مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۹- شماره ۲ - سال ۱۴۰۳
www.ElitesJournal.ir

مروری بر فناوری مادون قرمز و کاربرد آن در فرآوری مواد غذایی

بهاره گودرزی شمس آبادی[۱*]، محمد حجتی[۲]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران
۲- استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران

*Goodarzi.sh.bahar@gmail.com

ارسال: فروردین ماه ۱۴۰۳ پذیرش: خرداد ماه ۱۴۰۳

چکیده

فرآوری محصولات غذایی یک نیاز ضروری برای افزایش ماندگاری آنها است. با این حال، چنین فرآوری به طور کلی شامل عملیات حرارتی است که می‌تواند ایمنی غذا را افزایش دهد. استفاده از روش‌های نوین حرارت‌دهی مواد غذایی باعث دستیابی به محصولات فرآوری شده با کیفیت بالا و همچنین کاهش مصرف انرژی می‌شود. محصول تولید شده با این روش‌ها از کیفیت بالاتری نسبت به محصول تولید شده با روش‌های سنتی برخوردار می باشد. امواج مادون قرمز به عنوان یکی از منابع جدید تولید گرما جایگاه ویژه‌ای درصنعت غذا یافته‌اند. فناوری گرمایش مادون‌قرمز مقادیر زیادی از انرژی را به محیط یا موادی که در زمان کوتاهی پردازش می‌شوند، منتقل می‌کند. همچنین کیفیت محصول را بهبود می‌بخشد و باعث می‌شود که محصول تولید شده با این روش دارای کیفیت بالاتری نسبت به محصول تولید شده با روش‌های سنتی باشد. گرمایش مادون قرمز نسبت به گرمایش معمولی در شرایط مشابه مزایای زیادی دارد از جمله کاهش زمان گرمایش، گرمایش یکنواخت، ضریب انتقال حرارت بالا، کاهش افت کیفیت، صرفه جویی قابل توجه در انرژی و سازگاری با محیط زیست. با توجه به مشکلات حرارت دهی مرسوم و کاربردهای زیاد حرارت دهی مادون قرمز درصنایع غذایی انتظار می‌رود که این فناوری بتواند جایگزین یا مکمل مناسبی برای فرایندهای حرارتی مرسوم باشد.

واژگان کلیدی: مادون قرمز، پرتودهی، حرات دهی

۱- مقدمه

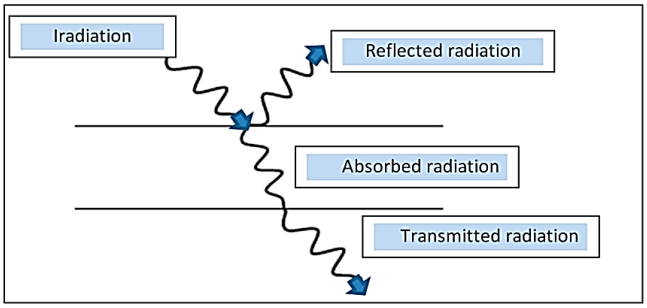
مادون‌قرمز بخشی از طیف الکترومغناطیس است که بین منطقه مرئی و امواج مایکروویو قرار دارد و طول‌موج آن از ۰,۵ تا ۱۰۰ میکرومتر است. پرتومادون قرمز به سه بخش تقسیم می‌شود: مادون قرمزنزدیک(NIR) که طول‌موج آن از ۰/۷۵ تا ۱/۴ میکرومتر در دماهای زیر ۴۰۰ درجه سانتیگراد، مادون قرمزمتوسط(MIR) که طول‌موج آن بین ۱/۴ تا ۳ میکرومتر در دماهای بین ۴۰۰ و ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد و تابش مادون قرمزدور (FIR) با طول‌موج ۳ - ۱۰۰۰ میکرومتردر دماهای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. نفوذ مادون‌قرمز باعث حرکت ارتعاشی مولکول‌های آب در فرکانس ۶۰۰۰۰ - ۱۵۰۰۰۰ مگاهرتز می‌شود و در نتیجه باعث گرمایش می‌شود[۱]. اتلاف انرژی تابشی به شکل گرما باعث گرم شدن سطح غذا می‌شود و عمق نفوذ به ضخامت محصول، فعالیت

آبی، اجزای محصول و طول‌موج تابش مادون‌قرمز بستگی دارد. فناوری مادون‌قرمز با بهره‌وری انرژی بالا، مصرف آب کم‌ترو دوست‌دار محیط‌زیست شناخته می‌شود[۲].

