



مقاله پژوهشی

مدل‌سازی هوشمند بافت نان به کمک روش اندازه‌گیری صوت و شبکه عصبی (مطالعه موردی: نان غنی‌شده با چیا)

مه‌رخ حاتمیان^۱، محمد نوشاد^۲، سامان آبدانان مهدی‌زاده^{۳*}، حسن برزگر^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی

و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

خوزستان، ملاتانی، ایران

۳. استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

خوزستان، ملاتانی، ایران

۴. دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

خوزستان، ملاتانی، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۶، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۸/۷/۱۵، تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۲۵)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، مدل‌سازی هوشمند بافت نان، به روش غیرمخرب صوتی- مکانیکی است. بدین‌منظور بافت نان غنی شده، با درصد‌های مختلف دانه چپای اصلاح شده (۲/۵، ۵، ۷/۵٪)، توسط دستگاه بافت سنج با سرعت آزمون 3mm.s^{-1} و ۳۰٪ فشردگی ارزیابی شد؛ در شرایطی که میکروفون در فاصله ۵ cm نمونه‌ها و در زاویه 45° نسبت به افق قرار داشت. از صدای ذخیره‌شده در جریان بارگذاری، ویژگی‌های میانگین شدت صوت، بیشترین مقدار صدا، واریانس، انحراف معیار، میانگین جذر قدرمطلق، جذر میانگین مربعات، چولگی، چقرمگی، ممان پنجم، ممان ششم، انرژی، آنتروپی در حوزه زمان، آنتروپی طیفی و فرکانس طبیعی در حوزه فرکانس، استخراج شد. بعد از انتخاب مناسب‌ترین ویژگی‌ها (بیشترین مقدار صدا، واریانس، انحراف معیار، میانگین جذر قدر مطلق سیگنال، انرژی، آنتروپی و فرکانس طبیعی)، براساس آنالیز آماری، شبکه عصبی مصنوعی، با ۳ الگوریتم (لونیبرگ مارکوارت، شیب توأم مقیاس‌شده، سرعت یادگیری متغیر) و ۷ نرون در لایه ورودی (متناسب با ویژگی‌های انتخاب‌شده) و ۳ نرون در لایه خروجی (سفتی، چسبندگی، قابلیت جویدن) آموزش و آزموده شد. نتایج نشان داد که خطای آموزش در الگوریتم لونیبرگ - مارکوارت، نسبت به سایر الگوریتم‌ها، کمتر بود و خطای جذر میانگین مربعات مرحله آزمون این الگوریتم، به ترتیب برای پیش‌گویی سفتی، قابلیت جویدن و چسبندگی ۰/۱۴، ۰/۲۳ و ۰/۳۳ به‌دست آمد که حاکی از توانایی این روش پیشنهادی، در تخمین کیفیت نان دارد.

کلیدواژه‌ها: بافت، ویژگی‌های صوتی، انبارمانی، نان، چپای اصلاح‌شده

* نویسنده مسئول: s.abdanan@asnrukh.ac.ir
saman.abdanan@gmail.com

۱. مقدمه

می‌شود، باعث غیرفعال شدن آنزیم‌ها، میکروارگانیسم‌ها، تخریب سموم و آلاینده‌ها در دانه می‌شود [۱۱-۱۰].

بافت، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی نان است که به عنوان مجموعه‌ای از خواص مکانیکی - ساختاری - صوتی تعریف می‌شود. در میان ارزیابی صفات بافت محصولات غذایی، تردی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفیت محصولات غله‌ای است. آزمون‌های صوتی با توجه به ماهیت غیرمخرب، به صورت گسترده در تعیین ویژگی‌های کیفی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به پژوهش چن و همکاران (۲۰۰۵)، بررسی تردی بیسکویت [۱۲]، جکاجی و همکاران (۲۰۱۲) تردی اسنک اکستروژده [۱۳] اشاره کرد. استفاده از آزمون‌های مکانیکی و همچنین اندازه‌گیری صوتی به صورت همزمان اطلاعات بهتری از ساختار بافت را ارائه می‌دهند [۱۳]. کارسانبار و همکاران (۲۰۱۸) نیز تردی و یفرهای مختلف را با آزمون صوتی- مکانیکی بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که هر دو روش صوتی و مکانیکی، به طرق مختلف می‌توانند کیفیت محصول را بسنجند. توصیف‌کننده حسی «تردی» با ناحیه زیرمنحنی، جابه‌جایی صدا (۲=۰/۷۶) و میانگین مقدار صدا (۲=۰/۵۹) همبستگی داشت [۱۴].

بافت نان، از اهمیت و ضرورت ویژه‌ای برای جلب رضایت مصرف‌کنندگان برخوردار است و از آنجا که تا کنون مطالعه- ای بر روی بافت نان حاوی چپای اصلاح‌شده، از طریق آزمون مکانیکی- صوتی صورت نگرفته است؛ لذا هدف این پژوهش، توسعه و ارزیابی روشی مبنی بر آزمون‌های صوتی- مکانیکی، به منظور تعیین بافت نان غنی‌شده با چپای اصلاح شده در جریان انبارمانی است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. آماده‌سازی دانه چپا

دانه‌های چپا که از بازار محلی تهیه شده بودند، پس از تمیزکردن و جداسازی ناخالصی‌ها تحت تیمار برشته‌کردن (دمای °C ۱۸۰، به مدت ۲۵ min) قرار گرفتند؛ و پس از آسیاب، از الک با مش ۳۵ عبور داده شدند.

نان یکی از مهم‌ترین فرآورده‌های غلات و ارزان‌ترین منبع انرژی برای انسان محسوب می‌شود که نقش مؤثری در سبب مصرف خانوار دارد؛ اما این فرآورده غذایی پرمصرف، از نظر موادی مانند فیبرهای رژیمی، اسیدهای چرب غیراشباع، پروتئین، ویتامین و مواد معدنی فقیر است؛ از این رو غنی‌سازی آن، امری مهم و ضروری محسوب می‌شود. پژوهش‌های مختلفی با هدف غنی‌سازی نان و همچنین بهبود ویژگی‌های حسی و ارگانولپتیکی آن صورت گرفته است [۳-۱]. در پژوهشی، افزودن بذر کتان در سطوح مختلف (۳،۶،۹،۱۲،۱۵٪)، سبب افزایش میزان رطوبت، فعالیت آبی، پراکسید، ارزش تغذیه‌ای و پذیرش کلی نمونه‌های تولیدی و همچنین کاهش میزان سفتی و در نتیجه کاهش بیاتی نمونه‌ها، در مقایسه با نمونه شاهد شد [۴]. همچنین در پژوهشی دیگر، مودتی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که می‌توان آرد گندم را تا میزان ۱۰٪ آرد کامل کینوا بدون تغییر نامطلوب در ویژگی‌های حسی و کیفی نان بربری غنی‌سازی کرد [۵]. به‌منظور غنی‌سازی نان می‌توان از غلات و فرآورده‌های مختلفی بهره جست که در این میان، دانه‌های چپا، با توجه به این‌که نسبت به گندم، ذرت، برنج و جو پروتئین بیشتری داشته و دارای اکثر اسیدهای آمینه ضروری، به‌ویژه لوسین، لیزین، والین و ایزولوسین هستند و چون غنی از فیبر هستند، کاندید مناسبی برای غنی‌سازی نان محسوب می‌شوند. با توجه به ارزش غذایی و ترکیب شیمیایی چپا، خواص مختلف دارویی به آن نسبت داده شده است [۸-۶]؛ چنانکه در آمریکا، آمریکای لاتین و استرالیا به‌عنوان مکمل‌های غذایی، غلات صبحانه و کوکی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹]. با توجه به اهمیت مصرف چپا و تقاضای مصرف‌کنندگان به‌منظور بهبود بافت، خواص ارگانولپتیکی، خواص عملکردی و افزایش زمان نگهداری دانه‌ها از روش‌های مختلف اصلاح، مانند مایکروویو، اتوکلاو و برشته‌کردن استفاده می‌شود [۱۰]. در این میان، برشته‌کردن به‌عنوان فرآیندی ساده و قابل‌دسترس که عموماً در دمای °C ۱۵۰ - ۴۰۰ و طی زمانی کوتاه، همراه با واکنش‌های مختلف شیمیایی انجام

بیشترین مقدار صدا، واریانس، انحراف معیار، میانگین جذر قدرمطلق سیگنال، جذر میانگین مربعات، چولگی^۵، چقرمگی^۶، ممان پنجم^۷، ممان ششم^۸، انرژی، آنتروپی در حوزه زمان، آنتروپی طیفی^۹ و فرکانس طبیعی در حوزه فرکانس با استفاده از آنالیز صوت استخراج شدند. شایان ذکر است که تمامی آنالیزهای صورت گرفته در این بخش، در نرم افزار متلب^{۱۰} انجام شد.

