مقاله

غیر فعال‌سازی آنزیم پروتئاز و ترمیم شبکه گلوتنی در گندم‌های آسیب دیده از سن گندم توسط امواج فراصوت

زهراشیخ الاسلامی*
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
shivasheikholeslami@yahoo.com

تکتم هجرانی
دانشجوی دکتری
گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار
hejrany_toktam@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱

چکیده

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 جمله آنها می‌توان به حشره سن اشاره کرد که به دانه گندم نارس حمله می‌کند. پروتئاز موجود در بزاق حشره سن در آرد تهیه شده از گندم آسیب دیده توسط سن باقی مانده و به خمیر منتقل شده و گلوتن را هضم کرده و خمیر چسبنده و شل ایجاد کرده و کیفیت نان حاصله را کاهش می‌دهد. اثر امواج فرا صوت در شدت‌ها و مدت زمان‌های مختلف به‌عنوان مکانیسم مناسب از بین بردن آنزیم پروتئاز، برخصوصیات خمیر و نان تهیه شده از آرد گندم‌های سن‌زده بررسی شد. گرچه شدت صوت ۹۰ درصد بیشترین کاهش (۸۵٪) در میزان پروتئاز را نشان داد، اما بر خواص رئولوژیک و حسی تأثیر نامطلوب داشت. نتایج نشان داد که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد در زمان ۵ دقیقه، با فرکانس ۲۴۰۰۰ سیکل در ثانیه (۲۴ kHz) و حداکثر دانسیته قدرت صوتی برابر W/cm^2 ۴۶۰ ، بهترین اثر را در حفظ خصوصیات رئولوژیکی خمیر را داشت. اعمال صوت بر جذب آب آرد تاثیر معنی‌داری نداشت اما ثبات خمیر را تا ۳۰ درصد افزایش داد، همچنین مقاومت به کشش خمیر از ۱۵۰ به ۲۶۵ واحد برابندر بهبود بخشید. رنگ نان حاصل از آرد گندم سن‌زده تیمار شده با امواج فرا صوت سفیدتر و خواص ظاهری و بافت نان حاصل بهتر بود. حجم مخصوص نان تهیه شده از این آرد نیز در مقایسه با شاهد به طرز معنی‌داری افزایش یافت.

واژگان کلیدی: امواج فراصوت، نان، آنزیم، سن گندم

۱. مقدمه

خمیر نان یک ماده ویسکوالاستیک است که رفتار رئولوژیکی متعادلی بین سیال ویسکوز و جامد الاستیک نشان می‌دهد. هر عاملی که نسبت خاصیت ویسکوز به الاستیک را از حالت تعادل خارج نماید باعث می‌شود خمیر مطلوبی به دست نیاید. یکی از مهم‌ترین عوامل برهم زننده ساختمان گلوتن، آسیب دیدن گندم با آفات و به ویژه حشره سن است.

جنس سن غلات *Eurygaster*، *Eurintigrceps* و *Aelia* با حمله به بوته گندم، دانه‌های نارس را سوراخ نموده و آنزیم پروتئولیتیکی را به همراه بزاق خود وارد گندم می‌نمایند که باعث تخریب پروتئین و شبکه گلوتنی گندم می‌شود [۱]. آنزیم پروتئولیتیک بزاق سن قادر است پروتئین‌ها را تخریب نموده و شبکه گلوتنی را هیدرولیز کرده و پپتیدهایی با وزن مولکولی پائین تولید می‌نماید. این آنزیم‌ها با تجزیه پیوندهای عرضی $S-S$ در شبکه گلوتنی موجب تخریب این شبکه می‌شوند [۲].

چنانچه بیش از ۵ درصد دانه‌های گندم، سن‌زده باشند، از آن خمیری شل و بی‌قوام به دست می‌آید که مقاومت کمتری موقع مخلوط شدن نشان می‌دهد و به سختی قابل حمل و نقل است. نان حاصل از این خمیر حجم کمتر و خواص حسی ضعیف (بافت، رنگ، رایحه و مزه) داشته و از نظر شکل غیرعادی است [۲].

راه‌کارهایی برای اصلاح و بهبود ویژگی‌های گندم سن‌زده پیشنهاد شده که عموما مبنی بر جداسازی گندم‌های آسیب دیده از سالم، ایجاد و احیای پیوندهای دی سولفیدی جدید، بازیافت قدرت شبکه گلوتنی و متعاقبا بهبود خواص نانوایی گندم‌های آسیب دیده، توسط مواد بهبود دهنده راه‌کار دیگری است که پیشنهاد شده است.

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 عنوان مثال حرارت بالا موجب غیرفعال شدن ساختمان ویسکوالاستیک گلوتن می‌شود. به همین دلیل امروزه علاقه به جایگزینی حرارت با روش‌های دیگر برای غیرفعال کردن آنزیم‌ها افزایش پیدا کرده است. یکی از راه حل‌های جایگزین استفاده از امواج فرا صوت بالای ۲۰kHz است [۳]. تأثیر امواج فراصوت بر فعالیت پروتئولیتیکی پروتئازهای سرین نشان داد که فعالیت این آنزیم‌ها در اثر اعمال فرآیند صوت (۲۶/۴ kHz) کاهش چشمگیری پیدا می‌کند [۴].

