مجله علمی پژوهشی «الکترومغناطیس کاربردی»
سال سوم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵؛ ص ۲۹-۲۳

امکان‌سنجی عملی استفاده از گرمایش ریزموج در باند ISM برای دفع علف هرز خاکشیر

داود سیر[۱*]، میثم بهزادی[۲]، هادی علی‌اکبریان[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۳- استادیار، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
(دریافت: ۹۵/۰۵/۳۰، پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۸)

چکیده: علف‌های هرز یکی از اصلی‌ترین عوامل خسارت در مزارع کشاورزی به حساب می‌آیند. در روش‌های متداول دفع، در مرحله‌ای که علف هرز هنوز گیاهچه بوده و به بذردهی نرسیده است، از بین می‌رود. سالیان متمادی باید از این روش‌های دفع علف هرز استفاده نمود تا بتوان بانک بذور علف‌های هرز موجود در خاک را تهی کرد. علاوه بر این روش‌های شمیایی مورد استفاده برای محیط زیست پرخطر هستند. در روش دفع آفات با استفاده از ریزموج، بذور علف هرز موجود در خاک به طور مستقیم آسیب می‌بینند و قدرت جوانه‌زنی خود را از دست می‌دهند. این روش مبتنی بر گرمایش الکترومغناطیسی می‌باشد. از آنجایی که بذور به گرما حساس‌اند لذا با رساندن دمای آن‌ها به ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌توان قدرت جوانه‌زنی آن‌ها را از بین برد. برای بررسی تاثیر ریزموج روی بذر خاکشیر، بذور خاکشیر مدفون در خاک را طی چهار مرحله آزمایش با زمان‌های متفاوت تحت تابش ریزموج تولید شده توسط اجاق ماکروویو، که در باند ISM و با توان اسمی ۱۰۰۰ W کار می‌کند، قرار دادیم. بذر علف هرز خاکشیر در بازه‌های زمانی مختلف تحت تابش قرار گرفته و میزان جوانه‌زنی در هر کدام به‌دست آمد. سپس با استفاده ازشبیه‌سازی میدان الکتریکی تابش شده در این تست‌ها، مقدار توان جذب شده مورد نیاز برای از بین بردن جوانه‌زنی علف هرز به دست آمد. میانگین اندازه میدان اعمال شده در عمق ۱ cm خاک حدود ۵۷۰۰ V/m و مقدار انرژی لازم برای از بین بردن قدرت جوانه‌زنی بذر خاکشیر موجود در خاک ۲۰۰ J/cm^3 برآورد شده است.

کلیدواژه‌ها: کنترل علف هرز، بذر خاکشیر، ریزموج، الکترومغناطیس، مگنترون.

۱- مقدمه

درسال های اخیر تعامل بین شاخه های مختلف علم و تکنولوژی، باعث پیشرفت علوم بین رشته ای شده است. درحقیقت امروزه اکثر کارهای تحقیقاتی زمینه های بین رشته‌ای دارند. معمولا یک متخصص در یک رشته می‌تواند روش‌های جدیدی برای حل برخی مشکلات در رشته‌های دیگر ارائه دهد.

بامشاهده مشکلات گسترده در حوزه کشاورزی، می‌توان پیشنهادهای مبتکرانه‌ای برای حل این مشکلات توسط امواج الکترومغناطیس ارائه کرد. به وسیله امواج الکترومغناطیس می‌توان بر بسیاری از مشکلات صنعت کشاورزی همچون آفات و حشره‌ها، علف‌های هرز، یخ زدگی محصولات کشاورزی، نگه‌داری محصولات بعد از برداشت غلبه کرد[۱].

در بین خسارات کشاورزی، علف های هرز بیشترین سهم را دارند. علاوه بر این روش های سنتی و متداول دفع علف‌های هرز نقایص زیادی از قبیل ضرر به محیط زیست و مقاوم شدن علف های هرز دارند. همین امر سبب شده است تا محققان روش جدیدی برای دفع علف هرز مبتنی بر گرمایش الکترومغناطیسی ارائه دهند. در روش دفع علف‌های هرز توسط موج الکترومغناطیسی بذر علف هرز ازبین می‌رود. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌ها این است که بانک بذور علف‌های هرز موجود در خاک در زمان اندکی از بین می‌رود. اما در روش های متداول علف هرز در مرحله‌ای که گیاهچه است از بین می‌رود به همین سبب فرایند مدیریت علف‌های هرز چندین سال متمادی طول می‌کشد تا در نهایت بانک بذور علف‌های هرز موجود در خاک از بین برود.

