شناخت کنترل آفات برخی از محصولات انباری و مواد غذایی به کمک امواج صوتی و مایکروویو

امین رستمی[1*]، حسن صدرنیا[2*]

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

جامعه بشری از مدت ها پیش با مشکل آفات و بیمارهای گیاهی برای تولید محصولات کشاورزی روبرو بوده و برای حفظ محصول تولیدی خود به روش های مختلفی با آفات نباتی به مبارزه پرداخته است که با ظهور سموم شیمیایی مختلف بدلیل تاثیر سریع و آشکار و مصرف آسان، تمام توجهات در راستای توسعه و مصرف شتابزده به آن معطوف گردید و دیگر روش های کنترل آفات کم رنگ یا مغفول مانده‌اند. در مدت زمان کوتاهی آثار سوء مصرف بی رویه سموم شیمیایی بر روی انسان، سایر جانداران و محیط زیست آشکار گردیده و ضمن از بین رفتن حشرات مفید و دشمنان طبیعی آفت و مقاوم شدن آفات در مقابل سموم نه تنها انسان در کنترل آفات موفق نگردید بلکه سلامت جامعه انسانی نیز به خطر افتاد و با آثار باقیمانده غیر مجاز روش های شیمیایی از جمله سموم روی محصولات کشاورزی روز به روز بر شمار قربانیان آن افزوده شده و بیماری های گوناگون، مسمومیت‌ها و آلودگی های زیست محیطی در اثر استفاده بی رویه از سموم بدنبال داشته است. در این میان استفاده از روش‌های کنترل غیرشیمیایی و غیر مخرب آفات بعنوان روش های جایگزین مدیریت آفات مورد توجه ویژه واقع گردیده است. این پژوهش به صورت کتابخانه ای به معرفی برخی تحقیقات و کاربردهای صورت گرفته در راستای آفت زدایی بعضی از محصولات انباری و مواد غذایی به کمک امواج صوتی و مایکروویو بجای مبارزه شیمیایی می‌پردازد. شناخت پژوهش‌های صورت گرفته در دو بخش ارائه شده است. در بخش اول کاربرد موفقیت آمیز امواج صوتی و مایکروویو در کنترل آفات و در بخش دوم برخی از پژوهش‌هایی که در حوزه مدلسازی توزیع حرارت در مواد غذایی تحت درمان مایکروویو، صورت گرفته است بررسی می گردد.

واژه‌های کلیدی: آفات انباری، آفت زدایی، امواج صوتی، غیر شیمیایی، مایکروویو

مقدمه

از جمله خطرات کاربرد سموم شیمیایی می‌توان به مورد زیر اشاره نمود: باقیمانده‌ی سموم شیمیایی در مواد غذایی و محصولات کشاورزی، سمپاشی های مکرر و عواقب خطرناک آن، رعایت نکردن میزان مصرف سم در واحد سطح و پیامدهای آن، مرگ و میر حشرات مفید و دیگر موجودات زنده طبیعت، مسمومیت عوامل سمپاشی در اثر رعایت نکردن مسائل ایمنی در سمپاشی، مسمومیت آب‌های آشامیدنی از طریق نفوذ سموم به آب های زیرزمینی، طغیان آفت ها در اثر مقاوم شدن آنها به سموم شیمیایی در طول زمان، آلودگی محیط زیست و بسیاری خطرات نامشهود دیگر. از اینرو روش های مبارزه غیر شمیایی مورد اقبال قرار گرفته و حتی مراکز صدور مجوز بهداشتی و بازرگانی به آن توجه خاص معطوف داشته اند. مبارزه غیر شیمیایی با آفت که در واقع همان مبارزه ی بدون سم است را می توان به شیوه های زیر انجام داد: مبارزه زراعی، مبارزه مکانیکی، مبارزه بیولوژیکی، استفاده از جلب کننده های حشرات و روش های دیگر مبارزه مثل استفاده از امواج و انرژی هسته ای در کنترل آفات. ذیلا آشنایی اجمالی با امواج صوتی و مایکروویو ارائه می‌گردد.

امواج صوتی ، امواج مکانیکی طولی هستند. ذرات مادی منتقل کننده این فیزیک امواج ، در راستای انتشار موج نوسان می‌کنند. فیزیک امواج مکانیکی طولی در گستره وسیعی از بسامدها به وجود می‌آیند و در این میان بسامدهای فیزیک امواج صوتی در محدوده‌ای قرار گرفته‌اند که می‌توانند گوش و مغز انسان را برای شنیدن تحریک کنند. این محدوده تقریبا از ۲۰ هرتز تا حدود ۲۰۰۰۰ هرتز است و گستره شنیده شدنی نامیده می‌شود. فیزیک امواج مکانیکی طولی را که بسامدشان زیر گستره شنیده شدنی باشد امواج فرو صوتی، و آنهایی که بسامدشان بالای این گستره باشد، امواج فراصوتی گویند. بنابراین یکی از کاربردهای امواج صوتی در راستای دفع آفات می‌باشد که از این طریق می توان موجبات فرار آنها از محدوده انبار و مواد غذایی را فراهم نمود.

