



طبقه‌بندی درجه استخراج و پیش‌بینی برخی از ویژگی‌های کیفی آرد گندم با استفاده از سامانه غیر مخرب تلفیقی فراصوت، سنجش مقاومت و سنجش دی‌الکتریک

محمدامین رهنورد^{۱*}، سید مهدی نصیری^۲، محبوبه فضایی^۳، حسن صفی‌یاری^۴، غلامحسین قاسمی^۱، محسن کریمی‌خرمی^۱

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

^۲ دانشیار، گروه پژوهشی فرآوری آبزیان و بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

^۳ استادیار، بخش علوم و صنایع غذایی، دانشگاه شیراز

^۴ دانشجوی دکتری، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

چکیده

آرد گندم با درجه استخراج‌های متفاوت دارای ویژگی‌های کیفی متفاوت است. طبقه‌بندی آردها با درصد استخراج متفاوت و تعیین ویژگی آن‌ها برای کاربرد در صنایع مختلف حائز اهمیت است. بسیاری از روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی آرد گندم گران، زمان-بر و نیاز به افراد ماهر دارد. در این پژوهش سامانه غیر مخرب تلفیقی هوشمند امواج فراصوت، سنجش مقاومت الکتریکی و سنجش دی‌الکتریک به منظور طبقه‌بندی درجه استخراج و پیش‌بینی برخی از ویژگی‌های کیفی آرد گندم با درصد استخراج متفاوت، ارزیابی شد. به این منظور ۱۲۰ نمونه آرد با درجه استخراج ۷۲، ۸۳ و ۹۰ درصد به ترتیب (نول، لواش و سنگک) از شرکت کارخانه آرد خوشه فارس تهیه شد. ۴۰ نمونه خمیر با محتوای رطوبتی ۵۰ درصد وزنی آرد از هر درجه استخراج تهیه شد و با استفاده از سامانه غیر مخرب تلفیقی مورد آزمایش قرار گرفت و نهایتاً عملکرد روش‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی درجه استخراج و پیش‌بینی برخی از ویژگی‌های کیفی مورد مقایسه قرار گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده بهترین عملکرد طبقه‌بندی مربوط به شبکه عصبی مصنوعی با ساختار ۳-۱۰-۳ با دقت (۱۰۰٪) و میانگین خطا (۰/۰۰۷) و بهترین عملکرد پیش‌بینی ویژگی‌های کیفی مربوط به ماشین بردار پشتیبان با تابع هسته PUK با ضریب همبستگی (۱) و میانگین خطای (۰/۰۱۱، ۰، ۰/۰۰۸، ۰/۰۱۰، ۰/۰۲۶ و ۰/۰۶۶) به ترتیب برای ویژگی‌های گلوتن ایندکس، زمان گسترش خمیر، جذب آب، فارینوگراف نامبر، انرژی و کشش خمیر بود. این سامانه غیر مخرب یک روش کارآمد، سریع و کم‌هزینه برای پیش‌بینی ویژگی‌های کیفی و طبقه‌بندی آرد به جای روش‌های مرسوم است.

کلمات کلیدی: آرد گندم، غیر مخرب، امواج فراصوت، سنجش مقاومت، سنجش دی‌الکتریک، شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان

*نویسنده مسئول: amin.rahnvard@gmail.com



طبقه‌بندی درجه استخراج و پیش‌بینی برخی از ویژگی‌های کیفی آرد گندم با استفاده از سامانه غیر مخرب تلفیقی فراصوت، سنجش مقاومت و سنجش دی‌الکتریک

مقدمه

برای گندم یکی از اصلی‌ترین مواد غذایی در بسیاری از مناطق جهان است و برای بسیاری از محصولات غذایی مانند نان، ماکارونی، رشته‌فرنگی، کیک و بیسکویت ماده اصلی است [۱]. ترکیب آردها با درصد استخراج متفاوت دارای ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و رئولوژی مختلفی هستند با افزایش درصد استخراج، میزان پروتئین، فیبر، قند، لیپیدها، مواد معدنی و خاکستر افزایش می‌یابد درحالی‌که نشاسته و رطوبت کاهش می‌یابد [۲]. کیفیت آرد گندم برای کیفیت محصول نهایی ضروری است که بر ارزش تجاری آن تأثیر می‌گذارد. عوامل اصلی خصوصیات گندم با استفاده از فاکتورهای مانند میزان پروتئین، محتوای گلوتن مرطوب، کیفیت پروتئین (زلنی)، میزان خاکستر، فعالیت آنزیمی (عدد فالینگ) و خصوصیات رئولوژیک ارزیابی می‌شود. همه این ویژگی‌ها نقش مشخصی در پیش‌بینی کیفیت آرد گندم دارند [۳]. خصوصیات رئولوژیک خمیر برای توصیف ویژگی‌های تولید نان بسیار مهم است و می‌توان با استفاده از ابزارهای مختلفی مانند فارینوگراف، اکستنسوگراف، میکسولاب و آمیلوگراف اندازه‌گیری کرد [۴]. در میان این روش‌ها فارینوگراف و اکستنسوگراف جایگاه غالبی در فناوری پخت دارند [۵]. ویژگی‌های فارینوگرافی مانند میزان جذب آب به دلیل میزان بالای کربوهیدرات‌های پیچیده و پروتئین موجود در سبوس و زمان گسترش خمیر به دلیل افزایش میزان ذرات سبوس که باعث ایجاد تداخل در گسترش شبکه گلوتهی و جذب آب آندوسپرم می‌شود با افزایش درصد استخراج، افزایش می‌یابد اما با افزایش درصد استخراج، پایداری خمیر و شاخص تحمل کاهش می‌یابد [۶،۷]. ویژگی‌های اکستنسوگراف مانند میزان کشش‌پذیری، مقاومت به کشش و سطح زیر نمودار اکستنسوگرام با افزایش درصد استخراج آرد کاهش می‌یابد [۸].

