معرفی کاربرد طیفی از امواج الکترومغناطیس جهت دفع آفات محصولات دانه ای و انباری

امین رستمی[۱*]، حسن صدرنیا[۲*]

۱- مربی، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

* ایمیل نویسنده مسئول: amin_rostami1925@yahoo.com

چکیده

مبارزه شیمیایی با آفات یعنی بکارگیری سم و سمپاشی از بیش از نیم قرن پیش تا به امروز و مصرف بی رویه این سموم موجب ایجاد بسیاری بیماری ها در انسان، آلودگی های زیست محیطی و افزایش مقاومت آفات در برابر این نوع مبارزه شده است. امروزه در سطح دنیا ممنوعیت مصرف این مواد در دستور کار قرار دارد؛ از اینرو اهمیت شیوه های غیر شیمیایی و غیر مخرب کنترل آفات با توجه روبرو شده است. حرکت در راستای توسعه پایدار کشاورزی، کاهش احتمال ایجاد مقاومت در آفات هدف، کاهش باقیمانده سموم و اثرات زیان آور مواد شیمیایی در محصولات و محیط زیست طبیعی، کاهش هزینه های بهداشتی و درمانی جامعه، امکان تولید محصول سالم و ارگانیک و بسیاری موارد دیگر از اهداف مبارزه غیر شیمیایی آفات است. از این میان استفاده از طیف های متعدد امواج الکترومغناطیس مورد نظر محققان و پژوهشگران قرار گرفته است. این پژوهش بصورت کتابخانه‌ای به معرفی کاربردها و موارد استفاده از امواج رادیویی، اشعه گاما و تابش نور به عنوان سه طیف از امواج الکترومغناطیس جهت دفع آفات برخی از محصولات کشاورزی و مواد غذایی می‌پردازد. معرفی پژوهش‌های صورت گرفته به دو صورت ارائه شده است. کاربرد و استفاده موفق طیفی از امواج الکترومغناطیس در کنترل آفات محصولات دانه ای و انباری معرفی و در بخش دیگر برخی از پژوهش‌هایی که در حوزه مدلینگ توزیع حرارت در مواد غذایی تحت درمان امواج رادیویی صورت گرفته، بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: اشعه گاما، الکترومغناطیس، امواج رادیویی، تابش نور، دفع آفات

مقدمه

هر چند کنترل عوامل خسارت زا با استفاده از آفت کش‌ها در بخش کشاورزی سودمند و ضروری است اما بی توجهی و افراط در مصرف آفت کش‌ها باعث خطرات قابل توجهی برای موجودات زنده و ایجاد بیماری و مرگ در انسان ها و حیوانات می شود. این مشکلات ناشی از تماس مستقیم و غیر مستقیم با آفت کش‌ها است. روش های غیر شیمیایی و غیر مخرب در دفع آفات بجای مبارزه شیمیایی از ضرورت های دنیای امروز در استای تأمین سلامت جامعه می باشد. بکارگیری امواج غیرمخرب همچون امواج الکترومغناطیس (از جمله امواج رادیویی، اشعه گاما وتابش نور) یکی از بخش های قابل توجه در امر پژوهش در راستای دفع غیر شیمیایی آفات است. در ذیل معرفی اجمالی از این طیف ارائه می گردد.

امواج الکترومغناطیس طیف وسیعی از امواج رادیویی، مایکروویو، نور مریی، اشعه ایکس و اشعه گاما را شامل می گردد. بر این اساس طیف الکترومغناطیس طیف گسترده ای از طول موج ها و انرژی های فوتونی را در بر می گیرد. امواج الکترومغناطیسی به وسیله حرکت ذرات باردار الکتریکی تولید می شوند و قادرند از میان فضای خالی و همچنین از داخل هوا و موادی دیگر عبور کنند. امواج رادیویی بسته به طول موج خود توسط انواع مختلفی از فرستنده ها تولید می شوند. اگر تابش امواج رادیویی در مقادیر زیاد توسط موادی مانند غذاها، سیالات و بافت های بدن انسان که آب دارند، جذب شوند می توانند گرما تولید کنند.

اشعه گاما نوعی از امواج الکترومغناطیسی است. طول موج آن بسیار کوتاه است و جرم آن در مقیاس اتمی صفر، سرعت آن برابر سرعت نور، بار الکتریکی آن صفر است. خاصیت یونیزاسیون آن بسیار کمتر از ذرات آلفا و بتا می باشد اما قدرت نفوذ آن بسیار بالاست.