امواج مایکروویو مانند نور مرئی از جنس امواج الکترو مغناطیسی هستند که فرکانس بسیار بالا و طول موج بسیار کمی دارند. امواج مایکروویو در مسیر حرکت خود یا پس از برخورد با ماده انعکاس پیدا می کنند یا عبور می کنند و با جذب ماده می شوند. این امواج اگر به سطح فلزات برخورد کنند، منعکس خواهند شد، از شیشه و پلاستیک عبور می کنند و موادی که حاوی آب هستند مانند غذاها و بدن انسان انرژی این امواج را جذب می کنند. در یک دستگاه مایکروویو یک وسیله بنام مگنترون وجود دارد که این امواج را تولید می‌کند. این امواج با فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز ایجاد شده و در فضای دستگاه پخش و توسط دیوار فلزی آن منعکس و روی ماده غذایی متمرکز می‌گردد. مولکول های آب درون ماده دارای دو قطب مثبت و منفی هستند و زمانی که در معرض امواج ماکروویو قرار می گیرند، با همان فرکانس امواج شروع به نوسان کرده و مرتباً جهت قطب مثبت و منفی آنها جابه جا می شود. مولکول ها حدود میلیون ها بار در ثانیه نوسان نموده و در حین حرکت به مولکول های اطراف شان برخورد می کنند. درنتیجه به علت اصطکاک، دمای ماده به سرعت بالا می رود. از اینرو می‌توان در راستای کنترل و دفع آفات که بدن آنها از آب تشکیل شده است، از امواج مایکروویو استفاده نمود.

استفاده از امواج صوتی

در سال ۱۹۷۱ با ارائه مقاله ای تحقیقاتی تحت عنوان صدای تولید و دریافت شده از سوی آفات انباری، مبحثی در خصوص کنترل آفات بیان داشته شده است. محقق تولید و دریافت صدا و رفتار آکوستیک یازده خانواده سوسک و دو خانواده شب پره که از آفات مهم محصولات انباری می باشند را مورد بررسی قرار داده است. مطالعات مرتبط نشان می دهد که آفات ممکن است واکنش های آکوستیک متفاوتی داشته باشند که می تواند پایه ای برای کنترل آنها محسوب گردد. آنها در آن زمان بیان می کنند که به جز یک مطالعه امیدوار کننده در خصوص شب پره انباری، هیچ تلاش دیگری برای کنترل آفات محصولات انباری با استفاده از تکنولوژی صدا انجام نشده است (Frings and Mable, 1971).

ارزیابی سیستم دفع آفات انباری با استفاده از امواج آلتراسونیک روی شپشه قرمز آرد نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. امواج آلتراسونیک به عنوان یک استراتژی جدید کنترل آفات، می‌تواند زمینه های ناامن و آزار دهنده ای در محیط زندگی حشرات و آفات کشاورزی ایجاد نماید. آزمایشات بصورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی انجام شده اند. متغیرهای آزمایش شامل فرکانس امواج آلتراسونیک در ۵ سطح مختلف (۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ کیلوهرتز) و زمان تابش امواج در چهار سطح (۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت) اجرا گردید. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می دهد که فرکانس امواج با سطح احتمال ۹۵ درصد به صورت مستقل اثر معنی داری بر فرار آفت از محیط زندگی داشت و همچنین فرکانس ۳۵ کیلوهرتز و بازه زمانی تابش ۶ ساعت، بیشترین تأثیر بر روی فرار و دفع شپشه قرمز آرد گذاشته و در عین حال انرژی کمتری نیز مصرف شده است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد، استفاده از امواج آلتراسونیک در کنترل آفات انباری می تواند موجب کاهش مصرف سموم تدخینی گردد که عامل آلودگی محیط زیست، مواد انباری و مصرف کنندگان می باشند (احمدی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

استفاده از امواج مایکروویو

کنترل آفات گندم به وسیله درمان حرارتی مایکروویو نیز مورد بررسی قرا گرفته است. توزیع غیر یکنواخت حرارت در استفاده از درمان مایکروویو محدودیت هایی ایجاد می نماید. درجه حرارت غیر یکنواخت احتمال زنده ماندن حشرات و یا خروج آنها از نمونه تحت درمان را افزایش می دهد. نمونه های گندم آلوده و بدون آلودگی با آفت Cryptolestes ferrugineus با سه محتوای رطوبتی ۱۴، ۱۶ و ۱۸درصد بر اساس وزن تر تحت تابش امواج مایکروویو به دو صورت متناوب و مستمر در فاصله های زمانی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ثانیه قرار گرفتند. توزیع سه بعدی با سنجش درجه حرارت و محتوای رطوبت در ۲۷ نقطه از نمونه تحت درمان در ظرف پلاستیکی cm^3 ۹*۹*۱۰ بدست آمد. زمانی که نمونه تحت درمان ۳۰ ثانیه قرار داشت، مقدار میانگین، حداقل و حداکثر درجه حرارت و محتوای رطوبت در تکرارهای مختلف اختلاف داشتند. در دوره طولانی درمان (۹۰ ثانیه) نقاط خشک و نقطه داغ در موقعیت مشابه قرار داشتند هر چند که این نقاط در تکرارهای مختلف در یک موقعیت نبودند. اختلاف معنی داری بین درمان

متناوب و مستمر وجود نداشت. درمان مایکروویو برای همه حشرات کشنده نبود ولی تعداد آنها را به بیش از ۷۵ دصد کاهش داد. فرار حشرات از نمونه می تواند به عنوان یک روش برای کنترل آنها مطرح باشد (Jian *et al*., 2015).