بنابراین طبقه‌بندی آردها با درصد استخراج متفاوت و تعیین ویژگی آن‌ها برای کاربرد در صنایع مختلف حائز اهمیت است. اگرچه این روش‌ها برای مطالعه تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آرد و گندم با موفقیت به کاررفته است ولی اغلب این روش‌ها گران و کند هستند و به افراد ماهر احتیاج دارند و مناسب اتوماسیون نیستند.

به تازگی، استفاده از آزمایش‌های غیر مخرب و طراحی ابزارهای جدید برای نظارت بر کیفیت مواد غذایی مورد توجه محققان قرار گرفته است. علاوه بر پردازش تصویر، و تجزیه و تحلیل پاسخ به نیروی ضربه، تحقیقات گسترده‌ای در مورد اندازه‌گیری کیفیت غیر مخرب محصولات کشاورزی بر اساس ویژگی‌های صوتی، امواج فراصوت، الکتریکی و نوری انجام شده است. مطابق با انتشارات قبلی، روش‌های غیر مخرب به‌عنوان روش‌های مفیدی برای برآورد سریع و آسان ویژگی‌های کیفی محصولات کشاورزی شناخته می‌شوند [۹]. امواج فراصوت با شدت کم به‌عنوان ابزاری با ارزش برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی مواد از جمله ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصطلاح فراصوت برای امواج صوتی در فرکانس‌هایی که بالاتر از محدوده شنیدنی است، یعنی بالاتر از حدود ۲۰ کیلوهرتز اعمال می‌شود و حداقل تا ۱ گیگاهرتز گسترش می‌یابد [۱۰]. از آنجایی که یک موج آلتراسونیک از هر ماده‌ای عبور می‌کند، ویژگی فیزیکی ماده به شدت تحت تأثیر سرعت حرکت موج و این که چگونه دامنه آن به سرعت کاهش می‌یابد (سرعت و میرایی موج). بنابراین، اندازه‌گیری سرعت و میرایی موج فراصوت اطلاعات مفیدی را در مورد ویژگی‌های الکتریکی، مغناطیسی و مکانیکی مواد ارائه می‌دهد [۱۱]. فراصوت با شدت کم یک روش امیدوارکننده است که بیش از ۲۰ سال است که برای توصیف ساختار خمیر آرد گندم، بر اساس تغییر در خواص رئولوژیکی ناشی از تغییر فرمولاسیون و حباب‌های هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲، ۱۳]. امواج اولتراسونیک برشی و طولی در حالت بازتاب و انتقال برای ارزیابی تأثیر محتوای آب [۱۴]، تخمیر [۱۵]، زمان مخلوط کردن [۱۶]، فعالیت آنزیمی [۱۷]، گرمایش [۱۸] و فیبر غذایی [۱۹] بر روی خصوصیات رئولوژیکی خمیر آرد گندم و گلوتن استفاده شد. فقط چند مطالعه تحقیقاتی



برای بررسی سیستماتیک پتانسیل امواج فراصوت با شدت کم برای اهداف جداسازی گندم انجام شده است [۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳]. در پژوهشی از روش غیر مخرب آلتراسوند برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی ویژگی‌های اکستنسوگراف و آلوگراف آرد مورد استفاده قرار گرفت نتایج نشان داد که آلتراسوند یک روش اندازه‌گیری جایگزین برای تفکیک انواع آرد است [۲۰، ۲۲]. همبستگی معنی‌داری، اما نه رضایت‌بخش، بین سرعت فاز اولتراسونیک و ضریب میرایی، پارامترهای میکسولاب و آلوگراف توسط آلوآرز و همکاران [۲۲] مشاهده شد، که بیانگر لزوم کار بیشتر در مورد این موضوع است. سنجش مقاومت الکتریکی و سنجش دی‌الکتریک به‌طور گسترده‌ای برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی میوه‌ها و سبزیجات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش‌ها به تعامل یک میدان الکتریکی خارجی با ماده متکی است. خازن مستقیماً به ثابت دی‌الکتریک مواد بستگی دارد درحالی‌که مقاومت از هدایت مواد حاصل می‌شود [۲۴]. روش‌های دی‌الکتریک و مقاومتی در مطالعات گوناگونی در رابطه با کیفیت مواد غذایی و مواد کشاورزی استفاده شده است. به‌عنوان مثال آب انگور [۲۵]؛ شیر [۲۶]؛ رسیدن بادنجان [۲۷]؛ رسیدن موز [۲۸]؛ رسیدن سیب [۲۹]؛ کیفیت تخم‌مرغ [۳۰]؛ کیفیت گوشت [۳۱]؛ اندازه‌گیری قند و میزان آب عسل [۳۲]؛ خصوصیات محتوای قند در ماست [۳۳]؛ محتوای آب نیشکر [۳۴]؛ تعیین ساکارز در آب نیشکر خام [۳۵]؛ تغییرات سطح رطوبت سیب [۳۶] و تعیین میزان آسیب بافتی [۳۷].