علاوه بر این، این فرآیند به واسطه همگن بودن حرارت دهی با نرخ انتقال حرارت بالا، زمان حرارت دهی کم، مصرف انرژی کم و بهبود کیفیت محصول و ایمنی مواد غذایی مشخص می‌شود. همچنین هزینه‌های انرژی کم و اندازه تجهیزات مادون‌قرمز کوچک و همچنین عوامل کنترل‌کننده با دقت بالا است. علاوه بر این، دارای خواص تابش منحصر به فردی است. بازده حرارتی مادون قرمز بالا است و یک منبع انرژی ارزشمند در نظر گرفته می‌شود[۳]. سومنو و همکاران(۲۰۰۵)، در پژوهش خود پارامترهای کیفی مانند افت وزن، حجم مخصوص و رنگ کیک‌های پخته شده به روش مایکروویو، مادون قرمز و ترکیبی از این دو روش را بررسی کردند .کیک‌های پخته شده به روش مرسوم به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد .آنها مشاهده کردند که کیک‌های پخته شده به روش مایکروویو، دارای پایینترین کیفیت بودند .همچنین استفاده از روش ترکیبی باعث کاهش افت وزن شده و حجم کیک‌های پخته شده به روش مایکروویو را افزایش داد[۴]. باقری و همکاران(۲۰۱۶)، از ترکیب مادون قرمز و هوای گرم برای بو دادن بادام‌زمینی استفاده کرده و تأثیر شرایط فرآوری مانند دمای هوای گرم، توان مادون قرمز و زمان بو دادن را بر ویژگی‌های مختلف دانه‌ها (محتوای رطوبت، رنگ، خصوصیات بافتی و غیره) مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش دمای هوا، توان مادون قرمز و زمان بو دادن، باعث کاهش محتوای رطوبت، سختی، نیروی گسیختگی، pH و محتوای مواد جامد محلول و نیز افزایش شاخص قهوه‌ای شدن، مقدار فنول کل و مقبولیت کلی بادام زمینی گردید[۵]. نواک و لویکی (۲۰۱۵)، خشک کردن برشهای سیب با روش IR نزدیک را مورد بررسی قرار دادند .نتایج نشان دادکه این روش به طور قابل توجهی سریعتر از روش همرفت بوده و زمان فرآیند به میزان % 50 کاهش یافت[۶]. هونگ و همکاران(۲۰۰۹)، تأثیر انجمادزدایی به روش ترکیبی تابش مادون قرمز دور با جریان هوا را بر روی گوشت خوک بررسی کردند. بر اساس نتایج حاصل، استفاده از این روش باعث بهبود ویژگیهای کیفی گوشت شده و افزایش در دوز IR یا شدت جریان هوا باعث افزایش در سرعت انجماد زدایی وکاهش افت پخت، کاهش ظرفیت نگهداری آب و نیروی برشی گوشت گردید[۷]. این پژوهش کاربردهای امواج مادون قرمز مانند حرارت‌دهی، انجماد زدایی، بو دادن، خشک کردن، پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون مواد غذایی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

۲- مکانیسم عمل مادون قرمز

گرمایش مادون‌قرمز به طیف بستگی دارد زیرا انرژی ساطع شده از ساطع کننده شامل طول‌موج‌های مختلف است و بخشی از تابش به دمای منبع و انتشار لامپ بستگی دارد. مقدار تابش که بر روی هر سطحی می‌تابد نه تنها به طیف، بلکه به جهت نیز بستگی دارد. تابش الکترومغناطیسی در نتیجه جذب توسط محیط و پراکندگی تضعیف می‌شود. فرآیند تبدیل تابش به دیگر اشکال انرژی، پدیده جذب است، در حالی که در مورد پراکندگی، انرژی تابشی از جهت اصلی انتشار در نتیجه اثر ترکیبی بازتاب، شکست و انحراف به مقصد دیگری هدایت می‌شود و همه این عوامل باعث تابش الکترومغناطیسی ضعیف می‌شوند[۸].



شکل ۱- مکانیسم عمل تابش

تابش بر روی یک جسم خاص به گرما تبدیل می‌شود و انرژی می‌تواند جذب و منعکس شود، علاوه بر این، تابش می‌تواند همانطور که در شکل ۱ نشان‌داده شده‌است، جذب و منتقل شود. این شکل نشان می‌دهد که سه ویژگی اساسی تابش وجود دارد، بازتابندگی (ρ)، که نسبت قسمت منعکس شده تابش به تابش ماکرو بعدی است. ضریب جذب (α)، که نسبت بخش جذب‌شده تابش ورودی

