کیلوهرتز در هر سه زمان ۴، ۸ و ۱۶ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۳۶/۴۰، ۳۴/۵۶ و ۳۶/۴۰ میلی‌متر کمترین وزن خشک ریشه‌چه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). تحت تأثیر امواج فراصوتی به دلیل تولید حرارت تغییرات بیوشیمیایی زیادی در بافت‌ها ایجاد می‌شود از جمله بالا رفتن سرعت واکنش‌های شیمیایی، افزایش سرعت انتشار مواد، شکسته شدن مواد مثل آنزیم‌ها و از بین رفتن میکروارگانیسم‌ها، نتیجه این امر افـزایش طـــول و وزن ریشه‌چه می‌باشد. الوندیان و همکاران (Alvandian *et al*., 2013) اظهار داشتند قرارگیری بذور گیاه دارویی مورد (*Myrtus communis* L.) در پنج مدت زمان مختلف (۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه) در معرض امواج فراصوت ۴۲ KHZ بیشترین تأثیر را بر جوانه‌زنی و طول و وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه داشت.

طول و وزن خشک ساقه‌چه: نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد تیمار امواج فراصوت شامل ۴۰ و ۶۰ کیلوهرتز در مقایسه با سطح ۲۰ کیلوهرتز از طول ساقه‌چه بالاتر برخوردار بود. در این مطالعه تیمار بذور با شدت امواج فراصوت ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶ و ۴ دقیقه با متوسط ۸/۲۴ و ۷/۶۵ و تیمار بذر با امواج فراصوت ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۸ دقیقه بالاترین طول ساقه‌چه را به خود اختصاص دادند، با این حال تیمار بذر با امواج فراصوت ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۴ دقیقه به‌متوسط ۶/۰۸ کمترین طول ساقه‌چه را به خود اختصاص دادند. در این بررسی بالاترین وزن خشک ساقه‌چه با متوسط ۵۳/۶۰ و ۵۳/۴۲ میلی‌متر به‌ترتیب به تیمار بذور آویشن با شدت امواج فراصوت ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۸ و ۱۶ دقیقه اختصاص داشت. کمترین مقدار صفت مذکور نیز به تیمار امواج فراصوت ۲۰ کیلوهرتز در مدت زمان ۴ دقیقه با متوسط ۴۲/۸۵ میلی‌متر اختصاص داشت. نتایج نشان داد افزایش طول موج و زمان قرارگیری بذر در معرض آنها بر وزن خشک ساقه‌چه افزود. در طول موج ۲۰ کیلوهرتز بین زمان‌های قرارگیری بذر از نظر وزن خشک ساقه‌چه اختلاف معنی‌دار دیده نشد. در طول موج ۴۰ کیلوهرتز بالاترین وزن خشک ساقه‌چه در زمان ۸ ساعت و در طول موج ۶۰ کیلوهرتز در زمان‌های ۸ و ۱۶ ساعت مشاهده شد (جدول ۴).

امواج فراصوت با ایجاد حرارت و تأثیرات مکانیکی روی غشای سلولی، پوسته بذر را نفـوذپذیر کرده و جـذب آب راحت‌تر صـــورت می‌گیرد، که در نتیجه جوانه‌زنی و خروج گیاهچه از پوسته تسهیل می‌شود و در نهایت رشد و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تسهیل می‌شود (Dhawi *et al*., 2009). با توجه به نتایج، می‌توان نتیجه گرفت

که علاوه بر شدت امواج فراصوت که بسیار مهم می‌باشد، از آن مهم‌تر مدت زمان در معرض قرار گرفتن بذور در معرض امواج فراصوت است. در مطالعه تاثیر کاربرد امواج فراصوت بر خصوصیات جوانه‌زنی کنجد رقم هلیل گزارش شد سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ریشه و ساقه‌چه تحت تاثیر تیمار التراسوند افزایش معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد نشان دادند و با افزایش مدن زمان قرارگیری بذور از صفر به هشت دقیقه بر مقدار شاخص‌های مذکور افزوده شد.