طبق بررسی‌های انجام شده گزارشی از به‌کارگیری سامانه غیر مخرب تلفیقی امواج فراصوت، سنجش مقاومت الکتریکی و سنجش دی‌الکتریک در زمینه کیفیت و طبقه‌بندی آرد گندم مشاهده نشده است. هدف این مطالعه طبقه‌بندی آرد با درصد استخراج‌های متفاوت و پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آرد گندم است که با روش‌های استاندارد به‌دست آمده است. در این راستا از شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان برای مدل‌سازی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ها و عمل‌آوری آن‌ها

برای انجام پژوهش ۱۲۰ نمونه آرد با درجه استخراج ۷۲، ۸۳ و ۹۰ درصد (نول، لوآش و سنگک) که ویژگی‌های کیفی آن‌ها در جدول ۱ بیان شده است از شرکت کارخانه آرد خوشه فارس تهیه و در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد یخچال نگهداری شد. مقدار آب اضافه‌شده به آرد برای تهیه خمیر ۵۰ درصد وزنی (بر اساس وزن آرد) بود سپس با استفاده از همزن کنوود مدل HM430 با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت زمان ۳۰ ثانیه مخلوط کردن انجام پذیرفت. هر نمونه برای انجام آزمایش‌های فیزیکی به دستگاه‌های فراصوت، سنجش مقاومت و سنجش دی‌الکتریک انتقال یافت و مورد آزمایش قرار گرفت.

تعیین ویژگی‌های فراصوت، سنجش دی‌الکتریک و سنجش مقاومت الکتریکی

فراصوت

سامانه اندازه‌گیری اولتراسونیک شامل یک گیرنده پالس فراصوت با فرکانس پایین، یک جفت مبدل اولتراسونیک ۵۰ کیلوهرتز و یک سیستم میکرو کامپیوتر برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها است. مبدل‌ها قادر به انتقال و دریافت سیگنال فراصوتی در طی چندین مسافت کوتاه در سراسر طول خمیر قرار گرفته بین مبدل و صفحه شیشه‌ای هستند. یک مبدل به‌عنوان فرستنده و دیگری به‌عنوان گیرنده عمل می‌کند. مقدار سرعت فراصوت را می‌توان از طول مسیر محاسبه کرد که با اندازه‌گیری طول (L) خمیر قابل‌اندازه‌گیری است که مقادیر سرعت فراصوت آن (V) در درصد استخراج‌های متفاوت، متفاوت شناخته شده است. با محاسبه میانگین زمان تأخیر (t) بین پالس اصلی و انتشار آن از طریق نمونه، می‌توان سرعت فراصوت هر نمونه (V) طبق رابطه (۱) به دست آورد:

$$V = L/t \quad (1)$$

جدول ۱ ویژگی‌های کیفی آرد نول، لوآش و سنگک

درصد استخراج				
۹۰٪	۸۳٪	۷۲٪		
۱/۳۴۴	۰/۹۸۳	۰/۵۶۸	خاکستر	
۳۶/۸	۳۲/۴	۲۹/۲	گلو تن مرطوب	
۷۱/۷۳	۶۶/۰۴	۷۳/۲۸	گلو تن ایندکس	
۱۰۴	۱۰۰	۱۱۸	P (tanacity)	آلوگراف
۲۶	۳۷	۴۴	L (extensibility)	
۱۰۵	۱۲۳	۱۷۵	W (baking strength)	
۴	۲/۷	۲/۶۸	P/L (curve configuration ratio)	
۳/۱۷	۳/۲۵	۳/۱۵	DDT(dough development time)	فارینوگراف
۶۴/۱	۵۹/۳	۵۴/۵	WAC (water absorption corr)	
۲/۴۸	۳/۲	۴/۲	S (stability)	
۸۰	۶۶	۶۱	DS (degree of softening)	
۵۱	۵۴	۶۴	FQN (farinograph quality number)	
۱۷	۳۵	۵۵	A (Energy)	اکستنسوگراف
۱۳۲	۱۸۰	۲۲۸	R (resistance)	
۸۰	۱۲۰	۱۴۸	E (Extensibility)	

سنجش دی الکتریک

ظرفیت یک خازن صفحه موازی توسط معادله (۲) شرح داده شده است:

$$C = \epsilon r \times \frac{A}{D} \times (8.854 \times 10^{-12}) \quad (2)$$

در این رابطه C ظرفیت خازن (فاراد)، A مساحت صفحات (مترمربع)، D فاصله بین صفحات (متر) و ϵr تراکم نسبی پیچیده ماده بین صفحات (فاراد بر متر) است. نفوذپذیری نسبی یک ماده بیولوژیکی یک مقدار فیزیکی پیچیده است که قسمت واقعی آن، $\epsilon r'$ مقدار انرژی ذخیره شده در ماده را در معرض میدان الکتریکی خارجی نشان می‌دهد. قسمت موهوم نفوذپذیری نسبی، $\epsilon r''$ بیانگر اتلاف انرژی توسط ماده است [۳۸]. در این مطالعه از یک خازن صفحه موازی از جنس مس با ابعاد ۵۰×۶۰ میلی‌متر با فاصله ۲۰ میلی‌متر بین صفحات استفاده شد.

سنجش مقاومت الکتریکی

برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی، سامانه‌ای طراحی گردید که از دو صفحه مسی با ابعاد ۵۰×۶۰ میلی‌متر با فاصله ۲۰ میلی‌متر بین صفحات تشکیل شده بود. خمیر بین این دو صفحه درحالی که نیروی ثابتی به آن وارد می‌شد قرار گرفت. سپس مقاومت الکتریکی خوانده شده و توسط نرم‌افزار تهیه شده در کامپیوتر ذخیره شد.



فارینوگراف

در آزمون فارینوگراف مقاومت یک خمیر در طول دوره اختلاط اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. آزمون فارینوگراف بر اساس روش مصوب ۵۴-۲۱ (AACC۲۰۰۰) و توسط دستگاه فارینوگراف برابندر انجام پذیرفت. پارامترهای جذب آب آرد، زمان گسترش خمیر، مقاومت خمیر، شاخص تحمل و ارزش والوریمتری، از روی منحنی فارینوگرام محاسبه گردید.