به کل تابش ورودی است. قابلیت انتقال (τ)، که نسبت بخش ساطع شده از تشعشعات ورودی به کل تشعشعات ورودی است، و تعادل انرژی در معادله ۱ نشان داده شده است:

$$\alpha+ \rho+ \tau=1 \quad (۱)$$

هنگامی که حرارت دهی توسط تابش انجام می‌شود، گرما توسط همرفت و رسانش منتقل می‌شود. تابش الکترومغناطیسی باعث حرکات گرمایی مولکول‌ها می‌شود اما بازده تبدیل، به شدت وابسته به فرکانس (انرژی) تابش است. انرژی منتقل شده از طریق تشعشع در طول‌موج‌های کوتاه‌تر از مادون‌قرمز باعث تغییرات الکترون - شیمیایی در مولکول‌های جاذب تابش مانند پیوند شیمیایی، تحریک الکترونیکی و اتلاف انرژی جذب شده به شکل گرمای کم‌تر می‌شود. تابش مادون‌قرمز توسط مواد آلی در فرکانس‌های جداگانه جذب می‌شود که مربوط به انتقال مولکول‌های داخلی بین سطوح انرژی است. این انتقال در محدوده انرژی مادون‌قرمز با توجه به حرکت چرخشی و حرکت ارتعاشی (کششی) پیوندهای اتمی داخلی بیان می‌شود. باندهای جذبی مادون‌قرمز مربوط به گرمایش غذا در جدول ۱ نشان‌داده شده‌اند[۸].

جدول ۱- باندهای جذبی مادون قرمز غذا

گروه شیمیایی	طول موج جذبی	اجزای غذایی مرتبط
Hydroxyl group (O–H)	۲/۷- ۳/۳	آب، قندها
Aliphatic carbon-hydrogen bond	۳/۲۵- ۳/۷	لیپیدها، قندها، پروتئین‌ها
Carbonyl group (C=O) (ester)	۵/۷۱ – ۵/۷۶	چربی‌ها
Carbonyl group (C=O) (amide)	۵/۹۲	پروتئین‌ها
Nitrogen-hydrogen group (–NH–)	۲/۸۳- ۳/۳۳	پروتئین‌ها
Carbon-carbon double bond (C=O)	۴/۴۴- ۴/۷۶	چربی‌های غیر اشباع

جدول ۱ نشان می‌دهد که جذب قوی ناشی از ارتعاشات طولی وجود دارد. جذب ماده به تشعشع آن را با تابش مادون‌قرمز اشباع نمی‌کند زیرا مولکول‌های تحریک‌شده توسط حرکت ارتعاشی به طور مداوم انرژی خود را در جهت‌های تصادفی در نتیجه برخورد بین مولکول‌ها از دست می‌دهند که انرژی را به محیط اطراف به شکل گرما منتقل می‌کنند. به دلیل توانایی آن‌ها در نفوذ به لایه بخار اطراف غذا و همچنین با عمق چند میلی متر در غذا، طول‌موج‌های در محدوده ۱,۴ – ۵ میکرومتر در پخت غذا موثرتر در نظر گرفته می‌شوند. بیشتر تابش مادون‌قرمز توسط لایه نازکی از مواد آلی و آب جذب می‌شود، بنابراین حرارت دادن سطحی است. فرآیند گرمایش مادون‌قرمز سریع‌تر است زیرا انرژی به طور همزمان از منبع گرمایش به غذا منتقل می‌شود. بنابراین، هیچ نیازی به روش دیگری برای انتقال انرژی، به عنوان مثال، استفاده از هوای داغ وجود ندارد[۹].

۳-کاربردهای اشعه مادون قرمز

۳-۱- بودادن

بو دادن یک فرآیند ضروری برای بهبود طعم ،رنگ، بافت و ظاهر محصول است. استفاده از مادون قرمز در مقایسه با روشهای مرسوم برای بو دادن آجیل و سایر غذاها مزایای زیادی دارد. از جمله کیفیت بالای محصول، صرفه جویی در انرژی و راندمان بیشتر، سرعت انتقال حرارت بالاتر و شار حرارتی بیشتر که منجر به کاهش زمان خشک شدن شده و سرعت برشته شدن بالاتر است[۱۰]. با این حال، قدرت نفوذ کم اشعه مادون قرمز یکی از محدودیت های این روش است که با ترکیب مادون قرمز با سایر روش های حرارتی می توان بر آن غلبه کرد.

هانگ و همکاران (۲۰۲۳) ، اثرات دماهای مختلف بودادن با مادون قرمز و زمان بر پایداری اکسیداتیو و محتوای اجزای فعال در روغن پریلا مورد بررسی قرار دادند. یافته ها نشان داد که پخت مادون قرمز تأثیر کمی بر اسیدهای چرب موجود در روغن دانه پریلا دارد. پایداری اکسیداتیو روغن پریلا با افزایش دمای فرآیند گرمایش مادون قرمز افزایش یافت. پایداری اکسیداتیو روغن دانه پریلا پس از ۲۰ دقیقه قرار گرفتن در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد بالاترین میزان را داشت. این نتایج نشان داد که کیفیت و ویژگی‌های روغن دانه پریلا را می‌توان به طور موثر با فشار دادن دانه پریلا پس از پیش تیمار مادون قرمز بهبود بخشید[۱۱].