مطالعات در مورد تابش موج الکترومغناطیس فرکانس بالا به مواد بیولوژیکی از ابتدای قرن بیستم میلادی آغاز شد. درمطالعات و آزمایش‌های اولیه، به تاثیرفرکانس‌های رادیویی روی بذر پرداخته شد. اولین مطالعات در مورد از بین بردن قدرت جوانه‌زنی بذر با استفاده از گرمایش توسط ریزموج، توسط آقای دیویس [۲] انجام شده است. ایشان بذرها را با خاک و بدون خاک تحت تابش ریزموج قرار دادند و مشخص شد که ترکیب رطوبت و انرژی جذب شده در هر بذر دو عامل تاثیرگذار در صدمه دیدن بذر هستند. همچنین آزمایش‌های آقای دیویس نشان داد که

*نویسنده پاسخگو: aliakbarian@eetd.kntu.ac.ir

حجم و جرم هر بذر روی میزان صدمه دیدن آن توسط موج الکترومغناطیس تاثیرگذار است. رابطه بین حجم بذر و میزان صدمه دیدن آن را می‌توان با سطح مقطع راداری توجیه کرد. سطح مقطع راداری بزرگتر منجر به جذب انرژی بیشتر در بذر و در نتیجه بیشتر گرم شدن آن می‌شود. همچنین آقای نلسون [۳] اثبات کرد که نمی‌توان بذر درون خاک را به صورت انتخابی گرم کرد. یعنی نمی‌توان بذور علف‌های هرز موجود در خاک را طوری گرم کرد که خاک گرم نشود. از همین رو جهت از بین بردن قدرت جوانه‌زنی بذور علف هرز در خاک، می‌بایست خاک حاوی بذور علف‌های هرز را گرم کرد تا با انتقال گرمای خاک به بذور، دمای بذور علف هرز بالا رفته و قدرت جوانه‌زنی‌شان را از دست بدهند.

روش دفع علف‌های هرز توسط ریزموج، روشی مبتنی بر گرم کردن خاک به منظور از بین بردن قدرت جوانه‌زنی بذرهای موجود در خاک و خالی کردن بانک بذر علف‌های هرز موجود در خاک می‌باشد. از این روش قبل از کاشت محصول و یا در فصل آیش می‌توان بهره برد.

در ادامه این مقاله چالش‌های استفاده از ریزموج برای دفع علف‌های هرز و تاثیر این روش دفع علف هرز روی گیاه خاکشیر بررسی می‌شود و میزان انرژی و میدان الکترومغناطیسی لازم جهت از بین بردن قدرت جوانه‌زنی گیاه خاکشیر محاسبه می‌شود.

۲- چالش‌های مدیریت علف هرز توسط ریزموج

در روش دفع علف‌های هرز توسط ریزموج با چندین مسئله چالش برانگیز، همچون تامین توان الکترومغناطیسی زیاد، تخصیص فرکانس، احتمال اثرات مخرب ناشی از گرمایش روی میکروارگانیزم‌های خاک و همچنین توانایی رقابت با سایر روش‌های دفع علف هرز مواجه هستیم.

منابع توان بالا در فرکانس‌های کمتر از چند گیگا هرتز موجود می‌باشند. لذا مشکل توان بالا قابل حل است. در بیشتر کشورها تخصیص فرکانس کار بسیار دشواری است. البته می‌توان از باندهای صنعتی، علمی و پزشکی استفاده کرد. به این ترتیب مشکل تخصیص فرکانس نیز قابل حل است. در ایران به دلیل ارزان بودن انرژی و همچنین وجود منابع ارزان قیمت مولد ریزموج مانند لامپ مگنترون موجود در اجاق‌های مایکروویو در فرکانس ۲/۴۵ GHz باند ISM[1]، روش دفع علف‌های هرز توسط ریزموج مقرون به صرفه به نظر می‌آید.

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، آنچه این روش را نسبت به سایر روش‌های دفع علف هرز متمایز می‌سازد این است که در روش دفع علف‌های هرز توسط ریزموج، قدرت جوانه‌زنی بذور علف‌های هرز از بین می‌رود و به یکباره بانک بذور علف هرز موجود در خاک تهی می‌شود. اما در سایر روش‌های متداول دفع علف هرز، علف هرز در مرحله‌ای که گیاهچه است از بین می‌رود. به همین سبب باید سال‌های متمادی از روش‌های مذکور استفاده کرد تا بانک بذور علف‌های هرز موجود در خاک خالی شود.