۴.۲. مدل شبکه عصبی

شبکه عصبی پیش‌خورد یکی از متداول‌ترین نوع شبکه‌های عصبی مصنوعی است که عمدتاً برای تقریب تابع و طبقه‌بندی الگوها مورد استفاده قرار می‌گیرد. رایج‌ترین شبکه پیش‌خورد، پرسپترون چندلایه است که شامل یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است. برای آموزش این شبکه، از الگوریتم یادگیری پس انتشار استفاده شد. مراحل آموزش با این الگوریتم، عبارت است از: (۱) اختصاص ماتریس وزن تصادفی به هر یک از اتصالات؛ (۲) انتخاب بردار ورودی و بردار خروجی متناسب با آن؛ (۳) محاسبه خروجی نرون در هر لایه و در نتیجه، محاسبه خروجی نرون‌ها در لایه خروجی؛ (۴) بروزرسانی وزن‌ها به روش پس انتشار خطا؛ (۵) ارزیابی عملکرد شبکه‌ی آموزش دیده، به کمک جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)؛ و سرانجام برگشت به قسمت ۳ و یا پایان آموزش.

تعداد نرون در لایه میانی، از طریق روش سعی و خطا تعیین شد. برای پس انتشار، الگوریتم‌های آموزشی مختلفی وجود دارد که در این پژوهش، الگوریتم‌های آموزش با سرعت یادگیری متغیر، لونیگ - مارکوارت و شیب توأم مقیاس شده که در مسائل تخمین کارایی بهتری از خود نشان داده‌اند، مورد استفاده قرار گرفتند [۱۶]. همچنین تابع انتقال در لایه میانی تانژانت سیگموئید و در لایه خروجی تابع خطی در نظر

۲.۲. آماده‌سازی نان

درصد آرد گندم (۱۰۰ - ۹۲/۵)، درصد آرد دانه چپای اصلاح‌شده (۷/۵٪)، نمونه شاهد (۲/۵-C، ۵-C، ۷/۵-C)، مخمر خشک (۲٪)، نمک (۱٪)، شکر (۱٪)، بهبوددهنده مخصوص نان (۱/۰٪) در مخزن همزن (مدل اسپیرال، تایلند) با یکدیگر مخلوط و آب مورد نیاز به آن‌ها افزوده شد. خمیر به دست آمده ۱۵۰ دور در دقیقه، به مدت ۱۰ min هم‌زده شد و ۱٪ روغن، در دقیقه ششم به فرمولاسیون اضافه شد.

پس از تهیه خمیر، تخمیر اولیه، به مدت ۳۰ min، در دمای محیط (۲۵°C) صورت گرفت. سپس خمیر به قطعات ۲۵۰ گرمی تقسیم و پس از عمل چانه‌گیری، به مدت ۸ min - ۱۰ در دمای محیط، به منظور گذر زمان تخمیر میانی، قرار گرفت. بعد از طی این مرحله و فرم‌دادن خمیر، تخمیر نهایی به مدت ۴۵ min در گرمخانه با دمای ۴۵°C در بخار اشباع انجام شد. سرانجام عمل پخت در فر دارای گردش هوای داغ (ZucchelliForni، ایتالیا) با دمایی حدود ۲۶۰°C، به مدت ۱۳ min، این فرآیند را به اتمام رساند. پس از سرد شدن، هر یک از نمونه‌ها، به منظور ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی، در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در دمای محیط نگهداری شدند [۴].

۳.۲. مکانیکی - صوتی

ارزیابی بافت نان‌های تولیدشده، توسط دستگاه بافت‌سنج (TA.XT. PLUS, Stable Micro System Ltd., UK) با پروب استوانه‌ای (۳۶mm) صورت گرفت؛ سرعت آزمون برای تمام اندازه‌گیری‌ها ۳ mm.s^{-۱} تا ۳۰٪ فشردگی نان در نظر گرفته شد. این آزمون در فواصل زمانی ۱ تا ۶ روز پس از نگه‌داری نان در دمای اتاق ۲۵°C انجام شد. پارامتر اندازه‌گیری شده در این آزمون، سفتی^۱، چسبندگی^۲ و قابلیت جویدن^۳ نان بودند [۱۵]. همچنین با استناد به روش کارسانبار و همکاران (۲۰۱۸) میکروفون در فاصله ۵ cm از نمونه‌ها و در زاویه ۴۵° نسبت به افق قرار داده شد و پارامترهای میانگین،

4. Skewness

5. Kurtosis

6. Moment

7. Moment

8. Natural Frequency

9. Matlab

1. Hardness

2. Gumminess

3. Chewiness



افزایش انبارماني، شدت صوت مجدداً افزايش و در محدوده ۰/۱- تا ۰/۱ قرار گرفت (شکل ۱- c). محدوده نوسانات نان، حاوی ۲/۵٪ دانه چیا در روز اول و سوم انبارماني، ۰/۰۸- تا ۰/۰۸ است (شکل ۱- d و e) که نشان از ثبات بافت نان حاوی دانه چیا است. مطابق با شکل ۱- f، در آخرين روز انبارماني، محدوده نوسانات افزايش يافت (۰/۱- تا ۰/۱) و اما در مقايسه با ساير روزها، در ثانيه ۲۵، کمترین نوسان را داشت.

در نان حاوی ۵٪ آرد دانه چیا (شکل ۱- g)، کمترین نوسان در ثانيه ۱۰ و بیشترین نوسان، در ثانيه ۱۵ تا ۲۰ اتفاق افتاد که محدوده اين نوسانات از ۰/۰۶- تا ۰/۰۶ بود. در روز سوم (شکل ۱- h)، شدت صدای اخذشده افزايش يافت (۰/۰۸- تا ۰/۰۸) در حالی که در روز آخر نگه‌داری نان، محدوده نوسانات همانند روز سوم، در محدوده ۰/۰۸- تا ۰/۰۸ قرار داشت و تغيير محسوسی مشاهده نشد (شکل ۱- i). شکل (۱- j)، محدوده نوسانات در نان حاوی ۷/۵٪ آرد دانه چیا را نشان می‌دهد. چنانکه در شکل مشخص است، محدوده بين ۰/۰۶- تا ۰/۰۶ است و با گذشت زمان (روز سوم و روز ششم)، میزان شدت صدای حال از بارگذاری نمونه‌ها افزايش داشت (شکل ۱- k و l).