با توجه به بررسی‌های انجام شده بر منابع مختلف مشخص می‌شود که آنزیم پروتئاز حاصل از بزاق سن به آرد منتقل می‌شود سپس در مرحله تخمیر فعالیت می‌نماید. بنابراین در قدم نخست، اولین راه‌کاری که به نظر می‌رسد از بین بردن یا غیرفعال ساختن پروتئاز موجود در آرد است. هدف این تحقیق بررسی تأثیر امواج فراصوت بر غیرفعال سازی آنزیم پروتئاز گندم و در نتیجه بهبود خواص گندم سن‌زده (به‌طوری‌که بتوان آن را در تهیه نان به کاربرد) بوده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ مواد

گندم سن‌زده از واریته الوندکه ۱۰٪ آلودگی به سن داشت و گندم سالم از همین واریته از سیلوی شماره ۳ مشهد نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها در انبار خنک ۱۵ درجه سانتیگراد در شرایط خشک تا زمان آزمایش نگهداری شد. مخمر مورد استفاده از نوع خشک فعال بود که از شرکت ایران ملاس تهیه گردید.

سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در تحقیق مرک بودند. مواد جزئی شامل روغن و نمک که در تهیه نان استفاده شد از مواد موجود در بازار تهیه گردید.

۲-۲ روش‌ها

روش تهیه آرد از گندم سن‌زده

نمونه‌های گندم پس از مشروط کردن توسط آسیاب آزمایشگاهی غلطکی ساخت کشور سوئد (Laupen863) تبدیل به آرد شد، آرد حاصل از الک با اندازه منافذ ۵۰۰ میکرون عبور داده شد، درجه استحصال آرد تولیدی از گندم سن‌زده وگندم سالم در آزمایشات ۷۵ درصد بود.

آزمایشات رطوبت خاکستر و پروتئین آرد اولیه مطابق روش‌های AACC انجام شد و برای اندازه‌گیری میزان گلوتن آن از آزمون استاندارد AACC38-11 استفاده شد و دستگاه مورد استفاده دستگاه گلوتن شور و اندازه‌گیری گلوتن ایندکس Swantech ساخت کشور فرانسه بود[۵]. آزمایش اندازه‌گیری پروتئاز براساس پژوهش سارات و همکاران [۶] و رانی و همکاران [۷] انجام گردید.

۳. روش اعمال امواج فراصوت

برای اعمال امواج فراصوت از یک دستگاه تولیدکننده امواج فراصوت UP 200 H ساخت شرکت هلشر آلمان استفاده شد. این دستگاه نوسانات مکانیکی طولی با فرکانس ۲۴۰۰۰ سیکل در ثانیه (۲۴ kHz) تولید می‌کند. سونوترود آن از جنس آلیاژ تیتانیوم بود. 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 ۲۱۰m μ و حداکثر دانسیته قدرت صوتی برابر ۴۶۰ w/cm^2 بود. بزرگی نوسان به‌طور مداوم قابل تنظیم بود. علاوه‌براین، امکان ایجاد پالس در دستگاه قابلیت تنظیم قطع و وصل شدن اعمال صوت را میسر می‌کند. با کوچکتر شدن نوک سونوترود قدرت صوتی ساطع شده کمتر، اما بزرگی و دانسیته انرژی بیشتر می‌شود. بنابراین قابلیت کاویتاسیون افزایش می‌یابد.

برای هر آزمایش ۱۰ گرم دانه گندم به دقت توزین شده در یک بشر حاوی ۸۰ میلی‌متر آب مقطر ریخته شد و صوت‌دهی شد. لازم به ذکر است که در حین صوت‌دهی برای جلوگیری از تشکیل امواج ایستا مرتبا دانه‌ها در درون بشر توسط شیکر تکان داده شدند. پس از صوت‌دهی دانه‌های گندم خشک و سپس آسیاب شده و جهت تهیه نان به‌کار رفت.

شکل ۱. نمونه گندم تحت تأثیر فراصوت

٤. تهیه نان

جهت تهیه خمیر و پخت نان از دستگاه خمیرگیر مارپیچی ساخت ایتالیا و فر آزمایشگاهی گردان دقیق و قابل کنترل ساخت کشور ایتالیا استفاده گردید. نان بروتشن قالبی به وزن چانه ۹۰ گرم پخت شد.

آزمایشات رئولوژیکی خمیر توسط دستگاه های فارینوگراف برابندر ۳۰۰ گرمی مطابق روش AACC 54-21 واکستنسوگراف برابندر با روش AACC54-10 انجام شد [۵].

ارزیابی بافت نان با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (Texture analyzer) مدل CNS Farnell انجام شد [۸] .

حجم مخصوص نان طبق روش جایگزینی دانه (10–AACC72) اندازه‌گیری شد.