استفاده از امواج رادیویی

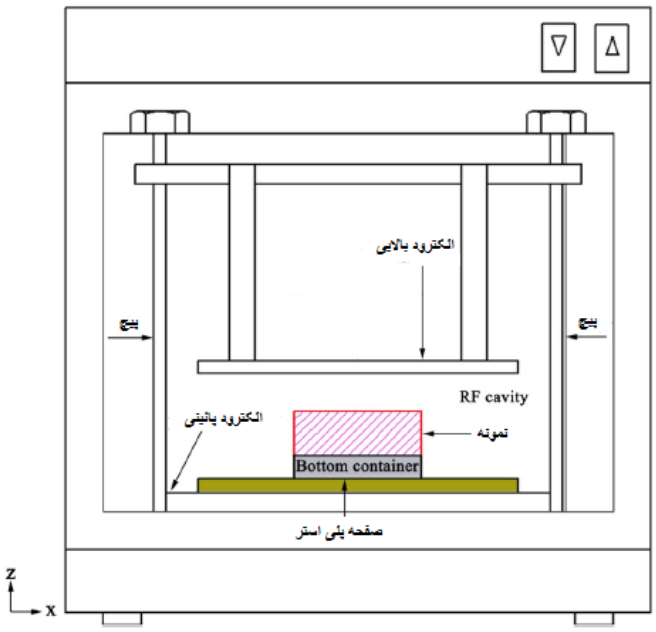
در پژوهشی پایداری انباری پسته تحت تاثیر امواج فرکانس رادیویی به عنوان راه حل درمانی جهت ضدعفونی کردن پس از برداشت بررسی شده است. علاقه رو به افزایش جایگزین کردن روش های فیزیکی برای ضد عفونی محصول پس از برداشت به جای گند زدایی شیمیایی به علت اثرات سوء آن بر سلامت انسان و محیط زیست، قابل ملاحظه است. آن پژوهش به بررسی امکان استفاده از حرارت امواج فرکانس رادیویی به عنوان درمان غیر شیمیایی برای ضد عفونی پسته پرداخته است.

یک مقیاس پایلوت، با ۲۷ مگاهرتز و ۶ کیلو وات واحد RF (فرکانس رادیویی) جهت مطالعه یکنواختی حرارت RF، توسعه یک پروتکل درمانی و ارزیابی ویژگی های کیفی و پایداری انباری پسته انتخاب می‌گردد. به منظور بالا بردن درجه حرارت مرکز ۱/۸ کیلوگرم پسته پوست نشده و ۲/۰ کیلوگرم پسته پوست شده تا ۵۵ درجه سانتی گراد با استفاده از انرژی RF، تنها به ۵/۶ و ۵/۵ دقیقه (به ترتیب) نیاز بود در حالی که در مقایسه با استفاده از هوای گرم به ترتیب حدود ۸۲ و ۱۱۷ دقیقه برای رسیدن به ۵۵ درجه

سانتی گراد زمان لازم داشت. مرگ و میر ۱۰۰٪ از سن پنجم پروانه شب پره هندی گزارش شده است. در نمونه پسته تحت درمان RF، تفاوت معنی داری از نمونه شاهد در کاهش وزن، ارزش پراکسید، ارزش اسید چرب، اسیدهای چرب و رنگ دانه مشاهده نگردید. بنابراین درمان RF می تواند به عنوان یک پروتکل موثر و سریع در برابر آفات انباری پسته به صورت جایگزینی برای بخور شیمیایی معرفی گردد (Ling *et al*., 2015).

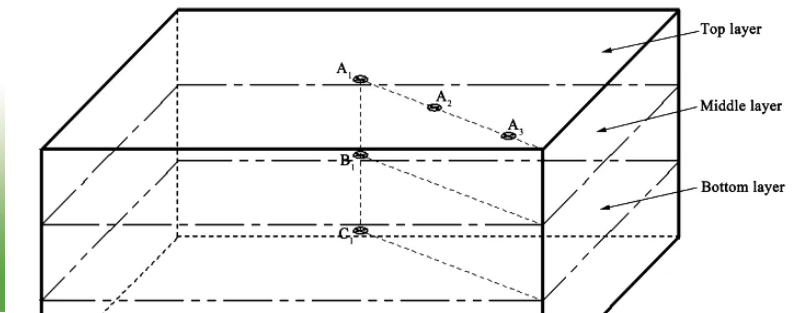
مقاله ای تحقیقاتی تحت عنوان توسعه فناوری فرکانس رادیویی جهت کنترل آفات پس از برداشت در آرد برنج ارائه شده است. هدف این از پژوهش، مطالعه بر روی کاربردهای ممکن از انرژی فرکانس رادیویی (RF) روی آرد برنج بدون تاثیر سوء برکیفیت محصول بود. مقیاس پایلوت در این طرح، یک سیستم فرکانس رادیویی با مشخصات ۲۷/۱۲ مگاهرتز و ۶ کیلووات برای توزیع دمایی RF، توسعه پروتکل درمانی برای دستیابی به ۱۰۰درصد مرگ و میر آفات و سرانجام ارزیابی خصوصیات کیفی آرد برنج تحت درمان در طول مدت انباری است. نتایج نشان می‌دهد که زمان حرارت دهی مورد نیاز با استفاده از انرژیRF برای افزایش درجه حرارت ۳/۹ کیلوگرم آرد برنج از ۲۵ درجه سانتی گراد به ۵۰ درجه سانتیگراد تنها ۴/۳ دقیقه بود، اما همین شرایط به کمک هوای داغ ۵۰ درجه سانتیگراد در ۴۸۰ دقیقه اتفاق می‌افتد. همچنین پروتکل درمانی RF با قدرت ۱/۰ کیلووات، با هوای داغ ۵۰ درجه سانتیگراد ترکیب و بر محصول با ضخامت ۲ سانتی متر بر روی نوار نقاله با سرعت ۱۲/۴ متر بر ساعت اعمال و در هوای داغ به مدت ۵ دقیقه نگه داشته شد. تفاوت معنی داری در شاخص های کیفی (رطوبت، پروتئین، چربی، نشاسته، سختی و رنگ) بین محصول درمان شده با RF و محصول درمان نشده گزارش نشده است. بنابراین، درمان با RF به عنوان روشی عملی، موثر و سازگار با محیط زیست برای کنترل آفات آرد برنج پیشنهاد می گردد (Zhou2015 ,*et al*.).

