مقاله

بررسی تأثیر امواج فراصوت بر بهبود کیفیت آرد و فراورده‌های نانوایی

زهرا شیخ‌الاسلامی
بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضـوی، سازمان تحقیـقات، آموزش و ترویـج کشاورزی، مشهد
shivasheikholeslami@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۲۵

چکیده

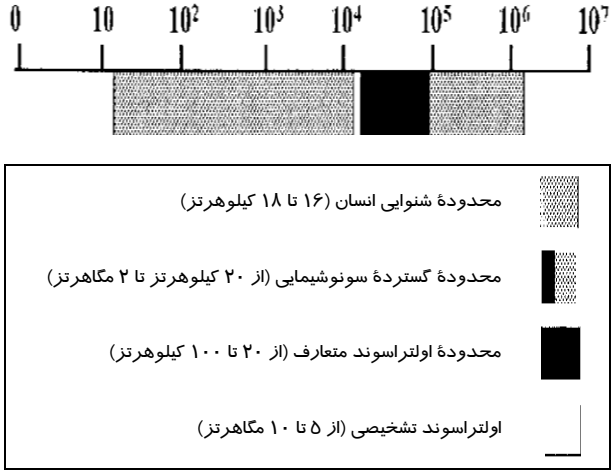
امروزه استفاده از امواج فراصوت به‌عنوان یک فناوری نوین در بهبود کیفیت محصولات نانوایی مورد توجه بسیار قرار گرفته است. در این مقاله اثر امواج فراصوت بر بهبود کیفیت نان تهیه‌شده از آرد با گلوتن ضعیف، تشدید فرایندهای اکسیداسیون از طریق اعمال هوادهی، استفاده اا‌ز این امواج به‌عنوان جایگزین مناسبی برای رنگبرهای شیمیایی در سفیدکردن آرد، به‌کارگیری امواج فراصوت به‌منظور دستیابی به نوعی امولسیون یکنواخت‌تر با اندازهٔ قطرات کوچکتر جهت پایداری و بهبود کیفیت کیک، تهیهٔ کیک بدون تخم مرغ از طریق اعمال صوت بر خمیر و تأثیر اولتراسوند در فرایند آسیابانی و کوتاهتر شدن زمان مشروط کردن گندم در آسیاب بررسی و در نهایت نتایج مثبت و چشمگیر استفاده از امواج فراصوت در صنایع آسیابانی و پخت تحلیل می‌شود.

واژگان کلیدی: امواج فراصوت ، نان، کیک، آسیابانی

۱. مقدمه

نخستین مقوله‌ای که در مورد کاربرد امواج فراصوت به ذهن متبادر می‌شود، کاربرد آن در برقراری ارتباط حیوانات با پیرامون است. مثلاً خفاش‌ها و پرندگان شکارچی به هنگام پرواز از امواج فراصوت برای جهت‌یابی استفاده می کنند و یا مرغابی‌ها و حیوانات آبزی برای تعیین محل انعکاس صوت از امواج فراصوت ضعیف بهره می‌برند [۱]. اساس تولید اولتراسوند امروزی به سال ۱۸۸۰ م، زمانی‌که اثر پیزوالکتریسیته (دو اثر تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی و معکوس) توسط کوری‌ها کشف شد بازمی‌گردد. هرچند پیش از آن، در سال ۱۸۴۷ م، ژول نتیجهٔ تحقیق خود بر روی مگنواستریکشن را منتشر کرد [۲]. امواج فراصوت به امواج با فرکانس بیش از ۱۸ کیلوهرتز اطلاق می‌شود که توسط انسان قابل شناسایی نیستند و در دو محدوده (فرکانس پایین: ۱۸ تا ۱۰۰ کیلو هرتز) و ضعیف (فرکانس بالا: ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۰ مگاهرتز)، طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۱). حیوانات میلیون‌ها سال است که از فراصوت برای تشخیص و تغییرات و یافتن غذا استفاده می کنند. خفاش‌ها و دلفین‌ها امواج اولتراسوند با شدت پایین را جهت تشخیص اندازه، شکل و حرکت حشرات به‌کار می برند، در حالی‌که برخی از انواع موجودات دریایی امواج