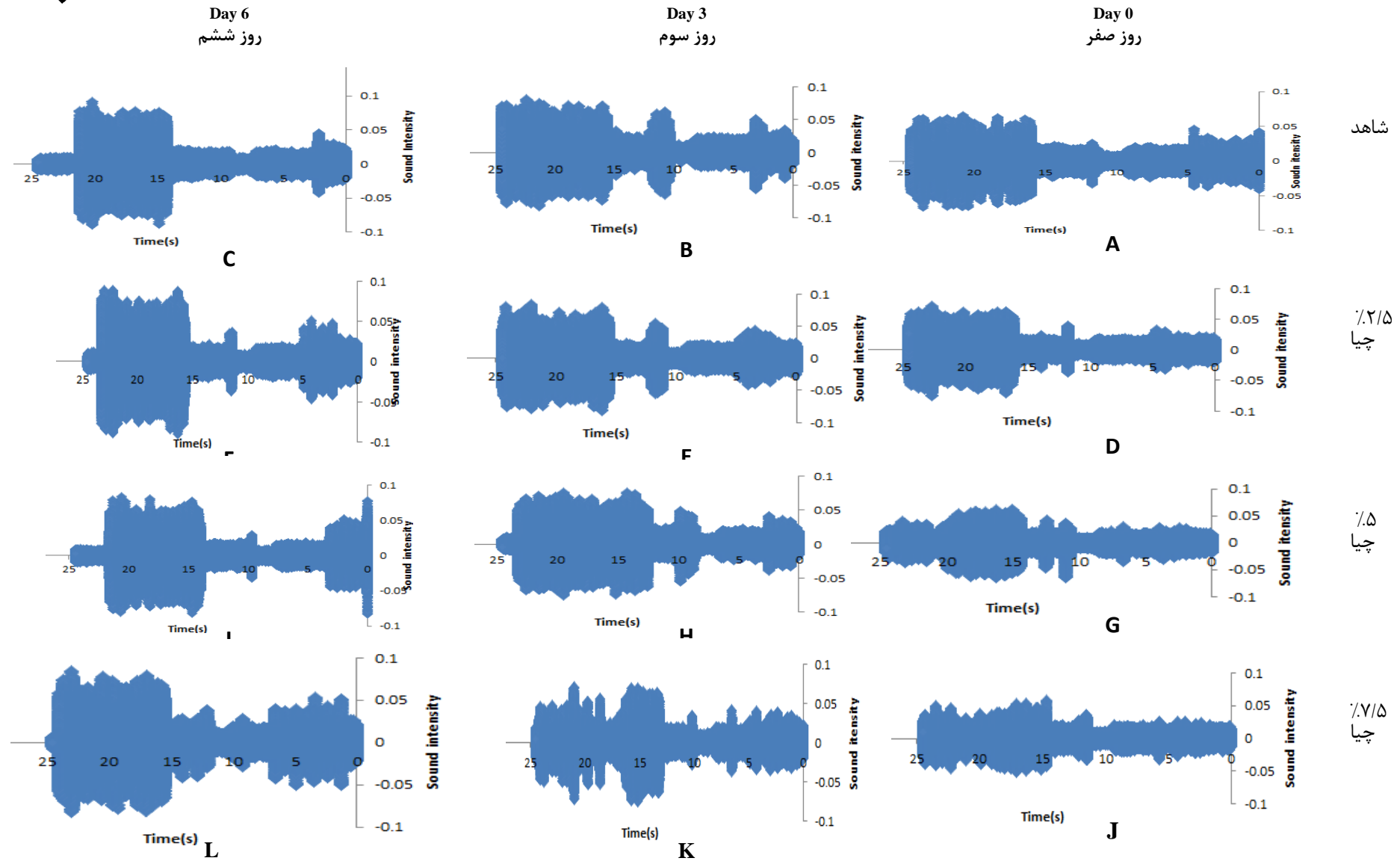
گرفته شد. مقدار خطای متوسط آموزش برای شبکه با تابع پرسپترون چندلایه، با الگوریتم پس انتشار خطا و با توپولوژی‌های مختلف، بررسی و درنهایت بهترین معماری انتخاب شد.

۵.۲. آنالیز آماری

بعد از ۳ تکرار آزمایش‌ها و میانگین و انحراف معیار داده‌ها تعیین شدند. آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آنالیز آماری SPSS نسخه ۲۰ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد.

۳. نتایج و بحث

نمودار صدای اخذشده نان شاهد و غنی‌شده با چیا در طول انبارداری به‌عنوان نمونه در شکل (۱) آورده شده است. محدوده نوسانات نمونه شاهد در روز اول، ۰/۰۶- تا ۰/۰۶ است که بیشترین نوسانات، در ثانيه ۱۵ تا ۲۵ مشاهده شد که احتمالاً به‌دلیل گسستگی بخشی از بافت نان در این بازه زمانی است. در ضمن، کمترین نوسانات به ثانيه ۵ تا ۱۰ برمی‌گردد که در این مرحله، بافت نمونه‌ها تحت فشردگی اولیه قرار می‌گیرد (شکل ۱- a). در روز سوم (شکل ۱- b)، شدت نوسانات افزايش داشت، به‌طوری‌که شدت این صدای اخذشده در محدوده ۰/۰۸- تا ۰/۰۸ قرار داشت. نهایتاً با



شکل (۱) نمونه‌ای از صدای اخذشده از نان حاوی درصدهای مختلف چیا، در خلال انبارمانی، تحت بارگذاری فشاری
Fig 1. A sample of the sound of bread with different amount of Chia during storage under the compression test

آریمی و همکاران (۲۰۱۰) تُردی بیسکویت را از طریق فعالیت آبی، با استفاده از آزمون صوتی- مکانیکی بررسی کردند. نتایج نشان داد که در $a_w=0/113$ بیشترین تعداد ناهمواری‌ها در پیک نیرو و بیشترین پیک صوتی وجود داشت؛ همچنین با گذر زمان و افزایش a_w ناهمواری‌های منحنی نیرو و صدا کاهش و در $a_w=0/832$ ، تعداد پیک‌ها خیلی کم بود، در حالی که در $a_w=0/98$ ، دامنه صدای تولیدشده کمتر از آستانه بود و هیچ پیکی ثبت نشد. کاهش تعداد پیک در صوت اخذشده بر اثر افزایش a_w را، می‌توان به پلاستیکی و نرم‌شدن مواد بیسکویت که سبب ازبین‌رفتن ناهمواری‌های منحنی نیرو-جابه‌جایی می‌شود، نسبت داد [۱۷].

نتایج آنالیز آماری ویژگی‌های صوتی، در جدول (۱) آمده است. در روز اول دوره ماندگاری، نان حاوی ۲/۵٪ آرد دانه چیا نسبت به سایر نمونه‌ها، بیشترین میزان شدت سیگنال صوت را دارا بود. در روز سوم، اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها مشاهده نشد؛ در حالی‌که در روز ششم با افزایش میزان آرد دانه چیا، کاهش معنی‌داری در شدت صوت، نسبت به نمونه شاهد وجود داشت. طی دوره نگهداری، بیشینه صوت در همه نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. واریانس صوت، در روز اول و ششم، با هم اختلاف نداشتند ($p>0/05$)، اما واریانس نمونه‌های حاوی آرد دانه چیا که نشان‌دهنده تغییرات در صدای اخذشده است، در مقایسه با نمونه شاهد، در روز سوم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<0/05$). این مسئله در نمونه‌های حاوی ۲/۵٪ آرد دانه چیا احتمالاً به دلیل کم بودن رطوبت نسبت به سایر نمونه‌ها است [۱۵]. همچنین اضافه‌کردن ۷/۵٪ آرد دانه چیا به نمونه‌ها، موجب کاهش معنی‌دار انرژی و آنتروپی صدای اخذشده در روز اول، در مقایسه با سایر نمونه‌ها شد. در روز سوم انبارمانی، اختلاف معنی‌داری در میزان انرژی صوت وجود نداشت. در روز ششم، نمونه ۲/۵٪ بیشترین ($23/45 \pm 1/038$) و نمونه ۷/۵٪ کمترین ($24/44 \pm 0/398$) میزان انرژی را داشتند؛ البته در روز اول، آنتروپی نمونه شاهد با نمونه حاوی ۲/۵٪ و ۵٪ آرد دانه چیا تفاوت معنی‌داری نداشت ($p>0/05$)؛ اما افزودن ۷/۵٪ آرد دانه چیا،