۵. تجزیه و تحلیل آماری

برای بررسی تأثیر اعمال امواج فراصوت، از طرح فاکتوریل در قالب کاملا تصادفی با سه تکرار استفاده گردید به این ترتیب که:

فاکتور اول، درصد بزرگی صوت (۰،۵۰،۷۰،۹۰ درصد)، فاکتور دوم، زمان اعمال امواج فراصوت (۰،۱،۳،۵ دقیقه) بود.

برای آنالیز واریانس و مقایسه میانگین و رسم نمودار از نرم افزار SPSS نسخه ۱۷ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح $p< ۰/۰۵$ و $p< ۰/۰۱$ انجام گرفت.

٦. نتایج و بحث

٦-۱ تأثیر امواج فراصوت برخصوصیات آرد حاصل از گندم سن‌زده

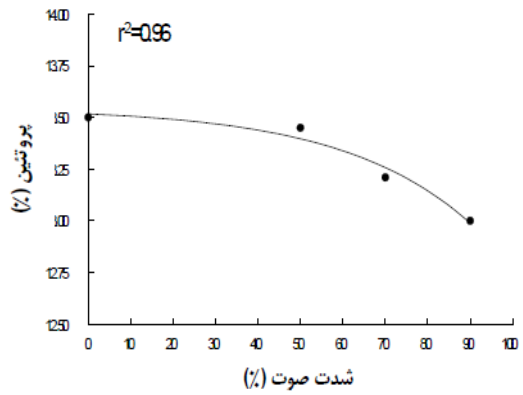
٦-۱-۱ تأثیر برخصوصیات آرد

- **رطوبت**

بیشترین میزان رطوبت آرد در شدت صوت ۹۰ درصد و کمترین میزان رطوبت در شدت صوت ۵۰ درصد مشاهده شد. علت این مسئله را می‌توان به‌طور واضح به این امر نسبت داد که اعمال صوت سرعت نفوذ رطوبت را در لایه-های خارجی پوسته گندم افزایش می‌دهد و در واقع سبب تسریع در مشروط کردن گندم می‌شود. برای توجیه این نتایج می‌توان به اثر منحصر به‌فرد امواج فراصوت در استخراج ترکیبات آلی توسط حلال که از طریق نفوذ بیشتر حلال به سلول مسیر می‌شود استفاده کرد. امواج فراصوت اثرات خود را از طریق واکنش کاویتاسیون می‌گذراند. کاویتاسیون شامل تشکیل، رشد و در برخی موارد ترکیدن حباب‌های ریز ایجاد شده در مایع، ناشی از عبور صوت است. این پدیده سبب تخریب دیواره شده و درنتیجه سرعت جذب آب بیشتر می‌شود [۹]. بیشترین میزان رطوبت در زمان ۵ دقیقه صوت و کمترین در زمان ۱ دقیقه اعمال صوت مشاهده شد.

- **پروتئین**

از آنجائیکه آنزیم پروتئاز روی میزان پروتئین تأثیر ندارد، بنابراین انتظار نیز این نبوده که صوت بتواند تغییری در میزان پروتئین ایجاد نماید پروتئاز بیشتر روی باندهای دی‌سولفیدی پروتئین تأثیر می‌گذارد تا مقدار پروتئین آن [۱۰]. این نتیجه با تحقیقات آجا و همکاران [۱۱] مطابقت دارد. تأثیر شدت صوت بر کاهش میزان پروتئین آرد نیز به این دلیل بوده که اعمال صوت مشروط کردن گندم را بهتر نموده و بنابراین لایه‌های خارجی دانه بهتر از آندوسپرم جدا گردیده‌اند. در این تحقیق در جریان آردسازی از سری الک‌هایی استفاده شد که پس از عبور آرد، میزان لایه‌های خارجی دانه در آرد تیمار شده با صوت کمتر بود که این مسئله از روی مشاهده تأثیر شدت صوت بر میزان پروتئین آردصوت دیده که در شکل ۲ نشان داده شده است نیز قابل تأیید است.

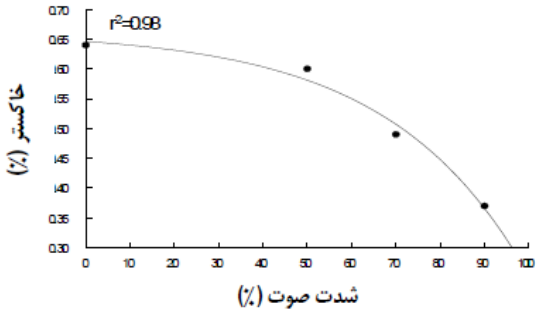


شکل ۲. تأثیر شدت صوت بر میزان پروتئین آرد

- **خاکستر**

اعمال صوت سبب افزایش جذب آب در لایه‌های خارجی دانه شد و بنابراین میزان رطوبت افزایش یافته و مشروط شدن دانه گندم قبل از آسیاب تسریع شده و بهبود یافت. همین عامل سبب جدا شدن بهتر لایه‌های حاوی سبوس و رنگدانه‌های آرد شد که این مسئله هم خاکستر را کاهش داده و هم آرد روشن‌تری تولید نمود. در شکل۴ مقایسه رنگ

آرد شاهد با آردی که تحت تیمار ۹۰ درصد صوت قرار گرفته نشان داده شده است.



