

کاربردهای امواج فراصوت در صنایع غذایی و تأثیر آن در بهبود کیفیت

فراورده‌های سوخاری

امیر حسین الهامی‌راد دکترای تخصصی علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار	مهدی کریمی دکترای تخصصی علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار	زهرا شیخ‌الاسلامی دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد	سید علی مرتضوی استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار	سپیده یوسف‌زاده ثانی* دکترای تخصصی علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار
ahelhamirad@yahoo.com	m.karimi753@yahoo.com	shivasheikhholeslami@yahoo.com	morteza1937@yahoo.com	Yosefzadeh_sani@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۵

چکیده

امروزه استفاده از امواج فراصوت با توجه به اثرات مؤثر آن در نگهداری و فرایند مواد غذایی رو به گسترش است. از این امواج برای تشخیص، اندازه‌گیری و به‌عنوان کمک فرایند در کنار سایر فرایندهای مواد غذایی استفاده می‌شود. در این مقاله مهم‌ترین کاربردهای فراصوت در مواد غذایی (استخراج ترکیبات، غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها، کاربرد در کشاورزی و ...) و همچنین تأثیر آن به‌عنوان یک روش غیرتخریبی در بهبود کیفیت فراورده‌های سوخاری، بررسی و تحلیل شده است.

واژگان کلیدی: امواج فراصوت، صنایع غذایی، فراورده‌های سوخاری، کاربرد، کیفیت

۱. مقدمه

فراصوت شامل امواج صوتی و ارتعاشات مکانیکی است که در سرتاسر محیط‌های جامد، مایع و گاز با فرکانسی بیشتر از محدوده شنوایی انسان انتشار می‌یابد. این محدوده می‌تواند از فردی به فرد دیگر متفاوت باشد و بیشتر از ۲۰ کیلو هرتز است [۱،۲].

امواج فراصوت به‌عنوان یک فناوری نوین با کاربردی ایمن و اقتصادی، با کارایی بالا و بدون هیچ‌گونه مخاطره‌ای برای محیط‌زیست شناخته شده است. از این امواج برای تشخیص و اندازه‌گیری و به‌عنوان کمک فرایند در کنار سایر فرایندهای مواد غذایی استفاده می‌شود [۳،۲].

این امواج مزایای اساسی نسبت به سایر روش‌های تجزیه‌ای و تکنیک‌های مورد استفاده برای کنترل عملیات فرایند مواد غذایی دارند، زیرا درحالی‌که بسیاری از این روش‌ها تخریبی و وقت‌گیر بوده و نیاز به نیروی کار زیاد و آماده

محدوده شنوایی انسان انتشار می‌یابد. این محدوده می‌تواند از فردی به فرد دیگر متفاوت باشد و بیشتر از ۲۰ کیلو هرتز است [۱،۲].

امواج فراصوت به‌عنوان یک فناوری نوین با کاربردی ایمن و اقتصادی، با کارایی بالا و بدون هیچ‌گونه مخاطره‌ای برای

کردن مقادیر زیادی نمونه و همچنین وجود سیستم‌هایی که نور را از خود عبور می‌دهند دارند، این روش نیازی به آماده‌سازی نمونه نداشته، دقیق و نسبتاً ارزان است و می‌تواند به سرعت (کمتر از یک ثانیه) به‌طور غیرتخریبی در طی فرایند مواد غذایی در تعیین ویژگی‌ها و کیفیت غذاها حتی مواد غذایی تغلیظ شده و بنابراین سبب افزایش راندمان و کاهش هزینه تولید محصول می‌شود [۵،۴].

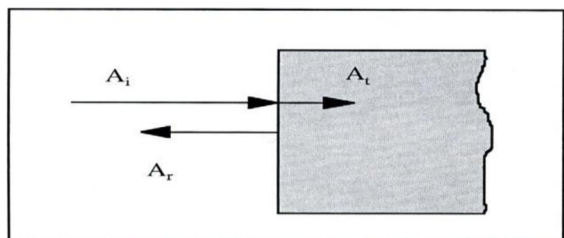
اثر فراصوت در مواد مختلف توسط فرایند تشکیل، رشد و متلاشی شدن حباب‌ها که به کاویتاسیون یا حفره‌زائی معروف است، اتفاق می‌افتد. کل این فرایند در حدود چند میکرو ثانیه اتفاق می‌افتد. کاویتاسیون در نقاط ضعیفی که از قبل در محیط وجود دارد؛ مثلاً شکاف‌های درون ذرات معلق در درون مایع که با گاز پر شده است، رخ می‌دهد و اکثر مایعات به اندازه کافی مقادیر زیادی ذرات کوچک برای ایجاد کاویتاسیون را دارند [۶، ۷۹ و ۸۰].

پس از یک مدت زمان خاص حباب‌ها دیگر قادر به جذب انرژی از امواج فراصوت نیستند و نمی‌توانند رشد کنند، و از این‌رو متلاشی می‌شوند. نزدیک مرز جامد، حفرگی ناشی از ترکیدن حباب‌ها، نامتقارن بوده و تولید جت‌های پرسرعت مایع می‌کند. جت‌های مایع باعث ایجاد ضربه‌های قوی بر روی سطح مواد جامد می‌شوند. انقباض آدیاباتیک سریع گازها و بخارها در درون حباب‌ها درجه حرارت‌های بسیار بالایی ایجاد می‌کند [۷،۸]. با این وجود این میزان بسیار بالای حرارت تولید شده نمی‌تواند بر روی توده محیط اثرگذار باشد، زیرا حباب‌ها بسیار ریز هستند و حرارت در مدت زمان بسیار کوتاهی به محیط هدر می‌رود. به عبارت دیگر برآورد شده است که سرعت سرد شدن پس از ترکیدن حباب‌ها، ۱۰ میلیارد درجه سلسیوس در هر ثانیه می‌باشد [۹، ۷۸].

هنگام برخورد امواج فراصوت به یک ماده، این امواج نیرویی را اعمال می‌کنند که اگر عمود بر سطح باشد به‌صورت موج فشاری از درون محیط عبور می‌کند و در صورتی که موازی با سطح باشد باعث ایجاد موج برشی می‌گردد. هر دو نوع موج

در هنگام عبور از محیط تضعیف می‌شوند و به این ترتیب نواحی متغیر منقبض شونده و منبسط شونده به‌وجود می‌آید [۱۰-۱۲]. در این نواحی به دلیل تغییرات فشار، حباب‌های گاز در محیط ایجاد می‌شود. این حباب‌ها در سیکل انبساط دارای سطح زیادی هستند که در این حالت انتشار گاز زیاد می‌شود. در مرحله بعد در اثر فشرده شدن حباب‌ها یک میعان سریع در داخل حباب‌ها رخ می‌دهد. مولکول‌های میعان شده به شدت به هم می‌خورند و امواج لرزشی ایجاد می‌کنند. این تغییرات ناگهانی در فشار و دما باعث تجزیه و متلاشی کردن بافت و همچنین باعث نازک شدن غشای سلولی می‌شود. به همین دلیل از این امواج در استخراج نیز استفاده می‌شود [۱۳،۱۴].