اکستنسوگراف

مقاومت به کشش خمیر و زمان موردنیاز برای کشیده شدن آن تا رسیدن به نقطه گسیختگی به وسیله آزمون اکستنسوگرافی و روش شماره ۵۴۱۰ (AACC ۲۰۰۰) و با دستگاه اکستنسوگراف برابندر اندازه‌گیری شد.

گلو تن ایندس

آزمون گلو تن ایندکس طبق استاندارد بین‌المللی به شماره ۳۸۱۱ انجام شد.

واکاوی اطلاعات

ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبان (SVM) با استفاده از یک نمونه آموزشی برای ایجاد یک ابر صفحه‌ای خطی به حداکثر رساندن جدایی بین دو کلاس می‌پردازد. محل قرارگیری یک نمونه با توجه به آن ابر صفحه تخصیص آن به یک کلاس را مشخص می‌کند. علاوه بر این، توابع هسته را می‌توان برای تبدیل داده‌های غیرخطی و ایجاد یک ابر صفحه‌ای مناسب استفاده کرد [۳۹]. به منظور طبقه‌بندی آردها در ۳ طبقه با درجه استخراج ۷۲، ۸۳ و ۹۰ درصد با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان، از توابع مختلف هسته می‌توان استفاده نمود که در این پژوهش توابع هسته Polynomial، Normalized polynomial، RBF و PUK مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه عصبی مصنوعی یکی از روش‌های انطباق‌پذیری مبتنی بر داده‌های غیرخطی است و قابلیت کشف روابط بین مجموعه داده‌های ورودی و مقادیر هدف مربوطه را دارد، حتی اگر رابطه داده‌ها ناشناخته باشد. [۴۰]. ویژگی‌های فیزیکی اندازه‌گیری شده به وسیله دستگاه‌های فراصوت، سنجش مقاومت و سنجش دی‌الکتریک به عنوان ویژگی‌های ورودی به لایه ورودی شبکه و ویژگی‌های درصد استخراج، گلو تن ایندکس، زمان گسترش خمیر، جذب آب، فارینوگراف نامبر، انرژی و کشش خمیر به عنوان مقادیر هدف به شبکه آموزش داده شد. در این پژوهش از نرم‌افزار Weka v3.9.2 برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

تغییرات ویژگی‌های فیزیکی سرعت امواج، ظرفیت خازنی و مقاومت الکتریکی آرد با درجه استخراج ۷۲، ۸۳ و ۹۰ درصد

جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی اندازه‌گیری شده به وسیله دستگاه‌های فراصوت، سنجش مقاومت و سنجش دی‌الکتریک برای آردهای مختلف را نشان می‌دهد. سرعت عبور امواج برای آرد سنگک (۹۰ درصد استخراج) ۳۸۰ و آرد نول (۷۲ درصد استخراج) ۵۳۵ متر بر ثانیه است. با افزایش درصد استخراج سرعت عبور امواج در خمیر کاهش معناداری در سطح احتمال ۵ درصد داشته است. مطالعات قبلی نشان داد که سرعت و میرایی هر دو نسبت به محتوای آب خمیر بسیار حساس هستند [۴۱،۲۰]. بر اساس نتایج گزارش شده در جدول ۱ با افزایش درجه استخراج میزان جذب آب افزایش می‌یابد در نتیجه آب آزاد موجود در خمیر با توجه به ثابت بودن مقدار آب در هر نمونه خمیر (۵۰ درصد وزنی آرد) کاهش می‌یابد. مقادیر به دست آمده از میرایی و سرعت امواج فراصوت با مقادیر به دست آمده در مطالعات قبلی مطابقت داشت [۲۰،۲۱،۲۲]. ظرفیت خازنی و مقاومت الکتریکی با افزایش درجه استخراج کاهش معناداری در سطح احتمال ۵ درصد داشته‌اند که با مطالعات قبلی مطابقت داشت [۲۴].

جدول ۲- مقایسه ویژگی‌های فیزیکی آردهای مختلف

ویژگی‌های فیزیکی	آرد نول (۷۲٪)	آرد لوش (۸۳٪)	آرد سنگک (۹۰٪)
سرعت عبور امواج	$\pm 2/29^a 535/87$	$\pm 4/51^b 448/19$	$\pm 4/29^c 380/27$
ظرفیت خازنی	$\pm 4/57^a 474/25$	$\pm 3/08^b 434/47$	$\pm 8/91^c 356/90$
مقاومت الکتریکی	$\pm 0/01^a 1/43$	$\pm 0/01^b 0/73$	$\pm 0/01^c 0/67$

*حروف متفاوت در سطرها نشان‌دهنده وجود تفاوت آماری بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد است.

طبقه‌بندی درجه استخراج آرد با استفاده از ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی

طبقه‌بندی درجه استخراج آرد با استفاده از ماشین بردار پشتیبان

به منظور طبقه‌بندی درجه استخراج آرد به دو روش ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی ابتدا ۷۰ درصد داده‌ها به طور تصادفی برای آموزش و مدل‌سازی و ۳۰ درصد آن‌ها نیز برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفتند. برای طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان توابع هسته مختلفی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت (جدول ۳). توابع هسته Polynomial و PUK با دقت ۱۰۰ درصد توانست این طبقه‌بندی آرد با درصد استخراج‌های متفاوت را انجام دهد. بهترین مدل در طبقه‌بندی مربوط به تابع هسته‌ای با بیشترین ضریب همبستگی و کمترین میزان خطا است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تابع PUK با داشتن ضریب همبستگی بالا و خطای کمتر نسبت به توابع هسته دیگر بهترین عملکرد را نشان داد. ماتریس اغتشاش برای طبقه‌بندی درجه استخراج در جدول (۴) نشان داده شده است. پیش‌بینی کلیه کلاس‌ها به طور کاملاً صحیح انجام شده است.