شکل۳. تأثیر شدت صوت بر میزان خاکستر آرد

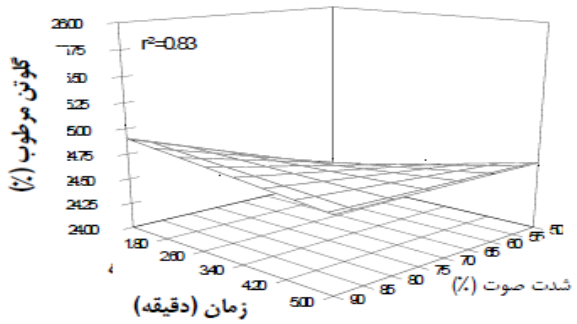
(a)

(b)

شکل٤. با آرد تولیدی از گندم تیمار شده با شدت صوت ۹۰ درصد به مدت ۵ دقیقه(a) مقایسه رنگ آرد شاهد(b)

- گلوتن مرطوب

شدت صوت بر میزان گلوتن مرطوب آرد تأثیر معنی‌داری داشت. افزایش شدت صوت تأثیر قابل ملاحظه‌ای در میزان گلوتن مرطوب به‌وجود نیاورد. که این مسئله به‌دلیل عدم-توانایی شدت‌های صوت مورد استفاده در ایجاد تغییرات شیمیایی در گلوتن می‌باشد. شدت صوت ۹۰ درصد به‌طور جزئی سبب کاهش شد. از طرف دیگر آنزیم پروتئاز حشره سن بر میزان گلوتن مرطوب تأثیر چندانی نداشت [۱۰ و ۱۲].



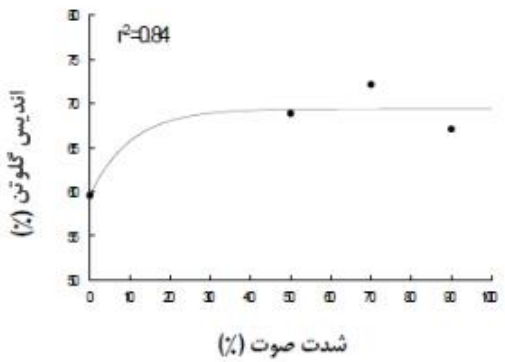
شکل ۵. تأثیر متقابل شدت ومدت زمان اعمال صوت بر میزان گلوتن مرطوب آرد

- اندیس گلوتن

با افزایش شدت صوت از ۵۰ به ۷۰ درصد میزان اندیس گلوتن افزایش معنی‌داری داشت. اما در شدت صوت بالا (۹۰%) تفاوت با ۷۰% معنی‌دار نبود. برای توجیه این مسئله می‌توان به تأثیر مستقیم پروتئاز بر گلوتن‌های با وزن مولکول بالا و در نتیجه اندیس گلوتن اشاره کرد و اینکه یک آزمایش مهم و کلیدی برای تشخیص کیفیت گندم‌های سن‌زده اندازه‌گیری اندیس گلوتن، آرد حاصل از آنها است که میزان گلوتن تغییر یافته که درنتیجه حمله سن به مغز دانه گندم ایجاد شده است را نشان می‌دهد [۱۰]. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اعمال صوت از طریق تأثیر بر آنزیم پروتئاز و کاهش فعالیت آن توانسته از تخریب گلوتن جلوگیری نماید. البته افزایش شدت صوت از ۵۰ به ۷۰ درصد و در عین حالی‌که آنزیم پروتئاز را تخریب می‌نماید، موجب حفظ ساختمان گلوتن شده است. درحالی‌که افزایش شدت صوت از ۷۰ به ۹۰ درصد تأثیر معنی‌داری در میزان اندیس گلوتن نداشت، (حتی کاهش جزئی اما بدون معنی نشان داده است) که می‌توان به تخریب شبکه گلوتنی در اثر شدت صوت بالا نسبت داد. مناسب‌ترین شدت صوت که با کاهش فعالیت پروتئاز در عین حال از تخریب ساختمان گلوتن و در نتیجه کاهش اندیس گلوتن جلوگیری نمود، ۷۰ درصد شدت صوت بود، شکل۶.

قابل ملاحظه است که در شدت صوت‌های بالا علی‌رغم کاهش فعالیت پروتئاز، میزان اندیس گلوتن کاهشی جزئی داشت. دلیل این مسئله را می‌توان به تخریب جزئی ساختمان گلوتن در شدت صوت‌های بالا نسبت داد که موجب کاهش در اندیس گلوتن می‌شود.