در بررسی دیگری مدل ریاضی توزیع حرارتی امواج رادیویی در مواد غذایی خشک از جمله آرد سویا جهت آفت زدایی ارائه شده است. این مطالعه سعی در تعیین تأثیر خواص دی الکتریک، مشخصات ظرف و محصول تحت درمان در شرایط توزیع حرارتی ۶ کیلو وات در سیستم فرکانس رادیویی (RF) با صفحات موازی ۲۷/۱۲ مگاهرتز دارد. مدل شبیه سازی کامپیوتری با نرم افزار COMSOL مبتنی بر روش اجزاء محدود و تحت آزمایش با ۱/۵ کیلوگرم آرد سویا در ظرف پلی استر مستطیلی شکل صورت گرفت. سطح توزیع دمایی آرد سویا در سه لایه مختلف افقی با دوربین مادون قرمز و ثبت دما – زمان در دو مکان مشخص داخل ظرف با دو سنسور فیبر نوری تحت نظارت قرار گرفته است (شکل شماره ۱). نتایج نشان می‌دهد که یکنواختی حرارت فرکانس رادیویی در مواد غذایی به وضوح تحت تأثیر خواص دی الکتریک و مشخصات ظرف است. با این استراتژی می توان مدل کنترل آفات و کنترل میکروبی در محصولات غذایی با رطوبت پائین را ارائه نمود (Huang2016 ,*et al*.).



شکل شماره ۱. نمای شماتیک سیستم RF (فرکانس رادیویی)

مدل شبیه سازی کنترل آفات سویا به وسیله حرارت دهی فرکانس رادیویی نیز ارائه گردیده است. در این مطالعه ۳ کیلوگرم سویا در ظرف پلاستیکی cm^3 ۶*۲۲*۳۰ تحت حرارت دهی سیستم فرکانس رادیویی با ۶ کیلووات و ۲۷/۱۲ مگاهرتز قرار گرفت. برنامه شبیه ساز COMSOL مبتنی بر روش اجزاء محدود جهت حل معادلات الکترومغناطیس و انتقال و توزیع حرارت جهت توسعه و مدلسازی مورد استفاده قرار گرفته است. مدل با داده های آزمایشگاهی نیز ارزیابی گردید. این داده ها شامل درجه حرارت حشره و سویا پس از ۶ دقیقه حرارت دهی با RF و از سه لایه فوقانی، میانی و تحتانی نمونه در داخل ظرف اندازه گیری شد (شکل شماره ۲). نتایج نشان می‌دهد که درجه حرارت لارو حشرات ۵/۹ تا ۶/۶ درجه سانتیگراد از میزبان خود یعنی سویا در شرایط اعمال درجه حرارت RF بین ۲۵ تا ۵۰ درجه سانتیگراد بیشتر است. میزان حرارت حشرات ۱/۴ بار بزرگتر از دانه های سویا گزارش گردید. شبیه سازی نشان می‌دهد که قرار گیری حشرات در نقاط سرد در هر لایه، یا لایه های افقی و اندازه بزرگ حشرات، ممکن است موجب حرارت کمتر در بدن حشرات شود. خواص دی الکتریک حشرات نیز الگوهای حرارت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین می توان با ارائه مزایای بالقوه در توسعه عملی درمان رادیویی به کنترل قابل اعتماد آفات بدون عوارض جانبی در کیفیت محصول، پرداخت (Huang, 2015 *et al.*).