۳-۲- آنزیم بری

هدف اصلی از بلانچینگ غیرفعال کردن آنزیم‌هایی مانند پلی فنول اکسیدازها است که مسئول قهوه‌ای شدن و پراکسیداز، کاتالاز و فنلاز که منجر به گسترش آن و ازدست دادن طعم در طول پردازش و ذخیره‌سازی می‌شود. بلانچینگ معمولی دارای معایب زیادی از جمله از دست دادن مواد مغذی محلول در آب، افت کیفیت وآلودگی محیط زیست توام با تولید مقادیر زیاد فاضلاب است. استفاده از گرمایش IR نسبت به گرمایش هوای گرم معمولی به دلیل مزایای ذاتی آن در پردازش موادغذایی است در حال گسترش است.گرمایش IR مزایای بسیاری از جمله گرمایش یکنواخت، انتقال حرارت بالا سرعت، کاهش زمان پردازش و مصرف انرژی و بهبود کیفیت محصول دارد[۱۲].

ژونگ لو و همکاران (۲۰۲۳)، برای ارزیابی آنزیم‌بری با اشعه مادون قرمز در مقایسه با آنزیم بری با آب داغ معمولی در جهت مهار قهوه‌ای شدن و افزایش ماندگاری مغز گردو، فناوری آنزیم‌بری IR در ۵۰۰-۷۰۰ وات برای ۹۰-۴۵ ثانیه با آنزیم‌بری آب داغ در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد برای ۶۰ ثانیه و متعاقبا خشک کردن با هوای گرم به ترتیب در دمای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی و مقایسه قرار دادند و سپس فعالیت لیپوکسیداز و پلی فنل اکسیداز ، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، تغییر رنگ، ساختار میکروسکوپی و ماندگاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که بلانچ IR نه تنها زمان خشک شدن را به طور قابل توجهی کاهش داد، بلکه به‌طور موثر آنزیم‌های لیپوکسیداز و پلی فنل اکسیداز را غیرفعال کرد[۱۳].

۳-۳- پوست گیری

پوست‌گیری به طور گسترده‌ای در صنایع فرآوری موادغذایی برای تولید میوه‌ها و سبزیجات کنسرو شده با کیفیت عالی استفاده می‌شود. سهولت لایه برداری IR باعث افزایش مدول یانگ در پوست و کاهش چسبندگی پوست می شود. همچنین گرمایش IR منجر به ذوب شدن غشای کوتیکولی، فروپاشی چندین لایه سلولی، و تخریب شدید ساختار دیواره سلولی می‌گردد،که به نوبه خود باعث جدا شدن پوست می شود[۱۴].

توسعه روش لایه برداری خشک بدون پساب برای موسیر و بررسی خصوصیات طیفی طول موج های مادون قرمز متوسط و بلند برای به حداکثر رساندن عملکرد لایه برداری توسط دپیکا و سوکار (۲۰۲۳)، انجام شد. دراین مطالعه پارامترهای بهینه برای لایه برداری خشک مادون قرمز موسیر فاصله ۶۰ میلی‌متری بین لامپ و محصول، ۵۹/۷۴٪ سطح توان مادون قرمز، ۱۵ دقیقه زمان حرارت دهی با استفاده از لامپ سرامیکی (طول موج حداکثر۸/۱۶ میکرومتر) به دست آمد. در این پژوهش بیان شده که این مطالعه در صنایع فرآوری مواد غذایی برای استفاده از یک لامپ مادون قرمز موثر که می تواند به طور بهینه محصول کشاورزی را پوست کنده و کیفیت را به طور پایدار حفظ کند، مفید خواهد بود[۱۵].

۳-۴- پخت

از جمله مزایای پخت با اشعه مادون قرمز کاهش زمان پخت، سرعت انتقال بالای حرارت، قابلیت نفوذ حرارتی بالا، کاهش هزینه‌های انرژی، حرارت یکنواخت‌تر نسبت به روش حرارتی معمول ، کمترین آسیب به کیفیّت ماده غذایی، حفظ ویتامین‌های ماده غذایی و در نهایت امکان کنترل پارامترهای حرارتی است[۱۶].

در مطالعه‌ای نگهدار پنیرانی و همکاران (۲۰۲۳)، تأثیر روش‌های مختلف پخت بر سینتیک پخت، مصرف انرژی، خواص مکانیکی، انبساط حجمی و پارامترهای حسی نان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش اهمی- متعارف زمان پخت را نسبت به پخت معمولی افزایش داد. زمان پخت ترکیب مادون قرمز - معمولی ۷۳/۷-۶۳٪ کمتر از روش معمولی بود. حداکثر بازده انرژی با استفاده از روش فر- مادون قرمز به دست آمد. ارزیابی حسی نشان داد که نمونه های پخته شده در روش مادون قرمز- متعارف دارای امتیاز طعم و مزه بالاتری نسبت به سایر روش‌های پخت بودند[۱۷].