وزن خشک گیاهچه: نتایج تحقیق حاضر بیانگر آن بود که تیمار بذور با امواج فراصوت با شدت ۴۰ و ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۱۵ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۹۸/۱۴ و ۹۵/۹۷ میلی‌متر بالاترین و تیمار بذور با امواج فراصوت با شدت ۲۰ کیلوهرتز به مدت ۴ دقیقه با متوسط ۷۶/۸۲ کمترین وزن خشک گیاهچه را به خود اختصاص داد. مکانیسم تأثیر این امواج به ایجاد تغییر در غشای پلاسمایی و تسهیل ورود و خروج آب و عناصر معدنی به سلول ارتباط داده شده است (Risca *et al*., 2007). افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و در نتیجه بیشتر شدن سرعت هیدرولیز نشاسته نیز از اثرات پرتودهی به‌شمار می‌رود (Machikowa *et al*., 2013) در اثر پرتودهی، ترک‌های میکروسکوپی در پوسته بذر ایجاد می‌گردد که این امر تسهیل جذب آب را به دنبال دارد (Yaldagard *et al*., 2008). تیمار بذر گیاه دارویی مورد (*Myrtus communis*) با امواج فراصوت ۴۲ کیلوهرتز به مدت ۳۰ ثانیه علاوه بر شکستن خواب، باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه شده است (Alvandian *et al*., 2013).

در مطالعه میرشکاری (Mirshekari, 2015) بر روی گیاه بارهنگ حداکثر وزن خشک گیاه‌چه (۰/۴۹گرم) به‌ترتیب از تیمار میدان مغناطیسی به مدت ۵ و ۳/۵ دقیقه و امواج فراصوت (۰/۴۰گرم) به‌دست آمد، همچنین کاهش مدت زمان پرتودهی میدان مغناطیسی از ۵ به ۳/۵ دقیقه سبب کاهش شاخص قدرت گیاهچه‌ها گردید.

وزن خشک اندام هوایی: نتایج مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل شدت و مدت زمان قرارگیری بذور در معرض امواج فراصوت از نظر وزن خشک اندام هوایی حاکی از آن بود که در شدت ۲۰ کیلوهرتز افزایش زمان قرارگیری بذور در معرض امواج بر مقدار صفت مذکور افزود و در زمان ۱۶ دقیقه (با متوسط ۰/۶۳ گرم) به حداکثر مقدار خود رسید. در دو سطح ۴۰ و ۶۰ کیلوهرتز نیز بالاترین وزن خشک اندام هوایی در زمان ۸ دقیقه به‌ترتیب با متوسط ۰/۶۱ و ۰/۶۳ گرم مشاهده شد. لازم به ذکر است که در این بررسی قرارگیری بذور به مدت ۴ دقیقه در معرض امواج با شدت ۲۰ کیلوهرتز با متوسط ۰/۳۷ گرم کمترین وزن خشک اندام هوایی را به خود اختصاص داد. مرغایی‌زاده و همکاران (Marghaeizadeh *et al*., 2014) اظهار داشتند قرارگیری بذور در معرض امواج فراصوت به مدت ۲ دقیقه بیشترین تاثیر را بر عملکرد گیاه دارویی زنیان داشت.

درصد اسانس: در بررسی حاضر تنها اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای اثر متقابل زمان و شدت امواج فراصوت بین تیمارهای قرارگیری بذور در شدت امواج ۲۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶ دقیقه، شدت امواج ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۴ و ۸ دقیقه و شدت امواج ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۴ و ۸ دقیقه به ترتیب با متوسط ۲/۹۵، ۲/۹۵، ۲/۸۶، ۲/۹۲ و

