(مقاله پژوهشی)

بهینه‌سازی فرمولاسیون نان حجیم بدون گلوتن ذرت حاوی کنسانتره پروتئین آب پنیر و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی

نساء صفوی[۱]، مهدی قره خانی[۲*]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۸/۰۶

چکیده

در این تحقیق بهینه‌سازی فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه آرد ذرت حاوی پروتئین آب پنیر و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی با هدف کمینه نمودن افت پخت و میزان سختی و بیشینه نمودن میزان حجم مخصوص، تخلخل و شاخص رنگی *L توسط روش سطح پاسخ و در نهایت تخمین این پاسخ‌ها با کمک شبکه عصبی انجام گرفت. اثرات غلظت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی در سطحوح مابین ۰ و ۱/۵ (۰، ۰/۷۵و ۱/۵) درصد و کنسانتره پروتئین آب‌پنیر در سطوح مابین ۰ تا ۶ (۰، ۳ و ۶) درصد با کمک طرح مرکب مرکزی بر پارامترهای حجم مخصوص، تخلخل، رطوبت مغز نان، سختی و شاخص‌های رنگی *L،*a و*b پوسته نان بررسی گردید. نتایج نشان داد که شرایط بهینه برای تولید نان بدون گلوتن بر پایه آرد ذرت زمانی ایجاد می‌شود که غلظت آنزیم و کنسانتره پروتئین آب پنیر به‌ترتیب ۰/۳۷ و ۴/۵۴ درصد باشد. با افزایش غلظت آنزیم، افت پخت، سختی، رطوبت و شاخص *a افزایش ولی میزان شاخص‌های *L و *b کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم در فرمولاسیون نمونه‌ها در ابتدا کاهش و سپس افزایش میزان تخلخل اتفاق افتاد. افزایش غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت منجر به افزایش حجم مخصوص و شاخص *L و کاهش رطوبت مغز نان، سختی و شاخص *a و*b گردید. نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی ۷ نورون یعنی چیدمان ۸-۷-۲ (شبکه‌ای با ۲ ورودی، ۷ گره (نورون) در لایه پنهان و ۸ خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد. این شبکه با مقدار ضریب همبستگی ۱/۰۰ و میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۰۳ بالاترین دقت را در بین توپولوژی‌های در نظر گرفته شده از خود نشان داد.

واژه های کلیدی: نان بدون گلوتن، آرد ذرت، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، کنسانتره پروتئین آب پنیر، مدل‌سازی شبکه عصبی