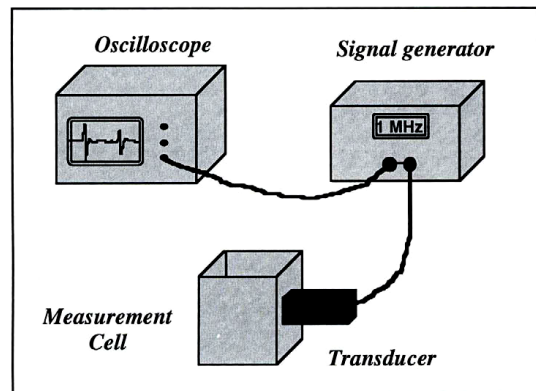
سه ویژگی مهم این امواج عبارت است از، سرعت انتشار موج فراصوت در یک ماده، وسعتی که موج ضعیف می‌شود و مقاومت ظاهری آکوستیک [۱۵]. مواد با دانسیته کمتر یا مقاومت بیشتر به تغییر شکل، سرعت پخش فراصوت بالاتری را نشان می‌دهند. مقاومت ظاهری صوت تعیین‌کننده نسبت یک موج بازتاب شده از مرز بین دو ماده می‌باشد [۱۷-۱۸]. شکل ۱ بازتاب و عبور یک موج بازتاب شده را از مرز بین یک ماده



شکل ۱. بازتاب و عبور یک موج بازتاب شده از مرز بین یک ماده

اجزای اصلی در بیشتر سیستم‌های اندازه‌گیری اولتراسوند عبارتند از قطعه اندازه‌گیری سل^۱، مولد موج الکتریکی^۲، مبدل^۳ و اسیلوسکوپ. ساده‌ترین و گسترده‌ترین تکنیک مورد استفاده در اولتراسونیک، تکنیک پالس-اکو^۴ است. مولد موج

الکتريکی یک پالس الکتريکی با فرکانس و دامنه مشخص را توليد می‌کند. سپس مبدل، پالس الکتريکی را به پالس اولتراسونیک تبديل می‌کند. بر طبق شکل ۲، پالس از نمونه موجود در قطعه اندازه‌گیری عبور می‌کند و پس از برخورد با دیواره داخلی قطعه منعکس شده و به مبدل، جایی که در آن تشخیص داده می‌شود باز می‌گردد [۸، ۱۹، ۲۰].



شکل ۲. نمایی از یک سیستم پالس-اکو اولتراسوند [۱۲]

کاربردهای فراصوت در صنعت غذا بسیار گسترده بوده و به دو قسمت متفاوت تقسیم‌بندی شده است [۸۵]. کاربرد اولتراسوند با بسامد بالا و توان کم، که از آن در اندازه‌گیری ضخامت، تعیین ترکیبات متشکله، بررسی بافت و حالت فیزیکی مواد غذایی استفاده می‌شود [۲۱، ۷۷، ۷۶]. امواج با بسامد پایین و توان بالا، که از آن به‌عنوان کمک فرایند در مواردی مانند استخراج مواد، انجماد، خشک کردن، تولید نانو امولسیون، مهار فعالیت آنزیم‌ها و غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شود [۲۴، ۲۵، ۳۰، ۸۱].

تعیین ضخامت لایه‌های چربی و گوشت بی‌چربی در بافت حیوانی مشهورترین کاربرد فراصوت در صنایع غذایی در حال حاضر است و تعدادی دستگاه تجارتي برای درجه‌بندی کیفیت گوشت وجود دارد. این کاربرد بر اساس اندازه‌گیری فواصل زمانی بین پالس‌های اولتراسونیک منعکس شده از مرزهای میان لایه‌های چربی، بافت گوشت بی‌چربی و استخوان است. مزیت این تکنیک ارزان بودن نسبی آن،

کاربرد آسان آن و پیش‌بینی کیفیت گوشت حیوانات زنده می‌باشد [۲۳، ۲۲].

نقش این امواج در تعیین ویژگی‌های مواد غذایی از جمله تعیین ضخامت و اندازه ذره، تعیین مسافت طی شده توسط سیالات، تعیین سطح سیال، تشخیص ماده خارجی و تعیین اندازه و محل آن، اندازه‌گیری سرعت جریان سیالات توسط فلومترهای اولتراسونیک، اندازه‌گیری درجه حرارت توسط ترمومترهای اولتراسونیک، خصوصا برای محیط‌های مایکروویو یا محیط‌های با درجه حرارت بالا، تعیین ترکیب و ویژگی‌های مولکولی و نیز کاربرد به‌عنوان سنسورهای تاکنون مورد پژوهش قرار گرفته است [۲۶، ۳۰، ۸۴-۸۲].

ویژگی‌های مکانیکی و نفوذپذیری فیلم‌های خوراکی نسبت به بخار آب، ضعیف است که با انجام اصلاحات فیزیکی شیمیایی مانند تیمار فراصوت (اولتراسوند) بهبود می‌یابد. همچنین، فیلم‌های خوراکی به خاطر ماهیت زیست تخریب‌پذیر بودنشان (البته با تقویت و اصلاح برخی خصوصیات فیزیکی شیمیایی آنها) می‌توانند جایگزین بسته‌بندی‌های سنتزی برای مواد غذایی مختلف نظیر نان باشند.

۲. استفاده از فراصوت در غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها

برای از بین بردن آنزیم‌ها می‌توان از روش‌های حرارتی استفاده کرد، اگرچه این عمل به راحتی قابل اجرا است، اما همیشه به دلیل ملاحظات کیفی قابل استفاده نیست. به همین دلیل امروزه علاقه به جایگزینی با روش‌های دیگر برای غیرفعال کردن آنزیم‌ها افزایش پیدا کرده است. یکی از این راه‌ها جایگزینی امواج فراصوت بالای ۲۰ کیلو هرتز است. این الگو از سه طریق باعث غیرفعال شدن آنزیم‌ها می‌گردد که ممکن است به‌صورت انفرادی یا توأم اثر کند. اولین مکانیسم صرفا حرارتی است که به دلیل افزایش حرارت حاصل از کاپیتاسیون می‌باشد. دومین اثر به دلیل ایجاد رادیکال‌های آزاد ناشی از تجزیه صوتی آب است.

مکانیسم سوم به علت نیروی برشی ایجاد شده توسط امواج و شوک است [۲۷]. بررسی‌های زیادی در زمینه استفاده از امواج فراصوت در غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها توسط گروه‌های تحقیقاتی مختلف انجام گرفته است.

لوپز و همکاران غیرفعال شدن آنزیم‌های پکتیکی^۵ را با استفاده از فشار، حرارت و امواج فراصوت مورد مطالعه قرار دادند. طبق گزارشات آنها، استفاده هم‌زمان از فشار، حرارت و امواج فراصوت موجب غیرفعال شدن آنزیم‌های پکتیکی گوجه‌فرنگی شد، هر چند حساسیت آنزیم پکتین متیل استراز^۶ به این شرایط بسیار بیشتر از پکتین گالاکتوروناز^۷ بود [۱۲،۱۱]. در تحقیقی مشابه، مقاومت آنزیم پکتین متیل استراز آب پرتقال، در شرایط واقعی و در سامانه بافر فسفات، نسبت به استفاده هم‌زمان از فشار، حرارت و امواج فراصوت بررسی شد طبق نتایج دریافتی، مقاومت این آنزیم به عوامل مذکور در سامانه بافر فسفات به مراتب کمتر از محیط آب پرتقال بود و افزایش دما تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش اثر امواج فراصوت گردید [۲۹،۲۸].

۳. استفاده از فراصوت در غیرفعال‌سازی میکروارگانیزم‌ها

روش‌های گرمایی مثل پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون، تکنیک‌های مرسوم هستند که امروزه جهت غیرفعال کردن میکروارگانیزم‌ها در مواد غذایی از آنها استفاده می‌شود. به‌هرصورت تقاضا برای به‌کارگیری روش‌های جدیدی که اثرات کم‌تری بر روی محتوای تغذیه‌ای و کیفیت غذا داشته باشند، رو به گسترش است. استفاده از گرما می‌تواند منجر به آسیب‌های حرارتی از قبیل دناتور^۸ شدن پروتئین‌ها و آنزیم‌ها شود. همچنین منجر به کاهش مواد مغذی و خصوصیات ارگانولپتیک^۹ مواد می‌شود [۳۰]. بنابراین تلاش‌هایی برای یافتن روش‌های دیگر که اثرات تخریبی کمتری بر ماده غذایی داشته باشد انجام گرفته است. مکانیزم‌های مؤثر بر غیرفعال‌سازی سلول‌های میکروبی

عبارت از کاویتاسیون، گرم شدن موضعی و تشکیل رادیکال آزاد می‌باشد [۳۷،۳۱،۳۴].