اولتراسوند با شدت بالا را جهت بی‌هوش کردن طعمهٔ خود قبل از شکار استفاده می‌کنند. طی سال‌های اخیر، انسان نیز به استفاده از امواج فراصوت جهت تشخیص خواص و بهبود فرایند مواد غذایی روی آورده است؛ درست همانند طبیعت، انسان نیز از این امواج در دو بخش، شدت بالا و پایین، بسته به نوع استفادهٔ امواج استفاده نمود [۳]. سازوکارهای تأثیرگذاری امواج فراصوت در فرآوری مواد غذایی عبارت‌اند از تحریک فعالیت سلول‌های زنده و تخریب سونوشیمیایی [۴]. از جمله بزرگترین صنایع با پتانسیل استفاده از امواج فراصوت قوی، صنایع غذایی و دارویی هستند. از امواج فراصوت قوی می‌توان در برش، پوست‌گیری، انهدام سلول‌ها، استخراج، تسریع فعالیت‌های آنزیمی در مواد غذایی مایع، تسریع تخمیرهای میکروبی، مخلوط، هموژنیزه و پخش‌کردن یک پودر خشک در مایع، امولسیونه‌کردن روغن یا چربی در جریان مایع، اسپری و الک‌کردن، بسته بندی، خروج گاز، غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها، از بین بردن میکروارگانیسم‌ها، کریستالیزاسیون، کاتالیزور و کمک اکسیداسیون و جز این‌ها استفاده کرد [۵–۱۱].



شکل ۱. دامنهٔ امواج صوتی مختلف

امروزه فرایندهای فراصوت در صنایع غذایی متداول شده‌اند و با هدف تجزیه یا اصلاح خواص مواد غذایی به‌کار می روند. اولتراسوند با شدت پایین یک فرایند غیرمخرب است که برای تعیین خواص فیزیک و شیمیایی ترکیبات، ساختمان، حالت فیزیکی و جز این‌ها به‌کار می‌رود و اولتراسوند با شدت بالا که جهت فرایندهای فیزیکی و شیمیایی نظیر تولید امولسیون، تخریب سلول‌ها، تسریع واکنش‌های شیمیایی، بازدارندگی آنزیم‌ها، تردکردن گوشت و بهبود فرایند کریستالیزاسیون به‌کار می‌رود [۲–۳]. بررسی تأثیر امواج فراصوت بر هموژنیزه کردن شیر و تخمیر با سوش‌های ماست نشان داد که صوت زمان تخمیر را کاهش می‌دهد و قابلیت جذب آب و سینرسیس را در ماست بهبود می‌بخشد و اثر مثبتی در هموژنیزاسیون شیر دارد [۱۲]. امواج فراصوت آثار خود را از طریق واکنش کاویتاسیون می‌گذراند. کاویتاسیون شامل تشکیل، رشد و در برخی موارد ترکیدن حباب‌های ریز ایجادشده در مایع، ناشی از عبور صوت است. متلاشی‌شدن حباب‌ها منجر به تجمع انرژی در نقاط داغ می‌شود که برخی موارد حرارت آن به ۵۰۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد و فشاری حدود ۵۰۰ مگاپاسکال ایجاد می‌کند. این الگو می‌تواند سبب نفوذ سریع آب به داخل گندم از طریق سه سازوکار گردد که ممکن است به‌صورت انفرادی و یا توأم اثر کند. مورد نخست آن صرفاً حرارتی ناشی از افزایش حرارت حاصل از کاویتاسیون است؛ مورد دوم به‌دلیل ایجاد رادیکال‌های آزاد

ناشی از سونولیز آب است و سازوکار سوم به‌دلیل نیروهای مکانیکی (نیروی برشی) ایجادشده توسط امواج ریز و شوک [۱۳].

تأثیر امواج فراصوت بر فعالیت پروتئولیتیکی پروتئازهای سرین نشان می‌دهد که فعالیت این آنزیم‌ها در اثر اعمال فرایند صوت (۲۶/۴ کیلوهرتز) کاهش چشمگیری پیدا می کند [۱۴]. تأثیر امواج فراصوت بر دو آنزیم پروتئولیتیک و دو آنزیم لیپولیتیک بررسی شد و نشان داد که غیرفعال سازی پروتئازها توسط صوت به‌شدت تحت تأثیر درجه حرارت است؛ همچنین در مورد آنزیم‌های لیپولیتیک غیرفعال‌شدن به ساختمان مولکولی، اندازه و محیط تیمار بستگی دارد [۱۵]. مهم‌ترین تفاوت امواج فراصوت مورد استفاده در فرآوری یا آنالیز ترکیبات غذایی شدت آنهاست. در شدت‌های پایین امواج قادر به تغییر ویژگی‌های محیطی که در آن منتشر می‌شوند نیستند [۱].

فناوری اولتراسوند، که نخستین‌بار در زمینه‌های پزشکی و دریانوردی مورد استفاده قرار گرفت، امروزه توجه پژوهشگران بسیاری را در حوزهٔ صنایع غذایی جلب نمود. تاکنون از این فناوری در صنایع غذایی استفاده‌های فراوانی شده است. کاهش زمان تخمیر به ۰/۵ ساعت پس از تلقیح با استفاده از امواج اولتراسوند [۱۲]، کاهش اندازهٔ کریستال یخ در بستنی [۱۶]، جلوگیری از ضایع‌شدن عطر و طعم و صرفه‌جویی قابل توجه در پاستوریزاسیون حرارتی آبمیوه های شیرین [۱۷]، استخراج کلاژن از تاندون‌های گاو [۱۸]، استخراج آلومینوم از نوشیدنی‌ها و آبمیوه‌ها [۱۹] از جمله موارد استفاده از اولتراسوند در صنایع غذایی است.