*مسؤول مکاتبات: m.gharekhani@iaut.ac.ir

۱-مقدمه

نان غذای اصلی آحاد جامعه بوده و در اشکال گوناگون به‌عنوان یک کالای استراتژیک در سبد غذایی مردم محسوب می‌شود. گرچه با ارتقاء سطح زندگی در کشورهای پیشرفته از میزان مصرف نان کاسته شده است، ولی نان هنوز هم بخش عمده‌ای از انرژی روزانه مردم کشورهای مختلف را تأمین می‌کند (۱). بیماری سلیاک یک اختلال شایع خود ایمنی است که در افراد مستعد از نظر ژنتیکی با دریافت پروتئین گلوتن گندم، چاودار، جو و جو دوسر برانگیخته می‌شود. عامل اصلی تحریک بیماری، عدم تحمل پرولامین‌ها می‌باشد که پرولامین در گندم تحت عنوان گلیادین، درجو هوردئین، در چاودار سکالین و در جو دوسر آوینین شناخته شده است (۱۷). بررسی‌ها نشان می‌دهد که اکثر نان‌های بدون گلوتن تجاری به دلیل حذف گلوتن، خواص حسی بسیار نامطلوبی دارند و بافت نان حاصله زبر، متراکم، کم‌حجم و رنگ پوسته ضعیف بوده و درنهایت برای مصرف کننده قابل قبول نبوده و ماندگاری کمی دارند (۱۶). نان‌های بدون گلوتن تمایل سریعی به بیات شدن دارند که عمدتاً به دلیل میزان بالای نشاسته موجود در آرد است (۵). یکی از مهم‌ترین مسائل در تهیه نان بدون گلوتن، تلاش برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی، حسی و تغذیه‌ای آن می‌باشد. یکی از این موارد، تلاش برای یافتن ترکیبات مناسب برای جایگزین نمودن گلوتن در ساختار اولیه خمیر آن است. در سال‌های اخیر تحقیق و توسعه روی محصولات بدون گلوتن، به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و رویکردی متنوع شامل؛ استفاده از هیدروکلوئیدها، فیبرهای رژیمی و عناصر لبنی به‌عنوان جایگزین گلوتن جهت بهبود ساختار، احساس دهانی، ماندگاری محصولات نانوایی بدون گلوتن در نظر گرفته شده است (۵ و ۲۰). از آنجا که آرد مورد استفاده در تولید نان بدون گلوتن نباید از گندم تهیه شود، لذا آرد ذرت جایگزین مناسبی برای این منظور خواهد بود (۳۲). ارزش غذایی ذرت به مراتب کمتر از گندم و پروتئین آن فاقد گلوتن بوده بنابراین از آن به‌تنهایی نمی‌توان نان با کیفیت خوب تولید نمود (۴)، لذا ترکیباتی که توانائی تقلید خصوصیات گلوتن را دارند، درترکیب خمیر آرد ذرت جهت بهبود خواص نان مورد استفاده قرار خواهند گرفت (۲۴ و ۲۶). پروتئین آب‌پنیر از محصولات جانبی تولید پنیر بوده و سرم شیر باقی‌مانده در طول پنیرسازی تحت عنوان آب‌پنیر شناخته می‌شود و شامل مقادیر بالایی از لاکتوز، ویتامین‌های محلول در آب و مواد معدنی شیر می‌باشد (۲۳). آب‌پنیر به‌عنوان یک افزودنی طبیعی با ویژگی‌های قوام دهندگی مشابه هیدروکلوئیدها، نشاسته و سایر قوام‌دهنده‌ها، با تشکیل یک فیلم بین سطحی، شبکه‌ای مشابه شبکه گلوتنی را در محصولات پختی ایجاد می‌نماید (۱۵). در میان آنزیم‌های مورد استفاده در صنایع غذایی، ترانس‌گلوتامیناز به علت اصلاح و ترویج شبکه پروتئینی در سیستم‌های غذایی مختلف، از جایگاه به‌سزایی برخوردار می‌باشد (۳۰) که باعث بهبود ساختار، افزایش ظرفیت نگهداری آب و افزایش قابلیت ارتجاعی از طریق واکنش‌های خفیف آنزیمی خود در سیستم غذایی می‌شود (۱۷). ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTG)[1] از یک جنس باکتریایی به نام *استرپتوورتیسیلیوم*[2]، استخراج و خالص‌سازی می‌شود. این آنزیم واکنش انتقال آسیل بین گلوتامین و لیزین در برخی پروتئین‌ها را تسریع نموده و باندهای کووالانت بین پروتئین‌ها ایجاد می‌نماید که شامل برخی از پروتئین‌های مواد غذایی نظیر؛ پروتئین سویا، پروتئین شیر، پروتئین تخم مرغ و پروتئین گندم می‌باشد (۳۵). دلوزوسکا و همکاران (۲۰۱۴)، اثر افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی را بر خواص حسی نان بدون گلوتن بر پایه آرد ذرت، نشاسته ذرت و نشاسته سیب‌زمینی و افزودن ۷ درصد کنسانتره پروتئین سویا یا آب‌پنیر مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تأثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر کیفیت نان فاقد گلوتن، بستگی به نوع پروتئین استفاده شده در ترکیب خمیر داشته و افزودن ۱ واحد برگرم پروتئین از آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی موجب بهبود برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی نان بدون گلوتن حاوی پروتئین سویا یا پروتئین آب‌پنیر گردید (۱۸). فانی صدرآبادی و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهش خود به

1- MTG: Microbial Transglutaminase
2- Streptoverticillium sp.