۴. استفاده از فراصوت در استخراج ترکیبات

امروزه استخراج با روش فراصوت به دلیل کارایی بالاتر و میزان مصرف انرژی و آب پایین‌تر به‌صورت جایگزینی مناسب برای روش‌های استخراج قدیمی به‌کار گرفته شده است. اثر امواج فراصوت در استخراج مواد گیاهی مربوط به شکستن سلول‌ها و رهائش محتویات آنها به محیط استخراج می‌باشد. متلاشی شدن حباب‌های کاویتاسیونی باعث به‌وجود آمدن تلاطم، برخوردهای بین ذره‌ای سرعت بالا و اغتشاش در خلل و فرج بسیار ریز ذرات ماده گیاهی می‌شود که نفوذگرایی و انتشار داخلی را تسریع می‌کند. علاوه‌براین کاویتاسیون در نزدیکی سطح مشترک مایع-جامد، جریان سریع‌السیری از مایع را از درون حفره به سطح می‌فرستد. جت‌های ریز مایع به‌وجود آمده در طی کاویتاسیون بر روی سطح ماده گیاهی برخورد کرده و باعث پوست‌گیری سطحی، فرسایش و تخریب ذره می‌شود [۳۵،۳۶،۴۳].

افزایش راندمان استخراج به‌وسیله اولتراسوند به انتشار امواج فراصوت فشاری و نیز پدیده کاویتاسیون به‌وجود آمده نسبت داده شده است. نیروهای فشاری باعث افزایش انتقال جرم مواد استخراج شونده، می‌شود. زمانی که امواج اولتراسوند با دامنه زیاد (فرکانس کم) از درون یک توده محیط عبور می‌کند، ترکیدن حباب‌های کاویتاسیونی می‌تواند در مجاورت یا در سطح غشای سلول‌های گیاهی اتفاق افتاده و باعث ایجاد شکستگی‌های بسیار ریز در آن شود. متلاشی شدن کاویتاسیونی می‌تواند بر روی سطوح گیاه رخ داده و به ایجاد جت‌های ریز هدایت شده به سمت سطح جامد منجر شود. کاویتاسیون این قابلیت را دارد که دیواره سلولی را در سطح سلول سوراخ کند. به تازگی این موضوع با اعمال تیمار فراصوت بر سلول باکتریایی نشان داده شده است [۳۷،۳۸،۴۱،۴۲].

در این زمینه، استخراج ترکیبات مختلف مانند پلی‌فنل‌ها^{۱۰}، آنتوسیانین‌ها^{۱۱}، ایزو فلاون‌ها^{۱۲} و فیبرها توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۳۹، ۴۰، ۴۴].

هوانگ و همکاران (۲۰۱۰)، استخراج آنتوسیانین از ریشه سیب‌زمینی شیرین ارغوانی را با استفاده از تکنیک فراصوت بررسی کردند که مشخص شد با افزایش زمان و دما مقدار غلظت آنتوسیانین افزایش پیدا کرد [۴۵].

بورگز و همکاران (۲۰۱۱)، استخراج آنتوسیانین از پالپ میوه نخل جوکارا را انجام دادند که مشخص شد با افزایش زمان استخراج مقدار آنتوسیانین افزایش پیدا می‌کند [۴۶].

یانگ و همکاران (۲۰۱۰)، استخراج آنتوسیانین‌های ذرت ارغوانی به کمک اولتراسوند را انجام دادند که مشخص شد با افزایش زمان استخراج مقدار آنتوسیانین افزایش پیدا می‌کند [۴۷].

تانگ و همکاران (۲۰۱۱)، اثر استخراج آنتوسیانین‌های شاه‌توت با کمک اولتراسوند را در زمان‌های ۲۰ تا ۱۰۰ دقیقه بررسی کردند که مشخص شد مقدار استخراج آنتوسیانین از زمان ۲۰ تا ۴۰ افزایش پیدا می‌کند و از زمان ۴۰ تا ۱۰۰ دقیقه تقریباً ثابت می‌باشد که به دلیل تثبیت تعادل بین حلال و مواد استخراج شده بود و بیشترین مقدار استخراج آنتوسیانین در زمان ۴۰ و برابر با ۵۶/۱۴ میلی‌گرم بود [۴۸].

چن و همکاران (۲۰۰۶) آنتوسیانین‌های تمشک قرمز را توسط فراصوت استخراج کردند و شرایط بهینه این فرایند را با بررسی تیمارهایی نظیر نسبت حلال به مواد، قدرت اولتراسوند و زمان استخراج تعیین نمودند. طبق یافته‌های آنان، نسبت حلال به مواد (۴:۱ ml/g) زمان استخراج ۲۰۰ ثانیه و قدرت اولتراسوند ۴۰۰ وات بود که تحت این شرایط ۳۴/۵ میلی‌گرم آنتوسیانین از ۱۰۰ گرم میوه تازه به دست آمد. این مقدار بر پایه آنتوسیانین اصلی شناسایی شده به نام سیانیدین^{۱۳}-۳-گلایکوزید^{۱۴} تعیین شد [۴۹]. میلانی (۱۳۸۹)، نیز امواج فراصوت را برای استخراج اینولین^{۱۵} از غده سیب‌زمینی به کار برد [۴۹].

فواید عمده استفاده از اولتراسوند در استخراج جامد-مایع، افزایش راندمان و سینتیک سریع‌تر استخراج می‌باشد. همچنین اولتراسوند با کاهش درجه حرارت عملیاتی امکان استخراج ترکیبات حساس به حرارت را فراهم می‌کند. علاوه بر این در استخراج به کمک اولتراسوند نیز مانند استخراج سوکسله^{۱۶} می‌توان از هر نوع حلالی برای استخراج طیف وسیعی از ترکیبات طبیعی استفاده کرد [۵۱-۵۲].

۵. کاربردهای فراصوت در کشاورزی

امواج فراصوت ضمن عبور از داخل بافت میوه، بسته به نوع بافت و تراکم آن تضعیف گردیده و سرعت آن نیز تغییر می‌کند. بنابراین می‌توان با محاسبه مقدار ضریب تضعیف و سرعت آن به صورت غیرمخرب، خصوصیات بافت و در نتیجه رسیدگی آن را تعیین کرد [۵۳]. طی تحقیقی بیان شده است که کاربرد امواج فراصوت در فرآیند رسیدگی سیب‌زمینی موجب تسریع عمل و بهبود کیفیت این محصول می‌گردد. در تحقیقات انتشار یافته رابطه میان پارامترهای فراصوت و رسیدگی محصولات کشاورزی بررسی شده است. افزایش ضریب تضعیف امواج فراصوت عبور کرده از بافت هندوانه با میزان رسیدگی آن گزارش شده است [۳۰، ۵۴].

۶. کاربرد اولتراسونیک در صنایع گوشت

برای اولین بار اولتراسونیک برای تشخیص بافت پیوندی در جگر گاو مورد استفاده قرار گرفت و امروزه در زمینه‌های مختلفی مانند ارزیابی باروری دام، ذبح دام، تشخیص کیفیت و قابلیت برش‌پذیری لاشه پس از ذبح کاربرد دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل رضایت‌مندی مشتریان در مصرف گوشت، تردی آن است که پس از ذبح معمولاً به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد مانند؛ آویزان کردن لاشه، خرد کردن، و استفاده از آنزیم؛ که فرایند اولتراسونیک می‌تواند جایگزین مناسبی به جای فرآیندهای فوق باشد. در واقع فرایند اولتراسونیک با پاره کردن سلول‌ها و آزاد کردن کلسیم

از کمپلکس اکتین^{۱۷} و میوزین^{۱۸} جلوگیری می‌کند و از طرفی نیز با آزاد کردن آنزیم‌های طبیعی بافت گوشت مانند کاتپسین^{۱۹} در تردی گوشت پس از ذبح مؤثر است. فرایند اولتراسونیک با شکستن ساختار سارکومری^{۲۰} در بافت ماهیچه‌ای ظرفیت نگهداری آب را افزایش می‌دهد [۳۰، ۵۵، ۵۸]. جویا سوریا و همکارانش (۲۰۰۳) تأثیر اولتراسوند را بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی گوشت بررسی و مشاهده کردند به کارگرفتن اولترا سوند روش مؤثری برای تغییر خصوصیات گوشت و محصولات گوشتی است. نتایج نشان‌دهنده این بود که بعد از به‌کارگیری ۶۰ ثانیه تیمار اولتراسوند نیروی برشی کاهش یافت. با افزایش زمان رسیدن، مزایای اولتراسوند کاهش می‌یابد و تردی گوشت بدون آنکه تأثیری بر پخت و افت کل و رنگ آن داشته باشد بهبود می‌یابد. تیمار اولتراسوند اثر قابل توجهی بر روی PH گوشت نداشت [۵۸].