۲/۸۶ درصد و تیمار شدت امواج ۶۰ کیلـوهرتز بـه مدت ۱۶ دقیقه با متوسط ۲/۴۷ درصد دیده شد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق بالاترین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و وزن خشک اندام‌های هوایی بذر و کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی به بذور تیمار شده با شدت میدان الکترومغناطیسی۵۰ میلی تسلا به مدت ۱۵ دقیقه و بالاترین درصد اسانس به شدت میدان الکترومغناطیسی ۵ میلی‌تسلا به مدت ۵ دقیقه اختصاص داشت. همچنین، بالاترین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و وزن خشک اندام هوایی به تیمار شدت امواج فراصوت ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶ دقیقه و بیشترین درصد اسانس نیز به شدت امواج فراصوت ۲۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶ دقیقه اختصاص داشت. بنابراین، تیمار کردن بذور آویشن با تیمار میـدان الکترومغناطیسی ۵۰ میلی‌تسلا به مدت ۱۵ دقیقه و امواج فراصوت ۶۰ کیلوهرتز به مدت ۱۶ دقیقه می‌تواند به‌عنوان عوامل محرک رشد غیرتهاجمی و غیرمخرب برای گیاه به‌کار روند و در مراحل پیشرفته‌تر رشد و نمو گیاه تأثیر مثبت قابل توجهی داشته باشد که نیاز به آزمایش‌های تکمیلی دارد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر شدت و مدت زمان میدان الکترومغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر آویشن

Table 1- Analysis variance of the effect of intensity and duration of electromagnetic field on germination of thyme seeds

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS				
		درصد جوانه زنی Germination percentage	سرعت جوانه زنی Germination speed	میانگین جوانه زنی Germination mean	طول ریشه چه Radicle length	طول ساقه چه Plumule length
زمان Time	2	291.17*	0.0002ns	10.48**	2.11*	0.67ns
میدان مغناطیسی Electromagnetic field	2	42.18ns	0.0071**	0.48ns	5.45**	11.80**
زمان × میدان مغناطیسی T× M	4	299.37**	0.0014**	2.87**	2.03*	9.44**
خطا Error	18	65.74	0.0002	0.58	0.53	0.62
ضریب تغییرات C.V.%	-	9.06	9.73	12.66	11.1	10.27

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

ادامه جدول ۱-

Table 1- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS				
		وزن خشک ریشه چه Radicle dry weight	وزن خشک ساقه چه Plumule dry weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	وزن خشک اندام هوایی Seedling characteristics	درصد اسانس Essence Percent
زمان Time	2	527.98**	756.21**	118.35*	0.10**	0.04ns
میدان مغناطیسی Electromagnetic field	2	113.44**	211.2**	1093.02**	0.004ns	0.57ns
زمان × میدان مغناطیسی T× M	4	48.82*	75.12*	91.36*	0.02*	1.01**
خطا Error	18	15.67	20.11	20.69	0.005	0.17
ضریب تغییرات C.V.%	-	10.28	13.14	6.92	12.66	17.73

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

جدول ۲ - تجزیه واریانس اثر شدت و مدت زمان امواج فراصوت بر جوانه‌زنی بذر آویشن

Table 2- Analysis of variance of intensity and duration of ultrasound waves on germination of thyme seeds

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS				
		درصد جوانه زنی Germination percentage	سرعت جوانه زنی Germination speed	میانگین جوانه‌زنی Germination mean	طول ریشه چه Radicle length	طول ساقه چه Plumule length
زمان Time	2	203.44**	0.0012**	0.99**	1.18**	0.003ns
امواج فراصوت Ultrasonic waves	2	720.44**	0.0035**	3.22**	2.60**	3.66**
زمان × امواج فراصوت T× U	4	142.22**	0.0006**	0.98**	0.72*	1.63**
خطا Error	18	17.63	0.00009	0.09	0.19	0.19
ضریب تغییرات C.V.%		5.04	8.32	7.63	6.53	6.29

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS				
		وزن خشک ریشه چه Radicle dry weight	وزن خشک ساقه چه Plumule dry weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	وزن خشک اندام هوایی Seedling characteristics	درصد اسانس Essence Percent
زمان Time	2	25.22*	90.84**	204.54**	0.009^{ns}	0.021^{ns}
امواج فراصوت Ultrasonic waves	2	116.33**	158.64**	544.03**	0.07^{ns}	0.05^{ns}
زمان × امواج فراصوت T× U	4	19.35*	27.68*	59.90*	0.1*	0.11*
خطا Error	18	5.05	8.93	15.57	0.03	0.03
ضریب تغییرات C.V.%		8.68	6.44	8.59	11.71	10.12

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

جدول ۳ - مقایسه میانگین اثر شدت و مدت زمان میدان الکترومغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر آویشن