جدول ۳- ضریب همبستگی و خطای طبقه‌بندی توابع هسته مختلف در روش ماشین بردار پشتیبان

تابع هسته	R	MAE	RMSE	درصد صحیح طبقه‌بندی
Polynomial	۱	۰/۲۴۹	۰/۳۰۵	٪۱۰۰ (۳۶/۳۶)
Normalized Polynomial	۰/۶۹۵	۰/۲۶۵	۰/۳۴۲	٪۸۰/۵۵ (۲۹/۳۶)
RBF	۰/۴۴۷	۰/۳۹۵	۰/۴۹۶	٪۶۱/۱۱ (۲۲/۳۶)
PUK	۱	۰/۲۲۲	۰/۲۷۲	٪۱۰۰ (۳۶/۳۶)

جدول ۴- ماتریس اغتشاش ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی انواع آرد (نول، لواش و سنگک)

پیش‌بینی / مشاهده	نول	لواش	سنگک	درصد طبقه‌بندی هر نوع آرد
نول	۱۲	۰	۰	%۱۰۰
لواش	۰	۱۴	۰	%۱۰۰
سنگک	۰	۰	۱۰	%۱۰۰

طبقه‌بندی درجه استخراج آرد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

به منظور تعیین بهترین ساختار شبکه، تعداد مختلفی از نرون‌ها (۱ تا ۱۰) در لایه مخفی به همراه دقت طبقه‌بندی و میزان خطای هر کدام مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵).

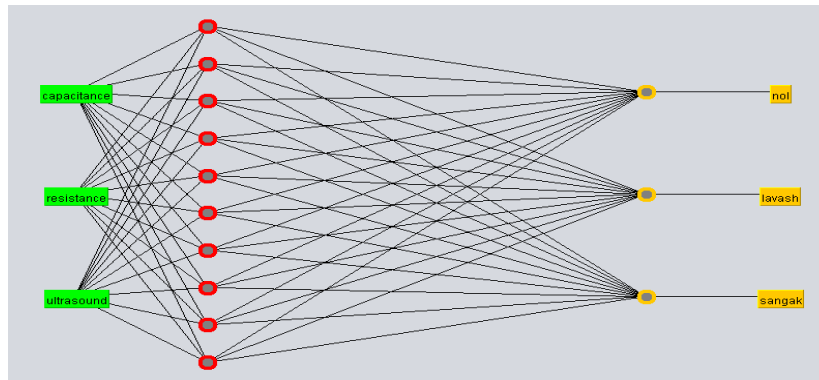
جدول ۵- تعداد نرون‌های شبکه عصبی مصنوعی، دقت و خطای اندازه‌گیری

تعداد نرون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
دقت طبقه‌بندی (%)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
میانگین مقدار خطا (MAE)	۰/۱۶۹	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷
جذر میانگین مربع خطا	۰/۲۱۵	۰/۰۱۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸

بهترین عملکرد شبکه مربوط به شبکه با ساختار ۳-۱۰-۳ برای طبقه‌بندی درجه استخراج با دقت طبقه‌بندی (۱۰۰ درصد)، میانگین مقدار خطا (۰/۰۰۷) و جذر میانگین مربع خطا (۰/۰۰۸) است. شبکه با ساختار ۳-۱۰-۳ دارای لایه ورودی با ۳ متغیر (سرعت فراصوت، ظرفیت خازنی و مقاومت الکتریکی) یک لایه مخفی با ۱۰ نرون و لایه خروجی با ۳ متغیر (درجه استخراج ۷۲، ۸۳ و ۹۰ درصد) است (شکل ۱). در پژوهشی طبقه‌بندی محتوای پروتئین آرد گندم با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی بر اساس خواص بیوالکتریکی انجام گرفت. ورودی ANN ویژگی‌های بیوالکتریکی، یعنی خازن و مقاومت بود و خروجی آن آرد سخت، متوسط و نرم بود. نتایج نشان داد که مدل ANN می‌تواند انواع مختلف آرد را طبقه‌بندی کند. بهترین مدل ANN در این پژوهش با میانگین خطای مربعات ۰/۰۳۹ و ضریب همبستگی ۰/۹۷۷ بود [۴۲] که در مقایسه با نتایج به دست آمده در این پژوهش میزان خطای بیشتری دارد. جدول ۶ ماتریس اغتشاش شبکه عصبی را نشان می‌دهد که تمام کلاس‌ها به درستی طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۶- ماتریس اغتشاش شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی انواع آرد (نول، لواش و سنگک)

پیش‌بینی / مشاهده	نول	لواش	سنگک	درصد طبقه‌بندی هر نوع آرد
نول	۱۲	۰	۰	%۱۰۰
لواش	۰	۱۴	۰	%۱۰۰
سنگک	۰	۰	۱۰	%۱۰۰



شکل ۱- شبکه عصبی با ساختار ۳-۱۰-۳

پیش‌بینی ویژگی‌های کیفی آرد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان

پیش‌بینی ویژگی‌های کیفی آرد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

برای پیش‌بینی ویژگی‌های کیفی آرد از شبکه‌ای با ساختار ۳-۱۰-۱ استفاده شد. ضریب همبستگی همه ویژگی‌های آرد بیشتر از ۰/۹۹ است.