۷. کاربرد فراصوت در روغن‌ها و چربی‌ها

برخی از ویژگی‌های فیزیکی مواد چرب نظیر بافت و قوام که اهمیت تجارتي دارند، بستگی به نسبت چربی جامد به مایع، در دامنه خاصی از درجه حرارت قرار دارند، بنابراین تعیین میزان چربی جامد از اهمیت خاصی برخوردار است. سرعت اولتراسوند در چربی جامد بیشتر از روغن مایع است. بنابراین اندازه‌گیری سرعت اولتراسونیک در مخلوط چربی-روغن می‌تواند در تعیین میزان چربی به کار رود [۳۰]. از اندازه‌گیری اولتراسونیک همچنین می‌توان در تعیین ترکیب روغن و کیفیت آن استفاده کرد، زیرا تری گلیسریدهای مختلف مایع موجود در روغن‌ها به دلیل تفاوت ساختمان شیمیایی، سرعت‌های اولتراسونیک متفاوتی دارند [۵۶-۵۸].

۸. اثر فراصوت‌دهی بر خواص نشاسته

نشاسته به‌عنوان مهم‌ترین منبع ذخیره‌ای در گیاهان به‌ویژه غلات، حبوبات و گیاهان غده‌ای نظیر سیب‌زمینی مطرح

است. نشاسته کاربردهای بسیاری در صنایع مختلف از جمله غذایی، دارویی، شیمیایی، کاغذسازی و نساجی دارد. در بسیاری از محصولات، نشاسته به‌طور طبیعی (مثل غذاهای تهیه شده از غلات) و یا به‌عنوان افزودنی (مانند استفاده در تهیه سس‌های خوراکی) کاربرد دارد [۵۸].

نشاسته‌های اصلاح شده در صنایع غذایی معمولاً به روش شیمیایی اصلاح شده‌اند، اما تحقیقات نشان داده که می‌توان از اصلاح فیزیکی نیز به‌عنوان یک فرایند ایمن در اصلاح نشاسته استفاده نمود. اصلاح فیزیکی می‌تواند ویژگی‌هایی مثل ویسکوزیته، حلالیت، خمیری شدن و هضم نشاسته را به میزان مطلوبی برساند. در سال‌های اخیر تأثیر امواج فراصوت بر نشاسته مورد بررسی قرار گرفته است و مشخص شده است که اصلاح نشاسته با امواج فراصوت می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های اصلاح شیمیایی نشاسته باشد و بر ویژگی فیزیکوشیمیایی سوسپانسیون نشاسته تأثیر گذارد [۵۹]. تیمار فراصوت می‌تواند بر دیسپرسیون^{۲۱} گرانول‌های نشاسته و یا بر خمیر نشاسته اعمال شود. تأثیر فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته می‌تواند از طریق ایجاد حفره در گرانول‌های نشاسته، تخریب مولکول، تخریب شیمیایی با رادیکال‌های هیدروکسیل^{۲۲} و محلول شدن گرانول نشاسته باشد [۶۰].

امواج فراصوت پیوند کربن-کربن نشاسته را تخریب می‌کند و منافذ و سوراخ‌های مخروطی شکلی روی سطح یا درون گرانول نشاسته ایجاد می‌کند که با افزایش مدت زمان اعمال فرایند، شدت صدمات وارده به گرانول افزایش می‌یابد [۶۱، ۷۴، ۷۵].

هرچه غلظت سوسپانسیون نشاسته بیشتر باشد، میزان آسیب گرانول‌ها کمتر خواهد بود. نوع تغییر ایجاد شده و میزان صدمه‌ای که به گرانول وارد می‌شود، به معنی‌داری تحت تأثیر فرکانس، توان، دما و زمان اعمال فرایند فراصوت غلظت سوسپانسیون نشاسته و تفاوت‌های گیاه‌شناسی بستگی دارد. در اثر ایجاد این شکاف‌ها و منافذ سطح ویژه گرانول‌های

نشاسته نیز زیاد می‌شود. ویسکوزیته و پایداری حرارتی نشاسته تیمار شده با امواج فراصوت نیز به‌طور معنی‌داری زیاد می‌شود که احتمالاً به علت تولید گروه‌های جدید و ایجاد اتصالات عرضی در طی تجزیه ماکرو مولکول‌ها می‌باشد. تیمار فراصوت منجر به افزایش میزان تورم و حلالیت می‌شود [۶۲، ۶۸].

کریمی و همکاران (۲۰۰۸) نشاسته طبیعی گندم و سبب‌زمینی را تحت امواج فراصوت قرار دادند و گزارش کردند که الگوی تأثیر فراصوت بر نشاسته گندم مشابه سبب‌زمینی است. نتایج نشان داد که نشاسته‌های تیمار شده با امواج فراصوت نسبت به نشاسته‌های طبیعی، ویسکوزیته حداکثر کمتر و دمای خمیری بیشتری دارند. با اعمال فراصوت، بیشتر تغییرات در دمای بالاتر از دمای ژلاتیناسیون^{۳۳} و بر اثر انهدام گرانول‌ها رخ داد [۶].

همچنین اثر فراصوت‌دهی با بسامد ۳۶۰ kHz بر نشاسته ذرت و کیتوزان مطالعه شد. نتایج نشان داد، فراصوت‌دهی باعث تجزیه مولکولی هر دو پلیمر شد [۶۳].

اثر عمل‌آوری با امواج فراصوت بر خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته‌های ذرت با محتوای آمیلوزی مختلف، توسط محققان بررسی شد. الگوی به‌دست آمده سه نمونه ذرت

عمل‌آوری شده، تفاوتی با نمونه‌های X از پراش پرتو شاهد نداشت. ضریب تورم، انحلال‌پذیری و دمای ژلاتینی شدن هر سه نوع نشاسته در اثر عمل‌آوری با امواج فراصوت افزایش یافت، درحالی‌که عامل سینرسیس^{۳۴} نشاسته‌های طبیعی و مومی ذرت، آنتالپی ژلاتینی شدن و محدوده دمای ژلاتینی شدن در هر سه نوع نشاسته کاهش یافت. همچنین، کاهش محسوسی در گرانشی هر سه نوع نشاسته مشاهده شد، درحالی‌که الگوی گرانشی همه نشاسته‌ها بدون تغییر باقی ماند. داده‌ها نشان داد، فراصوت‌دهی نواحی بی شکل را تخریب می‌کند و به آمیلوزهای خطی خیلی راحت‌تر از آمیلوپکتین^{۳۵} شاخه‌ای حمله می‌کند [۶۴].

برای بررسی استحکام ژل نمونه‌ها از آزمون تجزیه نیم‌رخ بافت (تجزیه و تحلیل مشخصات بافت) استفاده شد (جدول ۱). افزایش مدت زمان فراصوت‌دهی باعث کاهش پارامترهای سفتی بافت، پیوستگی بافت، کار لازم برای فشردگی اول، صمغی بودن و مقاومت به جویدن و افزایش پارامتر نیروی چسبندگی بافت شد. اما، بر مقدار حالت فنری نمونه‌ها اثر نداشت. شفافیت محلول نمونه‌ها در آب با افزایش مدت زمان اعمال امواج فراصوت افزایش یافت [۶۵، ۶۶].

جدول ۱. نتایج گزارش شده توسط آزمون TPA

(حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح (p < ۰/۰۵) در هر ستون است.)