بر طبق مطالعات انجام شده، بانک بذر علف‌های هرز موجود در خاک پس از پنج سال مداوم استفاده از علف‌کش تا ۹۵٪ خالی می‌شود[۴]. اما اگر وقفه‌ای در این پروسه پیش آید، تلاش‌ها بی‌فایده خواهند بود[۵]. همچنین گونه‌های علف هرز مقاوم به علف‌کش و نگرانی‌های زیست محیطی ناشی از علف‌کش‌ها مانع بزرگی برای این پروسه محسوب می‌شوند.

یکی دیگر از مسائل چالش برانگیز در روش دفع علف‌های هرز توسط ریزموج احتمال اثرات مخرب ناشی از گرمایش روی میکروارگانیزم‌های خاک می‌باشد. افزایش دمای خاک ضمن این‌که سبب از بین رفتن قدرت جوانه‌زنی بذور علف‌های هرز موجود در خاک می‌شود، بسیاری از میکروارگانیزم‌های خاک را هم نابود می‌کند. اما به دلیل اینکه عمق نفوذ موج درون خاک کم می‌باشد، میکروارگانیزم‌هایی که در عمق بیشتری از خاک قرار دارند نابود نمی‌شوند. و پس از مدتی میکروارگانیزم‌ها خود را باز تولید می‌کنند و خاک دوباره غنی می‌شود[۶]. آزمایش‌ها نشان می‌دهد گرمایش خاک توسط ریزموج هیچ تاثیری روی PH، فسفر، پتاسیم و سولفات خاک ندارد. البته تابش طولانی مدت ریزموج به خاک باعث کاهش کلونی‌های باکتری و نیترات شده و روی رشد گیاهان بعد از اعمال ریزموج تاثیر می‌گذارد[۷].

۳- مبانی گرمایش توسط ریزموج

مدل ریاضی سیستم گرمایش به روش ریزموج شامل دو نوع معادلات فیزیکی است. دسته اول معادلات، معادلات الکترومغناطیسی مشهور به معادلات مکسول می‌باشد و دسته دوم، معادلات انتقال حرارت هستند. ارتباط بین این دو دسته معادلات به این ترتیب است که منبع گرمایی در معادلات انتقال حرارت توان تلف شده ریزموج است.

با توجه به معادلات مکسول و تئوری الکترومغناطیس می‌دانیم که قسمت حقیقی ضریب گذردهی(ε')، متناسب با انرژی ذخیره شده الکتریکی در ماده تحت تابش ریزموج و قسمت موهومی آن (ε'')، متناسب با توان تلف شده در ماده تحت تابش ریزموج است.

$$W_e = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon'}{2} \int_v |\vec{E}|^2 dv \qquad (۱)$$

1. Industrial, Scientific and Medical

$$P_{diss} = \frac{\omega \varepsilon_0 \varepsilon''}{2} |\vec{E}|^2 \quad (۲)$$

معادله انتقال حرارت نیز چگونگی رفتار دما را در بعدهای فضا و زمان توصیف می‌کند. این معادله به صورت زیر است.

$$\rho_m C_m \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla.(k_t \nabla T) = P \quad (۳)$$

در معادله انتقال حرارت ρ_m، C_m و k_t به ترتیب چگالی، ظرفیت ویژه گرمایی و هدایت گرمایی ماده هستند. همچنین $T = T(x,y,z,t)$ دمای مطلق و $P = P(x,y,z,t)$ توان الکترومغناطیسی تلف شده در واحد حجم می‌باشند.

بر طبق قانون خنک شدن نیوتن شرایط مرزی همرفتی در سطح مواد از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$h(T_a - T) = k_t \frac{\partial T}{\partial n} \quad (۴)$$

و شرایط مرزی بی‌دررو ایجاب می‌کند که:

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad (۵)$$

در معادلات فوق h بیانگر ضریب انتقال حرارت همرفتی و T_a دمای هوای اطراف ماده است. همچنین برای به دست آوردن جواب یکتا نیاز به شرایط اولیه دما می باشد.

$$T(x,y,z,t=0) = T_{ini}(x,y,z) \quad (۶)$$

در معادله حرارت P همان توان تلف شده ریزموج در واحد حجم می‌باشد و همان‌طور که قبلا گفته شد این توان متناسب با بخش موهومی ضریب گذردهی ماده است. از طرفی می‌دانیم که معمولا ضریب گذردهی هر ماده تابعی از دمای ماده و فرکانس موج تابیده شده است. پس یک ارتباط دو طرفه میان موج الکترومغناطیسی و انتقال حرارت بر قرار است.