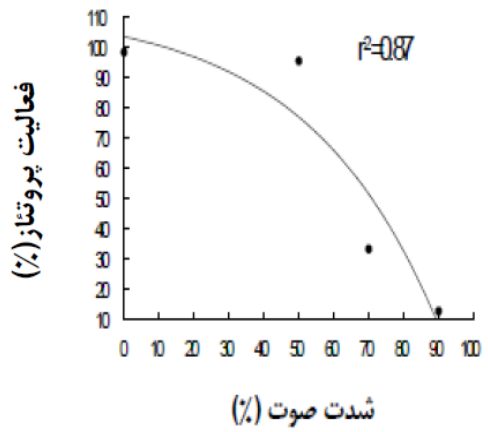
تأثیر متقابل شدت اعمال صوت و زمان اعمال صوت بر میزان گلوتن ایندکس نشان داد که بیشترین میزان اندیس گلوتن مربوط به ۷۰ درصد شدت صوت در زمان ۵ دقیقه بوده و زمان‌های، ۱ و ۳ دقیقه نیز تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان اندیس گلوتن مربوط به تیمار ۹۰ درصد در زمان ۵ دقیقه بود، که به‌علت آسیب شبکه گلوتنی در اثر شدت صوت بالا و زمان طولانی بوده است. مناسب‌ترین تیمار که هم اندیس گلوتن بالایی نسبت به شاهد داشت و هم شبکه گلوتنی تحت تأثیر صوت آسیب نبیند تیمار ۷۰ درصد صوت در زمان ۵ دقیقه بود. این نتایج با تحقیقات خان و همکاران مطابقت دارد [۱۰].



شکل ۶ . تأثیر شدت صوت بر میزان اندیس گلوتن آرد

- **فعالیت آنزیم پروتئاز**

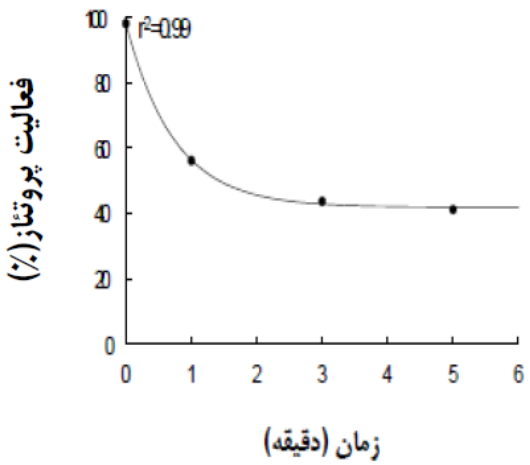
کمترین میزان پروتئاز در ۹۰ درصد صوت حاصل شد. بیشترین آن مربوط به تیمار شاهد بود بنابراین با افزایش شدت صوت میزان فعالیت پروتئاز کاهش یافت. مقایسه تیمارها با شاهد نشان می‌دهد که با اعمال ۹۰ درصد صوت فعالیت پروتئاز نسبت به شاهد حدود ۸۵ درصد کاهش پیدا کرد که این مقدار بسیار قابل ملاحظه است. این نتایج با تحقیقات ازبک و اوگلن [۱۳] که تأثیر امواج فراصوت را بر مقاومت برخی آنزیم‌ها بررسی نمودند مطابقت دارد. این محققین نتیجه گرفتند که با افزایش شدت صوت کاهش فعالیت آنزیمی تا ۸۰ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش شدت صوت به علت تخریب ساختمان آنزیم میزان فعالیت به‌طور چشمگیری پائین می‌آید. شکل ۷ تأثیر زمان اعمال صوت بر میزان فعالیت پروتئاز را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش زمان اعمال صوت میزان فعالیت پروتئاز کاهش یافت و بیشترین و کمترین فعالیت آنزیم به ترتیب مربوط به زمان‌های ۱ و ۵ دقیقه بود. بنابراین افزایش مدت زمان اعمال صوت نیز باعث کاهش فعالیت آنزیم پروتئاز شد. ازبک و اولگن [۱۳] نیز زمان قرار گرفتن آنزیم را در امواج صوت به عنوان عامل مهم و تعیین‌کننده برای غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها معرفی نمودند. علاوه‌براین تحقیقات ورست و همکاران [۱۴] در مورد غیرفعال‌سازی آنزیم پروتئاز توسط صوت نیز نشان می‌دهد که با افزایش زمان اعمال صوت فعالیت پروتئاز کاهش می‌یابد.



شکل۷. تأثیر شدت صوت بر میزان پروتئاز

شکل ۸ تأثیر زمان اعمال صوت بر فعالیت پروتئاز را نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد افزایش شدت و زمان صوت باعث کاهش فعالیت آنزیم پروتئاز می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که شدت صوت در کاهش میزان فعالیت پروتئاز موثرتر از عامل زمان عمل نمود، شیب منحنی این

مورد را تأیید می‌نماید. کمترین فعالیت آنزیمی در شدت ۹۰ درصد و ۵ دقیقه مشاهده می‌شود اما همان‌طورکه در مورد گلوتن ایندکس عنوان شد این شدت و زمان اعمال صوت قادر است تا حدی شبکه گلوتنی را تخریب نموده و باعث کاهش گلوتن ایندکس می‌شود. بنابراین تیمار بهینه با بررسی مقایسه میانگین ها تیمار ۷۰ درصد صوت و مدت زمان ۵ دقیقه بود که علاوه‌بر کاهش قابل ملاحظه فعالیت پروتئازی به شبکه گلوتنی نیز آسیب نمی‌رساند. تأثیر امواج صوت بر آنزیم را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که در نتیجه تنش برشی وارد شده به دانه‌ها توسط حباب‌هایی در لایه خارجی که محل آنزیم پروتئاز است، ساختمان آنزیم دچار تخریب شده و در نتیجه فعالیت آن کاهش می‌یابد.