از سوی دیگر در پژوهشی به بررسی توزیع حرارتی فرکانس رادیویی در دانه های کم رطوبت مثل گندم به منظور کنترل آفات با استفاده از مدل شبیه سازی کامپیوتری پرداخته شده است. پروفایل دمایی شبیه سازی شده RF با نتایج آزمایشگاهی برای ارائه مدل کامپیوتری مقایسه شد. نتایج پیشنهاد می دهد که توزیع دمایی نمونه وابسته است به حجم نمونه و موقعیت آن، که برای نمونه های با سایز کوچک، برای دستیابی به توزیع دمایی بهتر RF، نمونه روی الکترود پایینی یا زیر الکترود بالایی قرارگیرد در حالی که برای نمونه در اندازه بزرگ، بهتر است نمونه در وسط دو الکترود موازی جای داده شود. همچنین توزیع دمایی بهتر برای نمونه های بزرگتر زمانی رخ می دهد که سایز نمونه مساوی سایز الکترود بالایی انتخاب گردد که در این صورت نشان داده شد انرژی RF برای درمان مواد توده ای مناسب تر و مفید تر است (Jiao, 2015*et al.*).

مدل شبیه سازی دیگری از توزیع حرارت فرکانس رادیویی در میوه های خشک از جمله کشمش به منظور کنترل آفات ارائه گردیده است. محققان مطرح می کنند توزیع غیر یکنواخت حرارت یکی از مهم ترین چالش ها در توسعه درمان حرارتی با فرکانس رادیویی (RF) برای کنترل آفات و سایر برنامه های کاربردی دیگر است. در این مطالعه مدل شبیه سازی کامپیوتری با استفاده از نرم افزار COMSOL ارائه شده به بررسی یکنواختی توزیع حرارت در بسته های کشمش در ظروف پلاستیکی مستطیلی (cm^3) ۱۰/۰ * ۱۵/۰ * ۲۵/۵) و میزان کنترل آفات به کمک سیستم RF با مشخصات ۶ کیلو وات و ۲۷/۱۲ مگاهرتز می پردازد. مدل توسعه داده شده سپس بصورت آزمایشگاهی نیز تایید شد. توزیع حرارتی در هر دو صورت آزمایشگاهی و شبیه سازی شده در کشمش پس از گرم کردن توسط RF در سه لایه افقی فوقانی، میانی و تحتانی در داخل ظرف مقایسه شدند. میانگین دمایی در هر دو حالت، در لایه میانی بالاتر و در دولایه فوقانی و تحتانی کمتر گزارش گردید. این مطالعه نشان می‌دهد که توزیع یکنواخت حرارت متأثر از چگالی نمونه، خواص دی الکتریک، هدایت گرمایی و ضریب انتقال حرارت می‌باشد. گوشه ها و لبه ها در هر لایه بیش از مرکز هر لایه در درمان RF گرم شد. این مدل می تواند برای بهبود یکنواختی توزیع حرارت جهت ضد عفونی کردن میوه های خشک از آفات و دیگر کاربردهای مشابه موثر باشد (Alfaifi, 2014*et al.*).

همچنین مدل توزیع حرارتی RF جهت کنترل آفات و کیفیت محصولات کشاورزی در مطالعه دیگری ارائه شده است. توزیع غیر یکنواخت حرارت ناشی از اندازه های مختلف، هندسه و خواص محصولات کشاورزی چالش بزرگی است که می توان در مقیاس صنعتی با فرکانس رادیویی (RF) جهت درمان پس از برداشت و کاربردهای انباری دانه های خشک و یا آجیل آن را بهبود

بخشید. مدل ریاضی بر اساس توزیع نرمال درجه حرارت محصول و با توجه به میزان مرگ و میر آفات و کیفیت محصول برای پیش بینی محدوده درمانی دما – زمان توسعه داده شد. شرایط مرزی در نظر گرفته شده دراین مدل: مرگ و میر کامل سن پنجم orangeworm با رابطه دما – زمان بصورت (۴۶، ۴۸ ۵۰، ۵۲ و ۵۴ درجه سانتیگراد به ترتیب برای ۱۴۰، ۵۰، ۱۵، ۶ و ۱ دقیقه) و برای کیفیت گردو (۵۳، ۶۹ و ۷۵ درجه سانتی گراد به ترتیب برای ۲۴۰، ۵ و ۱ دقیقه). این مدل به کمک داده های آزمایشگاهی نیز ارزیابی و برای گردو، سویا، عدس و گندم و هر کدام با ویژگی های حرارتی RF منحصر به فرد خود مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که محدوده عملیاتی ترکیبی دما – زمان برای کنترل آفات بدون ایجاد تغییرات نامطلوب در کیفیت موثر است (Wang 2008, *et al.*).