بررسی خواص کیفی گردو تحت درمان مایکروویو در معرض هجوم آفات مورد توجه قرار گرفته است. علت عمده تلفات در بسیاری از محصولات ذخیره شده مانند غلات، حبوبات و آجیل، هجوم حشرات است. مطالعات اخیر نشان داده اند که درمان مایکروویو به دلیل عدم آلودگی محیط زیست، جایگزین مناسب و بالقوه روش های دیگر شیمیایی و غیر شیمیایی است. دستیابی به معادله و توزیع حرارت در راستای نگهداری کیفیت و به حداقل رساندن انرژی مد نظر است. هدف اصلی یک پژوهش ارزیابی اثر سطح قدرت مایکروویو و زمان اعمال تابش بر کیفیت گردو است. پارامترهای کیفی مورد مطالعه تغییر میزان آب، تغییر رنگ، افزایش درجه حرارت، میزان پراکسید و سطوح اسید های چرب بوده است. مشخص شد که سطح قدرت مایکروویو و زمان قرار گرفتن در معرض مایکروویو تأثیر قابل توجهی روی افزایش دما و تغییر رنگ دارد. درمان مایکروویو با درجه حرارت ۵۰ تا ۵۵ درجه سانتیگراد موجب کاهش ارزش پراکسید گردو به ۱/۳۵ تا ۱/۴۲ از مقدار اولیه ۰/۰۴۸ ± ۲/۸۹ $meqO_2/Kg$ و کاهش سطح اسید چرب از ۰/۰۳۷ ± ۱/۰۸ به ۰/۶۳ تا ۰/۶۹ درصد می گردد (Das *et al*.,2014).

میزان مرگ و میر و رفتار دو نوع آفت انباری PloaSa interpunctella و Tribolium confisum در مواجه با تابش امواج مایکروویو نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. این آفات به دو صورت تابش متناوب و تابش مستمر مایکروویو با قدرت ۲۴۵۰ مگاهرتز تحت درمان قرار گرفته و رفتار آنها به عنوان تابعی از سطح قدرت و مدت زمان اعمال مایکروویو در مراحل مختلف رشدی بررسی گردیده است. هر دو گونه حشرات و در تمام مراحل رشدی در گرمای ۸۰ درجه سانتیگراد کشته شدند. به طور کلی تابش متناوب در فواصل ۱ یا ۵ دقیقه در کشتن حشرات موثر تر از تابش مستمر در هر دو گونه گزارش شده است (Shayesteh and Barthakur, 1996).

همچنین تأثیر امواج مایکروویو با توان ها و زمان های مختلف روی مراحل زیستی سه گونه آفت انباری نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در آن مطالعه سه آفت مهم اقتصادی شب پره هندی، مدیترانه ای آرد و شپشه دندانه دار تحت تابش امواج مایکروویو با فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز در توان ۱۰۰ وات با زمان های ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ ثانیه و در توان ۲۰۰ وات با زمان های ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ ثانیه قرار گرفتند. در تمام آزمایش ها میزان مرگ و میر با افزایش زمان، افزایش یافته است. توان و زمان مورد نیاز برای جلوگیری از تفریخ تخم ها، مرگ و میر لاروها، کنترل مرحله شفیرگی و تلفات حشرات کامل نر و ماده در شب پره هندی و شب پره مدیترانه ای آرد به ترتیب ۱۰۰ وات و ۹۰۰ ثانیه، ۲۰۰ وات و ۱۲۰ ثانیه گزارش گردیده است. همچنین حشرات کامل نر در شب پره هندی و شب پره مدیترانه ای آرد حساسیت بیشتری در مقایسه با حشرات ماده نسبت به امواج داشته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که شفیره های شب پره مدیترانه ای آرد در توان۱۰۰ وات و زمان ۹۰۰ ثانیه متحمل ۹۷/۵ درصد تلفات و در توان ۲۰۰ وات و زمان ۱۲۰ ثانیه با ۹۵ درصد تلفات حساسیت بالایی نسبت به امواج دارند. در شب پره هندی

حشرات کامل در توان ۱۰۰ وات و زمان ۹۰۰ ثانیه با ۸۷/۵ درصد و توان ۲۰۰ وات و زمان ۱۲۰ ثانیه با ۹۲/۵ درصد تلفات حساس ترین مرحله زیستی می‌باشند. حشرات کامل شپشه دندانه دار نیز حساسیت بیشتری نسبت به سایر مراحل زیستی نشان داده و در توان ۱۰۰ وات با زمان ۹۰۰ ثانیه با ۸۷/۵ درصد و در توان ۲۰۰ وات و زمان ۱۲۰ ثانیه، ۹۲/۵ درصد تلفات داشته‌اند. توان ۱۰۰ وات با زمان ۶۰۰ ثانیه باعث ایجاد مرگ و میر در حشرات کامل و تخم های شپشه دندانه دار گردیده و نیز باعث جلوگیری از تفریخ تخم های شب پره هندی شده است. توان ۲۰۰ وات در مدت ۶۰ ثانیه توانست ۸۲/۵ درصد تلفات در حشرات کامل شب پره مدیترانه ای آرد ایجاد می‌کند (صادقی نسب و همکاران، ۱۳۸۳).

در مطالعه دیگری اثر کنترلی ترکیب امواج مایکروویو و سرمادهی بر روی حشرات کامل Oryzaephilus surinamensis و Tribolium castaneum مورد پژوهش قرار داده شده است. پژوهشگران مطرح می کنند امواج مایکروویو از طریق افزایش دما در مواد غذایی و بدن حشرات، بدون هیچگونه اثر سوئی بر مواد غذایی، می تواند برای کنترل آفات موجود در آنها بکار روند. از طرفی دماهای پائین از طریق کاهش میزان رشد، تغذیه و باروری حشره و یا کاهش طول دوره ی زندگی حشره، می تواند روی آن اثر بگذارد. حشرات به تفکیک تحت تابش امواج مایکروویو با فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز در توان ۱۰۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه به صورت مداوم و متناوب قرار گرفته و سپس نمونه ها فورا به درون یخچال با دمای ۱±۶ درجه سانتی گراد منتقل و به مدت ۴۸ ساعت و ۷۲ ساعت در آنجا نگهداری شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که شپشه دندانه دار نسبت به امواج مایکروویو و سرمادهی حساس تر از شپشه آرد می باشد (قاسم زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