شکل ۸. تأثیر زمان اعمال صوت بر میزان فعالیت پروتئاز

۶-۲ تأثیر امواج فراصوت برخصوصیات خمیر و نان حاصل از گندم سن‌زده

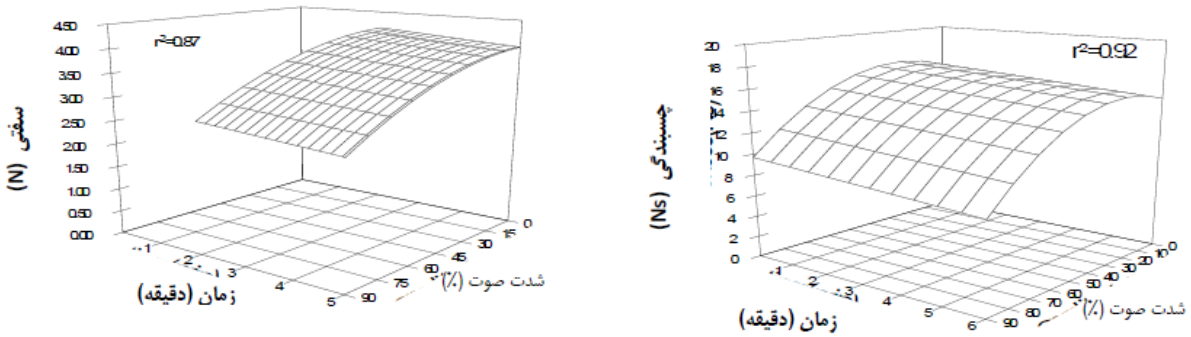
جدول ۱ تأثیر متقابل شدت امواج فراصوت اعمال شده و مدت زمان اعمال صوت را بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر حاصل از آرد گندم سن‌زده نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود اعمال صوت با شدت ۷۰ درصد و مدت زمان ۵ دقیقه سبب افزایش جذب آب آرد شده است. در واقع افزایش قدرت گلوتن یا به‌عبارتی عدم تضعیف شبکه گلوتنی توسط آنزیم‌های پروتئاز می‌تواند علت جذب آب بالاتر در مواقعی که صوت ۷۰ درصد در ۵ دقیقه اعمال شده، باشد. البته همان‌طورکه ملاحظه می‌شود اعمال امواج شدید ۹۰ درصد در زمان‌های طولانی اثر معکوس دارد که این امر را به تخریب شبکه گلوتنی توسط اعمال صوت شدید و اضافی نسبت می‌دهیم. این واقعیت در رابطه با پارامتر استحکام خمیر، ارزش والریمتری و تا حدودی زمان مخلوط کردن هم مصداق دارد و در واقع بهترین شدت و زمان صوت‌دهی برای رسیدن به خواص فارینوگرافی خمیر نسبت به سایر تیمارها زمان ۵ دقیقه وشدت ۷۰ درصد است. این امر را می‌توان به این مسئله نسبت داد که نابودی پروتئاز در اثر اعمال صوت باعث تغییرات کمتری در ساختمان شبکه گلوتنی در حین مخلوط کردن خمیر می‌شود. این نتایج را می‌توان با توجه به نتایج تحقیقات کابالرو و همکاران [۲] توضیح داد. این محققین عنوان نمودند که حمله حشره سن باعث کاهش قوام و تولرانس خمیر شده و سبب افزایش اندیس مخلوط شدن خمیر به دلیل تضعیف شبکه گلوتنی می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با از بین رفتن پروتئاز ناشی از بزاق حشره سن با استفاده از صوت، شبکه گلوتنی قدرت خود را حفظ کرده و در برابر مخلوط کردن قوام و قدرت خود را از دست نمی‌دهد.

جدول ۱. تأثیر شدت ومدت زمان صوت بر خواص رئولوژیک خمیر

شدت صوت (٪)	اعمال صوت (دقیقه)	جذب آب (٪)	استحکام خمیر (دقیقه)	زمان مخلوط کردن (دقیقه)	کشش پذیری (میلیمتر)	مقاومت به کشش (برابندر)	سطح زیر منحنی (میلیمترمربع)
۰	۰	۵۷	۳/۳	۲/۳	٤٤	۱۵۰	۱۱۲۱
	۱	۵۷	۳/۵۷	۲/۳۷	٤۹/۱۷	۱۸۰	۱۳٦۸
	۳	۵۷/۳۳	۳/٦۷	۲/٤	۵۸/٦۰	۱۹۰	۱۵٦۰
	۵	۵۸/٦۷	۳/۷	۲/۵۳	۵۷/۸۷	۲۰۲/۷	۱۸۱٤
	۱	۵٦/۵	۳/۸۳	۲/۵۷	٦۳/۰۳	۲۳۰	۲٤۹۰
	۳	۵٦/۵	۳/۸۷	۲/۷۳	٦۵/۳۳	۲٤۰	۲۳۸۱
	۵	۵۸/۱۷	۳/۸	۲/۷۳	٦٦/٦۷	۲۵۵	۲۳۱۹
	۱	۵۸	۳/۸	۲/۹۳	٦۷/۳۳	۲۵۳/۳	۲۵۲۵
	۳	۵۸/۰۳	۳/٦۷	۲/۷۳	۸۱	۲۵۸/۳	۲٤۸۵
	۵	۵۷/۳۷	۳/٦۵	۲/۷	۸٤/۳۳	۲۵۹/۷	۲۳۳۷
LSD		۱/۵	۰/۱۲	۳/٤۳	۳/۱٤	۵۲/۱٤۸	۱۱۸/۲