Table 3- Mean comparison of the effect of intensity and duration of electromagnetic field on germination of thyme seeds

شدت میدان الکترومغناطیسی Electromagnetic field	زمان (دقیقه) Time	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination speed	میانگین زمان جوانه‌زنی Germination mean	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه Plumule length (cm)
5 mil Tesla	5	82.33bc	0.17ab	4.98d	6.17bc	5.62a
	15	93.33ab	0.17ab	5.45cd	6.76bc	8.95ab
	30	96ab	0.14cd	8.23a	7.08b	7.59bcd
50 mil Tesla	5	87.33abc	0.18a	5.65bcd	6.36bc	7.96a
	15	97.66a	0.20a	4.84d	8.70a	9.67a
	30	95.11ab	0.20a	6.84b	6.61bc	9.86a
100 mil Tesla	5	95.44ab	0.14cd	6.80b	5.65c	5.67e
	15	85.51abc	0.15bc	4.89d	7.20b	7.57cd
	30	73.66c	0.12d	6.57bc	5.72c	6.34de

میانگین دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار سطح احتمال ۵٪ هستند.

The means which same letters in column are not statistically significant at the probability level of 0.05.

ادامه جدول ۳-

Table 3- Continued

شدت میدان الکترومغناطیسی Electromagnetic field	زمان (دقیقه) Time	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (mg)	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight (mg)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (mg)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)	درصد اسانس Essence Percent
5 mil Tesla	5	33.7b	39.82bc	73.56bc	0.48d	1.82c
	15	26.9c	48.34a	75.23bc	0.54cd	2.50bc
	30	23.1bc	49.80a	68.38c	0.48d	3.44a
50 mil Tesla	5	41.5a	37.89bcd	81.89ab	0.56bcd	2.68b
	15	32.1bc	44.75ab	86.21a	0.82a	2.30bc
	30	37.5ab	49.80a	72.27c	0.68b	2.10bc
100 mil Tesla	5	29.4bc	28.80e	57.77d	0.68b	2.19bc
	15	27.3c	31.74de	58.88d	0.65bc	2.26bc
	30	30.3bc	28.10e	58.40d	0.49d	1.18c

میانگین دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار سطح احتمال ۵٪ هستند.

The means which same letters in column are not statistically significant at the probability level of 0.05.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر شدت و مدت زمان میدان الکترومغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر آویشن

Table 4- Mean comparison of the effect of ultrasound waves and duration on germination of thyme seeds

شدت میدان الکترومغناطیسی Ultrasound Waves	زمان (دقیقه) time	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination speed	میانگین زمان جوانه‌زنی Germination mean	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه Plumule length(cm)
20 kHz	4	76.71d	0.15e	6.28a	6.06ef	6.08d
	8	77.25cd	0.16e	6.25a	5.76f	6.50cd
	16	72.52d	0.17e	5.86ab	6.49c-f	6.50cd
40 kHz	4	77cd	0.17de	5.86ab	6.16def	6.89bc
	8	81.66bcd	0.18cd	5.55bc	7.48ab	8.21a
	16	97.33a	0.21a	4.62e	6.92bc	7.17bc
60 kHz	4	85.00bc	0.18bc	5.29cd	6.80be	6.59cd
	8	97.66a	0.20ab	4.60e	6.86bcd	8.24a
	16	90.66ab	0.21a	4.96de	7.79a	7.65ab

میانگین دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار سطح احتمال ۵٪ هستند.

The means which same letters in column are not statistically significant at the probability level of 0.05.

ادامه جدول ۴-

Table 4- Continued

شدت میدان الکترومغناطیسی Ultrasound Waves	زمان (دقیقه) time	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (mg)	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight (mg)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (mg)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)	درصد اسانس Essence Percent
20 kHz	4	36.40d	40.85d	77.25de	0.37d	2.64ab
	8	34.56d	42.26cd	76.82e	0.45bcd	2.78ab
	16	35.62d	42.26cd	77.89de	0.63a	2.95a
40 kHz	4	36.96cd	44.82cd	81.76cde	0.53abc	2.95a
	8	44.88a	51.09ab	95.97a	0.61a	2.86a
	16	41.52ab	46.65bc	88.17bc	0.44cd	2.73ab
60 kHz	4	40.800bc	42.88cd	83.68cd	0.44cd	2.92a
	8	44.72a	53.42a	98.14a	0.63a	2.86a
	16	41.20ab	53.60a	94.80ab	0.55ab	2.47b

میانگین دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار سطح احتمال ۵٪ هستند.