تاثیر گرمادهی با مایکروویو بر مرگ و میر آفت شب پره هندی در محصول پسته نیز بررسی شده است. در این پژوهش مطرح شده است که شب پره هندی مهمترین آفت انباری پسته محسوب می شود، به طوری که سالیانه صدمات زیادی را به این محصول وارد آورده است. استفاده از گرمادهی با مایکروویو در کنترل آفات انباری به سبب سرعت بالا و عدم به جا گذاشتن پسماندهای مضر به عنوان جایگزینی مناسب برای استفاده از سموم شیمیایی معرفی شده است. در آن تحقیق، با قرار دادن پسته ی آلوده به لارو های آفت شب پره ی هندی به مدت زمان مشخص در معرض امواج مایکروویو، مرگ و میر آفت و عدم تغییر در خواص کیفی محصول بررسی شده است. درصد مرگ و میر سن های سوم، چهارم و سن پنجم لارو روی آفت در زمان های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ثانیه و همچنین اثر زمان های ۳۰، ۵۰ و ۷۰ ثانیه روی ویژگی هایی مانند درصد رطوبت، ارزش پراکسید و اسید چرب آزاد محصول مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که درصد مرگ و میر آفت در ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ثانیه برای لاروهای سن های سوم تا چهارم به ترتیب ۷۱/۶۶، ۹۰/۸۳، ۹۷/۵ و ۱۰۰ درصد و برای لاروهای سن پنجم به ترتیب ۳۹/۱۱، ۶۲/۷۵، ۹۵/۷۸ و ۱۰۰ درصد می‌باشد. در تیمار ۵۰ ثانیه، مرگ و میر لاروهای سن های سوم تا چهارم و همچنین سن پنجم ۱۰۰ درصد محاسبه گردید. درصد رطوبت کل پسته در تیمارهای۵۰ و۷۰ ثانیه نسبت به تیمار شاهد، کاهش معنی داری نشان می‌دهد. همچنین مقدار اسید چرب با افزایش طول مدت زمان تیماردهی به ۷۰ ثانیه، به طور معنی داری

افزایش می‌یابد. ایشان معتقد است با توجه به میزان مرگ و میر آفت و نیز تغییرات کیفی محصول در زمان های مختلف قرار گرفتن در معرض امواج مایکروویو، استفاده از این روش به منظور کنترل شب پره ی هندی در محصول پسته توصیه می شود (حاج محمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

یکی از شاخص های مهم در این حوزه تعیین خواص دی الکتریک برخی میوه ها و آفات انباری در معرض تابش امواج مایکروویو و امواج رادیویی می باشد. اطلاعات در مورد خواص دی الکتریک مواد و آفات برای درمان حرارتی و کنترل آفات پس از برداشت به کمک مایکروویو و فرکانس رادیویی مورد نیاز است. در پژوهشی این خواص در خصوص برخی میوه ها و آفات انباری تعیین و مشخص گردید دی الکتریک میوه های تازه و حشرات تقریبا بصورت خطی با افزایش دما در فرکانس رادیویی ۲۷ مگاهرتز افزایش یافته، اما تقریبا در فرکانس ۹۱۵ مگاهرتز مایکروویو ثابت می‌ماند. درجه حرارت روی خواص دی الکتریک مواد آجیلی در ۲۷ مگاهرتز تأثیری نداشته است (Wang *et al*., 2003).

توزیع حرارت و مدلسازی تحت درمان مایکروویو

همچنین در حوزه مدلسازی نیز پژوهش هایی صورت گرفته است. از جمله مدل انتقال حرارت مایکروویو در مواد غذایی مخلوط درون آون مایکروویو در پژوهشی ارائه شده است. مدل اجزاء محدود به کمک معادلات الکترومغناطیس و انتقال حرارت جهت درک فعل و انفعالات پیچیده مایکروویو در مواد غذایی مثل مخلوطی از ناگت مرغ و سیب زمینی له شده منجمد در درون مایکروویو بررسی و توسعه داده شده است. دما به عنوان تابعی وابسته به خصوصیات دی الکتریک و ترموفیزیکال مواد از ۱۰ الی ۱۱۰ درجه سانتیگراد اندازه گیری شد. این مدل شامل هندسه، تغییر فاز و چرخش مواد غذایی بود. اثر زاویه چرخش روی پیش بینی دما مطالعه و زاویه چرخش ۴۵ درجه مناسب تشخیص داده شد. پروفیل دمایی شبیه سازی شده با پروفایل دمایی آزمایشگاهی بدست آمده به کمک دوربین های تصویربرداری حرارتی و سنسورهای فیبر نوری مقایسه شد. بین این دو خصوصا در تعیین نقاط سرد و گرم همخوانی خوبی مشاهده گردیده است (Pitchai *et al*., 2014).