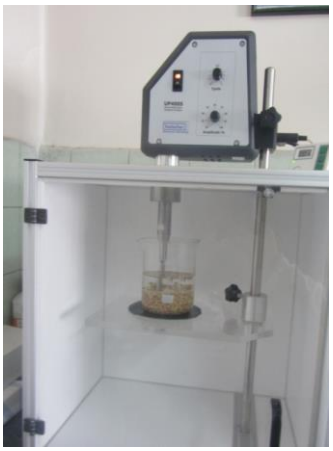
مهمترین نتیجهٔ به‌دست‌آمده در مورد استفاده از امواج فراصوت در محصولات نانوایی، تسریع اکسیداسیون و افزایش هوادهی بوده است. یافته‌ها به‌روشنی نشان می‌دهد که امواج فراصوت باعث می‌شود هوادهی به‌خوبی انجام شود و در نتیجه پارامترهایی چون حجم مخصوص و تخلخل بهبود و بافت نان نرم‌تر گردد، رطوبت نان افزایش یابد و رنگ پوسته و مغز نان روشن‌تر شود [۲۰]. شیخ الاسلامی و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر امواج فراصوت بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر و کیفیت نان حاصل از گندم سن‌زده را بررسی نمودند [۲۱]. نتایج نشان داد که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد در زمان ۵ دقیقه بهترین اثر را در حفظ خصوصیات رئولوژیک خمیر داشت. اعمال صوت، جذب آب آرد، ثبات خمیر، کشش‌پذیری و مقاومت به کشش خمیر را بهبود می‌بخشید. کارمن (۲۰۱۱) نیز از امواج فراصوت در محصولات نانوایی استفاده کرد. هدف او افزایش کیفیت محصولات بدون گلوتن بود و نشان داد که در صورت استفاده ازصوت در محصولات بدون گلوتن حجم و بافت آن به‌طور معناداری بهتر شد [۲۲].

تان و همکاران (۲۰۱۱) نیز اثر فراصوت را بر اختلاط بهتر خمیر کیک اسفنجی ارزیابی کردند [۲۰]. آنها از اولتراسوند در دامنهٔ ۱ تا ۲/۵ کیلووات در زمان بین ۳ تا ۹ دقیقه در ۳ مدل کیک اسفنجی استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که استفاده از اولتراسوند قادر به افزایش قدرت مخلوط‌کردن به وسیلهٔ کاهش چگالی خمیر، بهبود شاخص رفتار جریان، افزایش هوادهی و ویسکوزیتهٔ بیشتر نسبت به نمونه بدون اولتراسوند شد. کیک تولیدشده با قدرت ۲/۵ کیلووات اولتراسوند و زمان مخلوط‌کردن ۹ دقیقه بهترین کیفیت، سفتی کمتر بافت، قابلیت اسفنجی و انعطاف‌پذیری بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت. هدف این مقاله بررسی تأثیر امواج فراصوت بر بهبود کیفیت آرد و فراورده‌های نانوایی و معرفی آن به‌عنوان یک فناوری نو در صنعت نانوایی می‌باشد.

۲. تأثیر امواج فراصوت بر فرایند آسیابانی آرد

برای اعمال امواج فراصوت از یک دستگاه تولیدکنندهٔ امواج فراصوت[۱]، ساخت شرکت هلشر[۲] آلمان، استفاده شد. این دستگاه نوسانات مکانیکی طولی با فرکانس ۲۴۰۰۰ سیکل در ثانیه (۲۴ کیلوهرتز) تولید می‌کند. سونوترودآن از جنس آلیاژ تیتانیوم و بزرگی نوسان به‌طور مداوم قابل تنظیم بود. علاوه بر این، امکان ایجاد پالس در دستگاه قابلیت تنظیم

قطع و وصل اعمال صوت را میسر می‌کند. با کوچکتر شدن نوک سونوترود قدرت صوتی ساطع‌شده کمتر، اما بزرگی و دانسیتهٔ انرژی بیشتر می‌شود. بنابراین قابلیت کاویتاسیون افزایش می‌یابد. سونوترود مورد استفاده در این تحقیق مدل S3 انتخاب شد که حداکثر عمق قابل نفوذ آن ۹۰ میلی‌متر، قطر آن ۳ میلی‌متر و حداکثر بزرگی که ایجاد می‌کند ۲۱۰ میکرومتر و حداکثر دانسیتهٔ قدرت صوتی برابر با ۴۶۰ وات بر سانتی‌متر مربع بود. برای بررسی تأثیر امواج فراصوت، فاکتور درصد بزرگی صوت اعمال‌شده در چهار شدت (۲۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰) و زمان اعمال امواج فراصوت (۱، ۳ و ۵ دقیقه) انجام شد. برای هر آزمایش ۲۰۰ گرم دانهٔ گندم به دقت وزن و در یک بشر حاوی ۵۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و صوت‌دهی شد. گفتنی است در حین صوت‌دهی به دلیل جلوگیری از تشکیل امواج ایستا مرتباً دانه‌ها درون بشر تکان داده شدند. دما هم با استفاده از آب و یخ تحت کنترل بود.