استفاده از اشعه گاما

پژوهشی در این خصوص تحت عنوان بررسی اثر پرتو گاما روی حشرات کامل سوسک شپشه قرمز آرد (Tribolium castaneum Herbest.) و اسیدهای آمینه ضروری آرد گندم در شرایط آزمایشگاهی ارائه شده است. آفات انباری و به ویژه شپشه های آرد یکی از مهم ترین عوامل تخریب کننده کمیت و کیفیت آردهای انباری هستند. در این پژوهش با هدف بررسی کارایی راه کاری غیرشیمیایی برای مهار سوسک، اثر دزهای مختلف پرتو گاما روی مرحله حشره کامل مسن و جوان این سوسک مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل داده ها نشان می‌دهد که دوز لازم برای کشته شدن ۵۰ درصد از جمعیت این مراحل به ترتیب ۱۶۷۱/۶۴ و ۱۴۹۵/۳۰ گری می‌باشد. به عبارت دیگر، تابش ۱۶۷۱/۶۴ گری از پرتو گاما قادر است تا ۵۰ درصد از جمعیت حشرات مسن و جوان را در طول ۳ روز از بین ببرد. برای بررسی اثر پرتوتابی بر کیفیت آرد، میزان اسید آمینه های ضروری موجود در آرد پیش و پس از پرتودهی مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. تجزیه داده های به دست آمده نشان می‌دهد پرتودهی هیچ اثر منفی بر میزان اسیدهای آمینه موجود در آرد در دوزهای آزمایش شده (۱۲۰۰ و ۲۴۰۰ گری) نداشت و تنها سبب افزایش معنی دار مقدار اسید آمینه فنیل آلانین می‌گردد (خاقانی و همکاران، ۱۳۸۸).

در پژوهش دیگری استفاده از اشعه گاما جهت کنترل شپشه آرد به عنوان یک روش سازگار با محیط زیست بررسی و آزمایشات در دوزهای مختلف تابش اشعه گاما به انجام رسیده است. نتایج آن نشان می‌دهد که افزایش دوز موجب افزایش مرگ و میر در حشرات و کاهش مدت زمان مرگ آن ها خواهد شد. بررسی ها نمایان ساخت که اگر حشرات در مراحل رشدی مختلف (جنینی، لاروی و شفیره گی) در معرض پرتوهای یون ساز قرار گیرند، در آنها گاهی اختلالات فیزیولوژیکی مهمی نیز پدید می آید. قدرت و میزان حرکت در حشرات کامل به طور چشمگیری کاهش یافته و پاها در موقع حرکت فاقد ثبات و قدرت کافی هستند. در آزمایش های انجام شده از چشمه کبالت ۶۰ برای پرتو تابی حشرات استفاده گردیده است (خاقانی و همکاران، ۱۳۸۷).

همچنین تأثیر تلفیق پرتو گاما با اسانس گیاه برازمبل بر میزان مرگ و میر شپشه آرد مورد آزمایش قرار گرفته است. آزمایش ها در شرایط دمای ۲۷ درجه سانتیگراد و ۶۵٪ رطوبت نسبی و در تاریکی و در دو مرحله ی: ۱) پرتودهی حشراتی که از قبل اسانس داده شده بودند و ۲) اسانس دهی حشراتی که از قبل درمعرض پرتو قرار گرفته بودند. به انجام رسید.

در آزمایش های مربوط به تلفیق پرتو گاما با اسانس، میزان مرگ و میر ۱۴ روز پس از شروع اولین تیمار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان دادند هرگاه پرتو گاما به صورت تلفیقی با اسانس گیاه برازمبل روی حشرات کامل شپشه آرد (۷- ۱ روزه) مورد استفاده قرار گیرد، اثر سینرژیستی معنی دار ایجاد می نماید. دوز ۱۰۰ گری از پرتو گاما به تنهایی موجب بروز ۱۲/۵ درصد مرگ و میر در بین جمعیت شپشه آرد گردید اما وقتی این حشرات پرتو دیده ۷ روز پس از پرتودهی در معرض ۷۷/۶۶ میکرولیتر بر لیتر هوا از اسانس برازمبل (که به تنهایی موجب بروز ۶/۲۵ درصد مرگ و میر می گردد) قرار گرفت، میزان مرگ و میر آن ها به ۳۲/۵ درصد رسید. این نتایج، کاربرد موفقیت آمیز پرتو گاما نیز در حضور اسانس گیاهی برای مدیریت کنترل شپشه آرد را نشان دادند (احمدی و همکاران، ۱۳۸۸).

در مطالعه ای دیگر کاربرد پرتو گاما به منظور کنترل آفات مهم محصولات انباری بررسی شده و در آن اثر دوزهای مختلف پرتو گاما برروی مراحل چهارگانه رشدی تعدادی از حشرات انباری مهم کشور مورد بررسی قرار گرفته است. حشراتی که مورد مطالعه قرار گرفتند عبارتند از راسته با لپولکداران شامل بید غلات، شب پره هندی و پروانه آرد، لمبه گندم، سوسک دانه غلات، سوسک چهار نقطه ای حبوبات و شپشه دندانه دار. در مورد هر حشره چهار مرحله رشدی (تخم، لارو، شفیره و حشره کامل) تحت دوزهای مختلف پرتو گاما تا یک کیلو گری (برای هر دز سه تکرار) توسط دستگاه گاماسل (کبالت ۶۰) موجود در بخش کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته ای مورد پرتو دهی قرار داده و با تیمارهای شاهد (پرتودهی نشده) مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج حاصله نشان می‌دهد حداکثر دوز تا ۰/۷ کیلوگری می تواند کلیه مراحل رشدی آنها را متوقف نماید (ذوالقاریه و همکاران، ۱۳۸۳).