زمان اعمال فراصوت (دقیقه)	مقاومت به جویدن (N)	صمغی بودن (N)	شیب (N/s)	نیروی چسبندگی (N)	حالت فنری	سفتی (N)	پیوستگی
۰	۱/۰ ± ۶۳۰/۱۱۴ ^a	۱/۰ ± ۸۷۰/۱۶۷ ^a	۱/۰ ± ۲۳۰/۰۷۷ ^a	۰/۰ ± ۰۳۰/۰۲۷ ^{ad}	۰/۰ ± ۹۷۷/۰۸۷ ^a	۲/۰ ± ۱۳۰/۱۸۷ ^a	۰/۰ ± ۸۸۰/۰۸۷ ^a
۵	۱/۰ ± ۳۹۰/۰۲۷ ^b	۱/۰ ± ۶۰۰/۰۵۷ ^b	۱/۰ ± ۰۵۰/۱۴۷ ^b	۰/۰ ± ۰۶۰/۰۰۷ ^c	۰/۰ ± ۹۶۰/۰۸۷ ^a	۱/۰ ± ۱۳۰/۳۹۷ ^b	۰/۰ ± ۸۹۰/۰۲۷ ^{ab}
۱۰	۱/۰ ± ۲۸۰/۰۶۷ ^c	۱/۰ ± ۴۳۰/۰۲۷ ^{bc}	۱/۰ ± ۰۶۰/۰۵۷ ^{bc}	۰/۰ ± ۱۰۰/۰۱۷ ^b	۰/۰ ± ۹۷۶/۰۸۷ ^a	۱/۰ ± ۵۰۰/۱۸۷ ^c	۰/۰ ± ۹۳۰/۰۶۸۷ ^b
۱۵	۰/۰ ± ۹۰۰/۰۳۳ ^d	۱/۰ ± ۲۳۰/۱۸۷ ^c	۱/۰ ± ۰۰۳/۰۲۷ ^c	۰/۰ ± ۱۵۰/۰۰۱۵ ^a	۰/۰ ± ۹۶۰/۰۵۷ ^a	۱/۰ ± ۲۳۰/۱۸۷ ^d	۰/۰ ± ۸۳۰/۰۱۷ ^c

۹. بررسی تأثیر امواج فراصوت بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی بیوپلیمرها (کارگینان و سلولز)

کاراگینان^{۲۶} پلی‌ساکاریدی سولفات و آنیونی است که از جلبک دریایی قرمز استخراج می‌شود و کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی دارند. معمولاً برای ایجاد ژل کاراگینان دیسپرسیونی، پودر کاراگینان و آب را حرارت می‌دهند، اما تحقیقات نشان داده که با استفاده از امواج فراصوت می‌توان بدون نیاز به تیمار حرارتی ژل تهیه نمود. استفاده از امواج فراصوت باعث افزایش قدرت ژل و پارامترهای بافتی می‌شود، اما با اعمال طولانی مدت فرایند فراصوت، قدرت ژل کم می‌شود [۶۷، ۸۲]. احتمالاً تیمار فراصوت باعث تخریب جزئی رشته‌ای کاراگینان و اتصالات بین رشته‌ها می‌شود. ژل‌های حاصل از تیمار فراصوت در مقایسه با ژل‌های حاصل از دیسپرسیون حرارت داده شده سفتی کمتری دارند [۸، ۶۹، ۷۰].

سلولز جزء اصلی دیواره سلولی گیاهان است و به دلیل ویژگی‌های مکانیکی منحصربه‌فرد و تجدیدپذیر بودن در بسیاری از صنایع از جمله داروسازی، پارچه‌بافی، کاغذ و صنایع غذایی کاربرد دارد، اما پلی‌ساکارید وزن مولکولی بالایی دارد و نامحلول در آب می‌باشد که کاربرد آن را محدود ساخته است. می‌توان با استفاده از تیمارهای مختلف، زنجیره سلولز را شکسته و وزن مولکولی آن را کاهش داد. استفاده از امواج فراصوت نیز در اصلاح ساختار سلولز مؤثر است. امواج فراصوت منجر به شکسته شدن پیوندهای گلیکوزیدی می‌شوند و وزن مولکولی سلولز را کاهش می‌دهد و واحدهای پلیمری کوتاه‌تری ایجاد می‌کند. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که فراصوت منجر به کوچک‌تر شدن ذرات سلولز می‌شود. این تیمار هیچ تأثیر سوئی بر سلولز ندارد و منجر به بروز واکنش‌های شیمیایی نامطلوب نمی‌گردد، بنابراین می‌توان از آن برای اصلاح سلولز بهره جست [۷۱، ۸۲].

۱۰. استفاده از فراصوت در کاهش جذب روغن و بهبود کیفیت محصولات سوخاری

با توجه به افزایش روزافزون مصرف غذاهای سرخ‌شده (سیب‌زمینی سرخ‌شده، مرغ سرخ‌شده، همبرگر و ...) در کشورهای صنعتی و پیشرفته و با توجه به تأثیر آنها در بروز بیماری‌هایی از قبیل چاقی، فشار خون بالا و کلسترول، توصیه‌های پزشکی و بهداشت جهانی عمدتاً بر کاهش میزان چربی در رژیم‌های غذایی است. روش‌های متعددی برای تولید محصولات سرخ‌شده با چربی کم وجود دارد. یکی از این روش‌ها استفاده از مواد پوشش‌دهنده می‌باشد. استفاده از پوشش قبل از سرخ کردن یک لایه یک شکل و یکنواخت را در اطراف ماده غذایی ایجاد می‌کند [۷۶، ۷۷]. علاوه بر این عطر و طعم ماده غذایی بهبود می‌بخشد. توانایی این پوشش‌ها در محدود کردن انتقال رطوبت باعث می‌شود که محصولات سرخ‌شده تردی خود را با ممانعت از انتقال رطوبت از داخل ماده غذایی به پوسته و با جذب رطوبت از محیط به داخل پوسته حفظ کنند [۷۲، ۷۳، ۸۷].

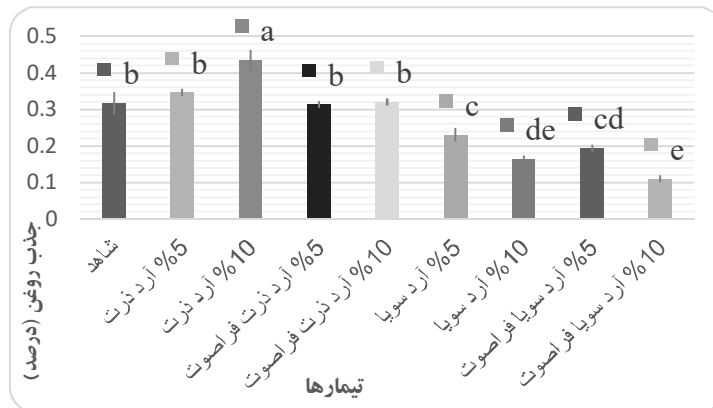
در پژوهشی خمیرابه متشکل از آرد ذرت و سویا تحت امواج فراصوت قرار گرفت و اثر آن بر کیفیت ناگت مرغ بررسی شد. آرد ذرت و سویا با سطوح ۵ و ۱۰ درصد جایگزین آرد گندم در فرمولاسیون خمیرابه شدند. برای اعمال امواج فراصوت از یک دستگاه تولیدکننده امواج فراصوت^{۲۷} UP2 (۰۰H) ساخت شرکت هلشر^{۲۸} آلمان استفاده شد [۸۶].

