طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه‌ی گرمایش دی‌الکتریک با امواج رادیویی برای مهار آفات لمبه گندم و شپشه آرد انباری

آمنه لطفی[1*]، داریوش زارع[2]، سید مهدی نصیری[3]، محمد علی اکرمی[4]

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شیراز (amene.lotfi72@gmail.com)
۲. هیأت علمی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شیراز (dzare@shirazu.ac.ir)
۳. هیأت علمی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شیراز (nasiri@shirazu.ac.ir)
۴. هیأت علمی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه شیراز (akramima@yahoo.com)

چکیده

تلفات غلات در اثر حمله آفات به طور تقریبی در کشورهای در حال توسعه ۲۰٪ و در کشورهای پیشرفته ۹٪ تخمین زده می‌شود. ضدعفونی با مواد شیمیایی خطرات جدی دارد. بنابراین روش‌های حرارتی غیرشیمیایی می‌تواند جایگزین مناسبی باشد. در این پژوهش یک سامانه‌ی دی الکتریک با امواج رادیویی برای مهار آفات انباری ساخته و ارزیابی شد. برای ارزیابی سامانه فوق آزمایش‌ها در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل‌های اصلی اعمال شده عبارت بودند از دمای گندم (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس)، رطوبت گندم (۸٪، ۱۲٪ و ۱۵٪ مبنای تر) و سردسازی به‌وسیله‌ی نیتروژن (بدون سردسازی، سردسازی تا ۳۰ درجه سلسیوس و سردسازی تا ۱۰ درجه سلسیوس) که به نمونه‌ها اعمال شد. صفت مورد اندازه‌گیری درصد مرگ‌ومیر آفات بود. نتایج واکاوی واریانس نشان داد که اثرهای اصلی و متقابل همه عامل‌ها بر درصد مرگ‌ومیر آفات در سطح ۱٪، معنادار بود. بنابراین با توجه به مرگ‌ومیر مطلوب در حالت سردسازی تا ۱۰ درجه سلسیوس، دمای ۴۰ درجه سلسیوس حرارت دهی نمونه‌ها نیز بررسی گردید. ۱۰۰٪ مرگ‌ومیر هر دو آفت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس حاصل شد. در حالت سردسازی تا ۱۰ درجه سلسیوس ۱۰۰٪ مرگ‌ومیر برای شپشه گندم در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به دست آمد. ۱۰۰٪ مرگ‌ومیر لمبه گندم در رطوبت ۸٪، ۱۲٪ و ۱۵٪ به ترتیب در دماهای ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درجه سلسیوس گزارش شد.

کلمات کلیدی: *گرمادهی دی‌الکتریک، کنترل آفات، ذخیره‌سازی، لمبه گندم، شپشه آرد، گندم، امواج رادیویی*

*نویسنده مسئول: amene.lotfi72@gmail.com

طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه‌ی گرمایش دی‌الکتریک با امواج رادیویی برای مهار آفات لمبه گندم و شپشه آرد انباری

۱. مقدمه

گندم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع غذایی جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. طبق گزارش سازمان خواروبار جهانی[1](FAO)، ۷۲۷/۹ میلیون تن گندم در سال ۲۰۱۷ در جهان تولید شده است. همچنین بر اساس پیش‌بینی این سازمان تولید گندم در سال ۲۰۱۸ به‌اندازه ۲/۸ میلیون تن کاهش خواهد داشت.

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات در بحث کشاورزی، انبارداری و فروش محصولات کشاورزی، آسیب و کاهش آن‌ها درنتیجه‌ی آلوده شدن به آفات است. هجوم آفات و حشرات مهم‌ترین عامل و نگرانی است که مانع صادرات محصولات و مواد غذایی می‌شود[۸]. تلفات به‌وسیله آفات شامل کاهش قوه نامیه و سرعت جوانه‌زنی و کاهش وزنی محصول است[۲۰]. همچنین پوسته‌ها و مدفوع حشرات موجب افزایش رشد میکروبی و کاهش قیمت فروش در محصول و بروز بیماری‌های گوارشی در مصرف کننده می‌شود. تلفات سالیانه دانه‌ها و غلات در اثر حمله آفات به طور تقریبی در کشورهای پیشرفته ۹٪ و در کشورهای در حال توسعه ۲۰٪ یا بیشتر تخمین زده شده است [۴، ۱۱]. بنابراین روش‌های مؤثر و کارآمد دفع حشرات می‌تواند به طور قابل توجهی خسارت‌های واردشده به محصول در مرحله انبارداری را کاهش دهد[۱۴].

صنایع تولید محصولات کشاورزی برای کنترل آفات در مرحله پس از برداشت عموماً از متیل بروماید[2] (MeBr) و گاز فسفین[3] استفاده می‌کنند [۵]. طبق پروتکل تنظیمی مونترال[4] برنامه‌ریزی شده که استفاده از این گاز به تدریج تا سال ۲۰۰۵ در کشورهای پیشرفته و تا سال ۲۰۱۵ در کشورهای در حال توسعه متوقف شود[۱۶] و از همه مهم‌تر گاز فسفین باعث ایجاد مقاومت در جمعیت آفات می‌شود[۶]. بنابراین با توجه به اثرات منفی گازهای شیمیایی و در دسترس نبودن آن‌ها در آینده‌ای نزدیک، تیمارهای غیرشیمیایی حرارتی می‌توانند جایگزینی مناسب برای کنترل آفات محصولات کشاورزی در مرحله پس از برداشت باشند.