۳-۵- پاستوریزاسیون

استفاده از پرتو مادون قرمز برای اهداف پاستوریزاسیون سطحی، پتانسیل تبدیل شدن به یک روش صنعتی را دارد. قرار دادن یک محصول غذایی در معرض منبع حرارتی IR منجر به افزایش دمای سطحی شده که برای غیرفعال کردن میکروارگانیسم های بیماری‌زای مدنظر موثر است. اشعه‌ی مادون قرمز عوامل بیماری‌زا را از طریق آسیب به اجزا درون سلولی مانندDNA ، RNA، ریبوزوم، غشاء سلولی و پروتئین‌های سلولی غیرفعال می‌کند.

بوباس و همکاران (۲۰۲۱) به مقایسه گرمایش معمولی مادون قرمز دور با گرمایش-خنک کردن مداوم مادون قرمز برای پاستوریزاسیون سطحی پوسته تخم مرغ های آلوده به سالمونلا انتریکا سروتیپ انتریتیدیس (SE)پرداختند. تخم مرغ‌ها با مادون قرمز دورحرارت داده شدند (۶۰ ثانیه) سپس به طور مداوم (۴+ درجه سانتیگراد، ۱۲۰ ثانیه) خنک شدند و این فرآیند پنج بار تکرار شد. در نتیجه این فرآیند، کاهش SE پنج فاز لگاریتمی بدون تغییر کیفیت در داخل تخم مرغ‌ها کاهش یافت. اما با استفاده از این روش،هیچ تغییری در کیفیت تخم‌مرغ مشاهده نشد. این نتایج نشان می‌دهد که می‌توان از یک سیستم ترکیبی گرمایش و خنک‌کننده مداوم دور IR برای پاستوریزاسیون سطحی پوسته تخم مرغ استفاده کرد[۱۸].

۳-۶- خشک کردن و کاهش آب

قدیمی‌ترین روش خشک کردن غذا، قرار دادن آن در معرض نور خورشید است که هدف آن کاهش فعالیت آبی و افزایش ماندگاری است. خشک کردن همچنین با ترمیم فعال شدن آنزیم ها و از بین بردن میکروارگانیسم ها، ماندگاری مواد غذایی را افزایش می‌دهد. گرمایش مادون قرمز نسبت به روش همرفتی مزایایی دارد، به طوری که در این روش ضریب انتقال حرارت بالا، زمان فرآیند کوتاه و هزینه انرژی پایین است[۱۹].

۳-۶-۱- خشک کردن با ترکیبی از انجماد و مادون قرمز

خشک کردن انجمادی یکی از بهترین راه‌ها برای خشک کردن مواد غذایی پرهزینه است. بنابراین استفاده از امواج مادون قرمز با حذف بخشی از رطوبت قبل از انجماد می تواند باعث کاهش زمان فرآیند، کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت محصولات غذایی شود[۲۰].

۳-۶-۲- خشک کردن با استفاده از ترکیب هوای داغ و مادون قرمز

خشک‌کن ترکیبی هوای گرم – فروسرخ اثر هم افزایی را فراهم میکند و در نتیجه کارایی فرایند خشک کردن را افزایش می‌دهد. هنگامی که ماده در معرض تابش فروسرخ قرار می‌گیرد، به سطح ماده برخورد و در آن نفوذ می‌کند. افزایش ارتعاشات مولکولی ناشی از جذب تشعشعات باعث ایجاد گرما در مواد، هم در لایه‌های سطحی و هم در لایه‌های داخلی به طورهم‌زمان می‌شود. در اثر گرم شدن سریع مواد، سرعت حرکت رطوبت به سمت سطح افزایش می‌یابد. جریان همرفتی هوا علاوه بر کاهش دمای سطح، رطوبت را از سطح خارج می‌کند که منجر به افزایش انتقال جرم می‌شود[۲۱].

ال مسری و همکاران (۲۰۲۳)، روش جدید خشک کردن مادون قرمز برای پردازش برش‌های سیب، ویژگی‌های خشک کردن و ویژگی‌های کیفیت را مورد بررسی قرار دادند. آنها بهترین روش را استفاده از ترکیب مادون قرمز و هوای داغ پیشنهاد داده و با این روش به فعالیت آبی کمتر از ۰/۶ برای اکثر سیبهای برش خورده دست یافتند. محصول تولیدی با نسبت باز جذب آب بهتر و رنگ و بافت مناسب‌تر به‌دست آمد. نسبت باز جذب با افزایش سرعت هوا افزایش و با افزایش شدت تابش کاهش پیدا کرد[۲۲].

بررسی فرایند رطوبت‌زدایی از قارچ خوراکی- دارویی شیتاکه، با استفاده از خشک‌کن ترکیبی هوای گرم- فروسرخ توسط دل‌انگیز و همکاران(۱۴۰۲) انجام شد. مشخص شد که با افزایش دما، سرعت و توان میزان آنتی‌اکسیدان افزایش می‌یابد و افزایش دما تأثیر چشم‌گیری روی رنگ داشت و میزان تغییرات رنگ سطح نمونه‌ها را افزایش داد. با افزایش دما، سرعت و توان زمان خشک شدن،کاهش پیدا کرد [۲۱].