مجموع نتایج آزمون‌های انجام شده نشان داد که با اعمال فراصوت و استفاده هم‌زمان از آرد سویا می‌توان میزان چربی موجود در فرمولاسیون نمونه‌های ناگت را بیش از ۵۰ درصد کاهش داد، شکل ۳، بدون آنکه در میزان پروتئین، کربوهیدرات، نمک و خاکستر نمونه‌های کم چرب تغییرات چشمگیری ایجاد شود. همچنین طبق شکل ۴، نتایج آزمون حسی و پذیرش کلی رضایت‌بخش بود و کلیه تیمارها امتیاز

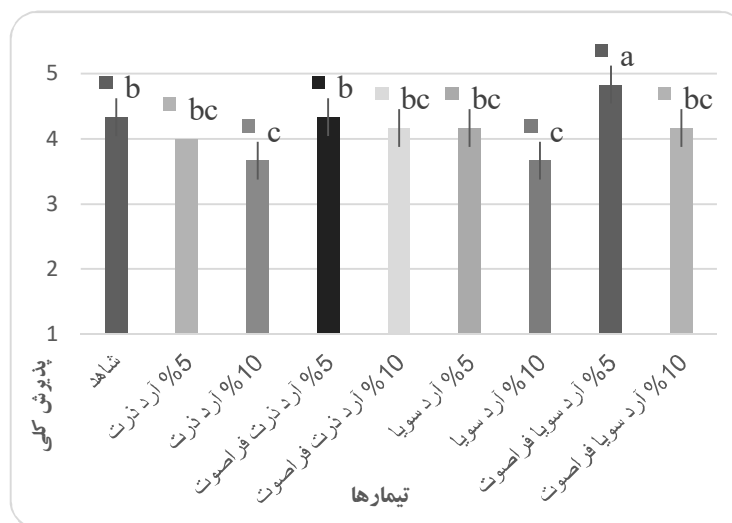
مشاهده شد، درحالی که پس از جایگزینی آرد گندم با آرد سویا و اعمال صوت، کمترین جذب روغن در پوسته‌های حاوی ۱۰ درصد آرد سویا تحت تیمار فراصوت به دست آمد.

قابل قبول کسب نمودند. همچنین نتایج آنالیز بافت نمونه‌ها حاکی از آن بود که بهترین تیمار در نمونه‌های صوت داده شده، سویای ۱۰ درصد است.

یافته‌ها به روشنی نشان دادند که در ابتدا بیشترین مقدار روغن در طی فرایند سرخ کردن عمیق در نمونه شاهد



شکل ۳. اثر پوشش دهی (در سطوح ۵ و ۱۰ درصد) و تأثیر صوت دهی بر میزان جذب روغن محصول نهایی



شکل ۴. تأثیر امواج فراصوت بر پذیرش کلی محصول سوخاری

خمیرابه باعث افزایش تعداد حباب‌های هوا در خمیر شده و افزایش تخلخل را موجب شد [۸۸].

همچنین رنگ پوسته محصول حاصل (ناگت) با افزایش درصد آرد و اعمال فراصوت بهتر شد. بافت و ظاهر عمومی حاصل از امواج فراصوت بهتر بود.

در پژوهش دیگری با افزایش زمان و درصد سرخ کردن و اعمال فراصوت میزان رطوبت نمونه‌های سوخاری افزایش یافت. در ارتباط با ارزیابی صوت بر میزان تخلخل نمونه‌ها، نسبت به نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). اعمال امواج فراصوت به دلیل هوادهی بهتر

۱۱. نتیجه‌گیری

و خشک کردن استفاده می‌شود. در این مقاله کاربردهای مختلف امواج فراصوت و نقش آن در فرآورده‌های سوخاری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به روشنی نشان داد که استفاده از صوت در پوشش‌های فرآورده‌های سرخ کردنی باعث بهبود خصوصیات کیفی و کاهش جذب روغن می‌شود.

امروزه استفاده از امواج فراصوت در ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی و غذایی مورد استفاده قرار گرفته است. از امواج اولتراسوند در مواد غذایی به‌عنوان مثال برای از بین بردن میکروارگانیزم‌ها، غیرفعال کردن آنزیم‌ها، استخراج انواع ترکیبات، امولسیون کردن، صنعت بسته‌بندی، فرآیند انجماد

۱۲. مأخذ

- [1] Azizi, R., Farahnaky, and A., "Ultrasound assisted cold gelation of kappa carrageenan dispersions", *Carbohydrate Polymers*, vol.95, no.1, 2013, pp.522– 529.
- [2] Camino, N.A., Perez, O.E., Pilosof, A. M., "Molecular and functional modification of hydroxypropyl methyl cellulose by high-intensity ultrasound", *Food Hydrocolloids*, vol.23, no.4, 2009, pp.1089– 1095.
- [3] Huang, Q., Li, L., Fu, and X. "Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules", *Starch/Stärke*, vol.59, no.8, 2007, pp.371–378.
- [4] Reddy I. and Seib P.A., "Modified Waxy Wheat Starch Compared to Modified Waxy Corn Starch", *Journal of cereal science*, vol.31, no.1, 2000, pp.25-39.
- [5] Herceg, I. L., Jambrak, A. R., Šubrlić, D., Brnčić, M., Brnčić, S. R., Badanjak, M., & Herceg, Z., "Texture and pasting properties of ultrasonically treated corn starch", *Czech J. Food Sci*, vol.28, no.2, 2010, pp.83-89.
- [6] Karimi M., Poor Azarang H., and Nasiri M., "The effect of ultrasound on some properties of potato and wheat starches", *J. Agric. Eng. Res.*, vol.1, 2008, pp.95-108.
- [7] Craig S.A.S., Maningat C.C., Seib P.A., and Hosney R.C., "Starch paste clarity", *Cereal Chem.*, vol.66, 1989, pp.173-182.
- [8] Majzoubi M., Radi M., Farahnaky M., and Jamaljan J., "Physico-chemical properties of phosphoryl chloride cross-linked Wheat Starch", *Iran. Polym. J.*, vol.18, 2009, pp.491-499
- [9] Ratnayake, W. S. and Jackson, D. S. "A new insight into the gelatinization process of native starches", *Carbohydr. Polym*, vol.67, no.4, 2007, pp.511-529.
- [10] Manas, P., Munoz, B., Sanz, D., Condon, S., "Inactivation of lysozyme by ultrasonic waves under pressure at different temperatures" *Enzyme and Microbial Technology*, vol.39, no.6, 2006, pp.1177-1182.
- [11] Lopez, P., Burgos, J., "Lipoxygenase inactivation by manothermosonication: effects of sonication physical parameters, pH, KCl, sugars, glycerol, and enzyme concentration", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol.43, no.3, 1995, pp.620-625.
- [12] Lopez, P., Sala, F.J., de la Fuente, J., Condon, S., Raso, J. Burgos, J., "Inactivation of peroxidase, lipoxygenase, and polyphenol oxidase by manothermosonication", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol.42, no.2, 1994, pp.252- 256.
- [13] Vercet, A., Burgos, J., Crelier, S., Lopez- Buesa, P., "Inactivation of proteases and lipases by ultrasound", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol.2, no.2, 2001, pp.139- 150.
- [14] Iida, Y., Tuziuti, T., Yasui, K., Towata, A., Kotuku. T., "Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol.9, no.2, 2008, pp.140–146.