ازاین‌رو در سال‌های اخیر استفاده از انرژی امواج رادیویی[5] (RF energy) یا انرژی الکترومغناطیس[6] (EM energy) برای کنترل آفات محصولات کشاورزی بسیار موردتوجه قرار گرفته است. گرمایش دی الکتریک به طور مستقیم با محصولات کشاورزی درگیر است و می‌تواند دمای آن‌ها را به‌صورت حجمی و سریع بدون هیچ تأثیر شیمیایی افزایش دهد[۱۹]، همچنین گزارش‌هایی از فعالیت‌های کشنده این نوع گرمایش بر روی قارچ‌ها ارائه‌شده است[۳]. گرمایش RF به‌منظور کنترل آفات در گردو و ایجاد گرمایش یکنواخت‌تر با چرخش گردو و با توجه به شکل ظاهری آن توسط Mitcham و همکاران [۱۳] انجام‌شده است. همچنین wang و همکاران [۱۸] به طور موفقیت‌آمیزی توانستند دستگاهی صنعتی برای کنترل آفات گردو با کیفیت قابل قبول محصول طراحی کنند. Lagunas و همکاران [۱۲] با بهره گیری از انرژی RF توانستند آفات موجود در برنج را به‌خوبی کنترل کنند. کنترل آفات بادام نیز در سال ۲۰۱۰ توسط Gao و همکاران [۸] بررسی شد. Wang و همکاران [۱۷] گزارش کردند که با استفاده از انرژی RF می‌توان شاهد مرگ‌ومیر مناسبی از سوسک لوبیای چشم‌بلبلی در بقولاتی مانند نخود و عدس بود. در تحقیقی دیگر با استفاده از گرمایش RF تنها با اعمال۵ تا ۷ دقیقه گرمایش می‌توان دمای۳ کیلوگرم بقولات را از دمای محیط به دمای۶۰ درجه سانتی پایه رساند برای یکنواختی بیشتر از پیش‌گرمایش هوای گرم و حرکت نمونه استفاده شده است [۹، ۱۰].

1 Food and Agricultural Organization
2 Methyl Bromide
3 Phosphine
4 Montreal protocol
5 Radio Frequency Energy
6 Electromagnetic Energy

در گرمایش RF فرکانس به کار برده شده عموماً بین ۱۰ تا ۳۰۰ مگاهرتز است و به طور خاص بین ۱۳/۵۶، ۲۷/۱۲، ۴۰/۶۸ مگاهرتز در محدوده‌ی رادیویی و ۹۱۵ و ۲۴۵۰ مگاهرتز در محدوده‌ی ماکروویو توسط کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا [۷](FCC) برای کاربردهای صنعتی، علمی و پزشکی [۸](ISM) مجاز اعلام شده است.

برای یک اجرای اقتصادی موفق تیمار RF باید یک مرگ‌ومیر مناسب در آفات، با کمترین تأثیر منفی بر روی کیفیت محصول داشته باشد و از لحاظ اقتصادی، استفاده‌ی عملی آن در صنعت امکان‌پذیر و منطقی باشد. بنابراین در این پژوهش ما بر آنیم که ۱) دستگاهی طراحی کنیم که ساختار ساده‌ای داشته باشد و از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه باشد همچنین دارای بازدهی مناسب در کاربردهای صنعتی باشد ۲) تعیین دمای مناسب گرمایش دی‌الکتریک برای حصول به ۱۰۰ درصد مرگ‌ومیر در آفات و حداقل آسیب به ویژگی‌های کیفی گندم ۳) بررسی تأثیر فرآیند سردسازی سریع محصول بعد از اعمال گرمایش دی‌الکتریک بر میزان مرگ‌ومیر آفات ۴) بررسی و ارزیابی تأثیر رطوبت اولیه محصول بر گرمایش دی‌الکتریک.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی گندم

گندم مرغوب و با کیفیت از ایستگاه زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز تهیه گردید. پس از بوجاری رطوبت اولیه‌ی آن اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه‌های استاندارد میزان آب لازم برای رساندن ۱کیلوگرم گندم به رطوبت موردنظر محاسبه گردید. پس‌ازآن بسته‌های ۱ کیلوگرمی گندم به تدریج داخل ظروف شیشه‌ای ریخته شد و با استفاده از اسپری، آب لازم به لایه‌های نازک گندم اضافه شد و مرتباً ظرف حاوی گندم تکان داده شد بعدازآن ظرف حاوی گندم به مدت ۷۲ ساعت در دمای محیط قرار گرفت و در بازه‌های زمانی مشخص برای مخلوط کردن آن‌ها تکان داده می‌شد. بعد از ۷۲ ساعت گندم در سه سطح رطوبت ۸٪ ، ۱۲٪ و۱۶٪ تهیه گردید و به‌صورت بسته‌های ۱ کیلوگرمی در کیسه‌های پلاستیکی که قابلیت نفوذ هوا و رطوبت را نداشت بسته‌بندی گردید. سپس نمونه‌های آماده‌شده در یخچال در دمای۴ درجه سلسیوس نگه‌داری شد.