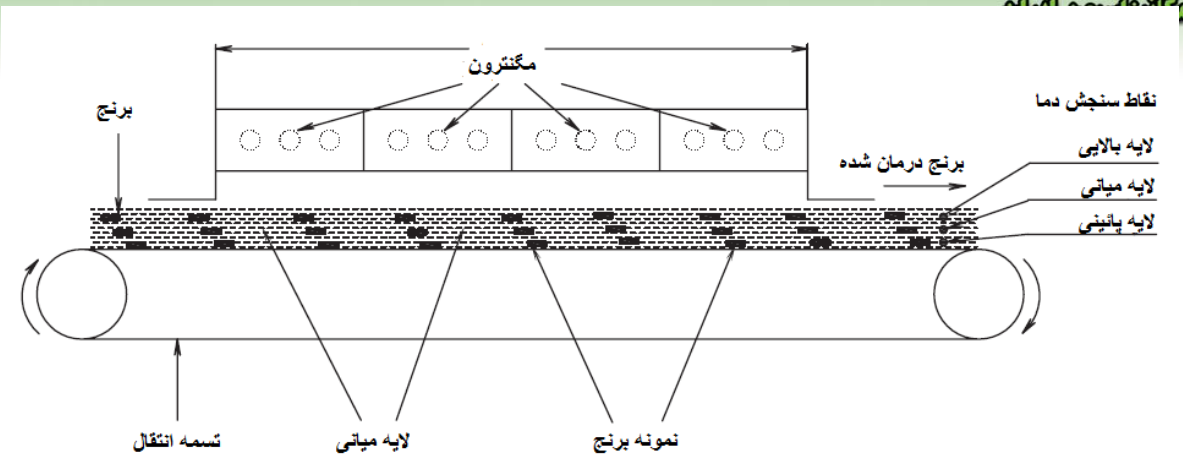
همچنین در پژوهش دیگری به بررسی و مدل سازی تغییرات دمایی در مواد غذایی گرم درون مایکروویو پرداخته شده است. این مطالعه به تغییرات دمایی در مایکروویو بر اساس مشاهدات پروفایل توزیع دما در مواد غذایی مختلف در طی فرآوری می پردازد. مدل محاسباتی بر پایه روش اجزاء محدود برای پیش بینی توزیع دمایی در مواد غذایی با تجزیه و تحلیل میدان الکترومغناطیسی و انتقال حرارت ارائه شد. برای بهینه سازی شبیه سازی برای به حداقل رساندن زمان محاسبات از مدل هندسی و خواص دی الکتریک مواد غذایی بهره برده شد. در نهایت مدل شبیه سازی با داده های آزمایشگاه مقایسه و همخوانی خوبی میان آنها مشاهده گردید (Liu *et al*., 2014).

در بررسی دیگری مدل ریاضی پخت مواد غذایی به کمک مایکروویو ارائه شد. مایکروویو مواد غذایی با سطح چربی کم، سالم و آماده خوردن را نسبت به غذاهای سرخ شده تحویل می دهد. مدل مبتنی بر روش اجزاء محدود و بر اساس انتقال حرارت و رطوبت، میزان تبخیر و تغییر ساختار به صورت فرمولی و قابل حل بدست آمد. درجه حرارت (به وسیله دوربین مادون قرمز و سنسورهای فیبر نوری)، محتوای رطوبت و حجم سیب زمینی نمونه جهت ارزیابی مدل، مورد سنجش قرار گرفت. روش های مخلف فرآوری و پخت و تأثیر آن روی کیفیت سیب زمینی نیز مطالعه شد. نتیجه آنکه با افزدون مادون قرمز به پروسه پخت مایکروویو، کیفیت افزایش می یابد (Rakesh and Datta, 2011).

مدلسازی توزیع حرارت در مواد غذایی استوانه ای شکل تحت درمان مایکروویو نیز در پژوهش دیگری مطالعه شده است. حرارت مایکروویو بسیار مورد استفاده در صنایع غذایی و نیز در منزل و محل کار از جمله برای گرم کردن مواد غذایی به سرعت است. با این حال، این روش حرارت غیر یکنواخت در درون مواد غذایی را فراهم می کند. بنابراین، مهم است که مطالعه بین انتشار امواج الکترومغناطیسی و انتقال انرژی در سیستم جهت پیش بینی توزیع دما در مواد غذایی صورت گیرد. جهت ارائه مدل توزیع میدان الکتریکی در داخل مواد از معادلات ماکسول استفاده گردیده است. حرارت تولید شده با مایکروویو در اثر توزیع میدان الکتریکی در داخل نمونه با استفاده از قضیه پوئینتینگ محاسبه می گردد. همچنین اثر شعاع استوانه، ضریب انتقال حرارت و فرکانس اعمالی در طول های مختلف مواد غذایی استوانه ای شکل بررسی گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که درجه حرارت داخل مواد نسبت به طول سیلندر (استوانه) و مدت زمان بسیار حساس می‌باشد. همچنین نشان داده شده که توزیع حرارت یکنواخت و موثر بستگی دارد به ادغام مناسب پارامترهای هندسی و خواص دی الکتریک محصول. این مدل تحلیل دقیقی از امکان غلبه بر توزیع غیر یکنواخت حرارت توسط امواج مایکروویو ارائه می‌نماید (Robiul Hossan *et al*., 2010).

همچنین مدل ریاضی از توزیع حرارتی مایکروویو در برخی محصولات غذایی گزارش و ارائه شده است. مدل ارائه شده پروفایل دمایی محصولات تحت درمان را در سه بعد و بر اساس مدل دما – زمان نشان می دهد. شبیه سازی نشان می‌دهد توزیع دمایی غیر یکنواخت زمانی در محصولات اتفاق می افتد که در معرض کاربرد کنترل نشده و استفاده ناصحیح از مایکروویو قرار می گیرد. با استفاده از این مدل، نقطه های سرد و گرم در نمونه تحت درمان شبیه سازی شده است. ارزیابی مدل نیز به کمک تصویربرداری مغناطیسی انجام می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که داده های دمایی بدست آمده از موقعیت های مختلف در نمونه، همخوانی بسیار خوبی با داده های مدل شبیه سازی دارد (Knoerzer *et al*., 2008).