۳-۷- طیف سنجی مادون قرمز

روش FTIR در اصل از تعامل اشعه های الکترومغناطیسی با ملکول‌های غذایی با انرژی مشخص عمل می‌کند. در صنایع غذایی روش طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه بسیار مناسب، مقرون به صرفه در زمان با توان عملیاتی بالاو غیر مخرب در مواد غذایی می‌باشد. به علاوه این روش در همکاری با سیستم داده‌های تحلیلی بسیار فوق‌العاده جهت توصیف غذا از مقدارهای بسیار بزرگ به سطوح جزئی در پیشرفت کنترل کیفیت آن‌ها می‌باشد[۲۳].

مول و همکاران (۲۰۲۳)، از طیف‌سنجی مادون قرمز- تبدیل فوریه برای پیش‌بینی صفات پنیرسازی درGrana Padano PDO ، استفاده نمودند. شاخص های مورد نظر(چربی،پروتئین،مواد جامد و....) انتخاب شد. سپس طول موج های منفرد جهت دقت پیش بینی خصوصیات به کار گرفته شد. این امر منجر به انتخاب بهترین شیر با راندمان پنیر سازی بالاگردید. بدین ترتیب میتوان به توسعه طیف‌سنج‌های اختصاصی با استفاده از طول‌موج‌های انتخاب‌شده با کالیبراسیون داخلی کارخانجات دست یافت[۲۴].

۳-۸- سرخ کردن

حرارت‌دهی با مکانیزم تابش در مقایسه با مکانیزم‌های هدایتی و همرفتی بسیار موثرتر است و قابلیت تولید شار حرارتی بالا در ماده‌غذایی را نسبت به فرایندهای دیگر دارد. بهینه‌سازی فرایند باعث بهبود انتقال حرارت در فراوری مواد غذایی با مادون‌قرمز شده و مصرف انرژی را در مقایسه با مکانیزم‌های انتقال حرارت هدایتی و همرفتی کاهش می‌دهد[۲۰].

تأثیر سرخ کردن مادون قرمز (IF) بر خواص فیزیکوشیمیایی برش‌های سیب سرخ شده و جذب روغن در مقایسه با سرخ کردن معمولی(به عنوان مرجع) توسط یاسو و همکاران (۲۰۲۲)، مورد بررسی قرار گرفت. (IF) تأثیر مطلوب تری بر نرخ گرمایش و راندمان حرارتی داشت که متعاقباً منجر به سرعت حذف رطوبت شد. جذب روغن در برش‌های سیب سرخ‌شده مادون قرمز در مقایسه با سرخ کردن معمولی به میزان ۱۲/۹٪ تا ۱۷/۳٪ کاهش یافت که به ریزساختار مورفولوژیکی متراکم‌تر و صاف‌تر نسبت داده شد. رنگ برش‌های سیب در روش IF بهتر حفظ شد و محتویات فنول کل و فلاونوئید دارای نرخ ماندگاری بالاتری بود. علاوه بر این، ثابت شد که سرخ کردن مادون قرمز یک فناوری امیدوارکننده برای کاهش سرعت تخریب روغن است[۲۵].

۳-۹- سایر فرآوری‌ها

متی و اوماکانتان و (۲۰۲۳)، با هدف تقویت ذاتی شوری سه نمونه نمک، که باعث کاهش مصرف و در نتیجه به حداقل رساندن خطرات سلامتی نمک می‌شود، اتمایزری بر پایه آب با طول موج ۲-۶ میکرومتر مادون قرمز میانی تولید کردند. این اتمایزر زمانی که روی نمک‌ها اعمال می‌شود، باعث تغییراتی در شیمی نمک‌ها می شود و شوری را افزایش می‌دهد، بنابراین اجازه می‌دهد مصرف نمک را ۲۵٪ تا ۳۰٪ کاهش دهد. این تکنولوژی هیچ عارضه‌ای را نشان نداد. به علاوه ایمن، قابل حمل، بسیار مقرون به صرفه و منحصر به فرد است[۲۶].

اثر خشک‌کردن مادون قرمز بر خواص شیمیایی و میکروبی تفاله انگور (Edelweiss and Marquette) توسط محمدی شاد و همکاران (۲۰۲۲) بررسی شد. این پژوهش به منظور افزودن ارزش به زباله صنعت شراب انجام شد. استفاده از مادون قرمز باعث حفظ ترکیبات زیست‌فعال گردید. بار میکروبی به میزان۹۹/۹ کاهش یافت. زمان خشک‌کردن کوتاه و کیفیت و بازده ایمنی بالاتری نسبت به روش‌های سنتی به دست آمد[۲۷].