آماده‌سازی آفات

حشرات موردمطالعه در این تحقیق آفات انباری لمبه گندم و شپشه آرد هستند، که این آفات از سیلوهای موجود در شهر شیراز نمونه‌برداری شد و در آزمایشگاه پرورش داده شدند. پرورش انبوه این حشرات طبق روش ابن‌العلم و همکاران (۱۳۹۴) [۱] در اتاقک رشد در دمای ۳۰±۱ و رطوبت نسبی ۶۰±۵ درصد و تاریکی مطلق روی جیره‌ی غذایی گندم و مخمر (۱۰ قسمت گندم و ۱ قسمت مخمر) داخل ظروف پلاستیکی درب‌دار صورت گرفت. برای ایجاد تهویه، روی درب ظروف حفره‌هایی ایجاد گردید که با پارچه‌ی توری پوشانده شد و هر ماه یک بار به ظروف حاوی آفات گندم اضافه می‌گردید. هرگاه جمعیت آفات افزایش می‌یافت کلنی به ظرف بزرگ‌تر انتقال می‌یافت.

ساخت سامانه گرمایش RF

7 Federal Communication Commission
8 Industrial, scientific and medical

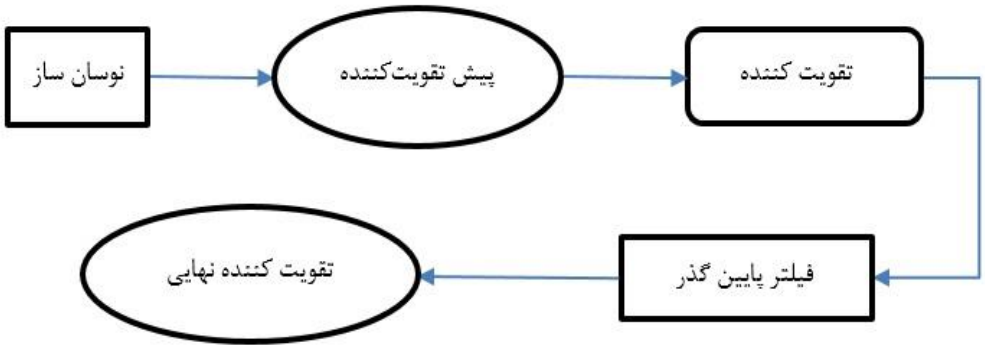
به‌طورمعمول یک سامانه گرمایش RF از دو قسمت اصلی تشکیل شده است:

۱- ژنراتور یا مولد توان RF

۲- اعمال کننده

مولد قسمتی از دستگاه است که وظیفه‌ی تولید انرژی RF را برای سامانه دارد. اعمال‌کننده به بخشی از سامانه گفته می‌شود که محصول کشاورزی یا نمونه موردنظر در آن قرار گرفته و انرژی الکترومغناطیسی را به حرارتی تبدیل می‌کند.

ژنراتور RF از قسمت‌های زیر تشکیل می‌شود که به‌صورت شماتیک (شکل ۱) ترتیب عملکرد آن‌ها نمایش داده شده است:



شکل ۱- مراحل ساخت ژنراتور RF

اسیلاتور یا نوسان ساز

این روزها به دلیل مشکلات طراحی از طریق مدار، به منظور دستیابی دقیق به فرکانس موردنظر از عنصری به نام کریستال استفاده می‌گردد. کریستال‌ها از مواد پیزوالکتریک ساخته می‌شوند که می‌توانند فرکانس دقیقی تولید کنند. افزون بر آن پایداری دمایی بهتری نسبت به مدارهای الکتریکی دارند. بنابراین برای ایجاد موج مربعی اولیه که فرکانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز داشته باشد از مدار اسیلاتور کریستالی استفاده گردید.

پیش‌تقویت‌کننده و تقویت‌کننده

در مرحله‌ی قبل با استفاده از اسیلاتور کریستالی موج مربعی با فرکانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز و توان ۱۰ میلی وات تولید شد. با توجه به اینکه توان موردنظر آزمایش ۱۱۰ وات درنظر گرفته شده بود و ۱۰ میلی‌وات خیلی کوچک بود، در دو مرحله توان با استفاده از تقویت‌کننده‌ها تقویت شد. در پیش‌تقویت‌کننده مداری طراحی شد که توان را به ۱ وات رساند. بعد از این مرحله تقویت‌کننده اصلی توان را به ۱۱۰ وات که مورد نیاز آزمایش بود، رساند.

فیلتر پایین‌گذر

در این مرحله با استفاده از یک مدار الکتریکی به‌عنوان فیلتر پایین‌گذر، موج مربعی با توان ۱۱۰ وات به موج سینوسی مطابق با هدف پژوهش تبدیل شد.

تقویت‌کننده نهایی

زمانی که موج مربعی به موج سینوسی تغییر یافت، به دلیل اینکه از فیلتر عبور نمود ولتاژ آن تغییر کرد. در این مرحله با طراحی یک تقویت‌کننده نهایی، موج سینوسی خروجی با ولتاژ و توان موردنظر کنترل شد و به‌وسیله کابل استاندارد ۵۰ اهمی به اعمال کننده متصل شد.

اعمال‌کننده سامانه گرمایش RF

اعمال‌کننده در سامانه گرمایش RF شامل دو بخش اصلی است:

۱- جعبه تطبیق امپدانس: در شرایط عدم تطبیق بار به خط انتقال، در مدارات فرکانس بالا مقداری از موج (جریان و ولتاژ) به خط باز می‌گردد که اصطلاحاً به آن ولتاژ بازگشتی می‌گویند. مقدار این موج بازگشتی بیانگر میزان تطبیق بار به سامانه است. در بهترین حالت ولتاژ بازگشتی به این سامانه باید صفر شود. برای این کار یک فیلتر L با قسمت بار موازی شد در این حالت با استفاده از فیلتر L مقاومت قسمت بار همواره برابر ۵۰ اهم تنظیم شد که در این حالت سیستم تطبیق شده است.