مدل حرارتی کُشنده آفات برنج به وسیله امواج مایکروویو نیز ارائه شده است. توسعه صنعتی مایکروویو جهت کنترل آفات برنج به عنوان روشی جدید و بی خطر، جایگزین روش شیمیایی بخور شده است. شرایط تابش مایکروویو بر توزیع دمایی برنج و میزان مرگ و میر آفات برنج مورد مطالعه قرار گرفت. مدل آزمایشگاهی جهت سنجش درجه حرارت در سه لایه برنج نیز طراحی و مدل با آن مقایسه گردید (شکل شماره ۱). میزان ۱۰۰ درصدی مرگ و میر تخم و حشره کامل .Sitophilus oryzae L زمانی اتفاق افتاد که درجه حرارت نهایی برنج به بالای ۵۵ درجه سانتیگراد رسید در حالی که میزان مصرف انرژی مایکروویو بیش از kWh/kg

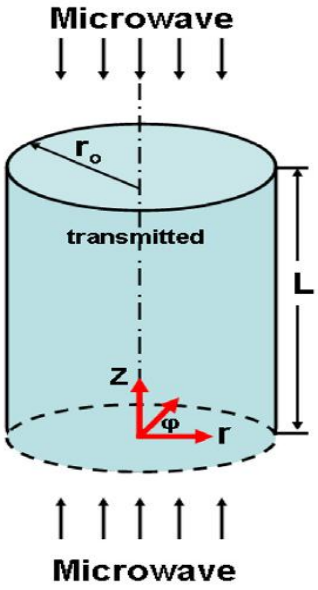


شکل شماره ۱. نمونه ست آزمایشگاهی برنج تحت درمان مایکروویو

و معادلات انرژی برای گرم کردن با مایکروویو تعیین گردید. حل عددی مدل به کمک نرم افزارهای اجزاء محدود صورت گرفته است. مدل با استفاده از سنجش داده های آزمایشگاهی به کمک اندازه گیری درجه حرارت با سنسورهای فیبر نوری ارزیابی می‌گردد. گرمای جذب شده توسط ماده غذایی تابع زاویه چرخش سینی دوار درون مایکروویو گزارش شده است (Geedipalli *et al.*, 2007).

همچنین تأثیر پارامترهای تجربی و آزمایشگاهی روی تعیین مدل توزیع حرارت در ژل آگار استوانه ای شکل تحت تابش مایکروویو متناوب و مستمر بررسی شده است (شکل شماره ۲). طرح فاکتوریل ۲*۲*۳ جهت ارزیابی تأثیر پارامترهای زمان حرارت دهی (۱، ۲ و ۳ دقیقه)، تابش مایکروویو (متناوب و مستمر) و سایز نمونه (شعاع ۳/۵ و ۴ سانتیمتر) ارائه شد. مطالعات نشان می‌دهد توزیع حرارت یکنواخت در نمونه تحت درمان مایکروویو در نوع تابش متناوب بیشتر از تابش مستمر در شرایط یکسان اتفاق می‌افتد. همچنین گزارش گردید زمانی که توزیع حرارت بصورت غیریکنواخت و بحرانی است، تابش متناوب بر تابش مستمر ارجحیت دارد. در شرایط یکسانِ میزان جذب انرژی، نوع آون و اندازه یکسان نمونه، برای توزیع یکنواخت، بهتر است از تابش متناوب استفاده گردد (Gunasekaran and Yang, 2007).

از سوی دیگر پاستوریزه کردن مواد غذایی بسته بندی شده به کمک حرارت مایکروویو نیز مدل سازی شده است. این عامل موجب افزایش عمر مفید محصول می گردد. مدل عددی پیش بینی دمای مواد غذایی پس از حرارت دهی ارائه و با داده های آزمایشگاهی ارزیابی گردید. مدل پیش بینی دما بر اساس معادلات ماکسول در میدان مغناطیسی و معادلات هدایت گرمایی محاسبه گردید. سیب زمینی له شده تحت حرارت مایکروویو با قدرت ۲/۳ کیلو وات و در مدت ۶۰ ثانیه قرار گرفت. سپس توزیع دما در مواد غذایی در طول دوره ۱۲۰ ثانیه ای برای مواد غذایی اندازه گیری شد. همچنین ظرفیت گرمایی و خواص دی الکتریک سیب زمینی مورد سنجش قرار گرفت. پروفایل دمایی با تعیین موقعیت های کمترین و بیشترین درجه حرارت، هم پیش بینی و هم اندازه گیری شد و اختلاف بین داده های پیش بینی شده و اندازه گیری شده حدود ۳۰ درجه سانتیگراد گزارش گرید (Burfoot et al., 1996).



شکل شماره ۲. ماده استوانه ای شکل تحت درمان مایکروویو

نتیجه گیری

با عنایت به مطالب مطرح شده و بررسی پژوهش های صورت گرفته، می‌توان نتایج حاصله را بصورت جدولی نشان داد.

جدول شماره ۱. مشاهده نتایج کنترل آفات بوسیله امواج صوتی و مایکروویو

ردیف	امواج	هدف	نوع آفت	نتیجه
۱	صوتی	کنترل آفت آرد	شپشه قرمز آرد	– فرکانس امواج با سطح احتمال ۹۵ درصد به صورت مستقل اثر معنی داری بر فرار آفت از محیط زندگی داشت. – فرکانس ۳۵ کیلوهرتز و بازه زمانی تابش ۶ ساعت، بیشترین تأثیر بر روی فرار و دفع شپشه قرمز آرد گذاشت.
۲	مایکروویو	کنترل آفت گندم	Cryptolestes ferrugineus	درمان مایکروویو برای همه حشرات کشنده نبود ولی تعداد آنها را به بیش از ۷۵ دصد کاهش داد.
۳		خواص کیفی گردو	--	– سطح قدرت مایکروویو و زمان، تأثیر قابل توجهی روی افزایش دما و تغییر رنگ دارد. – درمان مایکروویو با درجه حرارت ۵۰ تا ۵۵ درجه