The means which same letters in column are not statistically significant at the probability level of 0.05.

References منابع مورد استفاده

- Aghajani, Z., R. Ekhtiari, and A. Pourmindani. 2014. Study of the effects of silver nanoparticles on germination and early growth of mountain thymus (*Thymus kotschyanus* L.). *Agronomic Research in Semi Desert Regions*. 1(2): 73-85.
- Aladjadjiyan, A. 2010. Influence of stationary magnetic field on lentil seeds. *International Agrophysics*. 24: 321- 324.
- Alvandian, S., A.S. Vahedi, and R. Taghizadeh. 2013. Investigating the effect of ultrasound and chilling on germination of seeds of medicinal plant (*Myrtus communis* L.). *Journal of Seed Research.* 3: 21-31. (In Persian).
- Baser Kouchebagh, S., F. Farahvash, B. Mirshekari, F. Rahimzadeh Khoei, and H. Kazemi Arbat. 2014. Effects of physical seed priming and hydropriming on physiological and morphological characteristics, yield and harvest index in marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology.* 7(4): 421-430. (In Persian).
- Bitarafan, N., A. Gholami, H. Abbas Dokht, M. Baradaran, and F. Khalighi Sigaroodi. 2017. Effects of vermicompost and mycorrhizal fungi on growth characteristics, essential oil and yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*. 9 (1): 102-114.
- Das, R., and R. Bhattacharya. 2006. Impact of electromagnetic field on seed germination. Proceedings of the International Conference on Modern Electrostatics, Beijing, China. 141-145.
- Dhawi, F., J.M. Al-Khayri, and E. Hassan. 2009. Static magnetic field influence on elements composition in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Research Journal Agriculture Biological Sciences*. 5: 161-166.
- Faryabi A., H. Zaremansh, M. Keshvarii, and N. Abdali. 2008. The effect of ultrasonic waves on physiologic and morphologic processes of seed germination in capsicum pepper (*Capsicum annuum*) and radish (*Rhaphanus sativus*). The 1st National Conference on Iranian Seed Science and Technology, Gorgan. (In Persian).
- Kordas, L. 2002. The effect of magnetic field on growth, development and the yield of spring wheat. *Polish Journal of Environmental Studies.* 11(5): 527-530.
- Li, H., and H. Ramaswamy. 2005. Osmotic dehydration. Stewart Postharvest Review. p: 22.
- Machikowa, T., T. Kulrattanarak, and S. Wonprasaid. 2013. Effects of ultrasonic treatment on germination of synthetic sunflower seeds. *International Journal of Agricultural, Biosystems Science and Engineering*. 7: 1-3.
- Mahdavi, B., A.M. Modares-Sanavi, and H.R. Balochi. 2008. The effect of electromagnetic fields on germination and primary growth in the seeds of annual alfalfa (*Medicago sativa* L.), barley (*Hordeum vulgare* L.), dodder (*Cuscuta* sp.), and barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L.). *Iranian Journal of Biology.* 21(3): 433-442.
- Maleki Farahani, S., A. Rezazadeh, and M. Aghighi Shahverdi. 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. (In Persian).