۲- قسمت قرارگیری نمونه: این قسمت از دو صفحه آلومینیومی به قطر ۱۰ سانتی‌متر تشکیل شد که مانند یک خازن دی‌الکتریک عمل می‌نمود. برای تنظیم فاصله‌ی بین دو صفحه مکانیزمی ساده با استفاده از دو پیچ طراحی شد که می‌توانست فاصله را تا ۴ سانتی‌متر به طور دلخواه تنظیم نمایید.

انجام آزمایش

برای انجام آزمایش ابتدا توسط کابل کواکسیال ۵۰ اهمی ژنراتور به جعبه تطبیق امپدانس متصل گردید، سپس فاصله‌ی بین صفحات دی‌الکتریک روی ۱ سانتی‌متر تنظیم شد و برای ایمنی بیشتر اتصال به زمین دستگاه بررسی گردید. زمانی که اطمینان حاصل می‌شد دستگاه آماده بود، دستگاه روشن می‌شد و از طریق صفحه لمسی روی ژنراتور توان روی ۱۱۰ وات تنظیم گردید. سپس با استفاده از پنل جلویی جعبه تطبیق توان برگشتی صفر می‌شد.

پس‌ازآن برای هر آزمایش ۲۰ گرم از گندم‌هایی که از ۱ ساعت قبل در دمای محیط قرار داده شده بود و به دمای محیط ۱۸ تا ۲۲ درجه سلسیوس رسیده بود با ترازوی دیجیتالی مدل GF600 با دقت ۰/۰۰۱± گرم وزن شد. در مرحله بعد تعداد ۱۰ عدد از آفت سن دوم و سوم انتخاب شده و در مرکز نمونه قرار داده شد. با آماده بودن دستگاه و گندم آلوده به آفت، گندم در قسمت استقرار ظرف نمونه قرار داده می‌شد و کرنومتر روشن می‌شد. با توجه به رطوبت گندم زمان لازم برای رسیدن دمای نمونه به دمای موردنظر از قبل محاسبه می‌شد که به طور خلاصه در جدول۱ آورده شده است. بنابراین در زمان مشخص نمونه از دستگاه خارج می‌شد و برای اطمینان بیشتر بلافاصله دمای آن توسط دماسنج نوری مدل 830-T2 با دقت ۱ درجه سلسیوس (ساخت شرکت Testo آلمان) اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- زمان لازم بر حسب ثانیه برای افزایش دمای گندم با استفاده از سامانه RF در رطوبت های مختلف

	دما (درجه سلسیوس)			
رطوبت	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
۸٪	۶۰	۱۰۵	۱۴۵	۲۱۰

۱۲٪	۵۰	۹۰	۱۳۵	۱۹۰
۱۵٪	۴۰	۸۵	۱۲۰	۱۶۰

برای تیمارهایی که نیاز به سردسازی به‌وسیله‌ی نیتروژن مایع داشتند پس از خروج نمونه از سامانه RF نمونه در تماس با نیتروژن مایع قرار داده می‌شد به گونه‌ای که دمای نمونه در مدت زمان ۱ دقیقه و ۱۵ ثانیه به ۳۰ درجه سلسیوس و در۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه به ۱۰ درجه سلسیوس می‌رسید.

اندازه‌گیری مرگ‌ومیر آفات

برای تعیین مرگ‌ومیر آفات پس‌ازآن که نمونه گندم آلوده تحت تیمار قرار گرفت، آفات زیر دستگاه بینوکولار موجود در بخش گیاه پزشکی دانشگاه شیراز بررسی شد. سپس مرگ‌ومیر آفات با شمارش تعداد آفات مرده و استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید. مرگ ومیر آفات در بازه‌های زمانی بلافاصله پس از اعمال تیمار، ۲۴ ساعت بعد، ۱هفته بعد تا ۵ هفته اندازه‌گیری شد. ۳۵ روز به گونه‌ای انتخاب گردید که بتوان میزان رشد و زادآوری آفت را در یک دوره کامل رشدی بررسی کرد. در این مدت آفات تحت شرایط قرنطینه دمای ۳۰±۱ و رطوبت ۶۰±۵ و تاریکی مطلق، که شرایط مطلوب برای رشد آفت است نگه‌داری شدند.

برای تعیین درصد مرگ‌ومیر آفات از رابطه ابوت [۲] به شرح زیر استفاده می‌شود:

$$\text{درصد مرگ‌ومیر اصلاح شده} = \frac{T-C}{100-C} \times 100 \qquad (۱)$$

T: تعداد مرگ‌ومیر در تیمار

C: تعداد مرگ‌ومیر در شاهد

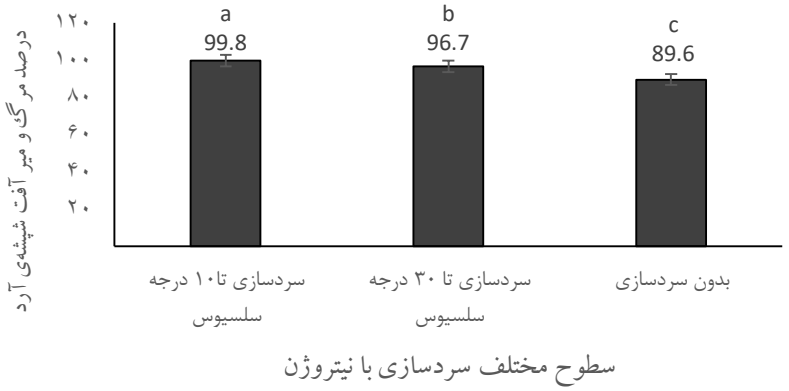
۲. ۶. تجزیه و تحلیل آماری

برای ارزیابی سامانه فوق، آزمایش‌ها در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل‌های اصلی اعمال شده عبارت بودند از دمای گندم (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس)، رطوبت گندم (۸٪، ۱۲٪ و ۱۵٪ مبنای تر) و سردسازی به‌وسیله‌ی نیتروژن (بدون سردسازی، سردسازی تا ۳۰ درجه سلسیوس و سردسازی تا ۱۰ درجه سلسیوس) که به نمونه‌ها اعمال شد. صفت مورد اندازه‌گیری درصد مرگ‌ومیر آفات در بازه‌های زمانی بلافاصله پس از اعمال تیمار، ۲۴ ساعت بعد و ۱هفته تا ۵ هفته بعد اندازه‌گیری شد.

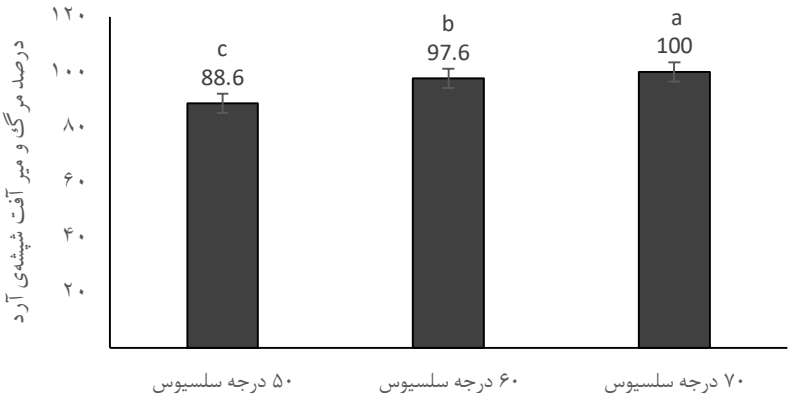
نتایج و بحث

بررسی مرگ‌ومیر شپشه‌ی آرد

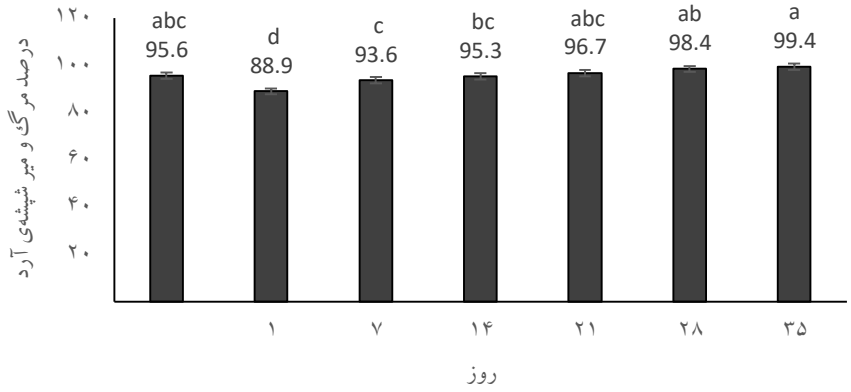
نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرگ‌ومیر این آفت نشان می‌دهد که استفاده از نیتروژن در سطح ۱٪ اثر معنی‌دار بر مرگ‌ومیر دارد و باعث افزایش قابل‌توجهی در مرگ‌ومیر آفت در مقایسه با حالت بدون سردسازی است (شکل ۲). افزایش دما در گرمادهی دی الکتریک نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده و باعث افزایش مرگ‌ومیر در آفت است به گونه‌ای که در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در دو حالت استفاده از نیتروژن برای سردسازی و بدون سردسازی شاهد مرگ‌ومیر ۱۰۰٪ در آفت رخ داد (شکل ۳). نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از گرمادهی دی‌الکتریک شپشه‌ی آرد مرگ تأخیری معنی‌داری در سطح ۱٪ داشته، به گونه‌ای که با گذشت زمان تا ۵ هفته افزایش مرگ‌ومیر آفت مشاهده شد. بنابراین استفاده از این روش باعث ایجاد اختلال در مراحل رشدی آفت شده که پس از گذشت زمان باعث مرگ آفت می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که مرگ‌ومیر در یک روز بعد از اعمال تیمار نسبت به بلافاصله پس از اعمال تیمار کاهش یافته است. با توجه به اینکه آفات نسبت به تغییرات شرایط محیطی و دما حساس هستند بلافاصله پس از اعمال تیمار آفات کاملاً بی حرکت شده و هیچگونه حرکتی ندارند، اما پس از گذشت ۲۴ ساعت آفاتی که زنده هستند فعال می‌شوند (شکل ۴). نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس معنی داری برهمکنش نیتروژن در رطوبت، نیتروژن در دما، نیتروژن در روز و دما در روز را در سطح ۱٪ معنی‌دار نشان داد، که نشان‌دهنده‌ی کارآمد بودن حالت ترکیبی گرمادهی دی الکتریک همراه با سردسازی به‌وسیله‌ی نیتروژن است.