- [15] Karaman, S., Yilmaz, M.T., Ertugay, M.F., Baslar, M., Kayacier, "Aeffect of ultrasound treatment on steady and dynamic shear properties of glucomannan based salep dispersions: Optimization of amplitude level, sonication time and temperature using response surface methodology", *Ultrasonic Son chemistry*, vol.19, no.4, 2012, pp.928-938.
- [16] Soria, A. C., Villamiel, M., "Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review", *Trends in Food Science & Technology*, vol.21, no.7, 2010 pp.323-331.
- [17] Wong, S. S., Kasapis, S., Tan, Y.M., "Bacterial and plant cellulose modification using ultrasound irradiation", *Carbohydrate Polymers*, vol.77, no.2, 2009, pp.280-287.
- [18] Huang, Q., Li, L. and Fu, X., "Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules", *Starch – Stärke*, vol.59, no.8, 2007, pp.371-378.
- [19] Donald, A. M., "Understanding Starch Structure and Functionality", *Starch in Food: Structure, Function and Applications*, 2004, PP.156-184.
- [20] Gallant, D., Degrois, M., Sterling, C. and Guilbot, A., "Microscopic effects of ultrasound on the structure of potato starch preliminary study", *Starch – Stärke*, vol.24, no.4, 1972, pp.116-123.
- [21] Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., Youssef, M.M., "Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review", *Food Research International*, vol.48, no.2, 2012, pp.410-427.
- [22] Azizi, R., Farahnaky, A., "Ultrasound assisted cold gelation of kappa carrageenan dispersions" *Carbohydrate Polymers*, vol.95, no.1, 2013, pp.522-529.
- [23] Camino, N.A., Perez, O.E., Pilosof, A. M., "Molecular and functional modification of hydroxypropy lmethyl cellulose by high-intensity ultrasound" *Food Hydrocolloids*, vol.23, no.4, 2009, pp.1089-1095.
- [24] Huang, Q., Li, L., Fu, and X., "Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules", *Starch/Stärke*, vol.59, no.8, 2007, pp.371-378.
- [25] Iida, Y., Tuziuti, T., Yasui, K., Towata, A., Kozuka. T., "Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol.9, no.2, 2008, pp.140-146.
- [26] Zhu, J., Li, L., Chen, L., Li, X., "Study on supramolecular structural changes of ultrasonic treated potato starch granules", *Food Hydrocolloids*, vol.29, no.1, 2012, pp.116-122.
- [27] Albert, A., Varela, P., Salvador, A., & Fiszman, S. M., "Improvement of crunchiness of battered fish nugget", *European Food Research Technology*, vol.228, no.6, 2009, pp.923-930.
- [۲۸] ابوالقاسمی، ر.، عمادی، ب.، اق خانی، م.، بیرقی طوسی، ش. "تعیین پارامترهای رسیدگی هلو با استفاده از امواج فراصوت" پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی/ایران، دوره ۵، شماره ۱ (نیمه اول)، ۱۳۸۸، صص. ۶۳-۷۴
- [۲۹] میلانی، ا.، اپوراژرنگ، ه.، کدخدایی، ر.، وطن خواه، ش. "بررسی کارایی امواج فراصوت در استخراج اینولین از غده سیب زمینی و بهینه سازی شرایط استخراج به روش سطح پاسخ" نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی، جلد. ۶، ۱۳۸۹، صص. ۲-۶.
- [۳۰] شریفی، ا.، ایوز، م. "بررسی روش‌های استخراج و کاربرد امواج فراصوت به‌عنوان یک روش غیر تخریبی"، ۱۳۹۲، صص. ۲-۴
- [31] Dolatowski Z.J., Stadnik J., and Stasiak D., "Applications of Ultrasound in Food Technology", *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, vol.6, no.3, 2007, pp.88-99.
- [32] Czechowska-Biskupa R., Rokitaa B., Lotfyb S., Ulanskaia P., and Rosiaka J.M., "Degradation of Chitosan and Starch by 360- kHz Ultrasound", *Carbohydr. Polymers*, vol.60, no.2, 2005, pp.175-184.
- [33] Luo Z., Fu X., He X., Luo F., Gao Q., and Yu S., "Effect of Ultrasonic Treatment on the Physicochemical Properties of Maize Starches Differing in Amylose Content", *Starch/Stärke*, vol.60, no.11, 2008, pp.646-653.

- [34] Jambrak A.R., Herceg Z., Subaric D., Babic J., Brncic M., Brncic S.R., and Bosiljkov T., Cvek D., Tripalo B., Gelo J., "Ultrasound Effect on Physical Properties of Corn Starch", *Carbohydrate Polymers*, vol.79, no.1, 2010, pp.91-100.
- [35] Huang Q., Li L., and Fu X., "Ultrasound Effects on the Structure and Chemical Reactivity of Corn Starch Granules", *Starch/ Stärke*, vol.59, no.8, 2007, pp.371-378.
- [36] Chung K.M., Moon T.W., Kim H., and Chun J.K., "Physicochemical properties of sonicated mung bean, potato, and rice starches", *Cereal Chemistry*, vol.79, no.5, 2002, pp.631-633.
- [37] Wang L. and Wang Y.J., "Application of high-intensity ultrasound and surfactants in rice starch isolation", *Cereal Chemistry*, vol.81, no.1, 2004, pp.140-144.
- [38] Ovsianko, S. L., Chernyavsky, E. A., Minchenya, V. T., Adzerikho, I. E., & Shkumatov, V. M., "Effect of ultrasound on activation of serine proteases precursors", *Ultrasonics sonochemistry*, vol.12, no.3, 2005, pp.219-223.
- [39] Mason, T.J., Paniwnyk, L., Lorimer, J.P. "The use of ultrasound in food technology", *Ultrasonic Son chemistry*, vol.3, no.3, 1996, pp.5253-5266.
- [40] Ahmadi, F, et al., "Antioxidant activity of *Kelussia odoratissima* Moza, in model and food systems", *Food Chemistry*, vol.105, no.1, 2007 pp.57- 64.
- [41] Povey, M.J.W. and McClements, D.J., "Ultrasonic in food engineering. Part I: Introduction and Experimental methods", *Journal of Food Engineering*, vol.8, no.4, 1989 pp.217-245.
- [42] Povey, M.J.W., "Ultrasonic in food engineering. Part II: Applications", *Journal of Food Engineering*, vol.9, no.1, 1989 pp.1-20.
- [۴۳] احمدزاده قويدل، ر، احمدی، س،، شیخ الاسلامی، ز. "استخراج آنتوسیانین از ریحان قرمز به عنوان گیاهی دارویی برای پیشگیری از سرطان‌ها، توسط اولتراسوند، به روش پاسخ سطح" سومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی، قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان، ۱۳۹۲.
- [۴۴] احمدی، س،، یوسفزاده، س،، طاهری، م. "بهینه سازی استخراج آنتوسیانین از گیاه حسن یوسف، توسط اولتراسوند، به روش پاسخ سطح"، سومین همایش ملی امنیت غذایی، ۱۳۹۲، صص. ۲-۴.
- [45] Huang, C. L, et al. "Optimization for the Anthocyanin Extraction from purple Sweet Potato Roots, Using Response Surface Methodology", *J. Taiwan Agric. Res*, vol.59, no.3, 2010, pp.143-150.
- [46] Borges, G. D. S. C., Vieira, F. G. K., Copetti, C., Gonzaga, L. V., & Fett, R., "Optimization of the extraction of flavanols and anthocyanin's from the fruit pulp of *Europe edulis* using the response surface methodology", *Food Research International*, vol.44, no.3, 2011, pp.708 –715.
- [47] Yang, Z., & Zhai, W., "Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob and identification with HPLC–MS", *Innovative food science & emerging technologies*, Vol.11, no.(3), 2010, pp.470-476.
- [48] Tang, Z., et al., "Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Anthocyanin's from Mulberry", *Using Response Surface Methodology. Int. J. Mol. Sic*, 2011, pp.3006-3017.
- [49] Chen, F., Sun, Y., Zhao, G., Liao, X., Hu, X., Wu, J., & Wang, Z., "Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanins in extract using high-performance liquid chromatography–mass spectrometry", *Ultrasonics Sonochemistry*, vol.14, no.6, 2007, pp.767-778.
- [50] Luque-Garcia, J. L., & De Castro, M. L., "Ultrasound: a powerful tool for leaching", *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol.22, no.1, 2003, pp.41-47.
- [51] Wang, L., & Weller, C. L., "Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants", *Trends in Food Science & Technology*, vol.17, no.6, 2006, pp.300-312.