سبب کاهش آنتروپی از ($1433/92 \pm 514/75$) برای نمونه شاهد، به ($1311/88 \pm 229/432$) برای نمونه حاوی ۷/۵٪ آرد دانه چیا شد. در روز سوم، بین نمونه شاهد با نمونه‌های ۲/۵٪ و ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و نمونه با ۲/۵٪ آرد دانه چیا بیشترین ($2718/67 \pm 211/534$) و نمونه با ۷/۵٪ آرد دانه چیا، کمترین ($2297 \pm 397/662$) میزان آنتروپی را دارا بودند. این مسئله را می‌توان به افزایش انسجام بافت نمونه‌ها با افزایش میزان چیا نسبت داد. بلونسکا و همکاران (۲۰۱۴) خصوصیات بافتی، بیسکویت‌های حاوی اینولین را به روش صوتی- مکانیکی بررسی کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، کاهش قابل‌توجهی در میزان انرژی صوت، در نسبت به نمونه‌های دارای اینولین گزارش شد [۱۸].

میانگین جذر قدر مطلق صوت، نمونه حاوی ۷/۵٪ آرد دانه چیا در روز اول با سایر نمونه‌ها، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ داشت. در روز سوم، این ویژگی در نمونه شاهد، نسبت به سایر نمونه‌های حاوی آرد دانه چیا کاهش یافت. از طرف دیگر، در روز ششم، این ویژگی در نمونه شاهد، نان حاوی ۲/۵٪ و ۵٪ آرد دانه چیا نسبت به سایر دوره‌های نگه‌داری افزایش و برای نمونه حاوی ۷/۵٪ آرد دانه چیا تغییری مشاهده نشد. ویژگی چولگی نمونه حاوی ۷/۵٪ آرد دانه چیا در روز اول نسبت به نمونه شاهد و نمونه حاوی ۲/۵٪ و ۵٪ آرد دانه چیا، به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($p<0/05$). در روز سوم، اختلافی در چولگی نمونه‌های ۲/۵٪ و ۵٪ آرد دانه چیا وجود نداشت و نمونه حاوی ۷/۵٪ آرد دانه چیا، بیشترین میزان چولگی را دارا بود. نهایتاً بیشترین میزان این ویژگی در روز ششم، در نمونه‌ای با ۲/۵٪ آرد دانه چیا مشاهده شد. فرکانس طبیعی نمونه حاوی ۲/۵٪ آرد دانه چیا در روز اول نسبت به سایر نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود؛ اما در روزهای سوم و ششم، بین فرکانس طبیعی نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0/05$). به‌طور کلی، با افزایش دوره انبارمانی میزان فرکانس طبیعی نمونه‌ها نیز افزایش معنی‌داری داشت؛ این مسئله بیانگر کاهش جرم، در اثر تغییر فاز بلورین و افزایش سفتی نمونه‌ها است. در پژوهشی که نوری و همکاران (۲۰۱۷) بر روی نان باگت انجام دادند،



مشخص شد که فرکانس طبیعی نمونه‌های نان در جریان بیاتی نان دارد [۱۹].
انبارمانی کاهش معنی‌داری داشت که این مسئله نشان از

جدول (۱) آنالیز آماری داده‌های صوتی

Table 1. Statistical analysis of acoustical data

Standard Deviation انحراف معیار	Root mean square value جذر میانگین مربعات	Root mean absolute value میانگین جذر قدر مطلق	Variance واریانس	Max بیشترین میزان صدا	Sample نمونه	Day روز
0.012±0.002 ^{Aa}	0.0001±0.0001 ^{Ab}	0.000002±0.000003 ^{Bb}	0.0001±0.00006 ^{Ab}	0.06±0.009 ^{ABc}	Blank شاهد	0
0.012±0.002 ^{Aa}	0.0001±0.0001 ^{Ab}	0.000001±0.000003 ^{Bc}	0.0001±0.00004 ^{Ac}	0.06±0.005 ^{Ac}	c-2.5% چیا- ٪۲/۵	
0.012±0.001 ^{Ab}	0.0001±0.00008 ^{Ab}	0.000003±0.000002 ^{ABb}	0.0001±0.00002 ^{Ab}	0.06±0.003 ^{Bc}	c-5% چیا-۵٪	
0.010±0.001 ^{Bc}	0.0002±0.00009 ^{Ab}	0.000004±0.000002 ^{Ab}	0.0001±0.00005 ^{Ac}	0.05±0.007 ^{Cb}	c-7.5% چیا-۷/۵٪	
0.016±0.002 ^{Ba}	-2.52E-7±0.000004 ^{Bb}	-2.52E-7±0.000004 ^{Bb}	0.0002±0.00007 ^{Ba}	0.07±0.078 ^{Ab}	Blank شاهد	3
0.017±0.0008 ^{ABb}	0.0003±0.0001 ^{Aa}	0.000004±0.000003 ^{Ab}	0.0003±0.00002 ^{Ab}	0.07±0.003 ^{Ab}	c-2.5% چیا- ٪۲/۵	
0.017±0.001 ^{ABa}	0.0002±0.0001 ^{Aa}	0.000003±0.000002 ^{ABb}	0.0003±0.00003 ^{Aa}	0.07±0.004 ^{Ab}	c-5% چیا-۵٪	
0.016±0.001 ^{Cb}	0.0002±0.0001 ^{Aa}	0.000004±0.000002 ^{Ab}	0.0003±0.00005 ^{Aa}	0.08±0.006 ^{Cab}	c-7.5% چیا-۷/۵٪	
-0.009±0.003 ^{Ba}	0.0001±0.0001 ^{Aab}	0.00001±0.000008 ^{Aa}	0.0003±0.00002 ^{Aa}	0.09±0.005 ^{Aa}	Blank شاهد	6
-0.01±0.003 ^{Ba}	0.0001±0.0001 ^{Aa}	0.00001±0.000005 ^{Aa}	0.0003±0.00003 ^{Aa}	0.08±0.003 ^{Ba}	c-2.5% چیا- ٪۲/۵	
-0.01±0.003 ^{Ba}	0.0001±0.00007 ^{Ab}	0.000009±0.000006 ^{Aa}	0.0003±0.00003 ^{Aa}	0.08±0.004 ^{Ca}	c-5% چیا-۵٪	
-0.01±0.003 ^{Cb}	0.0001±0.0001 ^{Aa}	0.000008±0.000004 ^{Aa}	0.0003±0.00004 ^{Aa}	0.08±0.006 ^{Cab}	c-7.5% چیا-۷/۵٪	