شکل ۲. دستگاه تولیدکنندهٔ امواج فراصوت

تأثیر امواج فراصوت بر زمان و بازده مشروط‌کردن و همچنین خصوصیات آرد و نان حاصل بررسی شد. نتایج نشان داد که:

۱. استفاده از امواج فراصوت در محیط آبی به‌عنوان یک فرایند جایگزین در مشروط‌کردن نسبت به روش‌های متداول باعث جداشدن آسان‌تر سبوس در فرایند آردسازی و روشن‌تر شدن رنگ آرد می‌شود. اعمال صوت سبب افزایش جذب آب در لایه‌های خارجی دانه شده و میزان رطوبت افزایش یافته و مشروط‌شدن دانهٔ گندم قبل از آسیاب تسریع می‌شود و بهبود می‌یابد.

۲. با افزایش شدت و زمان اعمال صوت ویژگی‌های کیفی آرد (رطوبت، خاکستر، گلوتن، ایندکس، میزان آرددهی) به‌طور معناداری بهبود می‌یابد. علت این مسئله را می‌توان به این امر نسبت داد که اعمال صوت سرعت نفوذ رطوبت را در لایه‌های خارجی پوستهٔ گندم افزایش داده و سبب جداسازی بهتر پوسته از آندوسپرم می‌شود و باعث افزایش رطوبت و کاهش خاکستر می‌گردد. گلوتن و ایندکس گلوتن آرد تا شدت ۷۰ درصد افزایش نشان داد و در شدت بالاتر به دلیل تخریب شبکه گلوتنی کاهش نشان داد.

۳. با افزایش شدت اعمال صوت ویژگی‌های فارینوگرافی خمیر (مقاومت، زمان توسعه و درجهٔ نرم‌شدن خمیر) به‌طور معناداری بهبود می‌یابد، اما بر جذب آب تأثیر معناداری ندارد.

۴. با افزایش شدت و زمان اعمال صوت خصوصیات نان (سفتی، کشش‌پذیری و حجم مخصوص) به طور معناداری بهبود می‌یابد که افزایش شدت اعمال صوت مؤثرتر از زمان اعمال صوت است؛ زیرا با توجه به بهبود خواص ویسکوالاستیک خمیر توزیع گاز و افزایش حجم نان حین استراحت خمیر بهبود یافته و با توسعهٔ حفره‌های گازهای موجود در خمیر از میزان تراکم و فشردگی نان کاسته شده و درپی آن سفتی نان کم می‌شود. علت کاهش سفتی نان، افزایش تخلخل و تعداد حفره‌های ناشی از نفوذپذیری بهتر گندم در اثر صوت است.

۵. با افزایش شدت صوت، میزان مؤلفهٔ L* رنگ پوسته و مغز نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش

یافت که به‌دلیل اکسیداسیون رنگدانه های موجود در آرد است b* افزایش و a* کاهش یافت.

۶. با افزایش شدت صوت‌دهی در گندم میزان تخلخل نان افزایش یافت.

۷. اعمال صوت باعث بهبود خواص حسی، افزایش رضایت مصرف‌کننده و افزایش امتیاز پانل گردید. اعمال صوت با شدت ۷۰ درصد بهترین امتیاز پانل را کسب کرد. در این شدت به شبکهٔ گلوتنی دانه گندم آسیب نمی‌رساند و باعث بهبود خواص حسی نان گردید با افزایش اعمال صوت بیاتی کاهش یافت.

۸. با توجه به تأثیر متقابل شدت و زمان اعمال صوت در این تحقیق و لحاظنمودن مسائل اقتصادی تیماری که بتواند تمامی فاکتورهای آزمون گردیده را بهبود بخشد، تیمار با شدت صوت ۷۰ درصد به مدت ۳ دقیقه بود که به‌عنوان تیمار بهینه انتخاب گردید.