- Marghaeizadeh, GH., M.H. Gharineh, Gh. Fathi, A.R. Abdali, and M. Farbod. 2014. Effect of ultrasound waves and magnetic field on germination, growth and yield of *Carum copticum* (L.) C. B. Clarke) in lab and field conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 30(4): 560-539. (In Persian).
- Marinkovic, J., G. Jacimovic, and V. Mircov. 2008. Use of biophysical methods to improve yields and quality of agricultural science. *Journal of Agricultural Science.* 53: 3-15.
- Martinez, E., M.V. Carbonell, and J.M. Amaya. 2000. A static magnetic field of 125 mT stimulates the initial growth stages of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Electro- and Magnetobiology*. 19(1): 271-277.
- Mazaheri, D., and N. Majnoun-Hosseini. 2002. An introduction to general agronomy. Tehran University Press. (In Persian).
- Mirshekari B. 2015. Physical seed treatment and their effects on seedling emergence and yield of ribwort plantain (*Plantago lanceolata*) in delayed sowing date. *Journal of Crop Ecophysiology*. 9(3): 477-490. (In Persian).
- Racuciu, M., D.E. Creanga, and C. Amoraritei. 2008. Biochemical changes induced by low frequency magnetic field exposure of vegetal organisms. *Romanian Journal of Physics*. 52: 601-606.
- Risca, I.M., L. Fartais, and P. Stiuca. 2007. Ultrasound effects contributions on the Norway spruce seeds germination (*Picea abies* (L.) Karsten). *Australian Journal of Crop Sciences*. 8: 87-88.
- Saki, T., M. Nasiri, N. Abdali, and S. Alinia-Fard. 2009. The Effect of ultrasonic waves on germination percentage and rate in lavender (*Lavandula stoechas* L.) medicinal plant. Tehran: The Scientific Conference on Industrial Development of Medicinal Plants in Iran. (In Persian).
- Sorkhi llah Lo, F. 2009. Evaluation of the effects of ultrasound and magnetic field on germination of seeds of the everlasting medicinal plant (*Calendula officinalis* L.) Sixth Iranian Horticultural Congress - Guilan University. 1165-1161. (In Persian).
- Vashisth, A., and S. Nagarajan. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*. 167: 149-156.
- Yaldagard, M., S.A. Mortazavi, and F. Tabatabaie. 2008. Effect of ultrasonic power on the activity of barley's alpha-amylase from post-sowing treate of seeds. *World Applied Sciences Journal*. 12: 34-47.

Effects of Electromagnetic Field and Ultrasonic Waves on Seed Germination, Seedling Characteristics and Essence Percent of Thymes (*Thymus vulgaris* L.)

Nader Ashnagar[1], Touraj Mir Mahmoodi[2]*, and Nader Jalilnejhad[2]

Received: October 2018 , Revised: 19 February 2019, Accepted: 9 March 2019

Abstract

The effect of electromagnetic field and ultrasonic waves on the seed germination, seedling characteristics and essence percent of thymes investigated by using two separate factorial experiments, based on completely randomized design with three replications, at the Seed Science and Technology Laboratory of Faculty Agricultural Sciences of Islamic Azad University of Mahabad in 2017. In the first experiment, the seeds were exposed to electromagnetic field with 5, 50 and 100 milli tesla for 5, 15 and 30 minutes, and in the second experiment, the seeds were exposed to ultrasound intensity of 20, 40 and 60 kHz for 4, 8 and 12 minutes. Results of analysis of variance showed that the effects of electromagnetic field intensity by ultrasound intensity interactions were significant on all traits and indices. In this research, the highest germination percentage (97.66%), speed of germination (0.20), root length (8.70 cm), stem length (9.67 cm), root dry weight (41.5 mg), stem dry weight (44.75 mg), seedling dry weight (86.21 mg), plant dry weight (0.82g), and lowest mean germination time (4.84 days) belonged to the seeds treated with electromagnetic field intensity of 50 milli tesla for 15 minutes. The results also revealed that highest germination percentage (90.66%), germination speed (0.21), root length (7.78 cm), stem length (6.65 cm), root dry weight (41.21 mg), stem dry weight (53.60 mg), seedling dry weight (94.80 mg) and plant dry weight (0.55 g) and the lowest mean germination time (4.96 days) were related to 60 KHz ultrasound intensity for 16 minutes. The highest essence percent was produced from seeds treated with electromagnetic fields of 5 milli tesla for 30 minutes (3.44 percent) and 60 KHz ultrasound waves for 16 minutes (2.95 percent). Thus, these treatments are recommended to improve thyme germination and its seedling properties.

Key words: Essence, Germination, Seedling Dry Weight, Thyme.

1- Ms.c. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
2- Assistant Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
* *Corresponding Author: toraj73@yahoo.com*