Kurtosis چقرمگی	Skewness چولگی	Natural frequency فرکانس طبیعی	Entropy آنترپی	Energy انرژی	Sample نمونه	روز
4.83±1.109 ^{Bb}	-0.003±0.008 ^{Ab}	137.63±18.861 ^{Bc}	1433.92±514.75 ^{Ab}	20.74±2.112 ^{Ab}	Blank شاهد	0
5.58±0.746 ^{Aa}	-0.005±0.005 ^{Ac}	149.14±9.974 ^{Ac}	1332.59±335.745 ^{Ac}	20.69±1.176 ^{Ac}	c-2.5% چیا- ٪۲/۵	
4.95±0.5 ^{Ba}	-0.007±0.006 ^{Ab}	139.63±10.427 ^{Bc}	1311.88±229.432 ^{Ab}	20.61±0.879 ^{Ab}	c-5% چیا-۵٪	
4.62±0.553 ^{Bab}	-0.01±0.005 ^{Bc}	113.64±9.564 ^{Cc}	946.345±243.43 ^{Bc}	18.52±1.423 ^{Bc}	c-7.5% چیا-۷٪	
4.39±0.47 ^{Ac}	-0.006±0.003 ^{Ba}	169.68±22.481 ^{Aa}	2299.08±557.48 ^{Ba}	23.25±1.874 ^{Ba}	Blank شاهد	3
4.39±0.191 ^{Ac}	-0.01±0.003 ^{ABb}	169.49±5.339 ^{Ab}	2428.61±198.213 ^{Bb}	23.78±0.391 ^{ABb}	c-2.5% چیا- ٪۲/۵	
4.26±0.356 ^{Ac}	-0.008±0.003 ^{ABa}	166.66±6.511 ^{Ab}	2444.38±271.842 ^{Ba}	23.78±0.579 ^{ABa}	c-5% چیا-۵٪	
4.29±0.762 ^{Ab}	-0.006±0.007 ^{Aa}	172.63±16.626 ^{Ab}	2666.97±408.596 ^{Aa}	24.18±0.879 ^{Aa}	c-7.5% چیا-۷٪	
5.43±0.44 ^{Aa}	-0.009±0.003 ^{Ba}	201.01±4.556 ^{Aa}	2459.67±215.019 ^{Ba}	23.97±0.434 ^{Ba}	Blank شاهد	6
4.94±0.247 ^{Bb}	-0.01±0.001 ^{Aa}	216.46±41.503 ^{Aa}	2718.67±211.534 ^{Aa}	24.44±0.398 ^{Aa}	c-2.5% چیا- ٪۲/۵	
4.74±0.43 ^{Bb}	-0.01±0.003 ^{Ba}	205.83±36.323 ^{Aa}	2510.522±226.107 ^{Ba}	23.99±0.497 ^{Ba}	c-5% چیا-۵٪	
4.74±0.519 ^{Ba}	-0.01±0.003 ^{Cb}	204.78±55.344 ^{Aa}	2297.61±397.662 ^{Cb}	23.45±1.038 ^{Cb}	c-7.5% چیا-۷٪	

حروف بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف در سطح ۵٪ و حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین روزهای مختلف در سطح ۵٪

The uppercase letters represent a meaningful difference between the different treatments at the 5%; the lowercase letters represent a significant difference between the different days at the 5% level

به دلیل ماهیت روغنی دانه چیا و نقشی که روغن‌ها در نرمی بافت نان دارند، افزودن آرد اصلاح‌شده دانه چیا، باعث کاهش میزان سفتی، چسبندگی و قابلیت جویدن بافت نان می‌شود؛ علاوه بر این، با افزایش عمر انبارمانی نمونه‌ها، میزان سفتی، چسبندگی و قابلیت جویدن نمونه‌ها نیز افزایش یافت که این امر، احتمالاً به دلیل مهاجرت و انتقال رطوبت از مغز به پوسته نان است که موجب افزایش میزان سفتی نان شده است [۲۰]. داریا و همکاران (۲۰۱۷) درصد‌های مختلف آرد

نتایج آنالیز واریانس داده‌های به‌دست آمده از دستگاه بافت-سنج نشان داد که افزودن آرد اصلاح‌شده دانه چیا، سبب کاهش معنی‌داری ($p < 0.05$) در میزان سفتی، قابلیت جویدن و چسبندگی نان شد (جدول ۲). هیدورکلوئیدهای موجود در دانه چیا، با ایجاد شبکه و حفظ آب یا به دلیل برهم‌کنش‌های بین ترکیبات هیدروفیل موجود در آرد اصلاح‌شده دانه چیا با پروتئین گلوتن، می‌توانند باعث کاهش سفتی، قابلیت جویدن و چسبندگی نان شوند [۴]؛ همچنین

چیا (۸ - ۰٪) را جایگزین آرد گندم کردند که سفتی، دانه چیا کاهش یافت که با نتایج به دست آمده در این چسبندگی و قابلیت جویدن، با افزایش درصد جایگزینی آرد پژوهش، مطابقت دارد [۲۱].

جدول (۲) آنالیز آماری داده‌های حاصل از بافت‌سنج
Table 2. Statistical analysis of texture analyzer data

Gumminess چسبندگی (N)	Hardness سفتی (N)	Chewiness قابلیت جویدن (N.mm)	Sample نمونه	Day روز
0.281±0.77 ^{BCb}	0.313±0.091 ^{BCb}	0.278±0.077 ^{BCb}	Blank شاهد	0
0.709±0.076 ^{Ac}	0.801±0.079 ^{Ac}	0.705±0.07 ^{Ac}	c-٪2/5 چیا- ٪۲/۵	
0.317±0.346 ^{Bb}	0.379±0.544 ^{Bb}	0.316±0.036 ^{Bb}	c-٪5 چیا- ٪۵	
0.13±0.009 ^{Cb}	0.152±0.002 ^{Cb}	0.13±0.009 ^{Cb}	c-٪7/5 چیا- ٪۷/۵	3
3.22±0.181 ^{Ba}	3.66±0.265 ^{Ba}	3.204±0.204 ^{Ba}	Blank شاهد	
3.063±0.441 ^{Bb}	3.585±0.545 ^{Bb}	3.046±0.417 ^{Bb}	c-٪2/5 چیا- ٪۲/۵	
3.865±1.2 ^{Ba}	4.423±1.407 ^{Bb}	3.82±1.188 ^{Ba}	c-٪5 چیا- ٪۵	6
7.357±0.032 ^{Aa}	8.175±0.036 ^{Aa}	7.283±0.033 ^{Aa}	c-٪7/5 چیا- ٪۷/۵	
3.767±0.270 ^{Ba}	3.27±0.292 ^{Ba}	3.748±0.248 ^{Ba}	Blank شاهد	
7.96±1.063 ^{Aa}	9.134±0.925 ^{Aa}	7.872±1.057 ^{Aa}	c-٪2/5 چیا- ٪۲/۵	
6.352±1.210 ^{Aa}	7.328±1.629 ^{Aa}	6.315±1.158 ^{Aa}	c-٪5 چیا- ٪۵	
7.465±0.333 ^{Aa}	8.434±0.173 ^{Aa}	7.283±0.329 ^{Aa}	c-٪7/5 چیا- ٪۷/۵	

حروف بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف در سطح ۵٪؛ حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین روزهای مختلف در سطح ۵٪

The uppercase letters represent a meaningful difference between the different treatments at the 5%; the lowercase letters represent a significant difference between the different days at the 5% level.

صدا و میانگین فشار صدا همبستگی داشتند [۱۴]؛ لذا از میان ویژگی‌های استخراج شده از صدا، بیشینه میزان صدا، واریانس، میانگین جذر قدر مطلق سیگنال، انحراف معیار، انرژی، آنتروپی و فرکانس طبیعی، با توجه به ارتباط معنی‌دار قوی با ویژگی‌های سفتی، قابلیت جویدن و چسبندگی، به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی در مرحله آموزش مورد استفاده قرار گرفتند و باقی ویژگی‌ها در این مرحله حذف شدند.