بررسی تأثیر چهار نوع پودر لبنی؛ کازئینات‌سدیم، آب‌پنیر، شیر خشک چرب و فاقد چربی بر روی خواص رئولوژیکی خمیر و ویژگی‌های نان حاصل از آن پرداختند. آن‌ها بیان داشتند که افزودن کازئینات‌سدیم به میزان ۴ درصد نسبت به سایر پودرها منجر به افزایش جذب آب و افزایش بازدهی خمیر شده و بافت نان حاصل قابلیت ارتجاعی بالا و سفتی کمی داشته و پوسته بهترین رنگ ممکن را داشته است(۱۹). بخش آبادی و همکاران در سال ۱۳۹۶ جهت ارزیابی خصوصیات روغن تولیدی بر اساس میزان رطوبت و درجه حرارت دیگ پخت از شبکه عصبی بهره گرفتند و مدلی جهت پیش‌بینی کیفیت محصول ارائه کردند (۳). در پژوهشی مقیمی (۱۳۹۶)، برای اندازه‌گیری دقیق و سریع خصوصیات فیزیکوشیمیایی نان باگت از مدل‌سازی فازی استفاده نمود (۱۲). هدف از این مطالعه بهینه‌سازی تولید نان بدون گلوتن بر پایه ذرت حاوی پروتئین آب پنیر و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی و پیش‌بینی برخی از خصوصیات نان تولیدی با استفاده از شبکه‌ی عصبی بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این مطالعه برای تهیه نان حجیم بدون گلوتن؛ از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی خالص شرکت آرتین شیمی، پروتئین آب پنیر شرکت Lakeland ایرلند، صمغ گوار، مخمر نانوایی شرکت دکتر اوتکر ترکیه، نمک و شکر استفاده گردید. همچنین ویژگی‌های شیمیایی آرد ذرت مصرفی با استفاده از روش‌های متداول AACC (درصد رطوبت: شماره ۱۶-۴۴، درصد خاکستر: روش ۷-۸ ، درصد پروتئین: ۱-۴۶ و درصد چربی :۱۰-۳۰) مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین مواد شیمیایی مورد استفاده جهت انجام آزمون‌های فوق اعم از؛ اتانول، اکسید سلنیوم، اسید سولفوریک و کلریدریک، سولفات پتاسیم، پودر سولفات مس، معرف متیل رد و هگزان از شرکت‌های معتبر تهیه شدند. تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از؛ الک آزمایشگاهی با مش ۸۰، آون آزمایشگاهی(Memert، آلمان)، ترازوی دیجیتال (Gec Avery، ساخت انگلستان)، کجلدال (Mode V50، ایران)، مخلوط کن برقی خمیر (Philps، چین)، فر پخت نانوایی (صنایع پخت مشهد، ایران) و کوره الکتریکی(FM8، ایران).

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تهیه خمیر، پخت نان و آماده‌سازی نمونه‌ها