جدول ۲- ضریب همبستگی و خطای پیش‌بینی ویژگی‌های کیفی آرد در روش شبکه عصبی مصنوعی

RMSE	MAE	r	ساختار شبکه	ویژگی‌های کیفی
۰/۰۴۶	۰/۰۳۸	۰/۹۹۹	۳-۱۰-۱	gluten index
۰	۰	۰/۹۹۹	۳-۱۰-۱	DDT
۰/۰۴۲	۰/۰۳۳	۰/۹۹۹	۳-۱۰-۱	WAC
۰/۱۱۳	۰/۰۸۶	۰/۹۹۹	۳-۱۰-۱	FQN
۰/۵۹۶	۰/۴۲۱	۰/۹۹۹	۳-۱۰-۱	Energy
۱/۵۳۶	۱/۰۸۷	۰/۹۹۹	۳-۱۰-۱	extenresistance

پیش‌بینی ویژگی‌های کیفی آرد با استفاده از ماشین بردار پشتیبان

به منظور پیش‌بینی ویژگی‌های کیفی آرد با استفاده از ماشین بردار پشتیبان توابع مختلف هسته مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. برای تمام ویژگی‌های کیفی اندازه‌گیری شده تابع PUK در مقایسه با دیگر توابع هسته بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطا را نشان داد (جدول ۸).

در جدول ۹ به مقایسه ویژگی‌های کیفی پیش‌بینی شده به روش شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان پرداخته شده است همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در تمام ویژگی‌های پیش‌بینی شده ماشین بردار پشتیبان عملکرد بهتری را نسبت به شبکه عصبی مصنوعی از خود نمایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش نتایج آزمایش‌های فیزیکی به دست آمده دستگاه‌های فراصوت، سنجش مقاومت و سنجش دی‌الکتریک برای آرد با درجه استخراج متفاوت، برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی برخی از ویژگی‌های کیفی آرد عملکرد خوبی را نشان دادند نتایج شبیه‌سازی



به دست آمده حاکی آن بود که ماشین بردار پشتیبان عملکرد مناسب‌تر نسبت به شبکه عصبی از خود نشان داد. این سامانه غیر مخرب یک روش کارآمد، سریع و کم هزینه برای پیش‌بینی ویژگی‌های کیفی و طبقه‌بندی آرد به جای روش‌های مرسوم است.

جدول ۸- ضریب همبستگی و خطای پیش‌بینی ویژگی‌های شیمیایی آرد در روش ماشین بردار پشتیبان

RMSE	MAE	r	تابع هسته	ویژگی‌های کیفی
۰/۴۶۳	۰/۳۸۱	۰/۹۹۰	Polynomial	gluten index
۱/۶۹۵	۱/۰۱۶	۰/۸۷۶	Normalized Polynomial	
۳/۵۸۴	۲/۲۴۵	۰/۶۷۸	RBF	
۰/۰۲۸	۰/۰۱۱	۱	PUK	
۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۹۹۰	Polynomial	DDT
۰/۰۲۳	۰/۰۱۴	۰/۸۷۲	Normalized Polynomial	
۰/۰۵۰	۰/۰۳۱	۰/۶۸۲	RBF	
۰	۰	۱	PUK	
۰/۳۹۰	۰/۳۲۰	۰/۹۸۷	Polynomial	WAC
۱/۵۴۵	۰/۸۸۸	۰/۸۲۱	Normalized Polynomial	
۲/۸۴۱	۱/۷۹۰	۰/۸۱۵	RBF	
۱/۰۲۲۷	۱/۰۰۸۷	۱	PUK	
۰/۱۰۰	۰/۰۷۷	۰/۹۹۹	Polynomial	FQN
۰/۷۶۷	۰/۴۸۶	۰/۹۹۰	Normalized Polynomial	
۰/۷۴۷	۰/۶۰۱	۰/۹۹۸	RBF	
۰/۰۱۳	۰/۰۱۰	۱	PUK	
۰/۸۷۷	۰/۷۴۲	۰/۹۹۸	Polynomial	Energy
۴/۹۸۰	۲/۵۶۸	۰/۹۵۴	Normalized Polynomial	
۱/۷۱۶	۱/۱۷۸	۰/۹۹۷	RBF	
۰/۰۳۷	۰/۰۲۶	۱	PUK	
۲/۴۶۴	۲/۰۸۵	۰/۹۹۸	Polynomial	extenresistance
۱۳/۶۹۶	۷/۰۴۴	۰/۹۴۶	Normalized Polynomial	
۵/۹۳۶	۳/۸۶۷	۰/۹۹۵	RBF	
۰/۰۹۴	۰/۰۶۶	۱	PUK	



جدول ۸- ضریب همبستگی و خطای پیش بینی

RMSE	MAE	r	تابع هسته	ویژگی‌های بافتی
۰/۰۴۶	۰/۰۳۸	۰/۹۹۹	شبکه عصبی مصنوعی	gluten index
۰/۰۲۸	۰/۰۱۱	۱	ماشین بردار پشتیبان	
۰	۰	۰/۹۹۹	شبکه عصبی مصنوعی	DDT
۰	۰	۱	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۰۴۲	۰/۰۳۳	۰/۹۹۹	شبکه عصبی مصنوعی	WAC
۰/۰۲۲	۰/۰۰۸	۱	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۱۱۳	۰/۰۸۶	۰/۹۹۹	شبکه عصبی مصنوعی	FQN
۰/۰۱۳	۰/۰۱۰	۱	ماشین بردار پشتیبان	
۰/۵۹۶	۰/۴۲۱	۰/۹۹۹	شبکه عصبی مصنوعی	Energy
۰/۰۳۷	۰/۰۲۶	۱	ماشین بردار پشتیبان	
۱/۵۳۶	۱/۰۸۷	۰/۹۹۹	شبکه عصبی مصنوعی	extenresistance
۰/۰۹۴	۰/۰۶۶	۱	ماشین بردار پشتیبان	

مراجع:

- Mutlu, A. C., Boyaci, I. H., Genis, H. E., Ozturk, R., Basaran-Akgul, N., Sanal, T., and Evlice, A. K. 2011. Prediction of wheat quality parameters using near-infrared spectroscopy and artificial neural networks. *European food research and technology*, 233(2): 267-274.
- Vetrimani, R., Sudha, M. L., and Rao, P. H. 2005. Effect of extraction rate of wheat flour on the quality of vermicelli. *Food Research International*, 38(4): 411-416
- Ahmad, M. H., Nache, M., Waffenschmidt, S., and Hitzmann, B. 2016. A fluorescence spectroscopic approach to predict analytical, rheological and baking parameters of wheat flours using chemometrics. *Journal of Food Engineering*, 182: 65-71.
- Xu, J., Bietz, J. A., Felker, F. C., Carriere, C. J., and Wirtz, D. 2001. Rheological properties of vital wheat gluten suspensions. *Cereal Chemistry*, 78(2): 181-185.
- Y. Pomeranz (Ed.), *Wheat: chemistry and technology*, vol. II, American Association of Cereal Chemists, St. Paul (1988), pp. 131-217
- Mueen-ud-Din, G., Salim-ur-Rehman, F. M. A., Nawaz, H., and Murtaza, M. A. 2010. Effect of wheat flour extraction rates on flour composition, farinographic characteristics and sensory perception of sourdough naans. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 4(8): 668-674.
- Moradi, V., Khaneghah, A. M., Fallah, A., and Akbarirad, H. 2016. Rheological properties of wheat flour with different extraction rate. *International Food Research Journal*, 23(3): 1056.
- Azizi, M. H., Seyedin, S., and Peyghambaroust, S. H. 2006. Effect of flour extraction rate on flour composition, dough rheological characteristics and quality of flat bread.
- Abasi, S., Minaei, S., Jamshidi, B., and Fathi, D. 2018. Dedicated non-destructive devices for food quality measurement: A review. *Trends in food science & technology*, 78: 197-205.
- Kerhervé, S. O., Guillermic, R. M., Strybulevych, A., Hatcher, D. W., Scanlon, M. G., and Page, J. H. 2019. Online non-contact quality control of noodle dough using ultrasound. *Food Control*, 104: 349-357.



- 11- Hægström, E., and Luukkala, M. 2001. Ultrasound detection and identification of foreign bodies in food products. *Food Control*, 12(1): 37-45.
- 12- Koksel, F., Scanlon, M. G., and Page, J. H. 2016. Ultrasound as a tool to study bubbles in dough and dough mechanical properties: A review. *Food Research International*, 89: 74-89.
- 13- Scanlon, M. G., and Page, J. H. 2015. Probing the properties of dough with low-intensity ultrasound. *Cereal Chemistry*, 92(2): 121-133.
- 14- Létang, C., Piau, M., Verdier, C., and Lefebvre, L. 2001. Characterization of wheat-flour-water doughs: a new method using ultrasound. *Ultrasonics*, 39(2): 133-141.
- 15- LEE, S., Pyrak-nolte, L. J., and Campanella, O. 2004. Determination of ultrasonic-based rheological properties of dough during fermentation 1. *Journal of texture studies*, 35(1): 33-52.
- 16- Mehta, K. L., Scanlon, M. G., Sapirstein, H. D., and Page, J. H. 2009. Ultrasonic investigation of the effect of vegetable shortening and mixing time on the mechanical properties of bread dough. *Journal of food science*, 74(9): E455-E461.
- 17- Bellido, G. G., and Hatcher, D. W. 2011. Effects of a cross-linking enzyme on the protein composition, mechanical properties, and microstructure of Chinese-style noodles. *Food chemistry*, 125(3): 813-822.
- 18- Elmehdi, H. M., Scanlon, M. G., Page, J. H., and Kovacs, M. I. P. 2013. Probing thermal transitions and structural properties of gluten proteins using ultrasound. *Journal of ultrasound*, 16(3): 101-110.
- 19- Hatcher, D. W., Salimi, A., Daugelaite, D., Strybulevych, A., Scanlon, M. G., and Page, J. H. 2014. Application of Ultrasound to the Evaluation of Rheological Properties of Raw Asian Noodles Fortified with Barley β -Glucan. *Journal of texture studies*, 45(3): 220-225.
- 20- Alava, J. M., Sahi, S. S., Garcia-Alvarez, J., Turo, A., Chavez, J. A., Garcia, M. J., and Salazar, J. 2007. Use of ultrasound for the determination of flour quality. *Ultrasonics*, 46(3): 270-276.
- 21- Garcia-Alvarez, J., Alava, J. M., Chavez, J. A., Turo, A., Garcia, M. J., and Salazar, J. 2006. Ultrasonic characterisation of flour-water systems: A new approach to investigate dough properties. *Ultrasonics*, 44: e1051-e1055.
- 22- García-Álvarez, J., Salazar, J., and Rosell, C. M. 2011. Ultrasonic study of wheat flour properties. *Ultrasonics*, 51(2): 223-228.
- 23- Kidmose, U., Pedersen, L., and Nielsen, M. 2001. Ultrasonics in evaluating rheological properties of dough from different wheat varieties and during ageing. *Journal of texture studies*, 32(5-6): 321-334.
- 24- Benjakul, S., Eadkhong, T., Limmun, W., and Danworaphong, S. 2013. Probability of finding translucent flesh in mangosteen based on its electrical resistance and capacitance. *Food Science and Biotechnology*, 22(2): 413-416.
- 25- Garcia, A., Torres, J. L., De Blas, M., De Francisco, A., and Illanes, R. 2004. Dielectric characteristics of grape juice and wine. *Biosystems engineering*, 88(3): 343-349.
- 26- Nunes, A. C., Bohigas, X., and Tejada, J. 2006. Dielectric study of milk for frequencies between 1 and 20 GHz. *Journal of food engineering*, 76(2): 250-255.
- 27- Wu, L., Ogawa, Y., and Tagawa, A. 2008. Electrical impedance spectroscopy analysis of eggplant pulp and effects of drying and freezing-thawing treatments on its impedance characteristics. *Journal of Food Engineering*, 87(2): 274-280.
- 28- Soltani, M., Alimardani, R., and Omid, M. 2011. Evaluating banana ripening status from measuring dielectric properties. *Journal of Food Engineering*, 105(4): 625-631.