طبق آنالیز همبستگی، میان ویژگی‌های صوتی و داده‌های دستگاه بافت‌سنج، میان سفتی، قابلیت جویدن و چسبندگی با بیشترین میزان صدا، واریانس، میانگین جذر قدر مطلق سیگنال، انحراف معیار، انرژی، آنتروپی و فرکانس طبیعی در سطح احتمال ۱٪ و با جذر میانگین مربعات در سطح احتمال ۵٪، دارای ارتباط معنی‌دار است (جدول ۳). در پژوهشی که کارسانبار و همکاران (۲۰۱۷) بر روی تردی ویفر انجام دادند، تردی با بیشترین میزان صدا، ناحیه زیر منحنی

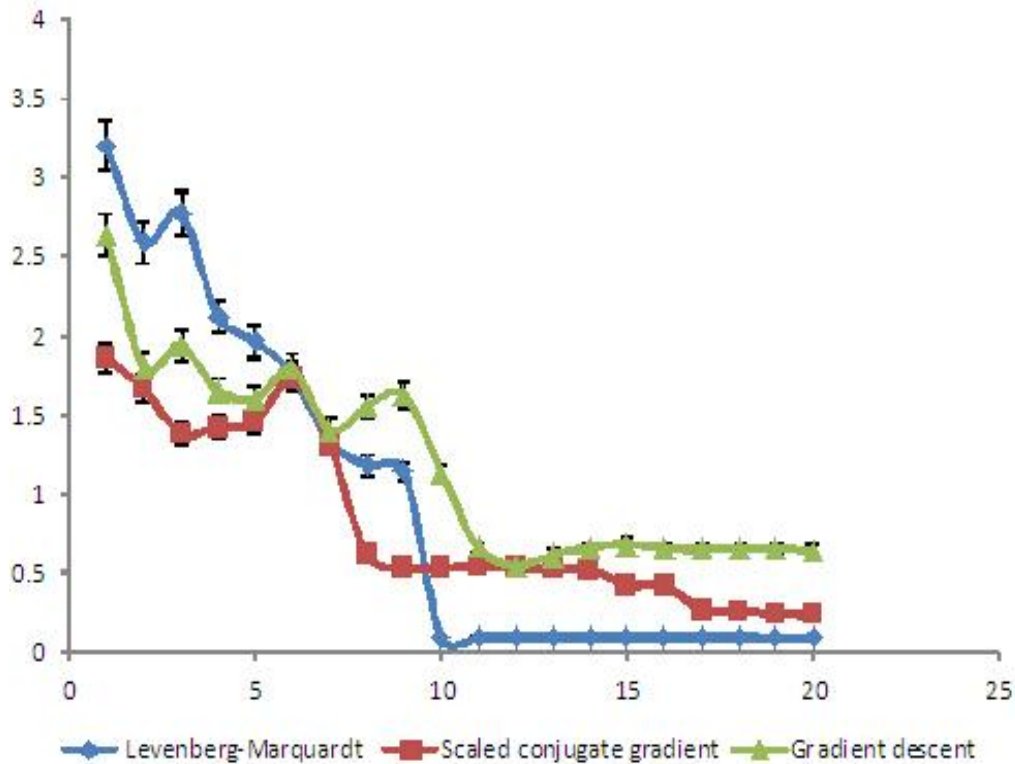
میانگین جذر قدر مطلق	Root mean absolute value	0.109	0.42*	0.20	0.19	1					
جذر میانگین مربعات	Root mean square value	0.34*	0.18	0.12	0.36*	-0.11	1				
انحراف معیار	Standard Deviation	0.05	0.64**	0.81**	0.99**	0.151	0.34*	1			
چولگی	Skewness	-0.16	-0.35*	-0.08	-0.15	-0.15	-0.06	-0.13	1		
چقرمگی	Kurtosis	0.08	-0.06	0.04	-0.44**	0.002	-0.33*	-0.42**	0.32	1	
انرژی	Energy	0.08	0.58**	0.80**	0.97**	0.10	0.32	0.99**	-0.10	-0.39*	1

	1	0.97**	-0.47**	-0.15	0.99**	0.37*	0.17	0.99**	0.79**	0.65**	0.03	آنزیمی Entropy				
	1	0.74**	0.73**	-0.02	-0.16	0.75**	0.23	0.29	0.76**	0.76**	0.79**	فرکانس طبیعی Natural Frequency				
	1	0.65**	0.60**	0.54**	-0.18	-0.35*	0.59**	0.40*	0.51	0.61**	0.54**	0.82**	0.30	سفتی Hardness		
	1	0.99**	0.64**	0.59**	0.54**	-0.18	-0.35*	0.58**	0.41**	0.51**	0.61**	0.53**	0.81**	0.31	قابلیت جویدن Chewiness	
	1	1.00**	0.99**	0.64**	0.59**	0.54**	-0.18	-0.35*	0.58**	0.41*	0.51**	0.61**	0.53**	0.81**	0.32	چسبندگی Gumminess

*, ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵٪ و ۱٪
Significant levels of 5%, Significant levels of 1%

عصبی، نسبت به تعداد نرون در لایه میانی را برای ویژگی سفتی نمایش می‌دهد. با افزایش تعداد لایه نرون، خطاها به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و یک افت ناگهانی در خطای پیش‌بینی، از ۹ نرون در لایه میانی به بعد، رخ می‌دهد. از طرف دیگر، مناسب‌ترین الگوریتم با کمترین خطا، به ترتیب الگوریتم لوبنبرگ - مارکوارت، شیب توأم مقیاس‌شده، سرعت یادگیری متغیر بودند.

بعد از انتخاب مناسب‌ترین ویژگی‌ها شبکه عصبی مصنوعی با ۷ نرون در لایه ورودی، متناسب با ویژگی‌های انتخاب‌شده و ۳ نرون در لایه خروجی (سفتی، چسبندگی، قابلیت جویدن) طراحی شد. به منظور تعیین تعداد نرون در لایه میانی برای الگوریتم: لوبنبرگ - مارکوارت، شیب توأم مقیاس‌شده، سرعت یادگیری متغیر، تعداد نرون‌ها در لایه میانه از ۱ تا ۲۰، تغییر یافت و خطای آموزش در ۵ تکرار ثبت شد. شکل ۲، نمودار خطای مرحله آموزش شبکه



شکل (۲) خطای آموزش شبکه عصبی در پیش‌گویی ویژگی سفتی با تغییر تعداد نرون در لایه میانی

Fig 2. Neural network training error in the prediction of hardness by changing the number of neurons in the hidden layer

نرون اختلاف معنی‌داری بین خطاها وجود نداشت؛ بنابراین حالت بهینه ساختار شبکه برای الگوریتم‌های مختلف به دست آمد، اما به دلیل این‌که الگوریتم لوبنبرگ - مارکوارت، نسبت به سایر الگوریتم‌ها کمترین خطا در پیش‌بینی خروجی‌های موردنظر را داشت، به عنوان الگوریتمی که می‌تواند از طریق صدا ویژگی‌های بافت نان را تعیین کند، انتخاب شد.

به منظور تعیین دقیق تعداد نرون در لایه میانی، آنالیز آماری میان خطای پیش‌بینی در هر مرحله، بعد از اضافه شدن تعداد نرون‌ها صورت پذیرفت (جدول ۴). بر این اساس، خطای پیش‌بینی برای الگوریتم لوبنبرگ - مارکوارت از ۱۰ برای الگوریتم شیب توأم مقیاس‌شده از ۱۵ و برای سرعت یادگیری متغیر از ۱۱ نرون در لایه میانی ثابت بود و تا ۲۰

جدول (۴) آنالیز آماری خطای آموزش پیش‌بینی سفتی برای الگوریتم لوبنرگ - مارکوارت، شیب توأم مقیاس‌شده، سرعت یادگیری متغیر نسبت به تعداد نرون در لایه میانی

Table 4. Statistical analysis of prediction error of hardness for Levenberg- Marquardt, scaled conjugate, Gradient descent to the number of neurons in the middle layer