در این تحقیق برای تهیه نان، از سه سطح غلظت پروتئین آب پنیر (۰، ۳ و ۶ درصد) و سه سطح غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (۰، ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد) مورد استفاده قرار گرفت و مطابق با روش عطای صالحی و همکاران (۱۳۹۰)، برای تهیهٔ نان ابتدا کلیه ترکیبات خشک بر حسب ۱۰۰ گرم وزن آرد شامل؛ مخمر نانوایی=۳، صمغ گوار= ۲، نمک=۲ (به غیر از شکر= ۵) پس از توزین دقیق غربال گردیده تا به خوبی با هم مخلوط و آب‌گیری مناسبی داشته باشند. سپس سوسپانسیون مخمر فعال شده که در طی ۱۵ دقیقه در ۲۰ سی‌سی آب حاوی نیمی از شکر مصرفی تهیه شده بود، به مواد فوق اضافه شده و در نهایت باقیمانده آب(۱۰۰ سی سی) اضافه گردید. خمیر مورد نیاز توسط همزن تهیه شد و مدت زمان مخلوط شدن با ارزیابی تجربی قوام خمیر حاصله، ۳ دقیقه محاسبه گردید. سپس خمیرها جداگانه در قالب‌هایی از جنس گالوانیزه در ابعاد ۴×۶/۵×۱۰ سانتی‌متر که دیواره‌ی آنها چرب شده بود ریخته شدند. به منظور انجام عمل تخمیر، خمیرها به مدت ۲۰ دقیقه، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد در محفظه تخمیر (بن‌ماری) قرار گرفتند، و عملیات پخت نان‌ها در فر که دمای۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برای شعله بالا و دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد برای شعله پایین تنظیم شده بود به مدت ۳۵ دقیقه صورت گرفت. پس از پخت، نان ها از قالب خارج شده و در دمای اتاق به مدت یک ساعت خنک و در کیسه‌های بدون درز پلی‌پروپیلنی در ابعاد ۲۰×۱۸ سانتی‌متری بسته بندی شدند و تا زمان انجام آزمون‌های مربوطه در دمای اتاق نگه‌داری گردیدند (۹).

۲-۲-۲- اندازه‌گیری حجم مخصوص نان

حجم نمونه نان‌های حاصله با استفاده از روش جابه‌جایی دانهٔ کلزا اندازه گیری شد (۲۱).

۲-۲-۳- تعیین درصد افت پخت نان

وزن چانه‌های خمیر و وزن نمونه‌های نان پس از پخت و سرد کردن به مدت ۳-۲ ساعت، اندازه‌گیری شده و از طریق رابطه ۱ درصد افت پخت نان محاسبه شد (۶).

(رابطه۱)

$$\text{درصد افت پخت} = \frac{\text{وزن نان پس از پخت} - \text{وزن چانه نان}}{\text{وزن چانه نان}} \times ۱۰۰$$

۲-۲-٤- ارزیابی میزان تخلخل نان

برای ارزیابی تخلخل نمونه‌ها از روش پردازش تصویر توسط عکس‌برداری با دوربین دیجیتال با وضوح ۱۲مگا پیکسل و آنالیز با نرم افزار Image J استفاده شد (۷).

۲-۲-۵- اندازه‌گیری رطوبت نان

رطوبت مغز نان طبق روش AACC16-44 انجام پذیرفت (۱۴).

۲-۲-٦- آزمون سفتی بافت نان

سفتی بافت داخلی نمونه‌های نان ذرت، در روز اول پس از پخت توسط دستگاه بافت سنج بروکفیلد (مدل LFRA-4500) ساخت کشور آمریکا اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرارگرفتند. حداکثر نیروی لازم برای نفوذ پروپ استوانه‌ای با قطر ۳۸/۱میلی‌متر با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه به مرکز برش‌های مغز نان بعنوان شاخص سفتی محاسبه گردید. ضخامت برشهای مغز نان ۲×۲×۲ سانتی‌مترمکعب و میزان فشردگی[1] تا ٪۵۰ ارتفاع اولیه تکه نان تعیین گردید(۲۲).

۲-۲-۷- ارزیابی رنگ پوسته

برای ارزیابی تغییرات رنگ نمونه‌ها از روش پردازش تصویر توسط عکس‌برداری با دوربین دیجیتال با وضوح ۱۲مگا پیکسل و آنالیز با نرم افزار فتوشاپ استفاده شد (۱۰). با توجه به فاکتورهای b، a، L استانداردهای واقعی، منحنی استاندارد برای فاکتورهای b، a، L پوسته نان بدون گلوتن رسم و معادله آن به دست آمد. سپس میانگین اعداد به دست‌آمده از نرم افزار برای فاکتورهای b، a، L پوسته، در معادله خط استاندارد قرار داده شد تا اعداد واقعی به‌دست آید (۳۶).