۳. تأثیر امواج فراصوت بر کیفیت کیک روغنی

مخلوط امولسیون روغن در آب با افزودن یک عدد زرده تخم مرغ (به‌عنوان یک امولسیفایر پروتئینی با اندازهٔ مولکولی بزرگ) به‌میزان مصرفی در فرمولاسیون خمیر کیک تهیه و امولسیفایر مونوودی گلیسرید (امولسیفایری با تعادل آب‌دوستی چربی‌دوستی پایین) در حالی‌که نمونه با استفاده از یک همزن مکانیکی در حال همزدن بود آماده شد. مخلوط امولسیون تهیه‌شده با هدف هموژنیزه‌کردن ثانویه با استفاده از امواج فراصوت و توسط دستگاه اولتراسوند صورت پذیرفت. در این سیستم امواج فراصوت به‌صورت مستقیم از نوک مبدل به درون مایع اطراف منتقل شد. نوک سونوترود (دوسوم) درون امولسیون قرار گرفت و دستگاه در دامنهٔ حداکثر (۱۰۰درصد) و دور گردش به صورت مداوم روشن شد. در طول هموژن‌کردن، زمان اعمال صوت از طریق دستگاه در دو زمان ۲ و۴ دقیقه تنظیم شد. چون انرژی صوت بر حجم کمی از مایع که اطراف نوک مبدل قرار دارد اعمال می‌شود، باید نمونه را به آرامی تکان داد تا از کفایت عمل هموژن‌کردن اطمینان حاصل شود. دمای امولسیون در حین انجام عمل فراصوت افزایش یافت، لذا برای خنک‌کردن نمونه از یک حمام آب یخ استفاده شد. امولسیون تهیه‌شده در فرمولاسیون خمیر کیک روغنی به‌کار گرفته شد.

(الف) (ب) (ج)

شکل ۳. مقایسهٔ یکنواختی بافت و تخلخل الف) نمونهٔ شاهد ب) نمونهٔ حاوی ۰/۳ درصد E471 با ٤ دقیقه امواج فراصوت ج) نمونه حاوی ۰/٦ درصد E471 با ٤ دقیقه امواج فراصوت

(الف) (ب)

شکل ٤. مقایسهٔ رنگ خمیر

الف) نمونه شاهد، ب) نمونهٔ اعمال صوت شده

مهمترین نتیجهٔ به‌دست آمده در این تحقیق کارایی بالای امواج فراصوت در امولسیون‌سازی در امولسیون روغن در آب بود. یافته‌ها به‌روشنی نشان دادند که امولسیون‌سازی با امواج فراصوت در مقایسه با روش متداول استفاده از

امولسیفایر E471 به تنهایی، دستیابی به امولسیونی با کیفیت بالا و در نتیجه با ویژگی‌های امولسیون‌کنندگی و کف‌زایی مناسب، زمان اختلاط خمیر کیک را در حدود ۸ مرتبه کاهش داد. این نتیجه می‌تواند تأییدی بر این فرضیه باشد که طی امولسیون‌سازی با امواج فراصوت اختلاط خمیر سریع‌تر به‌وقوع می‌پیوندد و بر کیفیت خمیر و بافت کیک می‌افزاید. همچنین نتایج حاصل از مقایسهٔ ویژگی‌های امولسیون‌کنندگی و کف‌زایی فوق‌العاده امولسیون تهیه‌شده با امواج فراصوت حاکی از برتری این فرایند بر امولسیون‌های شیمیایی از نظر توانایی امولسیون‌کنندگی و کف‌زایی بود. در ارتباط با افزوده‌شدن مخلوط امولسیفایری متشکل از تیمار اولتراسوند و E471 به کیک به‌منظور بهبود خصوصیت تخلخل، با بررسی دقیق تیمارهای بهینه در مورد خصوصیت کیفی اندازه‌گیری شده در نهایت استفاده از ۰/۳ درصد E471 همراه با ۴ دقیقه امواج فراصوت بهترین حالت ممکن تشخیص داده شد؛ به‌طوری‌که با تیمار حاوی ۰/۶ درصد E471 همراه با ۴ دقیقه امواج فراصوت تفاوت معناداری نداشت. بنابراین این‌گونه نتیجه‌گیری می‌شود که با حضور امواج فراصوت می‌توان از میزان مصرف E471 کاست. استفاده از ۰/۶ درصد E471، همان‌گونه که در قسمت قبل نیز عنوان شد، سبب می‌شود که هوادهی به‌خوبی صورت گیرد و در نتیجه پارامتر تخلخل بهبود یابد، بافت کیک تا حدی نرم‌تر و رنگ خمیر و رنگ پوسته و مغز کیک روشن‌تر شود. استفاده از ۴ دقیقه تیمار با امواج فراصوت نیز نتایج فوق‌العاده‌ای را به‌همراه داشت؛ به‌طوری‌که تأثیر آن در افزایش تخلخل و همچنین ایجاد ظاهری با براقیت خاص کاملاً مشهود بود. استفاده همزمان از این دو سطح نیز سبب شد روند بهبود ویژگی‌های کیفی فوق تشدید شود. علاوه بر این از ایجاد تونل‌های زیاد در بافت کیک، که از مشکلات نمونه شاهد بود، جلوگیری به‌عمل آمد. با مقایسهٔ نتایج حاصل از افزودن دو مخلوط امولسیفایری مورد استفاده در تولید کیک مشخص شد که در مورد خصوصیات کیفی شاخص روشنایی رنگ کیک (خمیر، پوسته و مغز)، استفاده از مخلوط امولسیفایری متشکل از تیمار اولتراسوند همراه با E471 نسبت به مخلوط امولسیفایری تنها متشکل از E471 نتایج بهتری دارد و همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد این توانایی بیشتر به‌گونه‌ای بود که در حالت استفادهٔ همزمان از بالاترین سطوح اعمال صوت و E471 نتایج به‌مراتب مطلوبتری حاصل شد.