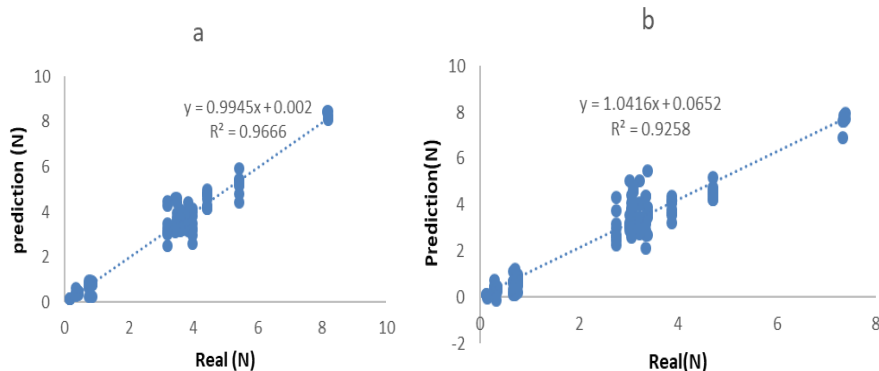
RMSE			Neuron
Gradient descent سرعت یادگیری متغیر	scaled conjugate gradient شیب توأم مقیاس‌شده	Levenberg-Marquardt لوبنرگ-مارکوارت	نرون
2.63±0.61 ^a	1.86±0.14 ^a	3.20±0.20 ^a	1
1.80±0.44 ^b	1.66±0.89 ^a	2.59±0.53 ^{bc}	2
1.93±0.35 ^b	1.38±0.70 ^{ab}	2.77±0.79 ^{ab}	3
1.65±0.31 ^{bc}	1.42±0.95 ^a	2.12±0.36 ^{cd}	4
1.60±0.54 ^{bc}	1.45±0.47 ^a	1.96±0.58 ^d	5
1.78±0.59	1.73±1.59 ^a	1.75±0.82 ^{de}	6
1.40±0.32 ^{bc}	1.31±0.55 ^{ab}	1.33±0.67 ^{ef}	7
1.55±0.42 ^{bc}	0.61±0.38 ^{bc}	1.18±0.58 ^f	8
1.62±0.69 ^{bc}	0.53±0.42 ^{bc}	1.14±0.18 ^f	9
1.13±0.31 ^{cd}	0.53±0.18 ^{bc}	0.09±0.01 ^g	10
0.66±0.15 ^d	0.55±0.44 ^{bc}	0.09±0.005 ^g	11
0.55±0.43 ^d	0.53±0.33 ^{bc}	0.09±0.01 ^g	12
0.62±0.28 ^d	0.52±0.39 ^{bc}	0.09±0.02 ^g	13
0.66±0.52 ^d	0.52±0.42 ^{bc}	0.09±0.02 ^g	14
0.68±0.65 ^d	0.42±0.31 ^c	0.09±0.008 ^g	15
0.66±0.21 ^d	0.41±0.20 ^c	0.09±0.06 ^g	16
0.65±0.46 ^d	0.27±0.31 ^c	0.09±0.06 ^g	17
0.65±0.42 ^d	0.25±0.42 ^c	0.09±0.01 ^g	18
0.65±0.25 ^d	0.24±0.39 ^c	0.09±0.01 ^g	19
0.64±0.24 ^d	0.24±0.29 ^c	0.09±0.05 ^g	20

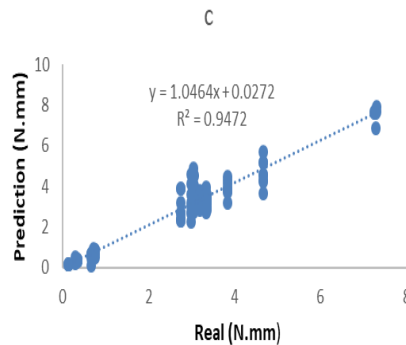
حروف غیرمشترک در هر ستون، بیان‌گر وجود اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ است (p<0.05)

Non-consecutive letters in each column indicate a significant difference at the 5% level

نسبت به قابلیت جویدن و چسبندگی صورت گرفت. دلیل دقت بالاتر در پیش‌بینی سفتی را می‌توان به محاسبه مستقیم آن از بافت‌سنج نسبت داد؛ حال آن‌که قابلیت جویدن و چسبندگی از روابط ریاضی به‌دست می‌آیند که خود احتمال خطا را افزایش می‌دهد.

به منظور آزمون الگوریتم، ۳۰٪ داده‌های دیده‌نشده برای شبکه عصبی استفاده و سفتی، قابلیت جویدن و چسبندگی به‌ترتیب با ($R^2=0/97$ ، $R^2=0/95$ و $R^2=0/93$) پیش‌بینی شدند (شکل ۳). میزان خطا برای سفتی، قابلیت جویدن و چسبندگی، به‌ترتیب (۰/۱۴، ۰/۲۳ و ۰/۳۳) بود و با توجه به R^2 بیشتر و درصد خطای کمتر بهترین پیش‌بینی برای سفتی





شکل (۳) نمودار مقادیر پیش‌بینی سفتی (a)، چسبندگی (b) و قابلیت جویدن (c) نسبت به مقادیر واقعی

Fig 3. The prediction vs actual values of hardness (a), gumminess (b) and chewiness (c)

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، بافت نان غنی‌شده با درصد‌های مختلف چیای اصلاح‌شده (۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪)، به روش غیرمخرب صوتی - مکانیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. از صدای ذخیره شده در جریان بارگذاری ویژگی‌های متعددی استخراج و بر اساس آنالیز آماری، مناسب‌ترین آن‌ها، (بیشترین مقدار صدا، واریانس، انحراف معیار، میانگین جذر قدرمطلق سیگنال، انرژي، آنتروپی و فرکانس طبیعی) انتخاب شدند؛ سپس شبکه عصبی مصنوعی با ۳ الگوریتم (لونبرگ - مارکوارت، شیب توأم مقیاس‌شده، سرعت یادگیری متغیر) با ۷ نرون در لایه ورودی (متناسب با ویژگی‌های انتخاب‌شده) و ۳ نرون در لایه خروجی (سفتی، چسبندگی، قابلیت جویدن)، آموزش و مورد آزمون قرار گرفت. براساس نتایج مشخص شد که خطای آموزش در الگوریتم لونبرگ - مارکوارت نسبت به سایر الگوریتم‌ها کمتر بود و خطای جذر میانگین مربعات مرحله آزمون این الگوریتم، به ترتیب برای پیشگویی سفتی، قابلیت جویدن و چسبندگی (۰/۱۴، ۰/۲۳ و ۰/۳۳)، به دست آمد که نشان از توانایی روش پیشنهادی در پیشگویی کیفیت نان به صورت غیرمخرب دارد.

در پژوهش ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) سفتی بافت گلابی از طریق روش غیرمخرب ارتعاش صوتی، به کمک مدل رگرسیون خطی چندگانه، پیش‌بینی شد. براساس نتایج سفتی از طریق روابط رگرسیونی، با $R^2=0/81$ و میزان خطای ۱/۰۴۲ پیش‌بینی شد [۲۲]. زدنگ و همکاران (۲۰۱۱) نیز بافت سیب را از روش صوتی-مکانیکی مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندگانه، سفتی را با $R^2=0/77$ و میزان خطای ۰/۷۳ پیش‌بینی کردند [۲۳]. بافت نان حاصل از ۱۰ رقم گندم بهاره لهستانی (Hezja, Kontesa, Torka, Zebra, Eta, Santa,) با مدل رگرسیون چندگانه، توسط رزولو و همکاران (۲۰۱۱) پیش‌بینی شد. بهترین سفتی برای نان حاصل از ارقام Kontesa و Sant ، به ترتیب با $R^2=0/801$ و میزان خطا ۰/۵۵ بود. همچنین بهترین چسبندگی برای ارقام Santa و Torka، به ترتیب با $R^2=0/827$ ، $R^2=0/811$ و میزان خطای ۰/۴۹۴ و ۰/۵۱۸ پیش‌بینی شد [۲۴]. مطابق با پژوهش‌های یادشده، روش ارائه شده در این تحقیق، نسبت به دیگر پژوهش‌ها از دقت بالاتری برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان یک روش جایگزین برای آزمون‌های مخرب استفاده شود.