یکی از ویژگی‌های گرمایش توسط ریزموج این است که این نوع گرمایش حجمی است. یعنی برخلاف گرمایش به روش‌های متداول دما در عمق ماده تحت تابش ریزموج بیشتر از سطح آن است. این امر باعث می‌شود که هدررفت انرژی در این نوع گرمایش بسیار کمتر سایر روش‌های گرمایش باشد. به همین جهت هدر رفت انرژی در روش مدیریت علف‌های هرز توسط ریزموج بسیار کمتر از روش شعله‌دهی مستقیم به خاک می‌باشد.

آقای گراهام برودی توزیع دمای خاک ناشی از گرمایش ریزموج توسط یک آنتن شیپوری را به صورت رابطه (۷) به‌دست آورده است[۵]. این رابطه نیز موید گرمایش حجمی می‌باشد.

$$T = \frac{n\omega\varepsilon_0\varepsilon''\tau^2\left(e^{4\gamma\beta^2 t}-1\right)}{4k\beta^2}\left[e^{-2\beta z} + \left(\frac{h}{k}+2\beta\right)ze^{\frac{-z^2}{4\gamma t}}\right]\cos\cos\left(\frac{\pi}{a}x\right) \quad (۷)$$

این محاسبه برای حالت‌های دیگر و انواع توزیع میدان و توان منبع ریزموج قابل محاسبه به صورت تمام موج می باشد.

۳-۱- گرمایش تفاضلی

یکی دیگر از مزایای گرمایش توسط ریزموج امکان گرمایش انتخابی یا تفاضلی[1] می‌باشد. گرمایش تفاضلی این امکان را به ما می‌دهد تا دو جسم در مجاورت هم را طوری گرم کنیم که یکی بیشتر از دیگری گرما جذب کند. در بسیاری موارد این روش مورد استفاده قرار می‌گیرد به طور مثال برای از بین بردن موریانه موجود در چوب خشک، لازم است دمای موریانه شدیدا افزایش یابد اما دمای چوب خیلی بالا نرود. زیرا در صورت بالا رفتن دمای چوب ممکن است به چوب آسیب برسد.

می‌دانیم که ضریب گذردهی هر ماده تابعی از فرکانس و دما است. در گرمایش تفاضلی لازم است فرکانس موج الکترومغناطیس را طوری انتخاب کنیم که اختلاف دمای بین دو جسم مجاور تحت تابش موج الکترومغناطیس بیشینه شود. بنابراین می‌بایست تابع هدفی برای این سیستم تعریف کنیم و فرکانس بیشینه کننده آن را بیابیم. تابع هدف تعریف شده به فرم زیر است:

$$Goal(f) = \frac{\Delta T_2(f) - \Delta T_1(f)}{\Delta t} \quad (۸)$$

$$Goal(f) = \frac{\alpha f |\vec{E}_2| \varepsilon''_2(f)}{\rho_2 C_2} - \frac{\alpha f |\vec{E}_1| \varepsilon''_1(f)}{\rho_1 C_1} \quad (۹)$$

$$\alpha = 55.63 \times 10^{-12} \quad (۱۰)$$

با فرض یکسان بودن چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه هر دو ماده داریم

$$Goal(f) = \frac{\alpha f}{\rho C}\left(|\vec{E}_2|\varepsilon''_2(f) - |\vec{E}_1|\varepsilon''_1(f)\right) \quad (۱۱)$$

اگر برای سادگی میدان ها را برابر در نظر بگیریم خواهیم داشت

$$Goal(f) = \frac{\alpha f |\vec{E}|}{\rho C}\left(\varepsilon''_2(f) - \varepsilon''_1(f)\right) \quad (۱۲)$$

همانطور که از رابطه (۱۲) پیداست برای بیشینه کردن تابع هدف می‌بایست فرکانسی را انتخاب‌کرد که در آن فرکانس

1. Differential Heating

بیشترین اختلاف بین قسمت موهومی ضریب گذردهی جسم اول و جسم دوم وجود داشته باشد. البته باید توجه داشت که بیشترین انتقال توان و بهترین گرمایش تفاضلی در فرکانس‌های متفاوت رخ می‌دهند.