در مورد ویژگی‌های اکستنسوگرافی افزایش شدت و زمان اعمال صوت باعث کشش پذیری بیشتر خمیر و همچنین افزایش مقاومت خمیر در برابر نیروی کششی می‌شود و به‌نظر می‌رسد میزان تأثیر صوت روی گلیادین و گلوتنین خمیر روند هم‌نواختی دارد. اما بهترین شرایط و زمان اعمال صوت که بتواند تعادل مناسبی بین کشش‌پذیری و مقاومت در برابر کشش ایجاد نماید شدت ۷۰ درصد و زمان ۵ دقیقه و شدت ۹۰ درصد صوت و زمان ۱ دقیقه است یعنی اعمال صوت شدید و زمان کوتاه و یا صوت متوسط در زمان طولانی. شکل ۸ تأثیر متقابل شدت و زمان اعمال امواج فراصوت را بر سفتی و چسبندگی بافت نان بروتشن تولیدی از آرد گندم سن‌زده تحت شرایط اعمال صوت در مقایسه با آرد گندم سن‌زده تیمار نشده نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در اثر اعمال امواج در شدت‌های بالاتر سفتی نان حاصل کمتر می‌شود. اما زمان اعمال صوت تأثیر معنی‌داری بر سفتی نان ندارد. به‌نظر می‌رسد که اصلاح ساختار سلولی مغز نان باعث نرم‌تر شدن نان حاصل می‌شود. همان‌گونه‌که در شکل ملاحظه می‌شود با افزایش شدت صوت سفتی بافت به میزان ۴۷٪ کاهش می‌یابد و افزایش زمان اعمال صوت نیز تا حدودی باعث کاهش سفتی نان می‌شود. (۱۶٪) اما میزان تأثیر کمتر از شدت صوت می‌باشد. این امر بیانگر این است که صوت باعث حفظ استحکام در آرد تولیدی می‌گردد و در واقع اثر صوت باعث از بین رفتن آنزیم پروتئاز گردیده و گلوتن حاصل آسیب کمتری دیده است و در رابطه با این تأثیر افزایش شدت صوت مؤثرتر از افزایش زمان است.

تأثیر متقابل شدت و زمان اعمال صوت بر کاهش چسبندگی بافت نان در شکل ۹ نشان داده شده که بررسی روند این منحنی نیز بیانگر حفظ کیفیت بافت نان در اثر اعمال صوت شدیدتر می‌باشد و در واقع اعمال امواج صوت شبکه گلوتنی را نیز بهتر حفظ می‌کند.



شکل۹. تأثیر شدت ومدت زمان اعمال صوت بر چسبندگی و سفتی بافت نان حاصل از گندم سن‌زده

شکل ۱۰ تأثیر امواج فراصوت را بر حجم مخصوص نان حاصل از گندم سن‌زده نشان می‌دهد که مشخص است افزایش شدت صوت باعث بهبود حجم مخصوص نان می‌شود و بیشترین حجم مربوط به اعمال شدت امواج متوسط است یعنی در شدت صوت ۷۰ درصد بیشترین حجم معادل ۳/۸ سانتی‌متر مکعب بر گرم و با افزایش شدت تا ۹۰ درصد این روند کاهش یافت و به حدود ۳ سانتی‌متر مکعب بر گرم رسید. علت بهبود حجم می‌تواند به علت حفظ ساختمان گلوتن باشد. با توجه به نتایج تحقیق ایوری و همکاران که ابراز کرده‌اند، آنزیم پروتئاز سن سبب کاهش حجم می‌شود و با توجه به اندازه‌گیری پروتئاز در این تحقیق و سایر نتایجی که تاکنون به‌دست آمد، مشخص می‌شود که علت افزایش حجم مخصوص نان در اثر اعمال امواج فرا صوت را می‌توان به از بین رفتن آنزیم پروتئاز ناشی از سن در اثر صوت نسبت داد [۱]. بدین ترتیب که شبکه گلوتنی دچار آسیب کمتری شده و خمیر در مراحل تخمیر و پخت توانایی حفظ گاز بیشتری خواهد داشت که این امر سبب افزایش حجم مخصوص گردیده است. اما افزایش شدت صوت بیشتر، به دلیل آسیب رساندن به شبکه گلوتنی باعث از بین رفتن توانایی حفظ گاز و در نتیجه کاهش حجم مخصوص می‌گردد.