شکل ۲- اثر اصلی سردسازی با نیتروژن بر درصد مرگ‌ومیر شپشه آرد

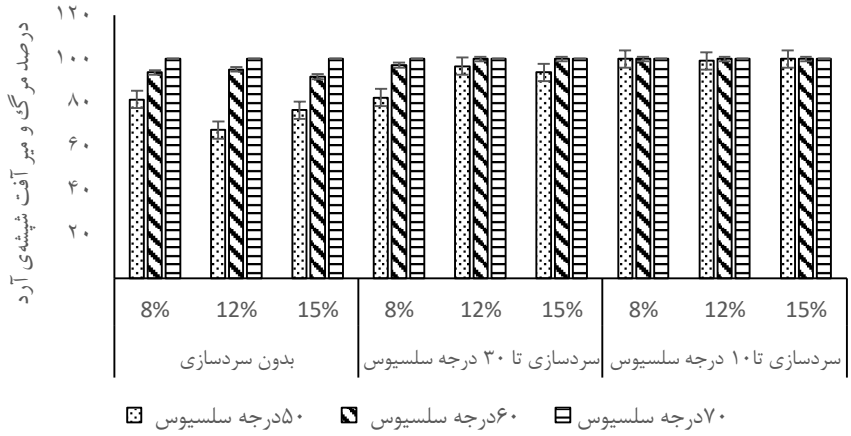


شکل ۳- اثر اصلی دما بر درصد مرگ و میر شپشه آرد



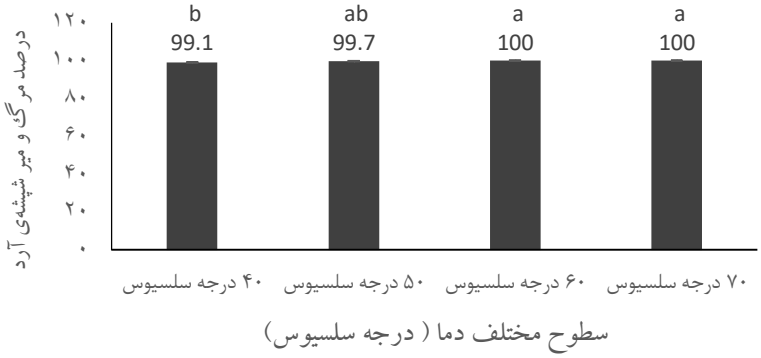
شکل ۴- اثر اصلی روز بر درصد مرگ‌ومیر شپشه آرد

همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، استفاده از سردسازی تأثیر قابل‌توجهی در مرگ‌ومیر آفت شپشه آرد دارد، به گونه‌ای که در حالت سردسازی تا ۱۰ درجه سلسیوس شاهد مرگ‌ومیر ۱۰۰ درصد در هر سه سطح رطوبت و در دمای ۵۰، ۶۰، و ۷۰ درجه سلسیوس رخ داد. در سردسازی تا ۳۰ درجه سلسیوس در رطوبت‌های ۱۲٪ و ۱۵٪ می‌توان با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به ۱۰۰ درصد مرگ‌ومیر در آفت دست یافت.



شکل ۵- برهمکنش نیتروژن، رطوبت و دما بر مرگ‌ومیر شپشه‌ی آرد

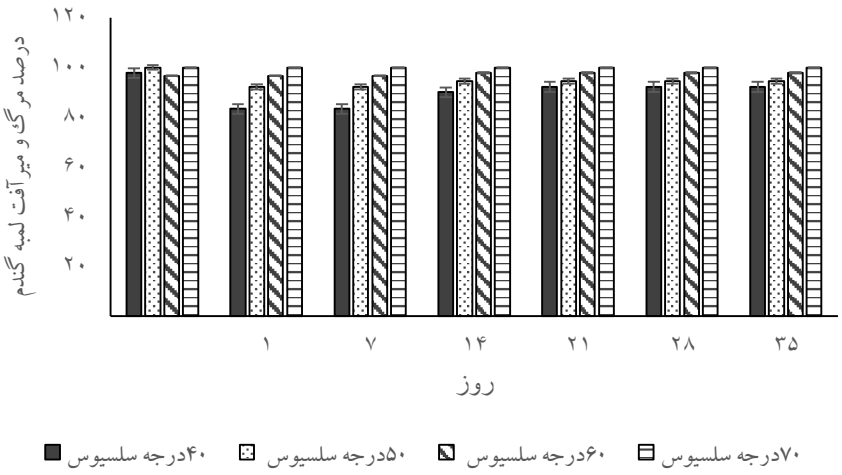
با توجه به (شکل ۶) می‌توان دریافت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس مرگ ومیر شپشه‌ی آرد ۹۹٪ است. این موضوع بیانگر آن است که با استفاده از گرمادهی دی الکتریک تا ۴۰ درجه سلسیوس و سردسازی با نیتروژن تا دمای ۱۰ درجه سلسیوس، تنها با افزایش ۱۰ درجه سلسیوس دما نسبت به دمای بهینه‌ی رشد آفت می‌توان به ۹۹٪ درصد مرگ‌ومیر در آفت دست یافت.