- [52] Romdhane, M., & Gourdon, C., “Investigation in solid–liquid extraction: influence of ultrasound”, *Chemical Engineering Journal*, vol.87, no.1, 2002, pp.11-19.
- [53] Seshadri, R., Weiss, J., Hulbert, G. J., & Mount, J., “Ultrasonic processing influences rheological and optical properties of high-methoxyl pectin dispersions”, *Food Hydrocolloids*, vol.17, no.2, 2003, pp.191-197.
- [54] Funami, T., Zhang, G., Hiroe, M., Noda, S., Nakauma, M., Asai, I., & Phillips, G. O., “Effects of the proteinaceous moiety on the emulsifying properties of sugar beet pectin”, *Food Hydrocolloids*, vol.21, no.8, 2007, pp.1319-1329.
- [55] Garna, H., Mabon, N., Robert, C., Cornet, C., Nott, K., Legros, H., & Paquot, M., “Effect of extraction conditions on the yield and purity of apple pomace pectin precipitated but not washed by alcohol”, *Journal of Food Science*, vol.72, no.1, 2007.
- [56] Panchev, I. N., Kirtchev, N. A., & Kratchanov, C. G., “On the production of low esterified pectins by acid maceration of pectic raw materials with ultrasound treatment”, *Food Hydrocolloids*, vol.8, no.1, 1994, pp.9-17.
- [57] Altunakar, B., Sahin, S., & Sumnu, G., “Functionality of batters containing different starch types for deep-fat frying of chicken nuggets”, *European Food Research and Technology*, vol.218, no.4, 2004, pp.318-322.
- [58] Jayasooriya, S. D., Torley, P. J., D’arcy, B. R., & Bhandari, B. R., “Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles”, *Meat Science*, vol.75, no.4, 2007, pp.628-639.
- [59] Sagas, J. F., Zayas, Y. F., Gorbato, W.M., and Gorbato, V.M., “Use of ultrasonic sin meat technology, II”, *Fleischwirtschaft*, vol.58, no.7, 1978b, pp.1143-6.
- [60] Sumnu, S. G., & Sahin, S. (Eds.), “*Advances in deep-fat frying of foods*” CRC Press, 2008, pp.243-261
- [61] Pryor, A. W., Reed, R. D. C., & Richardson, E. G., “The propagation of ultrasonic waves in sols and gels”, *Recent Advances in Gelatin and Glue Research*, 1958
- [62] Dogan, S. F., Sahin, S., & Sumnu, G., “Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets”, *Journal of Food Engineering*, vol.71, no.1, 2005, pp.127-132.
- [63] Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X., “Starch—composition, fine structure and architecture”, *Journal of Cereal Science*, vol.39, no.2, 2004, pp.151-165.
- [64] Mason, W. R., “Starch use in foods”, In *Starch (Third Edition)*, 2009, pp. 745-795.
- [65] Farahnaky A., Majzoobi M., and Mesbahi G.R., “Properties and Application of Hydrocolloids in Food and Medicinal Products”, *Elm-e- Keshavarzi-e- Iran, Tehran, 1st ed.*, 2009, pp.113-185.
- [66] Lewandowicz, G., Jankowski, T., & Fornal, J., “Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches” *Carbohydrate Polymers*, vol.42, no.2, 2000, pp.193-199.
- [67] Cheyne, A., Barnes, J., Gedney, S., & Wilson, D. I., “Extrusion behaviour of cohesive potato starch pastes: II. Microstructure–process interactions” *Journal of food engineering*, 2005, vol.66, no.1, pp. 13-24.
- [68] Kim, N. H., Kim, J. H., Lee, S., Lee, H., Yoon, J. W., Wang, R., & Yoo, S. H., “Combined effect of autoclaving-cooling and cross-linking treatments of normal corn starch on the resistant starch formation and physicochemical properties”, *Starch-Stärke*, vol.62, no.7, pp.358-363.
- [69] Soria, A. C., & Villamiel, M., “Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review” *Trends in Food Science & Technology*, vol.21, no.7, pp.323-331.

- [70] Quinton, L. A., & Kennedy, J. F., "American Association of Cereal Chemists Approved Methods", CD-ROM: American Association of Cereal Chemists, 2000, ISBN: 1-891127-13-6.
- [71] Leach H.W., McCowen L.D., and Schoch T.J., "Structure of the Starch Granule: Swelling and Solubility Patterns of Various Starches", *Cereal Chem.*, vol.36, 1995, pp.534-544.
- [72] Millard, M. M., Dintzis, F. R., Willett, J. L., & Klavons, J. A., "Light-scattering molecular weights and intrinsic viscosities of processed waxy maize starches in 90% dimethyl sulfoxide and H₂O". *Cereal Chemistry*, vol.74 no.5 1997, pp. 687-691.
- [73] Harding, S. E., "The intrinsic viscosity of biological macromolecules. Progress in measurement, interpretation and application to structure in dilute solution" *Progress in biophysics and molecular biology*, vol.68, no.2-3, 1997, pp.207-262.
- [74] Sodhi, N. S., & Singh, N., "Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India", *Food Chemistry*, vol.80, no.1, pp.99-108.
- [75] Torley, P. J. and Bhandari, B. R., "Ultrasound in Food Processing and Preservation", *Rahman, S. (Ed.) Handbook of Food Preservation*. CRC Press, 2007.
- [76] Zuo, J. Y., Knoerzer, K., Mawson, R., Kentish, S., & Ashokkumar, M., "The pasting properties of sonicated waxy rice starch suspensions", *Ultrasonics sonochemistry*, vol.16, no.4, 2009, pp.462-468.
- [77] Luo, Z., Fu, X., He, X., Luo, F., GAO, Q., & Yu, S., "Effect of ultrasonic treatment on the physicochemical properties of maize starches differing in amylose content", *Starch-Stärke*, vol.60, no.11, 2008, pp.646-653.
- [78] Karaman, S., Yilmaz, M. T., Ertugay, M. F., Baslar, M., & Kayacier, A., "Effect of ultrasound treatment on steady and dynamic shear properties of glucomannan based salep dispersions: optimization of amplitude level, sonication time and temperature using response surface methodology", *Ultrasonics sonochemistry*, vol.19, no.4, 2012, pp.928-938.
- [79] Soria, A. C., & Villamiel, M., "Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review" *Trends in Food Science & Technology*, vol.21, no.7, 2010, pp.323-331.
- [80] Wong, S. S., Kasapis, S., & Tan, Y. M., "Bacterial and plant cellulose modification using ultrasound irradiation" *Carbohydrate Polymers*, vol.77, no.2, 2009, pp.280-287.
- [81] Zhu, J., Li, L., Chen, L., & Li, X., "Study on supramolecular structural changes of ultrasonic treated potato starch granules", *Food Hydrocolloids*, vol.29, no.1, 2012, pp.116-122.
- [۸۲] هدایتی، س.، شهیدی، ف.، "تعیین پارامترهای فیزیکی شیمیایی پلیمرها با استفاده از امواج فراصوت" ۱۳۹۲
- [83] Salleh-Mack, S. Z., & Roberts, J. S., "Ultrasound pasteurization: the effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of Escherichia coli ATCC 25922" *Ultrasonics sonochemistry*, vol.14, no.3, 2007, pp.323-329.
- [84] Tiwari, B. K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C. P., & Cullen, P. J., "Effects of sonication on the kinetics of orange juice quality parameters", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol.56, no.7, 2008, pp.2423-2428.
- [85] Valero, M., Recrosio, N., Saura, D., Muñoz, N., Martí, N., & Lizama, V., "Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing" *Journal of Food Engineering*, vol.80, no.2, 2007, pp.509-516.
- [۸۶] یوسف زاده ثانی، س.، شیخ الاسلامی، ز.، صالحی، ا.، "ارزیابی تأثیر فراصوت بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی ناگت مرغ سرخ شده به روش عمیق"، *نشریه علوم و صنایع غذایی*، ج.۴۹، ۱۳۹۲، ص.۱۷۷-۱۸۵.

[87] Dogan, S. F., Sahin, S., & Sumnu, G., “Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets”, *Journal of Food Engineering*, vol.71, no.1, 2005, pp.127-132.

[88] Durán, M., Pedreschi, F., Moyano, P., & Troncoso, E., “Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling” *Journal of food Engineering*, vol.81, no.1, 2007, pp.257-265.

پی نوشت:

1. Cell Measurement
2. Signal Generator
3. Transducer
4. Echo Pulse
5. pecticy
6. Pectin methyl esterase
7. Pectin galacturonase
8. Denatured
9. Organoleptical
10. Polyphenols
11. Anthocyanin
12. Isoflavones
13. Cyanidin
14. Glycoside
15. Inulin
16. Soxhlet
17. Actin
18. Myosin
19. Cathepsin
20. Sarcomere
21. Dispersion
22. Hydroxyl
23. Gelatinization
24. Syneresis
25. Amylopectin
26. Carrageenan
27. Ultrasonic Processo
28. Hielscher