در سال ۱۹۹۶ مطالعه‌ای روی مقادیر ضریب گذردهی خاک و بذر چند گیاه در فرکانس‌های مختلف توسط آقای نلسون انجام شد. بر طبق این مطالعات قسمت موهومی ضریب گذردهی خاک در همه فرکانس‌های مورد مطالعه بیشتر از قسمت موهومی ضریب گذردهی بذر گیاهان بوده است [۳]. به همین دلیل در روش دفع علف‌های هرز توسط ریزموج نمی‌توان از گرمایش تفاضلی بهره برد. در این روش می‌بایست به کمک گرمایش الکترومغناطیسی خاک را گرم کرد تا با انتقال حرارت در خاک دمای بذور علف هرز بالا رفته و قدرت جوانه‌زنی‌شان را از دست بدهند.

رطوبت و جنس خاک نقش مهمی در گرمایش خاک توسط ریزموج دارند. با توجه به رابطه (۲) به نظر می‌رسد که با افزایش رطوبت خاک، انرژی تلف شده در خاک نیز افزایش می‌یابد. از طرفی رطوبت خود نیز به عنوان عامل انتقال دهنده حرارت عمل می‌کند. اما باید توجه داشت که افزایش رطوبت خاک، عمق نفوذ موج در خاک را کاهش می‌دهد. به همین سبب نمی‌توان رطوبت خاک را بیش از حد افزایش داد.

جنس خاک نیز عاملی تعیین کننده در نرخ گرم شدن است. زیرا جنس بعضی از خاک‌ها طوری است که می‌توانند آب بیشتری در خود نگه دارند. از آنجایی که خاک رس توانایی نگهداری آب بیشتری در خود دارد لذا انرژی بیشتری در آن تلف می‌شود و نرخ افزایش دمای آن از خاک‌های گلدانی و شنی بیشتر است.

۴- بررسی تاثیر ریز موج روی بذر خاکشیر [۸]

برای بررسی کارایی دفع علف‌های هرز توسط ریزموج، لازم است تاثیر این روش دفع علف‌های هرز روی بذور علف‌های هرز بررسی شود و میزان انرژی لازم برای از بین بردن قدرت جوانه‌زنی بذور علف‌های هرز مورد مطالعه قرار گیرد. به همین سبب مصمم شدیم تا تاثیر انرژی ریزموج را روی گونه‌ای از علف‌های هرز بررسی نماییم. طبق بررسی‌ها گیاه خاکشیر، به علت جوانه‌زنی آسان در مقایسه با دیگرگونه‌های علف هرز، برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد. البته باید توجه داشت که هدف از انجام این آزمایش‌ها، محاسبه اندازه میدان الکتریکی و انرژی لازم برای از بین بردن قدرت جوانه‌زنی بذر است که در مرحله طراحی و ساخت دستگاه مدنظر قرار می گیرد.

گیاه خاکشیر با وجود این‌که مصارف دارویی دارد، اگر در جای نامطلوبی بروید علف هرز به حساب می‌آید. بذور خاکشیر مورد آزمایش از شهرستان فیروزکوه تهیه شده است (شکل (۱)). طبق بررسی‌های انجام شده نام علمی این گونه خاکشیر Sysimbrium Irio می‌باشد. این گیاه به وسیله بذر تکثیر می‌شود. تعداد بذر در هر بوته از این گیاه ممکن است به صد هزار عدد برسد.

شکل (۱): خاکشیر مورد آزمایش با نام علمی Sysimbrium Irio در مزارع فیروزکوه

ساختار بیولوژیکی بذور خاکشیر طوری است که برای حفظ قوه نامیه خود، در فصل سرما به خواب می‌روند و بعد سرمادهی در فصل زمستان به محض ایجاد شرایط مساعد در فصل بهار، بذرها شروع به جوانه‌زنی می‌کنند. به این ترتیب این گیاه مقدمات بقای خود را در سال‌های بعد فراهم می‌کند.

برای شکست خواب بذر خاکشیر می‌بایست بذور خاکشیر تحت تیمار سرمادهی قرار گیرند. ساده‌ترین تیمار سرمادهی، سرمادهی بذور به مدت ۲ یا ۳ هفته در آب مقطر و دمای ۴ درجه سانتی گراد می‌باشد. البته روش‌های دیگری برای افزایش میزان جوانه‌زنی خاکشیر همچون تیمار سرمادهی با محلول ۰/۲ درصد KNO_3 وجود دارد اما به دلیل نبودن امکانات آزمایشگاهی از آب مقطر برای سرمادهی استفاده شد. با استفاده از تیمار سرمادهی با آب مقطر به مدت ۳ هفته، ۱۸٪ بذور خاکشیر، ۷ روز پس از کاشته شدن جوانه زدند (شکل (۲))، [۹].