اثرات خشک‌کردن اشعه مادون قرمز دور بر قابلیت هضم نشاسته و محتوای ترکیبات زیست فعال در انواع برنج رنگدانه‌دار در مقاله راتسوو و همکاران (۲۰۲۲)، بررسی شد. کاربرد FIR میزان ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و آنتوسیانین کل را در تمام نمونه‌های برنج افزایش داد. خواص عملکردی آنتی‌اکسیدان‌ها افزایش و قابلیت هضم نشاسته برنج کاهش یافت. مادون قرمز اثر مطلوبی بر بازده استخراج برای ترکیبات زیست فعال داشت و نهایتا برنج بنفش بهترین واریته برای خشک‌کردن با تیمار FIR عنوان شد[۲۸].

شاوندی و همکاران (۲۰۲۲)، اثر مادون قرمز بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی برنج پف کرده(برنجک) را بررسی کردند. با کاهش فاصله و با افزایش قدرتIR ، حجم پف کردن به طور قابل توجهی افزایش یافت. مادون قرمز تاثیر معنی داری بر روی رنگ،

محتوای فنل و خواص آنتی اکسیدانی داشت. افزایش میزان برآمدگی ها به طور معنا دار ایجاد شد و ااین روش، به عنوان روشی موثر برای تولید غلات حجیم شده ذکر شد[۲۹].

۴- نتیجه گیری

فرآیند مادون قرمز در مقایسه با فرآیندهای حرارتی معمولی دارای راندمان بالا و مزایای اقتصادی و زیست محیطی بسیاری است. بنابراین در صنایع فرآوری مواد غذایی، تمایل به گرمایش توسط تابش مادون قرمز در چند سال گذشته افزایش یافته است. به طور کلی با توجه به مشکلات گرمایش معمولی و کاربردهای فراوان گرمایش مادون قرمز در صنایع غذایی، انتظار می رود که این فناوری جایگزینی مناسب یا مکمل برای فرآیندهای حرارتی معمولی باشد.

۵- مراجع

۱. آسیا نژاد،ا.ح. و رضاوند حصاری،م. (۱۳۹۹). کاربردهای امواج مادون قرمز در صنایع غذایی.بیست و هفتمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران.دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

2. Puneet, k and, Lalita, s.k.c. (2022). Infrared Radiation: Principles and Applications in Food Processing.

۳. عرفانی،ع، هوشمند راد، ف و پیروزی فرد،م. خ .(۱۴۰۱). استفاده از فناوری مادون قرمز در فرآوری مواد غذایی. پنجمین همایش ملی فناوری های نوین در علوم و مدیریت صنایع غذایی ایران. تهران

4. Sumnu, G., Sahin, S., & Sevimli, M. (2005). Microwave, infrared and infrared-microwave combination baking of cakes. Journal of food engineering, 71(2), 150-155.

5. Bagheri, H., Kashaninejad, M., Ziaiifar, A. M., & Aalami, M. (2016). Novel hybridized infrared-hot air method for roasting of peanut kernels. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 37, 106-114.

6. Nowak, D., & Lewicki, P. P. (2005). Quality of infrared dried apple slices. Drying Technology, 23(4), 831-846.

7. Hong, G. P., Shim, K. B., Choi, M. J., & Min, S. G. (2009). Effects of air blast thawing combined with infrared radiation on physical properties of pork. Korean J. Food Sci. An, 29(3), 302-309.

8. Salam A. Aboud, Ammar B. Altemimi, Asaad R. S. Al-HiIphy, Lee Yi-Chen and Francesco Cacciola.(2019). A Comprehensive Review on Infrared Heating Applications in Food Processing. Journals Molecules, Volume 24, Issue 22 10.3390/molecules24224125.

9. Garima Yadav, Neeraj Gupta, Monika Sood, Nadira Anjum and Ankita Chib.2020. Infrared heating and its application in food processing. The Pharma Innovation Journal 2020; 9(2): 142-151.

10. Bagheri, Hadi.(2020). Application of Infrared Heating for Roasting Nuts. Journal of Food Quality. Volume 2020, Article ID 8813047.

11. Jianhua Huang, Yu Xu, Chuying Chen, Zhihua Song, Ming Chang, Xingguo Wang, Xiaosan Wang.(2023). Effect of infrared roasting of perilla seeds on the content of bioactive components and antioxidant capacity in oil. Journal of The American Oil Chemist' Society.

12. Vishwanathan.K, Giwari.G, Hebbar.H.(2013). Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. food and bioproducts processing 91. 89–94

13. Shui-Zhong Luo, Ye Sun, Xue Yuan, Li-Hua Pan, Zhi Zheng, Yan-Yan Zhao, Xi-Yang Zhong.(2023). Infrared radiation blanching–inhibited browning and extended shelf life of pecan kernels Journal of Food Science. 2023; 88:1566–1579.