٤. تأثیر امواج فراصوت بر کیفیت نان حاصل از گندم سن‌زده

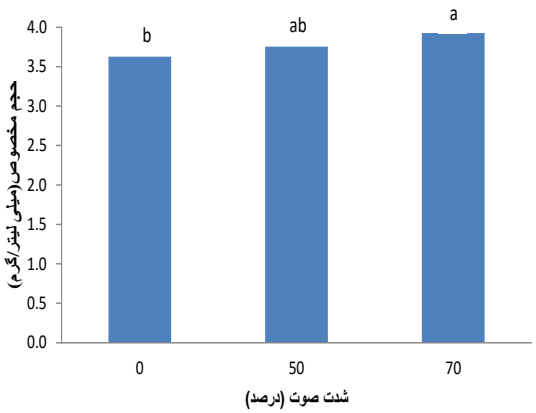
گلوتن گندم عامل اصلی مؤثر بر خواص عملکردی خمیر از جمله کشش‌پذیری، مقاومت به کشش و استحکام خمیر است. قدرت گلوتن وابسته به مقدار پروتئین و ترکیب پروتئین است. عوامل مختلفی خصوصیات گلوتن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از جملهٔ آنها می‌توان به حشرهٔ سن اشاره کرد که به دانهٔ گندم نارس حمله می‌کند. پروتئاز موجود در بزاق حشرهٔ سن در آرد تهیه‌شده از گندم آسیب دیده توسط سن باقی ماند و به خمیر منتقل شده و گلوتن را هضم کرده و خمیر چسبنده و شل ایجاد می‌کند و کیفیت نان حاصل را کاهش می‌دهد. حشرهٔ سن حین تغذیه از دانهٔ گندم بزاق خود، که حاوی آنزیم پروتئاز است، را به‌درون دانه وارد می‌کند. این آنزیم در آردسازی به آرد انتقال می‌یابد و تأثیر منفی خود را هنگام مخلوط‌کردن و تخمیر خمیر نشان می‌دهد.در نتیجه خمیری چسبنده با ویژگی رئولوژی نا مطلوب و نانی با حجم کم و خصوصیات رئولوژی ضعیف حاصل می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با اعمال امواج فراصوت به دانهٔ گندم قبل از اینکه آنزیم بتواند سبب تخریب شبکهٔ گلوتنی شود، می‌توان ساختار شبکهٔ گلوتنی را حفظ نمود که منجر به بهبود خواص رئولوژیک و بافت خمیر، همچنین خواص ارگانولپتیک نان می‌شود. اثر امواج فراصوت در شدت‌ها و مدت زمان‌های مختلف به‌عنوان سازوکار مناسب از بین بردن آنزیم پروتئاز، بر خصوصیات رئولوژیک خمیر تهیه‌شده

از آرد گندم‌های سن‌زده بررسی شد. نمونه‌های گندم پس از مشروط کردن توسط آسیاب آزمایشگاهی غلطکی ساخت کشور سوئد[3] تبدیل به آرد شد، آرد حاصل از الک با اندازهٔ منافذ ۵۰۰ میکرون عبور داده شد، درجهٔ استحصال آرد تولیدی از گندم سن‌زده و گندم سالم در آزمایشات ۷۵ درصد بود، برای اعمال امواج فراصوت از یک دستگاه تولیدکنندهٔ امواج فراصوت ساخت شرکت هلشر آلمان استفاده شد. برای هر آزمایش ۱۰ گرم دانهٔ گندم به‌دقت توزین شده در یک بشر حاوی ۸۰ میلی‌متر آب مقطر ریخته و صوت‌دهی شد. گفتنی است در حین صوت‌دهی برای جلوگیری از تشکیل امواج ایستا مرتباً دانه‌ها درون بشر توسط شیکر تکان داده شدند. سپس گندم به آرد تبدیل و دو نوع نان بربری و قالبی تهیه شد. نتایج نشان داد که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد در زمان ۵ دقیقه بهترین اثر را در حفظ خصوصیات رئولوژیکی خمیر دارد. اعمال صوت، جذب آب آرد، ثبات خمیر، کشش‌پذیری و مقاومت به کشش خمیر، که توسط دستگاه بافت‌سنج اندازه گیری شد، را بهبود بخشید. رنگ نان حاصل از آرد گندم سن‌زدهٔ تیمارشده با امواج فراصوت سفیدتر و خواص ظاهری و بافت نان حاصل بهتر بود. حجم مخصوص نان تهیه‌شده از این آرد نیز در مقایسه با شاهد به‌طرز معناداری افزایش یافت.