			سانتیگراد موجب کاهش ارزش پراکسید و کاهش سطح اسید چرب شد.
۴	میزان مرگ و میر دو نوع آفت انباری	PloaSa interpunctella Tribolium confisum	هر دو گونه حشرات و در تمام مراحل رشدی در گرمای ۸۰ درجه سانتیگراد کشته شدند.
۵	مراحل زیستی سه گونه آفت انباری	شب پره هندی شب پره مدیترانه ای آرد شپشه دندانه دار	– شفیره های شب پره مدیترانه ای آرد در توان۱۰۰ وات و زمان ۹۰۰ ثانیه متحمل ۹۷/۵ درصد تلفات شدند. – در شب پره هندی حشرات کامل در توان ۲۰۰ وات و زمان ۱۲۰ ثانیه با ۹۲/۵ درصد بیشترین تلفات داشتند. – حشرات کامل شپشه دندانه دار در توان ۲۰۰ وات و زمان ۱۲۰ ثانیه، ۹۲/۵ درصد تلفات داشتند.
۶	میزان مرگ و میر دو نوع آفت انباری	شپشه دندانه دار شپشه آرد	شپشه دندانه دار نسبت به امواج مایکروویو و سرمادهی حساس تر از شپشه آرد می باشد.
۷	کنترل آفت پسته خواص کیفی پسته	شب پره هندی	– در تیمار ۵۰ ثانیه، مرگ و میر لاروهای سن های سوم، چهارم و پنجم، ۱۰۰ درصد مشاهده گردید. – درصد رطوبت کل پسته در تیمارهای۵۰ و۷۰ ثانیه نسبت به تیمار شاهد، کاهش معنی داری نشان داد. – مقدار اسید چرب با افزایش طول مدت زمان تیماردهی به ۷۰ ثانیه، به طور معنی داری افزایش یافت.

همچنین می‌توان نتایج پژوهش های صورت گرفته در حوزه مدلسازی تحت درمان مایکروویو نیز بصورت جدولی نشان داد.

جدول شماره ۲. نتایج پژوهش های صورت گرفته در حوزه مدلسازی تحت درمان مایکروویو

هدف	مدلسازی	فاکتور مورد مطالعه	ارزیابی آزمایشگاهی	نتیجه
مدل انتقال حرارت مایکروویو در مخلوط ناگت مرغ و سیب زمینی	روش اجزاء محدود	هندسه، تغییر فاز و چرخش مواد غذایی	مقایسه پروفایل دمایی به کمک دوربین های تصویربرداری حرارتی و سنسورهای فیبر نوری	در تعیین نقاط سرد و گرم همخوانی مشاهده گردید.
تغییرات دمایی در مواد غذایی گرم	روش اجزاءمحدود معادلات ماکسول	پیش بینی توزیع دمایی	دارد	مدل شبیه سازی با داده های آزمایشگاهی مقایسه و همخوانی میان آنها مشاهده گردید.

مدل ریاضی پخت سیب زمینی	روش اجزاء محدود	انتقال حرارت و رطوبت، میزان تبخیر و تغییر ساختار	مقایسه به وسیله دوربین مادون قرمز و سنسورهای فیبر نوری	– همخوانی مدل و تست آزمایشگاهی. – با افزودن مادون قرمز به پروسه پخت مایکروویو، کیفیت افزایش یافت.
مدلسازی توزیع حرارت در مواد غذایی استوانه ای شکل	معادلات ماکسول قضیه پوئینتینگ	اثر شعاع استوانه، ضریب انتقال حرارت و فرکانس اعمالی در طول های مختلف مواد غذایی استوانه ای شکل	دارد	–درجه حرارت داخل مواد نسبت به طول سیلندر (استوانه) و مدت زمان بسیار حساس است. – توزیع حرارت یکنواخت و موثر بستگی دارد به ادغام مناسب پارامترهای هندسی و خواص دی الکتریک محصول.
مدل ریاضی سه بعدی از توزیع حرارتی	روش اجزاء محدود	نقطه های سرد و گرم	ارزیابی مدل به کمک تصویربرداری مغناطیسی	داده های دمایی بدست آمده از موقعیت های مختلف در نمونه، همخوانی بسیار خوبی با داده های مدل شبیه سازی دارد.
مدل حرارتی کُشنده آفات برنج	رگرسیون غیر خطی	شرایط تابش مایکروویو بر توزیع دمایی برنج و میزان مرگ و میر آفات برنج	دارد	– میزان ۱۰۰ درصدی مرگ و میر تخم و حشره کامل Sitophilus oryzae L. در درجه حرارت نهایی برنج (۵۵ درجه سانتیگراد). – مدل کشندگی آفات برنج بر اساس درجه حرارت، ارائه گردید.
مدلسازی توزیع یکنواخت دمایی مواد غذایی	روش اجزاء محدود معادلات ماکسول		به کمک اندازه گیری درجه حرارت با سنسورهای فیبر نوری	گرمای جذب شده توسط ماده غذایی، تابع زاویه چرخش سینی دوار درون مایکروویو گزارش شده است.
مدل توزیع حرارت در ژل آگار استوانه ای شکل	روش اجزاء محدود معادلات ماکسول	زمان حرارت دهی، تابش مایکروویو و سایز نمونه	سنجش دما بوسیله ترموکوپل و ثبت دما–زمان توسط دیتالاگر	– توزیع حرارت یکنواخت در نوع تابش متناوب بیشتر از تابش مستمر در شرایط یکسان اتفاق می‌افتد. – در شرایط یکسانِ میزان جذب انرژی، نوع آون و اندازه یکسان نمونه، برای توزیع یکنواخت، بهتر است از تابش متناوب استفاده گردد.
پاستوریزه کردن مواد غذایی بسته بندی شده (سیب زمینی)	معادلات ماکسول معادلات هدایت گرمایی	– مدل عددی پیش بینی دمای مواد غذایی پس از حرارت دهی.	دارد	اختلاف بین داده های پیش بینی شده و اندازه گیری شده حدود ۳۰ درجه سانتیگراد گزارش گرید.