- 29- Guo, W., Zhu, X., Nelson, S. O., Yue, R., Liu, H., and Liu, Y. 2011. Maturity effects on dielectric properties of apples from 10 to 4500 MHz. *LWT-Food Science and Technology*, 44(1): 224-230.
- 30- Ragni, L., Cevoli, C., and Berardinelli, A. 2010. A waveguide technique for non-destructive determination of egg quality parameters. *Journal of food engineering*, 100(2): 343-348.
- 31- Castro-Giráldez, M., Botella, P., Toldrá, F., and Fito, P. 2010. Low-frequency dielectric spectrum to determine pork meat quality. *Innovative food science & emerging technologies*, 11(2): 376-386.
- 32- Guo, W., Zhu, X., Liu, Y., and Zhuang, H. 2010. Sugar and water contents of honey with dielectric property sensing. *Journal of Food Engineering*, 97(2): 275-281.
- 33- Bohigas, X., Amigó, R., and Tejada, J. 2008. Characterisation of sugar content in yoghurt by means of microwave spectroscopy. *Food Research International*, 41(1): 104-109.
- 34- Taghinezhad, J., Alimardani, R., and Jafari, A. 2012. Development of a capacitive sensing device for prediction of water content in sugarcane stalks. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 44: 61, 68.
- 35- Jackson, B., and Jayanthi, T. 2014. Determination of sucrose in raw sugarcane juice by microwave method. *Indian Journal of Science and Technology*, 7(5): 566.
- 36- Fang, Q., Liu, X., and Cosic, I. 2007. Bioimpedance study on four apple varieties. In 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography (pp. 114-117). Springer, Berlin, Heidelberg.
- 37- Jackson, P. J., & Harker, F. R. 2000. Apple bruise detection by electrical impedance measurement. *HortScience*, 35(1): 104-107.
- 38- Skierucha, W., Wilczek, A., and Szyplowska, A. 2012. Dielectric spectroscopy in agrophysics. *International Agrophysics*, 26(2): 187-197.
- 39- Kahmann, A., Anzanello, M. J., Marcelo, M. C. A., and Pozebon, D. 2017. Near infrared spectroscopy and element concentration analysis for assessing yerba mate (*Ilex paraguariensis*) samples according to the country of origin. *Computers and electronics in agriculture*, 140: 348-360.
- 40- Kumar, K., Kumar, S., Sankar, V., Sakthivel, T., Karunakaran, G., and Tripathi, P. C. 2017. Non-destructive estimation of leaf area of durian (*Durio zibethinus*)—An artificial neural network approach.
- 41- Salazar, J., Alava, J. M., Sahi, S. S., Turo, A., Chavez, J. A., and Garcia, M. J. 2002. Ultrasound measurements for determining rheological properties of flour-water systems. In 2002 IEEE Ultrasonics Symposium, 2002. Proceedings. (Vol. 1, pp. 877-880). IEEE.
- 42- Sucipto, S., Anna, M., Arwani, M., and Hendrawan, Y. 2019. A rapid classification of wheat flour protein content using artificial neural network model based on bioelectrical properties. *Telkomnika*, 17(2): 920-927.



Classification of Rate of Extraction and Prediction of Some Qualitative Properties of Wheat Flour Non-Destructive Ultrasound Integrated System, Electrical Resistance and Dielectric Assessment

Mohammad Amin Rahnavard^{1*}, Seyed Mehdi Nassiri², Mahboubeh Fazaeli³, Hasan Safiyari⁴, Gholamhosein Ghasemi¹, Mohsen Karimikhorami¹

1. Graduate Student, Department of Agricultural Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2. Associate professor, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Food Science & Technology, Shiraz University, Shiraz, Iran.
4. PH. D. Graduate Student, Department of Agricultural Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Abstract

Wheat flour with different extraction rate has different qualitative characteristics. It is important to classify flours with different extraction percentages and determine their specificity for use in different industries. Many methods of measuring the quality of wheat flour have expensive, time consuming and require skilled people. In this study, a non-destructive intelligent system of ultrasound, electrical resistance and dielectric sensing was evaluated to classify the degree of extraction and predict some qualitative characteristics of wheat flour with different extraction percent. For this purpose, flour samples with extraction rates of 72, 83 and 90% (null, lavash and sangak) were obtained from Fars cluster flour factory, respectively. 40 dough samples with 50% moisture content of flour were prepared from each extraction degree and tested using a non-destructive system. Finally, the performance of neural network and support vector machine methods in classifying extraction degree and predicting some qualitative characteristics were compared. they got. Based on the obtained results, the best classification performance is related to the artificial neural network with the structure of 3-10-3 with accuracy (100%) and average error (0.007) and the best performance of predicting the qualitative properties of the vector machine with PUK kernel with coefficient Correlation (1) and average error (0.011, 0, 0.008, 0.010, 0.026 and 0.06) for gluten index dough development time, water absorption corr, farinograph quality number, Energy, Extensibility, respectively Was. This non-destructive system is an efficient, fast, and low-cost method for predicting quality characteristics and classification of flours rather than conventional methods

Key words: Wheat flour, Non-destructive, Ultrasound, Resistance Measurement, Dielectric Measurement, Neural Network, Support Vector Machine

*Corresponding author

E-mail: Amin.Rahnavard@gmail.com