۵. تأثیر امواج فراصوت بر بهبود کیفیت نان حاصل از آردهای ضعیف

در این پژوهش از فراصوت برای بهبود کیفیت و خواص نان حجیم تهیه‌شده از آرد با گلوتن ضعیف استفاده شد. همچنین اثر تشدیدکنندگی شدت اعمال امواج فراصوت و بهبوددهندهٔ تجاری مورد مطالعه قرار گرفت. امواج فراصوت بر خمیر تولیدشده و در جهت هوادهی خمیر اعمال شد. مهمترین نتیجهٔ حاصل از این تحقیق کارایی بالای امواج فراصوت در اکسیداسیون و هوادهی خمیرنان بود. یافته‌ها به روشنی نشان داد که امواج فراصوت موجب می‌شود هوادهی به‌خوبی صورت گیرد و در نتیجه پارامترهای چون حجم مخصوص و تخلخل بهبود و رطوبت نان افزایش و بافت نان نرم‌تر شده است، با افزایش شدت صوت‌دهی به ۷۰ درصد این خواص بهبود می‌یابد. همچنین استفاده از بهبوددهنده در سطح ۱ درصد سبب افزایش کشش‌پذیری وکاهش سفتی نان شد (توسط دستگاه بافت‌سنج اندازه گیری شد). همچنین حجم افزایش یافت؛ افزودن در سطح ۱/۵ درصد باعث بهبود تخلخل و رطوبت شده است. در مورد حجم سطح ۱ و ۱/۵ درصد تفاوت معناداری نداشتند. با بررسی دقیق تیمارهای بهینه در مورد تمامی خصوصیات کیفی اندازه‌گیری شده در نهایت استفاده از شدت صوت ۷۰ و بهبوددهنده ۱ درصد بهترین حالت ممکن و بعنوان تیمار بهینه انتخاب گردید. نتایج این پژوهش زمینه‌ساز تحقیقات جدیدی است که روی نان بدون گلوتن در حال انجام است.

شکل ۵. تأثیر امواج فراصوت در شدت‌های صفر، ۵۰، و ۹۰ درصد (از راست به چپ) بر حجم نان از آرد گندم سن‌زده



شکل ۶. اثر شدت صوت بر حجم مخصوص نان

٦. تأثیر امواج فراصوت بر کیفیت کیک بدون تخم مرغ

در این پژوهش خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ارگانولپتیک (عطر، طعم، بافت، رنگ پوسته و رنگ مغز کیک و ظاهر عمومی) کیک روغنی (یزدی) با جایگزینی کامل تخم مرغ در فرمولاسیون با پروتئین آب پنیر و همچنین تأثیر افزودن صمغ گزانتان و تأثیر امواج فراصوت مورد بررسی قرار گرفت. جایگزینی تخم مرغ در سه سطح صفر، ۱۵ و۳۰ درصد و صمغ زانتان نیز در دو سطح صفر و ۰/۵ درصد و امواج فراصوت در صفر و ۳ و ۵ دقیقه استفاده شد. نتایج نشان داد که سطوح مختلف جایگزینی کامل تخم مرغ با پروتئین آب پنیر در فرمولاسیون کلیهٔ خواص فیزیکوشیمیایی و حسی را به‌طور معناداری تحت تأثیر قرار داد. افزودن ۱۵ درصد پروتئین آب پنیر و ۰/۵ درصد صمغ زانتان و زمان ۳ دقیقه فراصوت به‌عنوان تیمار بهینه معرفی شد. امواج فراصوت به‌دلیل ایجاد حباب هوا در خمیرابه کیک می‌تواند نقش تخم مرغ را بازی نماید و جایگزین آن شود. نتایج نشان داد حجم و ظاهر کیک تحت تیمار فراصوت قابل رقابت با نمونهٔ حاوی تخم مرغ بود. بنابراین این محصول می‌تواند به‌عنوان محصولی با ارزش تغذیه‌ای معرفی شود.

(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۷. نمایی از الف) زمان ۵ دقیقه فراصوت، ب) زمان ۳ دقیقه فراصوت، ج) شاهد

شکل ۸ تأثیر فراصوت بر حجم و بافت کیک

۷. نتیجه‌گیری

استفاده از امواج فراصوت به‌عنوان انقلابی نوین در تولید محصولات پخت از جنبه‌های متفاوت قابل بررسی است. امواج فراصوت قادر است از طریق تأثیر بر ساختار سلولی در کیفیت نهایی محصول مثل خواص فیزیکی، حسی، کیفی و رئولوژی نقش مؤثری داشته باشد. در این مقاله اثر سونیکاسیون بر فرایند اسیابانی گندم، رنگ آرد، تولید کیک روغنی، تولید کیک بدون تخم مرغ، بهبود خواص نانوایی آرد حاصل از گندم سن‌زده و بهبود کیفیت نانوایی آردهای ضعیف مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج به‌روشنی نشان می‌دهد که استفاده از صوت در خمیرهای شل مثل کیک باعث بهبود تخلخل شده و می‌تواند جایگزین تخم مرغ و روغن شود و در خمیرهای کشش‌پذیر مثل نان باعث تقویت گلوتن آرد و بهبود بافت و حجم سایر خواص نان می‌شود.