منابع

[1]Soleimani Fard, M., Alami, M., Maghsoud loo, Y.,& Najafian, G. (2013). The effect of Arabic gel as

improving the rheological properties of wheat flour dough and anti-stagnation agent of Barbari bread.J.

- Innov. Food Sci. Technol.*, 5, 1-11. [In Persian]
- [2] Hejri Zarifi, S., Hadad- Khoda-Parast, M., Sheikh al-Islami, Z., Shfafi Znozian, M., & Pourferzad, A. (2014). Investigation of the effect of date kernel germ on dough rheology and sensory properties of Barbari bread. *J. Innov. Food Sci. Technol.*, 6, 25-32. [In Persian]
- [3] Majzoobi, M., Mortazavi, S. H., Asadi-Yousofabad, S. H., & Farahnaky, A. (2013). Effects of acorn flour on the properties of dough and Barbari bread. *J. Food Ind. Res.*, 23, 271-280. [In Persian]
- [4] Jalini, M., ghiafeh davoodi, M., & Sheikh al-Islami, Z. (2017). The Effect of Adding Your Seed to the Nutritional and Shelf Life of Barberry bread. *J. Innov. Food Sci. Technol.*, 9, 1-11. [In Persian]
- [5] Moazeni, M., Zarringhalami, S., & Ganjloo, A. (2018). Effect of Barbari dough enrichment with quinoa whole flour on farinograph characteristics and bread quality. *J. Food Ind. Res.*, 28, 103- 112. [In Persian]
- [6] Costantini, L., Lukšič, L., Molinari, R., Kreft, I., Bonafaccia, G., Manzi, L., & Merendino, N. (2014). Development of gluten-free bread using tartary buckwheat and chia flour rich in flavonoids and omega-3 fatty acids as ingredients. *Food Chem.*, 165, 232-240.
- [7] Alfredo, V. O., Gabriel, R. R., Luis, C. G., & David, B. A. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT.*, 42, 168-173.
- [8] Lazaro, H., Puente, L., Zúñiga, M. C., & Muñoz, L. A. (2018). Assessment of rheological and microstructural changes of soluble fiber from chia seeds during an in vitro micro-digestion. *LWT.*, 95, 58-64.
- [9] Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., & Aguilera, J. M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *J. Food Eng.*, 108, 216-224
- [10] Jogihalli, P., Singh, L., & Sharanagat, V. S. (2017). Effect of microwave roasting parameters on functional and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum*). *LWT.*, 79, 223-233.
- [11] Gholami, Z., & Ansari, S. (2018). Modeling the effect of microwave roasting on physicochemical properties of watermelon seeds and its optimization. *Innov. Food Sci. Technol.*, 10, 71-85. [In Persian]
- [12] Chen, J., Karlsson, C., & Povey, M. (2005). Acoustic envelope detector for crispness assessment of biscuits. *J. Texture Stud.*, 36, 139-156.
- [13] Jakubczyk, E., Gondek, E., & Tryzno, E. (2017). Application of novel acoustic measurement techniques for texture analysis of co-extruded snacks. *LWT.*, 75, 582-589.
- [14] Çarşamba, E., Duerrschmid, K., & Schleining, G. (2018). Assessment of acoustic-mechanical measurements for crispness of wafer products. *J. Food Eng.*, 229, 93-101
- [15] Huerta, K., Soquetta, M., Alves, J., Stefanello, R., Kubota, E., & Rosa, C. S. (2018). Effect of flour chia (*Salvia hispanica* L.) as a partial substitute gum in gluten free breads. *Int. Food Res. J.*, 25, 755-766.
- [16] Abdanan Mehdizadeh, M., & Amraee, S. (2017). Computational estimation of $L^*a^*b^*$ units from RGB using machine vision. *Iran. J. Food Sci. Ind. Res.*, 13, 53-64. [In Persian]
- [17] Arimi, J. M., Duggan, E., O'sullivan, M., Lyng, J. G., & O'riordan, E. D. (2010). Effect of water activity on the crispiness of a biscuit (Crackerbread): mechanical and acoustic evaluation. *Food Res. Int.*, 43, 1650-1655.
- [18] Błońska, A., Marzec, A., & Błaszczuk, A. (2014). Instrumental evaluation of acoustic and mechanical texture properties of short- dough biscuits with different content of fat and inulin. *J. Texture Stud.*, 45, 226-234.
- [19] Nouri, M., Nasehi, B., Mehdizadeh, S. A., & Goudarzi, M. (2017). A novel application of vibration technique for non-destructive evaluation of bread staling. *J. Food Eng.*, 197, 44-47.
- [20] Salehifar, M., Shahedi, M., & Kabir, Gh. (2006). Investigating the effects of using different percentages of oatmeal and excess fat in bread preparation formulation on sensory and stale properties of bread texture. *Agric. Sci. Technol. Nat. Resour.*, 10, 233-244. [In Persian]
- [21] Romankiewicz, D., Hassoon, W. H., Cacak-Pietrzak, G., Sobczyk, M., Wirkowska-Wojdyła, M., Ceglińska, A., & Dziki, D. (2017). The effect of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) addition on quality and nutritional value of wheat bread. *J. Food Qual.*, 2017, 1-7.
- [22] Zhang, W., Cui, D., & Ying, Y. (2014). Nondestructive measurement of pear texture by acoustic vibration method. *Postharvest Biol. Technol.*, 96, 99-105.
- [23] Zdunek, A., Cybulska, J., Konopacka, D., & Rutkowski, K. (2011). Evaluation of apple texture with contact acoustic emission detector: A study on performance of calibration models. *J. Food Eng.*, 106, 80-87.
- [24] Różyło, R., & Laskowski, J. (2011). Predicting bread quality (bread loaf volume and crumb texture). *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 61, 61-67.

*Research Article***Intelligent Modeling of Bread texture using Acoustic Measurement Method and Artificial Neural Network
(Case Study: Enriched Bread with Chia)****Mahrokh Hatamian¹; Mohammad Noshad²; Saman Abdanan Mehdizadeh^{3*}; Hassan Barzegar²****1- Department of Food Science & Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources
University of Khuzestan, Mollasani, Iran****2- Department of Food Science & Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources
University of Khuzestan, Mollasani, Iran****3- Department of Mechanics of Biosystem Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources
University of Khuzestan, Mollasani, Iran****Abstract**

The purpose of this study is to model the bread texture by acoustical- mechanical method, non-destructively. To do so, bread texture enriched with 3 different levels of modified chia (2.5%, 5% and 7.5%) was evaluated by texture analyzer at a test speed of 3 mm. s⁻¹ to 30% compression, while the microphone was located at 5 cm from the samples at a 45° angle to the horizon. From the sound recorded during loading mean sound intensity, maximum of sound, variance, standard deviation, root mean absolute value, root mean square value, skewness, kurtosis, fifth moment, sixth moment, energy, entropy in time domain, and spectral entropy and natural frequency in the frequency domain were extracted. After selecting the most suitable features (maximum sound, variance, standard deviation, root mean absolute value, energy, entropy and natural frequency), based on statistical analysis, artificial neural network with 3 algorithms (Marquardt, scaled conjugate gradient, gradient descent) was trained and tested with 7 neurons in the input layer (in accordance with the selected features) and 3 neurons in the output layer (hardness, gumminess, chewiness). Based on the results, the training error in the Levenberg - Marquardt algorithm was lower than the other algorithms, and the root mean squared error of the test stage of this algorithm to predict hardness, gumminess and chewiness were 0.14, 0.23, and 0.33, respectively. This shows the ability of the proposed method in predicting the quality of bread.

Key words: Texture, acoustical features, storage, bread, modified chia.

* Corresponding author: saman.abdanan@gmail.com
saman.abdanan@gmail.com