۲-۳- روش تعیین نقشه آزمایش‌ها و مدل‌سازی فرایند

در این بررسی محدوده‌ی متغیرها با توجه با اهداف مورد نظر یعنی کمینه نمودن افت پخت و میزان سختی و بیشینه نمودن میزان حجم مخصوص، تخلخل و شاخص رنگی L^* تعیین گردید. در این آزمایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی در محدوده صفر تا ۱/۵درصد و غلظت پروتئین آب پنیر در محدوده صفر تا ۶ درصد تعیین گردید. نقشه کلی آزمایشات به کمک نرم افزار Design Expert Ver. 6.02 با استفاده از مدل CCD[2] انجام گردید. نقشه آزمایشات طراحی شده در جدول ۱ نمایش داده شده است. جهت تعیین شبکه عصبی بهینه از ابزار شبکه عصبی نرم‌افزار مطلب استفاده شد (۲۹).

1- Compression
2 -Central Composite Design (CCD)

جدول ۱- متغیرهای مستقل و وابسته در فرایند بهینه‌سازی فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت

شماره آزمون	غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز (٪) (X_1)	غلظت پروتئین آب پنیر (٪) (X_2)	حجم مخصوص (٪)	افت پخت (٪ اسید اولئیک)	تخلخل (٪)	رطوبت مغز نان (٪)	سفتی (گرم)	L*	a*	b*
۱	(-۱) ۰	(-۱) ۰	۱/۲۹	۱۷/۲۱	۲۱/۷۶	۵۵/۳۱	۱۶۰۸/۶۵	۸۷/۹۵	-۱۶/۳۳	۶۷/۳۳
۲	(۱)۱/۵	(-۱) ۰	۱/۳۲	۲۰/۵۸	۲۵/۵۳	۵۵/۷۱	۲۶۵۱/۴۸	۸۴/۸۹	-۱۴/۵۴	۶۴/۸۱
۳	(-۱) ۰	(۱) ۶	۱/۵۸	۱۸/۵۱	۲۳/۰۳	۵۳/۵۱	۱۷۹۹/۶۵	۸۷/۲۹	-۱۵/۹۱	۶۶/۶۹
۴	(۱) ۱/۵	(۱) ۶	۱/۴۷	۱۷/۲۲	۲۱/۳۳	۵۴/۳۱	۱۲۵۷/۴۸	۸۵/۸۷	-۱۶/۶۲	۶۴/۱۸
۵	(-۱) ۰	(۰) ۳	۱/۴۶	۱۸/۴۶	۲۳/۰۳	۵۴/۴۱	۱۶۱۶/۹۵	۸۷/۱۸	-۱۶/۱۲	۶۷/۰۱
۶	(۱) ۱/۵	(۰) ۳	۱/۴۷	۱۷/۷۴	۲۳/۹۳	۵۵/۰۱	۱۸۶۷/۲۹	۸۵/۳۳	-۱۵/۵۸	۶۴/۴۹
۷	(۰) ۰.۷۵	(-۱) ۰	۱/۵۷	۱۸/۴۶	۱۹/۲۰	۵۵/۵۱	۱۸۲۶/۱۲	۸۵/۵۵	-۱۵/۴۳	۶۶/۰۶
۸	(۰) ۰.۷۵	(۱) ۶	۱/۹۱	۱۷/۴۳	۱۹/۱۶	۵۳/۹۲	۱۲۲۴/۶۲	۸۶/۲۰	-۱۶/۲۷	۶۵/۴۴
۹	(۰) ۰.۷۵	(۰) ۳	۱/۶۷	۱۶/۸۰	۱۹/۲۵	۵۴/۷۱	۱۴۳۶	۸۵/۹۷	-۱۵/۸۱	۶۵/۷۴
۱۰	(۰) ۰.۷۵	(۰) ۳	۱/۶۹	۱۶/۷۹	۱۹/۲۶	۵۴/۷۳	۱۴۳۷	۸۵/۹۸	-۱۵/۸۷	۶۵/۷۳
۱۱	(۰) ۰.۷۵	(۰) ۳	۱/۷۰	۱۶/۷۷	۱۹/۲۳	۵۴/۷۰	۱۴۳۸/۳۰	۸۵/۹۸	-۱۵/۸۵	۶۵/۷۷
۱۲	(۰) ۰.۷۵	(۰) ۳	۱/۶۸	۱۶/۸۰	۱۹/۲۲	۵۴/۷۱	۱۴۳۸/۲۵	۸۵/۹۷	-۱۵/۸۶	۶۵/۷۶
۱۳	(۰)۰.۷۵	(۰) ۳	۱/۶۹۵	۱۶/۷۹	۱۹/۲۳	۵۴/۷۲	۱۴۳۸	۸۵/۹۶	-۱۵/۸۴	۶۵/۷۵