استفاده از دوره های نوری

یکی دیگر از روش های غیر شیمیایی غیر مخرب کنترل آفات استفاده از دوره های نوری در میزان زندگی آفات است. به عنوان نمونه در پژوهشی تاثیر دوره های نوری مختلف روی فراسنجه های جدول زندگی کنه میوه خشک مورد بررسی قرار گرفته است. کنه میوه خشک نه تنها یکی از آفات مهم و اقتصادی برخی محصولات انباری به شمار می رود بلکه به عنوان یک طعمه جایگزین برای پرورش انبوه کنه های شکارگر به صورت تجاری مورد استفاده قرار می گیرد. در این مطالعه فراسنجه های جدول زندگی کنه میوه خشک روی مخمر نان در شرایط آزمایشگاهی و در سه دوره نوری تاریکی کامل، روشنایی کامل و ۱۶:۸ (تاریکی : روشنایی)، رطوبت نسبی ۵±۷۰ درصد در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد بر اساس تئوری جدول زندگی دو جنسی سن- مرحله مورد بررسی قرار

گرفت. در ابتدای آزمایش ۸۰ عدد تخم همسن به عنوان گروه همزادگان مورد استفاده قرار گرفته و یک جدول زندگی باروری با پیگیری افراد همزادگان تا مرگ آخرین فرد ترسیم شده است. نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی افزایش جمعیت، متوسط زمان یک نسل و نرخ خالص تولید مثل، در شرایط تاریکی کامل به ترتیب ۰/۵۵ روز$^{-1}$، ۱/۷۴ روز$^{-1}$ ، ۸/۲۷ روز و ۱۰۰/۹ فرد، در دوره نوری روشنایی کامل به ترتیب ۰/۴۳ روز$^{-1}$ ، ۱/۵۴ روز$^{-1}$ ، ۸/۸ روز و ۴۴/۳۱ فرد و در دوره نوری ۸ : ۱۶ (تاریکی: روشنایی) به ترتیب ۰/۵ روز$^{-1}$ ، ۱/۶۵ روز$^{-1}$ ،۹/۰۴ روز و ۹۲/۴ فرد بودند. ما بین نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی افزایش جمعیت و مدت زمان یک نسل در سه دوره نوری اختلاف معنی داری مشاهده گردید، ولی میان مقادیر نرخ خالص تولید مثل و نرخ ناخالص تولید مثل در دوره های نوری ذکر شده اختلاف معنی داری مشاهده نشده است. نتایج این تحقیق می تواند برای بهینه سازی پرورش انبوه کنه C. lactis به عنوان میزبان جایگزین برای پرورش کنه های شکارگر با استفاده از این شکار مورد استفاده قرار گیرد (پورعسگری و همکاران، ۱۳۹۲).

نتیجه گیری

با توجه به موارد مطرح شده و بررسی پژوهش های صورت گرفته، می‌توان نتایج پژوهش های فوق را بصورت جدولی نشان داد.

جدول شماره ۱. مشاهده نتایج کنترل آفات بوسیله طیفی از الکترومغناطیس

ردیف	طیف الکترومغناطیس	هدف	نوع آفت	نتیجه
۱	رادیویی	ارزیابی ویژگی های کیفی و ضد عفونی پسته انباری	شب پره هندی	– مرگ و میر ۱۰۰٪ از سن پنجم پروانه شب پره هندی گزارش شده است. – تفاوت معنی داری از نمونه شاهد در کاهش وزن، ارزش پراکسید، ارزش اسید چرب، اسیدهای چرب و رنگ دانه مشاهده نگردید.
۲		ارزیابی خصوصیات کیفی آرد برنج تحت درمان و کنترل آفات آن	آفات آرد برنج	تفاوت معنی داری در شاخص های کیفی (رطوبت، پروتئین، چربی، نشاسته، سختی و رنگ) بین محصول درمان شده با RF و محصول درمان نشده گزارش نشده است.
۳	گاما	آفت زدایی و ارزیابی اسیدهای آمینه ضروری آرد گندم	حشرات کامل سوسک شپشه قرمز آرد	– دوز لازم برای کشته شدن ۵۰ درصد از جمعیت حشره کامل مسن و جوان به ترتیب ۱۶۷۱/۶۴ و ۱۴۹۵/۳۰ گری می‌باشد. – پرتودهی هیچ اثر منفی بر میزان اسیدهای آمینه موجود در آرد در دوزهای آزمایش شده (۱۲۰۰ و ۲۴۰۰ گری) نداشت.