- ظرفیت گرمایی و خواص
دی الکتریک سیب زمینی.

بررسی جداول ۱ و ۲ ، نشان می دهدکه استفاده از مایکروویو می‌تواند راهی موثر در کنترل آفات نه تنها بصورت آزمایشگاهی، که صنعتی نیز باشد.

در کشوری با جمعیت، وسعت و ظرفیت هایی بالای تولید محصولات کشاورزی و مواد غذایی در بخش مصرف داخلی و بخش صادرات همچون ایران، ضرورت استفاده از روش های نوین، کم خطر، غیر شیمیایی و غیر مخرب جهت آفت زدایی مواد غذایی و محصولات کشاورزی خصوصا پس از برداشت و محصولات انباری اجتناب ناپذیر است. با استفاده از روش های غیر شیمیایی از جمله امواج صوتی و مایکروویو علاوه بر آفت زدایی، میکروب کشی و استریلیزه کردن مواد غذایی و محصولات کشاورزی، افزایش ماندگاری و حفظ ماده غذایی در مقابل فساد، با حفظ مواد مغذی و عدم تخریب خصوصیات تغذیه ای، حاصل می گردد بنابراین می توان از ضایعات قسمت اعظمی از محصولات کشاورزی در اثر عدم استفاده از روش های نگهداری مناسب و استفاده از روش های مبارزه شیمیایی با آفات جلوگیری نمود.

منابع

احمدی مقدم، پ.، روابخش، آ.، شیرزاد، و. و ارمیده، ش. ۱۳۹۴. ارزیابی سیستم دفع آفات انباری با استفاده از امواج آلتراسونیک روی شپشه قرمز آرد (Tribolium castaneum Herbs) . نشریه علمی پژوهشی حفاظت گیاهان- دانشگاه فردوسی مشهد، جلد۲۹ شماره ۴.

حاج محمدی، ح.، صدرنیا، ح. و عباسپور فرد، م. ۱۳۹۲. تاثیر گرمادهی با مایکروویو بر مرگ و میر آفت شب پره هندی در محصول پسته. نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)، دانشگاه فردوسی مشهد، جلد۲۷، شماره۱، ص۱۸-۲۵.

صادقی نسب، ف.، شایسته ، ن.، پورمیرزا، ع. و قبادی، چ. ۱۳۸۳. بررسی تأثیر امواج مایکروویو با توا نها و زمان های مختلف روی مراحل زیستی سه گونه آفت انباری. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۵ ، شماره ۲، ۴۹۳-۴۹۸.

قاسم زاده، س.، پورمیرزا، ع.، صفر علیزاده، م. و عاشوری، ش. ۱۳۹۰. اثر کنترلی ترکیب امواج مایکروویو و سرمادهی بر روی حشرات کامل Oryzaephilus surinamensis و Tribolium castaneum . نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی) – دانشگاه فردوسی مشهد، جلد۲۵، شماره۴، ۳۹۱-۳۹۷.

Burfoot, D., Railton, C. J., Foster, h. A. M., and Reavell, S. R. 1996. Modelling the Pasteurisation of Prepared Meals with Microwaves at 896 MHz. journal of Food Engineering 30: 117-133

Das, I., Shah, N. G., and Kumar, G. 2014. Properties of walnut influenced by short time microwave treatment for disinfestation of insect infestation. *Journal of Stored Products Research* 59 : 152-157.

Frings, Hubert, Frings, and Mable. 1971. Sound production and reception by stored products insect pests—A review of present knowledge. *Journal of Stored Products Research*, Volume 7, Issue 3: 153–162.

Geedipalli, S. S. R., Rakesh, V., and Datta, A. K. 2007. Modeling the heating uniformity contributed by a rotating turntable in microwave ovens. *Journal of Food Engineering* 82: 359–368

Gunasekaran, S., and Yang, H. 2007. Effect of experimental parameters on temperature distribution during continuous and pulsed microwave heating. *Journal of Food Engineering* 78: 1452–1456.

Jian, F., Jayas, D. S., White, N. D.G., Fields, P. G., and Howe, N. 2015. An evaluation of insect expulsion from wheat samples by microwave treatment for disinfestations. *biosystems engineering* 1 3 0: 1 -1 2

Knoerzer, K., Regier, M., and Schubert, H. 2008. A computational model for calculating temperature distributions in microwave food applications. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9: 374–384.

Liu, S., Ogiwara, Y., Fukuoka, M., and Sakai, N. 2014. Investigation and modeling of temperature changes in food heated in a flatbed microwave oven. *Journal of Food Engineering* 131: 142–153.

Pitchai, K., Chen, J., Birla, S., Gonzalez, R., Jones, D., and Subbiah, J. 2014. A microwave heat transfer model for a rotating multi-component meal in a domestic oven: Development and validation. *Journal of Food Engineering* 128 : 60–71.

Rakesh, V., and Datta, A. 2011. Microwave puffing: mathematical modeling and optimization. *Procedia Food Science* 1 : 762 – 769.

Robiul Hossan, M., Byun, d., and Dutta, P. 2010. Analysis of microwave heating for cylindrical shaped objects. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53 : 5129–5138

Shayesteh, N., and Barthakur, N. N.1996. Mortality and Behaviour of Two Stored-product Insect Species During Microwave Irradiation. *J. stored Prod. Res.* Vol. 32, No. 3: 239-246.

Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E., Hansen, J.D., Hallman, G., Drake, S.R., and Wang, Y. 2003. Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and Microwave Treatments. *Biosystems Engineering* 85 (2): 201–212.

Zhao, S., Qiu, C., Xiong, S., and Cheng, X. 2007. A thermal lethal model of rice weevils subjected to microwave irradiation. *Journal of Stored Products Research* 43: 430–434.