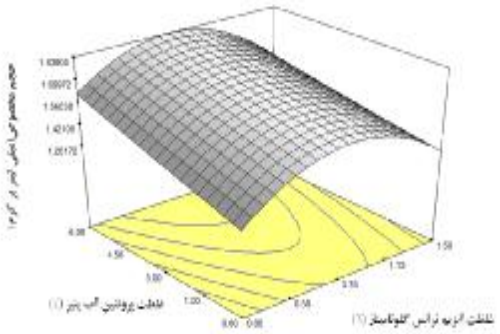
۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر متغیرها بر حجم مخصوص نمونه‌ها

حجم نان به توانائی شبکه پروتئینی در نگهداری گاز دی‌اکسیدکربن تولید شده در طول تخمیر بستگی دارد (۳۴). نتایج حاصل از تولید نان بدون گلوتن بر پایه ذرت تحت تأثیر افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و پروتئین آب پنیر نشان داد که پارامتر خطی میزان پروتئین آب پنیر و درجه دوم غلظت آنزیم بر حجم مخصوص نمونه‌ها در سطح احتمال ($p<0.05$) درصد تأثیر معنی‌دار داشت. همان‌طور که در شکل ۱ آورده شده است با افزایش غلظت آنزیم در ابتدا حجم مخصوص نمونه‌ها افزایش یافت و سپس کاهش یافت. مطابق با یافته‌های رنزتی و همکاران (۲۰۰۸)، افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطح ۱ واحد گرم بر پروتئین در مقایسه با ۱۰ واحد گرم بر پروتئین در نان‌های سورگوم و ذرت، منجر به افزایش حجم مخصوص شد و همچنین استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در سطح ۱ درصد باعث ایجاد بالاترین میزان در حجم و افزایش نرمی مغز نان بدون گلوتن برنج درمقایسه با سایر سطوح گردید (۳۰). طبق مطالعات صورت گرفته توسط محمدی و همکاران (۲۰۱۴)، با افزایش سطوح آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی به نان بدون گلوتن حاوی گوار، یک کاهش معنی‌دار در حجم مخصوص نان‌های حاصل نسبت به نان شاهد مشاهده گردید، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز سبب ایجاد پیوندهای عرضی بین اسیدآمینه‌های گلوتامین و لیزین می‌شود. این پیوند عرضی ایجاد شده از رشد سلول‌های گازی در طول تخمیر جلوگیری کرده و سبب کاهش حجم مخصوص نان‌های حاصله می‌شود (۲۵). با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن، میزان حجم مخصوص نمونه‌ها افزایش یافت (شکل ۱). پروتئین‌های آب‌پنیر ساختار کروی، خواص ژل حرارتی بسیار خوبو پایداری حرارتی ضعیفی داشته که در دمای بالاتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد دناتوره شده و به مقدار فراوانی حجم مخصوص نان را افزایش دهد. افزایش حجم مخصوص نان به این نکته ارتباط دارد که در طول عملیات پخت، پروتئین‌های مذکور ماهیت طبیعی خود را از دست داده و دناتوره می‌شوند و پیوندهای تشکیل دهنده