۴		کنترل شپشه آرد	Tribolium castaneum	قدرت و میزان حرکت در حشرات کامل به طور چشمگیری کاهش یافته و پاها در موقع حرکت فاقد ثبات و قدرت کافی شدند.
۵		تلفیق پرتو گاما با اسانس گیاه برازمبل بر میزان مرگ و میر آفت	شپشه آرد	دوز ۱۰۰ گری پرتو گاما موجب بروز ۱۲/۵ درصد مرگ و میر آفت گردید اما وقتی این حشرات پرتو دیده در معرض ۷۷/۶۶ میکرولیتر بر لیتر هوا از اسانس برازمبل قرار گرفتند، میزان مرگ و میر آن ها به ۳۲/۵ درصد افزایش یافت.
۶		اثر دوزهای مختلف پرتو گاما برروی مراحل چهارگانه رشدی تعدادی از حشرات انباری	بید غلات، شب پره هندی و پروانه آرد، لمبه گندم، سوسک دانه غلات، سوسک چهار نقطه ای حبوبات و شپشه دندانه دار	حداکثر دوز تا ۰/۷ کیلوگری می تواند کلیه مراحل رشدی (تخم، لارو، شفیره و حشره کامل) آفات را متوقف نماید.
۷	نور	تاثیر دوره های نوری مختلف روی فراسنجه های جدول زندگی کنه میوه خشک	کنه میوه خشک	ما بین نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی افزایش جمعیت و مدت زمان یک نسل در سه دوره نوری اختلاف معنی دار مشاهده گردید.

همچنین می‌توان نتایج پژوهش های انجام شده در حوزه مدلینگ تحت درمان امواج رادیویی نیز بصورت جدولی نشان داد.

جدول شماره ۲. نتایج پژوهش های صورت گرفته در حوزه مدلینگ تحت درمان امواج رادیویی

هدف	مدلسازی	فاکتور مورد مطالعه	ارزیابی آزمایشگاهی	نتیجه
مدل ریاضی توزیع حرارتی امواج رادیویی در آرد سویا	روش اجزاء محدود	تأثیر خواص دی الکتریک، مشخصات ظرف و محصول تحت درمان در شرایط توزیع حرارتی	توزیع دمایی با دوربین مادون قرمز و ثبت دما – زمان با سنسورهای فیبر نوری	یکنواختی حرارت فرکانس رادیویی در مواد غذایی به وضوح تحت تأثیر خواص دی الکتریک و مشخصات ظرف است. – میزان حرارت حشرات ۱/۴ بار بزرگتر از دانه های سویا گزارش گردید. – قرار گیری حشرات در نقاط سرد در هر لایه، موجب حرارت کمتر در بدن حشرات می‌شود. – خواص دی الکتریک حشرات نیز الگوهای حرارت را تحت تاثیر قرار می‌دهد
مدل شبیه سازی کنترل آفات سویا	روش اجزاء محدود	انتقال و توزیع حرارت	سنجش درجه حرارت حشره و سویا	
توزیع حرارتی در دانه	روش اجزاء	توزیع دمایی نمونه وابسته است	ثبت دما با سنسورهای فیبر	برای نمونه های با سایز کوچک،

های گندم به منظور کنترل آفات	محدود	به حجم نمونه و موقعیت آن	نوری	برای دستیابی به توزیع دمایی بهتر RF، نمونه روی الکترود پایینی یا زیر الکترود بالایی قرارگیرد در حالی که برای نمونه در اندازه بزرگ، بهتر است نمونه در وسط دو الکترود موازی جای داده شود.
توزیع حرارت در کشمش به منظور کنترل آفات	نرم افزار COMSOL	یکنواختی توزیع حرارت در بسته های کشمش‌و میزان کنترل آفات	در سه لایه افقی فوقانی، میانی و تحتانی در داخل ظرف مقایسه شدند	– توزیع یکنواخت حرارت متأثر از چگالی نمونه، خواص دی الکتریک، هدایت گرمایی و ضریب انتقال حرارت می‌باشد. – این مدل می تواند برای بهبود یکنواختی توزیع حرارت جهت ضد عفونی کردن میوه های خشک از آفات استفاده شود.
کنترل آفات و کیفیت گردو	مدل ریاضی بر اساس توزیع نرمال درجه حرارت محصول	مرگ و میر کامل سن پنجم orangeworm کیفیت گردو	دارد	محدوده عملیاتی ترکیبی دما – زمان برای کنترل آفات بدون ایجاد تغییرات نامطلوب در کیفیت، موثر است.

با بررسی جداول ۱ و ۲ ، آشکار می گردد که استفاده از طیفی از امواج الکترومغناطیس می‌تواند راهی موثر در کنترل آفات هم بصورت آزمایشگاهی، و صنعتی نیز باشد.