شکل (۲): خاکشیر سرمادهی شده با ۱۸٪ جوانه‌زنی

۴-۱- آزمایش‌های انجام‌شده روی بذر خاکشیر

در قدم بعدی برای بررسی میزان تاثیر ریزموج روی بذر خاکشیر، طی چهار مرحله آزمایش با زمان‌های ۱۵ ثانیه، ۳۰ ثانیه، ۱ دقیقه و ۲ دقیقه بذور خاکشیرِ سرمادهی شده را درون ظرفی پر از خاک تحت تابش ریزموج اجاق مایکروویو مدل MideaEG040ASO با فرکانس کاری ۲/۴۵ GHz، توان مصرفی ۱۵۵۰W و توان نامی مایکروویو ۱۰۰۰ W قرار داده‌ایم(شکل (۳)). در نسخه میدانی این دستگاه، می توان از موازی کردن مگنترون های مشابه که با قیمت ارزان قابل دسترسی هستند برای دست یافتن به توان های بسیار بالاتر استفاده کرد. در مرجع [۱۰] ساختاری متشکل از ۳۲ منبع موج مگنترون موازی به منظور افزایش قدرت، معرفی شده است.

شکل (۳): آزمایش انجام شده در اجاق مایکروویو مدل Midea EG040ASO

۴-۲- نتایج آزمایش‌ها

در طی ۷ روز بررسی جوانه‌زنی بذور خاکشیر تحت آزمایش، همان‌طور که انتظار می‌رفت تابش ۱۵ ثانیه کمترین تاثیر و تابش ۲ دقیقه‌ای بیشترین تاثیر را روی جوانه‌زنی بذر خاکشیر داشتند. در جدول (۱) نتایج این آزمایش‌ها آمده است.

جدول (۱): نتیجه جوانه‌زنی در آزمایش‌ها

زمان تابش ریزموج (ثانیه)	درصد جوانه‌زنی
۰	٪۱۸
۱۵	٪۲
۳۰	٪۰/۵
۶۰	٪۰
۱۲۰	٪۰

شکل (۴) جوانه‌زنی بذور خاکشیر تحت تابش ۱۵ ثانیه‌ایریزموج را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، ۴ بذر از ۲۰۰ بذر کاشته شده جوانه زده‌اند. همچنیندر شکل (۵) جوانه‌زنی بذور خاکشیر تحت تابش ۳۰ ثانیه ریزموج نشان داده شده است. در این آزمایش ۱ بذر از ۲۰۰ بذر کاشته شده جوانه زد.

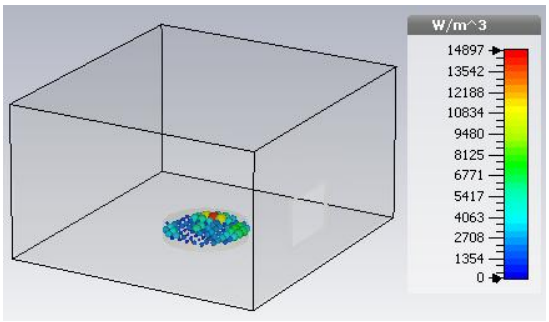
شکل (۴): جوانه‌زنی خاکشیر در آزمایش ۱۵ ثانیه تابش ریزموج

شکل (۵): جوانه‌زنی خاکشیر در آزمایش ۳۰ ثانیه تابش ریزموج

مزیت استفاده از اجاق مایکروویو در این آزمایشات، در کنار ارزان بودن و فراهم بودن امکان تست سریع آن، محاسبه انرژی الکترومغناطیسی لازم برای از بین رفتن قدرت جوانه‌زنی بذور با کمک شبیه‌سازی می‌باشد. برای این کار باید چگالی انرژی تلف-شده در خاک تحت تابش ریزموج را به‌دست آورد. به همین منظور آزمایش‌های انجام‌شده به همان ترتیب در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی شده‌اند.

۴-۳- شبیه‌سازی آزمایش‌ها

به‌منظور به‌دست آوردن میزان توان تلف‌شده در خاک تحت تابش ریزموج، آزمایش انجام‌شده با نرم‌افزار CSTMICROWAVE STUDIO 2015 شبیه‌سازی شده است. طول، عرض و ارتفاع کاواک مورد نظر به ترتیب ۳۷ cm، ۴۰ cm و ۲۲ cm می‌باشد. همچنین ابعاد روزنه‌ورودی آن ۷×۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. خاک مورد آزمایش نیز در ظرفی تقریبا استوانه‌ای شکل، با شعاع ۶ cm و ارتفاع ۲ cm در وسط صفحه زیرین کاواک قرار داده شده است. برای مدل‌سازی خاک از کتابخانه مواد نرم‌افزار، خاک گلدانی مرطوب انتخاب شده است. شکل (۶) مدل‌سازی این مسئله را در نرم‌افزار CST MICROWAVE STUDIO نشان می‌دهد.