۸. مآخذ

[1] Mason, T. J., J. P. Lorimer, *Applied Sonochemistry, the use of power ultrasound in chemistry and processing*, Wiley-VCH: Darmstadi, Germany, 2002.

[2] Knorr, D., M. Zenker, V. Heinc, D. U. Lee. "Applications and potential of ultrasonics in food processing." *Trends Food Science Technology*, 2004, 15:261-266.

[3] Mc Clements, D. J. "Advances in the in the application of ultrasound in food." *Analysis and processing, Treads in food Science and Technology*, Vol. 6, 1995, pp. 293-299.

[4] Mason. T. J. "Sonochemistry and sonoprocessing: the link, the trends and the future." *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 10, 2003, pp. 175-179.

[5] Piyascara, P., E. Mohareb, R. C. Mckeller. "Inactivation of microbes using ultrasound: A review. International." *Journal. Food. Microbiology*, Vol. 87, 2003, pp. 207-216

[6] Chang, A. C., F. C. Chen. "The application of 20 kHz ultrasonic waves to accelerate the aging of different wines." *Food Chem*, Vol. 79, 2002, pp. 501–506.

[7] Marchesini, G., S. Balzan, F. Montemurro, L. Fasolato, I. Andrighetto, S. Segato, E. Novelli. "Effect of ultrasound alone or ultrasound coupled with CO_2 on the chemical composition, cheese-making properties and sensory traits of raw milk." *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Vol. 16, 2012, pp. 391–397.

[8] Kidak, R., N. H. Ince. "Catalysis of advanced oxidation reactions by ultrasound: A case study with phenol." *Journal of Hazardous Materials*, vol. 146, 2007, No. 3, pp. 630-635.

[9] Chemat, I., P. Costes, L. Moutoussamy, A. Shum Cheong Sing, J. Smadja. "High power ultrasound effects on lipid oxidation of refined sunflower oil." *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 11, 2004, No. 5, pp. 281-285.

[10] Pérez, A., M. A. Centeno, J. A. Odriozola, R. Molina, S. Moreno. "The effect of ultrasound in the synthesis of clays used as catalysts in oxidation reactions." *Catalysis Today*, Vol. 133-135, 2008, pp. 526-529.

[11] Rokhina, E. V., M. Lahtinen, M. C. M. Nolte, J. Virkutyte. "The influence of ultrasound on the RuI3-catalyzed oxidation of phenol: Catalyst study and experimental design." *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol. 87, 2009, No. 3-4, pp. 162–170.

[12] Wu, H., G. J. Hulber, J. R. Mount. "Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter." *Innovative food Science and technologies*, Vol. 1, 2001, pp. 211-218.

[13] Dubbs, C. A. "Ultrasonic effects on isoenzymes." *Clinical Chemistry*, 1996, 12:181-186.

[14] Ovsianko, S. L., E. A. Chernyavsky, V. T. Minchenya, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2005, pp. 219-223.

[15] Vercet, A., C. Simon, R. Oria, L. B. Pascual. "Selective inactivation of phospholipase As in complex protein mixtures." *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2002, 3:271-277.

[16] Zheng, L., D. W. Sun. "Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes-a review." *Trends in Food Science and Technology*, 2006, 17, pp. 16–23.

[17] Crosby, L. "Juices pasteurized ultrasonically." *Food Production/Management*, 1982.

[18] Li, D., C. Mu, S. Cai, W. Lin. "Ultrasonic irradiation in the enzymatic extraction of collagen." *Ultrasonics Sonochemistry* 16, 2009, pp. 605–609.

[19] Karki, B., B. P. Lamsal, S .Jung, J. van Leeuwen, A. L. Pometto III, D. Grewell, S. K. Khanal. "Enhancing protein and sugar release from defatted soy flakes using ultrasound technology." *Journal of Food Engineering* 96, 2010, pp. 270–278.

[20] Tan, M.C., N. L. Chin, Y. A. Yusof. "Power ultrasound aided batter mixing for sponge cake batter." *Journal of Food Engineering*, 104: 2011, pp. 430–437.

[۲۱] شیخ‌الاسلامی، ز.، س ع. مرتضوی، ه. پورآذرنگ، م. نصیری محلاتی. "تاثیر امواج فراصوت بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر و کیفیت نان حاصل از گندم سن‌زده". *فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران*، دوره ۷، شماره ۲، ۱۳۸۹، ص. ۴۹-۳۹.

[22] Carmen Sanchez-Torres. "Sound waves used in baking industry Wednesday 16 November 2011." *The Journal Edinburgh*, Issue 52.

پی‌نوشت

1. H UP200
2. Hielscher
3. Laupen863