14.Xuan Li, Zhongli Pan, Griffiths G. Atungulu, Xia Zheng, DelilahWoodb, Michael Delwiche, TaraH.McHughb. (2014). Peeling of tomatoes using novel infrared radiation heating technology. Innovative Food Science and Emerging Technologies 21 (2014) 123–130

15. DeepikaS.and Sutar, P, P.(2023). Development of effluent-free dry-peeling method for shallots (Allium cepa L. aggregatum). Spectral characterization of mid and long infrared peak wavelengths for maximizing the peeling performance. Journal of Food Science.

۱۶. پاشایی،و . و حق نظری،س. (۱۳۹۸). اثر تخمیر و روشهای پخت با مادون قرمز و سنتی بر کاهش میزان آفالتوکسین نان لواش. نشریه پژوهشهای صنایع غذایی، جلد ۲۹ شماره ۳ ، صفحات ۴۳ تا ۵۲

17. Negahdar Panirani, P, Darvishi, H Hosainpour, A, Behroozi Khazaei, N. (2023). Comparative study of different bread baking methods: Combined ohmic – infrared, ohmic – conventional, infrared – conventional,

infrared, and conventional heating. Innovative Food Science & Emerging Technologies.Volume 86, June (2023), 103349.

18. Bobuş, G Erdogdu, A, F, H. Ekiz, I.(2021). Comparison of conventional far-infrared (IR) heating to continuous IR heating–cooling for surface pasteurization of shell eggs contaminated by Salmonella enterica serotype Enteritidis. Journal of Food Processing and Preservation.

19. Abdelbaset, W.K, Alrawei, S.M, Elkhol, S, m. Eid, M.M, Abd-Elghany, A.A, Zuhair Mahmoud, M.(2021). The role of infrared waves in increasing the quality of food products. Food Science and Technology.

۲۰. دل انگیز،مطهره، شهیری طبرستانی، مائده و موقر نژاد،کامران.۱۴۰۲. خشک کردن قارچ شیتاکه با استفاده از خشک کن ترکیبی هوای گرم- فروسرخ. نشریه‌مهندسی‌شیمی‌ایران- سال‌بیست و دوم، شماره ۵۴،۱۲۷-۳۹.

21. El-Mesery, H, S. Kwami Ashiagbor, Zicheng Hu, W.G. Alshaer. (2023). A novel infrared drying technique for processing of apple slices: Drying characteristics and quality attributes. Case Studies in Thermal Engineering 52. 103676.

۲۲.عسگری،عیسی و سلمانی زاده،ساناز.۲۰۱۶. مروری بر تقلبات مواد غذایی و کاربرد طیف سنجی مادن قرمز میانی فوریر (FTIR)در شناسایی برخی تقلبات صنایع غذایی. سومین کنفرانس بین المللی علوم و مهندسی.استامبول.ترکیه

23. Molle, A. Cipolat-Gotet, C. Stocco, G. Ferragina, A. Berzaghi, P. and Summer, A. (2023). The use of milk Fourier-Transform Infrared spectra for predicting cheese-making traits in Grana Padano PDO. Journal of Dairy Science.

۲۴. رحیمی،دل آسا، کاشانی نژاد،مهدی، صادقی ماهونک، علیرضا و ضیاییفر،امان محمد.۱۳۹۷. بررسی سینتیک انتقال جرم ناگت مرغ طی پخت با سامانه مادون قرمز. مجله علوم و صنایع غذایی. شماره ۸۰ ،دوره ۱۵.

25. Ya Su, Jiayue Gao, Ying Chen, Bimal Chitrakar, Jianlin Li, Tiesong Zheng .2022. Evaluation of the infrared frying on the physicochemical properties of fried apple slices and the deterioration of oil. Food Chemistry, Volume 379, 15 June 2022, 132110.

26. Umakanthan, T. Mathi, M. (2023). Increasing saltiness of salts (NaCl) using mid-infrared radiation to reduce the health hazards. Food Science and Nutrition. 2023; 11:3535–3549.

27. Mohammadi Shad, Z. Venkitasamy, CH. Kuelbs, E. Buren Aude A.L Watrelot. (2022). Effect of infrared drying on chemical and microbial properties of Cold-Hardy grape pomace (Edelweiss and Marquette). Food Science and Nutrition. 2023; 11:1826–1835.

28. Ratseewo, J. JameWarren, F. Meeso, M. and Siriamornpun, S. (2022). Effects of Far-Infrared Radiation Drying on Starch Digestibility and the Content of Bioactive Compounds in Differently Pigmented Rice Varieties. Foods 2022, 11, 4079.

29. Shavandi, M. Javanmardi, M, Basiri, A.R. (2022). Novel infrared puffing: Effect on physicochemical attributes of puffed rice (Oryza sativa L.). Food Science and Nutrition. 2023; 11:2141–2151.