شکل (۶): مدل‌سازی آزمایش‌ها در نرم‌افزار CST

میزان انرژی تلف‌شده توسط خاک نقشی اساسی در عقیم کردن بذر ایفا می‌کند. از طرفی میزان انرژی تلف‌شده در خاک با مجذور اندازه میدان الکتریکی درون خاک رابطه مستقیم دارد. بنابراین اندازه میدان الکتریکی درون خاک می‌تواند جایگزین مناسبی برای انرژی تلف شده باشد.

برای به‌دست آوردن میانگین اندازه میدان الکتریکی در عمق ۱ cm خاک، میدان الکتریکی از نرم‌افزار CST به صورت ماتریسی استخراج شد. و سپس میانگین اندازه میدان الکتریکی در عمق ۱ cm خاک ۱۲۷/۹۱ V/m به‌دست آمده است.

باید توجه داشت که میانگین اندازه به‌دست‌آمده با آزمایش‌های عملی متفاوت است زیرا توان ورودی در شبیه‌سازی با توان ورودی در آزمایش‌ها متفاوت است. با توجه به پارامتر S_{11} در این شبیه‌سازی است، تقریبا تمام توان دریافتی در خاک تلف می‌شود. بنابراین، تقریبا توان نامی مایکروویو وارد کاواک شده و در خاک تلف می‌شود. به این ترتیب می‌توان با استفاده از رابطه (۱۳) میانگین اندازه میدان الکتریکی در آزمایش‌ها را محاسبه نماییم.

$$E_{avg-prc} = \sqrt{\frac{P_{rated}}{P_{in-cst}}}.E_{avg-cst} \qquad (۱۳)$$

در رابطه (۱۳)، P_{rated} توان نامی خروجی مایکروویو و مقدار آن ۱۰۰۰W، P_{in-cst} توان ورودی در نرم افزار CST و مقدار آن ۰/۵W، $E_{avg-cst}$ میانگین اندازه میدان الکتریکی با استفاده از نتایج نرم‌افزار CST که مقدارش ۱۲۷/۹۱ V/m می‌باشد و $E_{avg-prc}$ میانگین اندازه میدان الکتریکی در آزمایش‌ها است و با استفاده از رابطه (۸) مقدارش ۵۷۲۰/۳ V/m، به‌دست آمده است.

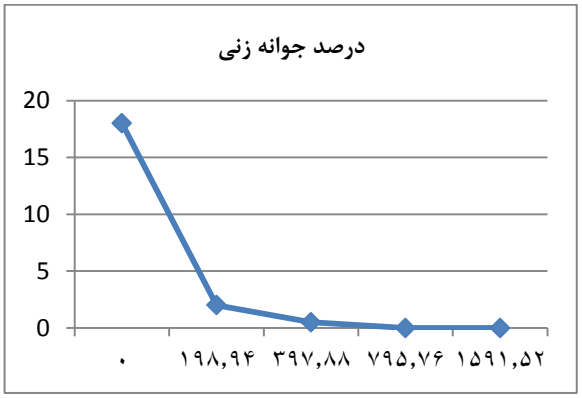
$$P_{loss} = P_{rated} \qquad (۱۴)$$

$$W_{loss} = \frac{P_{loss}.\Delta t}{\Delta V} \qquad (۱۵)$$

با استفاده از روابط (۱۵-۱۴) می‌توان چگالی انرژی تلف شده در خاک را در هر یک از آزمایش‌ها محاسبه نمود. در جدول (۲) چگالی انرژی تلف شده و در شکل (۷) نمودار درصد جوانه‌زنی بر حسب میزان انرژی تلف شده در هر آزمایش آمده است.