شکل ۶- تأثیر دما بر مرگ‌ومیر شپشه‌ی آرد در سردسازی تا ۱۰ درجه سلسیوس

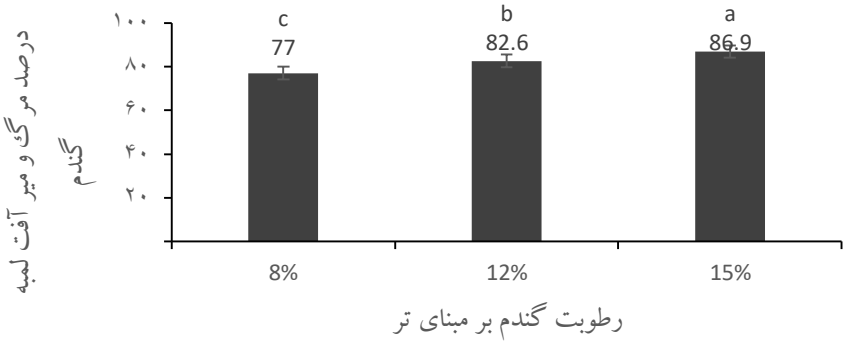
بررسی مرگ‌ومیر لمبه گندم

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرگ‌ومیر این آفت درمورد سردسازی، افزایش دما و محتوای رطوبتی مشابه شپشه آرد بود. اما نتایج نشان می‌دهد که آفت شپشه‌ی آرد نسبت به لمبه گندم به این روش کنترلی حساسیت بیشتری دارد. همچنین با استفاده از گرمادهی دی‌الکتریک، لمبه گندم مرگ تأخیری معنی‌داری در سطح ۱٪ داشته، به گونه‌ای که با گذشت زمان تا ۵ هفته افزایش مرگ‌ومیر آفت مشاهده شده اما حساسیت آن نسبت به شپشه‌ی آرد کمتر بوده است (شکل ۷).



شکل ۷- بر همکنش دما و روز بر مرگ‌ومیر لمبه گندم

همچنین با افزایش رطوبت مرگ‌ومیر در آفات افزایش می‌یابد که این همسو با نتایج حاصل از تحقیقات در این زمینه است [۱۵، ۷]. به دلیل اینکه با افزایش رطوبت ضریب تلفات محصول افزایش یافته در نتیجه سرعت افزایش دما بیشتر می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸ – تأثیر رطوبت محصول در کنترل آفت لمبه گندم

. نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از آنالیز و تحلیل داده‌ها مشخص گردید که افزایش دما مهم‌ترین عامل در مرگ‌ومیر آفات است. به طوری که در دمای ۷۰ درجه سلسیوس ۱۰۰ درصد مرگ‌ومیر در هر دو نوع آفت شپشه‌ی آرد و لمبه گندم مشاهده گردید.

همچنین مشخص گردید کنترل آفات با استفاده از گرمادهی دی‌الکتریک به همراه سردسازی با نیتروژن روشی کارآمد و مؤثر است. به گونه‌ای که تنها با افزایش ۱۰ درجه‌ای دما نسبت به حالت مطلوب یعنی در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و سردسازی تا ۱۰ درجه سلسیوس می‌توان ۱۰۰ درصد مرگ‌ومیر در شپشه‌ی آرد را در یک هفته پس از اعمال تیمار شاهد بود این در حالی است که در روش بدون سردسازی ۱۰۰ درصد مرگ‌ومیر در ۷۰ درجه سلسیوس بدست می‌آید. بنابراین با استفاده از سردسازی به همراه گرمادهی دی‌الکتریک در دمای کمتری می‌توان ۱۰۰ درصد مرگ‌ومیر آفات را بدست آورد.

آفت شپشه‌ی آرد نسبت به لمبه گندم به این روش کنترلی حساسیت بیشتری دارد بنابراین با توجه به نوع آفت می‌توان بهینه‌ترین شرایط را برای کنترل آن یافت.

رطوبت نیز یک فاکتور مهم در این نوع روش کنترل آفات انباری بدست آمد، مشاهده گردید که با افزایش رطوبت مرگ‌ومیر در آفات افزایش میابد.

در هر دو نوع آفت شاهد مرگ تأخیری بوده‌ایم که در شپشه آرد تا ۱۴ روز و در لمبه گندم تا ۴ هفته ادامه داشت. این موضوع بیانگر آن است که این روش باعث ایجاد نابهنجاری در بدن آفات در دماهای غیر کشنده می‌شود. بنابراین تا مدتی پس از اعمال تیمار درصد مرگ‌ومیر افزایش می‌یابد که این زمان در آفات مختلف متفاوت است.

منابع

۱. ابن‌العلم، ن.، کچیلی، ف.، صباحی، ق. ا.، مصدق، م. س. (۱۳۹۴). بررسی سمیت تنفسی و دوام اسانس اکالیپتوس، گردو و پونه روی حشرات کامل سوسک لمبه گندم Trogoderma granarium (Everts) (Coleopteran; Dermestidae). گیاه پزشکی (مجله کشاورزی)، ۳۸ (۳)، ۸۴-۷۵.

2. Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology, 18(2), 265-267.