ساختار سوم گلبول‌های آب‌پنیر، از بین رفته و در نهایت حجم مخصوص افزایش می‌یابد همچنین این محقیقین بیان داشتند که، بهبود خواص ساختاری نان‌های حاصله، در نتیجه ساختار باز شده پروتئین و ایجاد تعاملات جدید پروتئین – پروتئین و یا تعامل پروتئین با سایر اجزاء فرمول خمیر می‌باشد. در نتیجه پخت نان، یک شبکه پروتئینی در اثر تجمع پروتئین‌های آب‌پنیر ایجاد می‌شود که تشکیل این شبکه پروتئینی منجر به بهبود خواص پخت نان و افزایش حجم مخصوص می‌گردد، در مقابل نان‌های حاوی‌کازئینات‌سدیم(تمامی سطوح) تحت تأثیر فاز نشاسته قرار گرفته و هیچ شبکه پروتئینی در ساختار نان حاصل نگردید، کازئین در مقابل حرارت مقاوم بوده و این ویژگی مانع تجمع کازئین برای ایجاد یک شبکه پروتئینی در طول پخت می‌شود. غلبه فاز نشاسته بر کازئین منجر به تشکیل یک ژل ضعیف شده که حجم نان کاهش می‌یابد. بنابراین تفاوت در پایداری حرارتی پروتئین آب‌پنیر و کازئین می‌تواند نقش عمده را در ساختار نهایی نان ایفا نماید (۲۷). بیشترین حجم مخصوص نمونه‌ها (۱/۹۱ میلی‌لیتر بر گرم) در شرایطی به‌دست آمد که غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر به‌ترتیب ۰/۷۵ و ۶ درصد بود (جدول ۱). مدل نهایی ارائه شده برای حجم مخصوص نمونه‌ها، حاکی از اثرگذاری بیشتر متغیر درجه دوم غلظت آنزیم بود.

حجم مخصوص نان‌های تولیدی = $+1.70 - 0.012\ X_1 + 0.13\ X_2 - 0.27 X_1^2 + 0.0041\ X_2^2 - 0.035\ X_1 X_2$

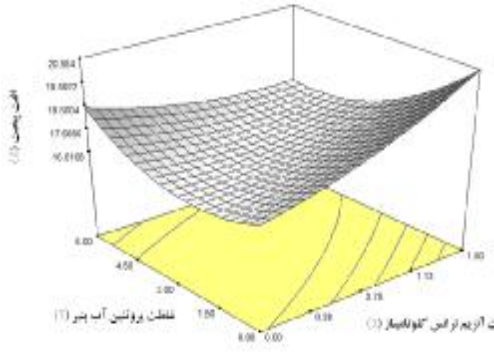


شکل ۱- نمودار سطح پاسخ حجم مخصوص نمونه‌ها تحت تأثیر غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و پروتئین آب پنیر

۳-۲- تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر بر افت پخت

کمترین افت پخت نمونه‌ها تحت شرایطی به‌دست آمد که غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت به‌ترتیب صفر و سه درصد بود. افزایش غلظت آنزیم از صفر به ۱/۵درصد همواره باعث افزایش افت پخت گردید (شکل ۲). این افزایش میزان افت پخت با افزایش غلظت آنزیم را می‌توان به اثر تجزیه‌ای این آنزیم نسبت داد. با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر در ابتدا میزان افت پخت کاهش و سپس افزایش یافت. فانی صدرآبادی و همکاران(۲۰۱۳)، در گزارشات خود بیان نمودند که افزودن ۴ درصد کازئینات‌سدیم در مقایسه با ۲ درصد از این پروتئین، کمترین میزان را در درصد افت پخت نان‌ها ایجاد نمود. با افزایش پروتئین رطوبت در نان افزایش یافته و به دلیل توانائی بالای آن در حفظ رطوبت، درصد افت پخت نان کاهش می‌یابد (۱۹). نتایج همچنین نشان داد که اثر متقابل غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر در بین پارامترهای مورد بررسی بیشترین اثر را بر میزان افت پخت داشت. معادله افت پخت نمونه‌ها تحت تأثیر متغیرهای مورد آزمایش در زیر نشان داده شده است.