متأسفانه برای حفظ محصولات کشاورزی از گزند آفات و بیماری های گیاهی گرایش به سمت مبارزه شیمیایی علیه آفات بیشتر شده است. مصرف سموم خسارت ناشی از آفات و بیماری را کاهش می دهد ولی در عوض آلودگی محیط زیست، انسان، دام، ماهیان، حشرات و غیره را سبب می شود و در نتیجه بر هم خوردن تعادل طبیعی بین آفات و دشمنان طبیعی، پیدایش آفات جدید و یا افزایش خسارت ناشی از آفات همچنان سیر صعودی را می پیماید. مقارن شدن سریع آفات و سموم مصرفی جدید, سازندگان سموم را ناگزیر از ساخت و عرضه فورمولاسیون های قوی با طیف و تاثیر گسترده کرده است.

مصرف بی رویه و غیر معقول آفت کش و عدم توجه کافی به مسائل زیست محیطی سبب شده است تا آفت کش ها به بدن جانوران و آبزیان راه یابد وبعدا از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان منتقل گردد. با مشاهده پژوهش های صورت گرفته و نتایج مطلوب حاصل شده در راستای مبارزه غیر شیمیایی و غیر مخرب آفات بوسیله امواج الکترومغناطیس از جمله امواج رادیویی، پرتوگاما و تابش دوره های نوری می توان به توسعه و کاربرد این نوع از مدیریت آفات امیدوار بود.

منابع

احمدی، م.، محرمی پور،س.، اردکانی، م. و مزدارانی، ح. ۱۳۸۸. تأثیر تلفیق پرتو گاما با اسانس گیاه برازمبل بر میزان مرگ و میر شپشه آرد. مجله علوم و فنون هسته ای، شماره ۴۹ ، ۵۰-۵۶.

پورعسگری، ح.، صراف معیری، ح. و کاوسی، ا. ۱۳۹۲. تاثیر دوره های نوری مختلف روی فراسنجه های جدول زندگی کنه میوه خشک(Carpoglyphus lactis (L.) (Acari: Carpoglyphidae، نشریه علمی پژوهشی حفاظت گیاهان- دانشگاه فردوسی مشهد، جلد ۲۷ شماره ۳، صفحات:۳۷۷-۳۸۵ .

خاقانی، ش.، خاقانی، ش. و مشیدی، ع. ۱۳۸۷. استفاده از اشعه گاما جهت کنترل شپشه آرد به عنوان یک روش سازگار با محیط زیست . مجله گیاهپزشک و غذا، شماره۲، ص ۱-۷.

خاقانی،ش.، اللهیاری ، ح.، ذوالفقاریه، ح.، خاقانی، ش.، میرمحمدی، ش. و علاسوند زراسوند، آ. ۱۳۸۸. بررسی اثر پرتو گاما روی حشرات کامل سوسک شپشه قرمز آرد (Tribolium castaneum Herbest.) و اسیدهای آمینه ضروری آرد گندم در شرایط آزمایشگاهی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد شانزدهم، شماره سوم، ص ۱-۶.

ذوالفقاریه، ح.، باقری زنوز، ا.، بیات اسدی، ه.، مشایخی، ش.، فتح ا للهی، ه. و بابائی، م. ۱۳۸۳. کاربرد پرتو گاما به منظور کنترل آفات مهم محصولات انباری. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۵ ، شماره ۲، ۴۱۵-۴۲۶.

Alfaifi, B., Tang, J., Jiao, Y., Wang, S., Rasco, B., Jiao, S., and Sablani, S. 2014. Radio frequency disinfestation treatments for dried fruit: Model development and validation. *Journal of Food Engineering*. Volume 120: 268–276

Huang, Z., Chen, L., and Wang, S. 2015. Computer simulation of radio frequency selective heating of insects in soybeans. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 90: 406–417

Huang, Z., Marra,F., and Wang, S. 2016. A novel strategy for improving radio frequency heating uniformity of dry food products using computational modeling. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Volume 34: 100–111

Jiao, S., Deng, Y., Zhong, Y., Wang, D., and Zhao, Y. 2015. Investigation of radio frequency heating uniformity of wheat kernels by using the developed computer simulation model. *Food Research International* .Volume 71: 41–49

Ling, B., Hou, L., Li, R., Wang, S. 2015. Storage stability of pistachios as influenced by radio frequency treatments for postharvest disinfestations. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Available online 2.

Wang, S., Yue, J., Chen, B., and Tang, J. 2008. Treatment design of radio frequency heating based on insect control and product quality. *Postharvest Biology and Technology*. Volume 49, Issue 3: 417–423

Zhou, L., Ling, B., Zheng, A., Zhang, B., and Wang, S. 2015. Developing radio frequency technology for postharvest insect control in milled rice .*Journal of Stored Products Research* .Volume 62: 22–31.