3. Armstrong, J. W. (1994). Commodity resistance to infestation by quarantine pests. Quarantine treatments for pests of food plants.
4. Azab, M., Darwish, A., Mohamed, R., & Sanad, M. (2013). Comparative efficacy of controlled atmospheres against two stored product insects. Journal of Crop Protection, 2(3), 343-353.
5. Carpenter, J. E., Gianessi, L. P., & Lynch, L. (2000). The economic impact of the scheduled US phaseout of methyl bromide (pp. 70-137). Washington DC: National Center for Food and Agricultural Policy.
6. Fields, P. G. (1992). The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. Journal of Stored Products Research, 28(2), 89-118.
7. Frings, H. (1952). Factors determining the effects of radio-frequency electromagnetic fields on insects and materials they infest. Journal of Economic Entomology, 45(3), 396-408.
8. Gao, M., Tang, J., Wang, Y., Powers, J., & Wang, S. (2010). Almond quality as influenced by radio frequency heat treatments for disinfestation. Postharvest Biology and Technology, 58(3), 225-231.
9. Guo, W., Wang, S., Tiwari, G., Johnson, J. A., & Tang, J. (2010). Temperature and moisture dependent dielectric properties of legume flour associated with dielectric heating. LWT-Food Science and Technology, 43(2), 193-201.
10. Guo, W., Tiwari, G., Tang, J., & Wang, S. (2008). Frequency, moisture and temperature-dependent dielectric properties of chickpea flour. Biosystems Engineering, 101(2), 217-224.
11. Huang, Z., Zhu, H., Yan, R., & Wang, S. (2015). Simulation and prediction of radio frequency heating in dry soybeans. Biosystems Engineering, 129, 34-47.
12. Lagunas-Solar, M. C., Pan, Z., Zeng, N. X., Truong, T. D., Khir, R., & Amaratunga, K. S. P. (2007). Application of radiofrequency power for non-chemical disinfestation of rough rice with full retention of quality attributes. Applied Engineering in Agriculture, 23(5), 647-654.
13. Mitcham, E. J., Veltman, R. H., Feng, X., De Castro, E., Johnson, J. A., Simpson, T. L., ... & Tang, J. (2004). Application of radio frequency treatments to control insects in in-shell walnuts. Postharvest Biology and Technology, 33(1), 93-100.
14. Tang, J. (Ed.). (2007). Heat treatments for postharvest pest control: theory and practice. CABI.
15. Thomas, A. M. (1952). Pest control by high-frequency electric fields Critical resume. Tech. Rep. W/T23. Leatherhead, Surrey, England: British Electric and Allied Industries Assoc.
16. UNEP,(1992). Fourth Meeting of the Parties to the Mont Real Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer. In: Program, U.N.E. (Ed.), Unite NationsEnvironment Program, Copenhagen, Denmark.
17. Wang, S., Tiwari, G., Jiao, S., Johnson, J. A., & Tang, J. (2010). Developing postharvest disinfestation treatments for legumes using radio frequency energy. Biosystems Engineering, 105(3), 341-349.
18. Wang, S., Monzon, M., Johnson, J. A., Mitcham, E. J., & Tang, J. (2007). Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts: II: Insect mortality and product quality. Postharvest Biology and Technology, 45(2), 247-253.

19. Wang, S., Monzon, M., Gazit, Y., Tang, J., Mitcham, E. J., & Armstrong, J. W. (2005). Temperature-dependent dielectric properties of selected subtropical and tropical fruits and associated insect pests. Transactions of the ASAE, 48(5), 1873-1880.
20. Yuya, A. I., Tadesse, A., Azerefegne, F., & Tefera, T. (2009). Efficacy of combining Niger seed oil with malathion 5% dust formulation on maize against the maize weevil, Sitophilus zeamais (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Stored Products Research, 45(1), 67-70.

Design, Fabrication and Evaluation of Radio Frequency Dielectric Heating for Controlling of *Trogoderma granarium* and *Tribulium castaneum* in Stored Wheat

A.Lotfi[1*], D.Zare[2], S.M.Nassiri[3], M.A.Akrami[4]

1. Former Graduate Student, Department of Biosystems Engineering, University of Shiraz
2. Faculty Member, Department of Biosystems Engineering, University of Shiraz
3. Faculty Member, Department of Biosystems Engineering, University of Shiraz
4. Faculty Member, Department of Plant Pathology, University of Shiraz

Abstract

Annual losses of seeds and cereals due to pest infections are estimated to be approximately 20% and 9% in developing and advanced countries, respectively. Disinfection with chemicals poses serious risks. Therefore, application of non-chemical thermal methods can be good alternatives. In this research, a radio wave dielectric heating system was designed and used to control lime and beetle storage. To evaluate the system, the experiments were carried out in a factorial experiment based on a completely randomized design in thriplicates. The main experimental factors were wheat temperature (50, 60 and 70 ^{0}C), moisture content (8%, 12% and 15% wet bases) and nitrogen cooling (without cooling, cooling up to 30 °C, and cooling up to 10 °C). Absolute mortality was measured at seven time intervals, immediately after treatment, 24 hours, and 1 week up to 5 weeks after treatment. The results showed that the main and interaction effects of all factors on mortality rate of pests was significant ($p<0.01$) In addition to the above experiments, sample heating of 40 ^{0}C was also studied at mentioned cooling conditions. Based on the results, 100% mortality of both pests at 70 °C was achieved at all three levels of humidity and cooling treatments. For the cooling mode of 10 °C, after one week, 100% mortality for wheat beetle was achieved for sample heating of 40 °C. Meanwhile, 100% mortality at 8%, 12%, and 15% moisture content of wheat was found at 70, 60 and 50 degrees Celsius, respectively.

Key words: Dielectric heating, Pest control, Storage, Wheat, Radio frequency

*Corresponding author
E-mail: amene.lotfi72@gmail.com