جدول (۲): نتایج آزمایش‌های انجام‌شده

میانگین اندازه میدان در عمق ۱ سانتی‌متری خاک= ۵۷۲۰/۳ ولت‌برمتر		
زمان تابش ریزموج (ثانیه)	چگالی انرژی تلف‌شده (J/cm^3)	درصد جوانه‌زنی
۱۵	۱۹۸/۹۴	٪۲
۳۰	۳۹۷/۸۸	٪۰/۵
۶۰	۷۹۵/۷۷	٪۰
۱۲۰	۱۵۹۱/۵۴	٪۰



شکل (۷): درصد جوانه‌زنی خاکشیر بر حسب میزان انرژی جذب‌شده توسط خاک

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله ایده استفاده از امواج مایکروویو برای از بین بردن علف‌های هرز زمین های کشاورزی مطرح گردید. با توجه به مزایای این روش مخصوصا در کشورمان، نمونه‌ای از استفاده از آن در کاهش جوانه‌زنی خاک شیر آزمایش گردید. با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌شود که با تلف کردن حدود J ۷۹۶ انرژی در هر سانتی‌متر از خاک می‌توانتمامی بذرهای گیاه خاکشیر را عقیم کرد. این مقدار توان با استفاده از منبع نسبتا ارزان قیمت مگنترون در فرکانس ۲/۴ GHz تولید گردیده و برای استفاده صنعتی از آن می توان از موازی کردن تعدادی مگنترون بهره جست. از آنجایی که قیمت انرژی در کشورهایی همچون ایران ارزان است، این روش دفع علف‌های هرز می‌تواند جایگزین روش‌های مرسوم و پر ضرر باشد.

۶-مراجع

[1] H. Aliakbarian, A. Enayati, H. Ameri, M. A. soltani, and M. Moghavvemi, "Electromagnetic solutions for the agricultural problems," in Advanced microwave circuits and systems, 1st ed., vol. 1, V. Zhurbenko, Ed. Shanghai: InTech., pp. 471-490, 2010.

[2] F. S. Davis, J. R. Wayland, and M. G. Merkle, "Phitotoxcity of UHF electromagnetic field," nature, vol. 241, Issue 5387, pp. 291-292, 1973.

[3] S. O. Nelson, "A review and assessment of microwave energy for soil treatment to control pests," Transactions of the ASAE, vol. 39, no. 1, pp. 281-289, 1996.

[4] O. C. Burnside, R. S. Moomaw, F. W. Roeth, G. A. Wicks, and R. G. Wilson, "Weed seed demise in soil in weed-free corn (Zea mays) production across Nabraska," Weed Science, vol. 34, no. 2, pp. 248-251, 1986.

[5] R. J. Kremer, "Management of Weed Seed Banks with Microorganisms," Ecol. Appl., vol. 3, no. 1, pp. 42-58, 1993.

[6] R. S. Ferriss, "Effects of microwave oven treatment on microorganisms in soil," Phytopathology, vol. 74, no. 1, pp. 121-126, 1984.

[7] G. Brodie, C. Ryan, and C. Lancaster, "Microwave technologies as a part of integrated weed management

strategy: a review," International journal of agronomy, vol. 2012, no. 1, pp. 1-14, 2012.

[8] D. Siyar, "Practical feasiblity of using microwave for weeds killing," B. S. thesis, ECE Dep., K. N. Toosi Univ., Tehran, 2016.

[9] D. D. Bushler and M. L.Hoffman, "Anderson's guide to practical methods of propagating weeds and other plants," WSSA, The special publication of the weed science society of america, p. 248, 1999.

[10] M. Vidmar, "An improved microwave weed killer," Microwave J., vol. 48, no. 10, pp. 116-120, 2005.

.

Journal of Applied Electromagnetics
Vol. 3, No. 3, 2016 (Serial No. 8)

Practical Feasibility of Using ISM Band Microwave Heating Treatment for Sisymbrium Irio Weeds

D. Siyar, M. Behzadi, H. Ali akbarian*

Khajeh Nasir Toosi University of Technology

(Received: 20/08/2016, Accepted: 06/02/2017)

Abstract

Weed control is one of the most important problems of agriculture industry due to the reduction of productivity of the fields. Traditional, chemical, and biological weed management alternatives have their own drawbacks such as environmental issues. This opens the doors for new technologies such as microwave treatment of weeds which directly target the weeds using electromagnetic heating. Due to their sensitivity, by increasing weed seeds temperature to about 60 degrees, they will lose their germination potential. The effects of microwave on a famous type of weed named Sisymbrium Irio have been investigated. Ready to germinate, buried weed seeds are exposed to microwave power in different exposure times. The results of our experiments and simulation show that the average electric field in the depth of 1cm in soil is around 5700 V/m and the amount of dissipated energy that is necessary for destroying Sisymbrium Irio seeds germination is around 200 J/cm3.

Keywords: Weed management, Sisymbrium Irio seeds, Microwave, Electromagnetic, Magnetron.

* Corresponding author E-mail: aliakbarian@eetd.kntu.ac.ir