شکل ۱۰. تأثیرامواج فراصوت در شدت‌های ۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد (از راست به چپ) برحجم نان حاصل از آرد گندم سن‌زده

۷. نتیجه‌گیری

حشره سن حین تغذیه از دانه گندم بزاق خود که حاوی آنزیم پروتئاز است را به درون دانه وارد می‌کند، این آنزیم در آردسازی به آرد انتقال می‌یابد وتأثیر منفی خود را هنگام مخلوط کردن و تخمیر خمیر نشان می‌دهد. در نتیجه خمیری چسبنده با ویژگی رئولوژی نامطلوب و نانی با حجم کم وخصوصیات رئولوژی ضعیف حاصل می‌نماید. نتایج این تحقیق نشان داد که با اعمال امواج فراصوت به دانه گندم قبل از اینکه آنزیم بتواند سبب تخریب شبکه گلوتنی شود می‌تواند باعث غیرفعال‌سازی این آنزیم شده که درنتیجه آن ساختار شبکه گلوتنی حفظ و درنهایت منجر به بهبود خواص

رئولوژیک و بافت خمیر و همچنین خواص ارگانولپتیک نان می‌گردد. با بررسی مجموع نتایج می‌توان عنوان نمود که اعمال صوت با شدت ۷۰ درصد در زمان ۵ دقیقه علاوه براینکه بهترین تأثیر را در حفظ خصوصیات رئولوژیک و بافت خمیر و نان دارد، به شبکه گلوتنی آسیب نمی‌رساند. درحالی‌که در شدت صوت بالاتر یا زمان طولانی‌تر علی‌رغم بهبود بعضی خواص نظیر رنگ پوسته و مغز تعادل رئولوژیک خمیر بر هم خورده که می‌تواند به دلیل شکسته شدن مولکول‌های گلوتنین با وزن مولکولی بالا به واحدهای کوچکتر باشد.

۸. مأخذ

[1] Every, D., Sutton, K. H., Shewry, P.R and Tathum A. S., "Specificity of Action of an Insect Proteinase Purified from Wheat Grain Infected by the New Zealand Wheat Bug." *Journal of Cereal Science*, Vol. 42, 2005, pp.185-197.

[2] Caballero, P. A., Rosell, C. M. and Gomez, M., "Effect of Microbial Transglutaminase on the Rheological and Thermal Properties of Insect Damaged Wheat Flour." *Journal of Cereal Science*, Vol.42, 2005, pp.93 – 100.

[3] Vercet, A., Lopez, P., and Burgos, J., "Free Radical Production by Mono Thermo Sonication." *Ultrasonic*, Vol.36, 1998, pp.615-618.

[4] Ovsianko, S. L., Chernyausky, T. A., Minchenya, V.T., "Effect of Ultrasound on Activation of Serine Protease Precursors." *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol.12, 2005, pp.219-223.

[5] American Association of Cereal Chemists, "*Approved methods of the AACC methods*." 8th Ed. 1984.

[6] Sarath, G., Motte, D. C., Wagner, F. W., "*Proteolytic Enzymes: a Practical Approach*." University Press. Nebraska, 1989.

[7] Rani, K. U., Prasad, R. U., Leelavathi, K., and Haridas, R., "Distribution of enzymes in wheat flour mill streams." *Journal of Cereal Science*, Vol.34, 2001, pp.233-242.

[8] Bollain, C., and Collar, C., "Dough Viscoelastic Response of Hydrocolloid/Enzyme/ Surfactant Blends Assessed by uni and Bi-axial Extension Measurements." *Food Hydrocolloids*, Vol.18, 2004, pp.499-507.

[9] Mason. T. J., "Sonochemistry and Sonoprocessing: the Link, the Trends and the Future." *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol.10, 2003, pp.175-179.

[10] Khan, K., Huckle, L., and Freeman, T., "Disaggragation of Glutenin with Low Concentration of Reducing Agent and with Low Concentration of Reducing Agent and with Sonication." *Cereal Chemisty*, Vol.71, 1994, pp.242-247.

[11] Aja, S., Perez, G., and Rosell, C. M., "Wheat Damage by *Aelia spp*. and *Erygaster spp.*: Effects on Gluten and Water-soluble Compounds Released by Gluten Hydrolysis." J*ournal of Cereal Science*, Vol.39, 2004, pp.187-193.

[12] Siviri, D., Koksel, H. and Bushuk, W., "Effects of Wheat Bug Proteolytic Enzymes on Electrophoretic Properties of Gluten Proteins." *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, Vol.26, 1998, pp.117-125.

[13] Ozbek, B., and Ulgen, K. O., "The Stability of Enzymes after Sonication." *Process Biochemistry*, Vol.35, 2000, pp.1037-1043.

[14] Vercet, A., Simon, C., Oria, R., and Pascual, L. B., "Selective Inactivation of Phospholipase as in Complex Protein mixtures." I*nnovative Food Science and Emerging Technologies*, Vol.3, 2002, pp.271-277.