افت پخت نمونه‌ها = $+16.79+0.52\ X_1 - 0.51 X_2 + 0.44\ X_1^2 + 1.16\ X_2^2 - 1.16\ X_1 X_2$



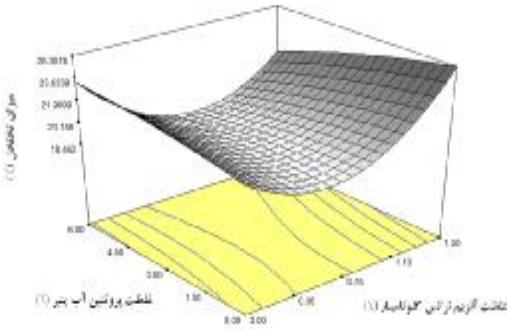
شکل ۲- نمودار سطح پاسخ افت پخت نمونه‌ها تحت تأثیر غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و پروتئین آب پنیر

۳-۳- تأثیر متغیرها بر میزان تخلخل نمونه‌ها

نتایج نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم در فرمولاسیون نمونه‌ها در ابتدا کاهش و سپس افزایش میزان تخلخل اتفاق افتاد. دلوزوسکا و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود به این نکته اشاره

نمودند که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز به نان بدون گلوتن در سطح ۱ درصد همراه با پروتئین‌های آب‌پنیر، منجر به افزایش معنی‌دار تخلخل در نان‌های حاصله گردید و افزودن آنزیم در سطح ۱۰ درصد در مقایسه با سطح ۱ درصد اثرات مثبت بیشتری را بر تخلخل بافت مغز نان بدون گلوتن ایجاد نمود (۱۸). نتایج همچنین نشان داد که با افزایش میزان پروتئین آب پنیر میزان تخلخل نمونه‌ها کاهش یافت. بر اساس مطالعات پیشین در طی مرحله اول مخلوط کردن زمانی که آرد هیدراته می شود و به یک خمیر چسبناک تبدیل می‌شود، ترکیبات محلول و نامحلول روی حباب آورده می‌شوند و در این مرحله، تشکیل سطح حباب‌ها در کل فرآیند و پایداری حباب‌ها در طی مراحل بعدی تهیه نان تحت تأثیر قرار می‌گیرند به‌علاوه در طی ور آمدن خمیر، حباب‌هایی که در طی مخلوط کردن در داخل خمیر تولید می‌شوند در اثر تولید گاز توسط مخمرها انبساط پیدا می‌کنند. بنابراین پایداری حباب‌ها مهمترین موضوع است که عامل اصلی ناپایداری آنها به هم متصل شدن سلول‌های گاز منفرد می‌باشد. وجود لایه‌های ضخیم روی حباب‌ها باعث ایجاد دافع بین آنها می‌شود و شانس بهم پیوستگی کاهش پیدا می‌کند (۲۸). معادله میزان تخلخل نمونه‌ها تحت تأثیر پارامترهای مورد بررسی در زیر نشان داده شده است، و همانطور که مشخص است بیشترین اثر را بر میزان تخلخل نمونه‌ها، پارامتر درجه دوم میزان آنزیم داشت.

میزان تخلخل نمونه‌ها = $+19.31 + 0.49\ X_1 - 0.50 X_2 + 4.00\ X_1^2 - 0.30\ X_2^2 - 1.37\ X_1X_2$

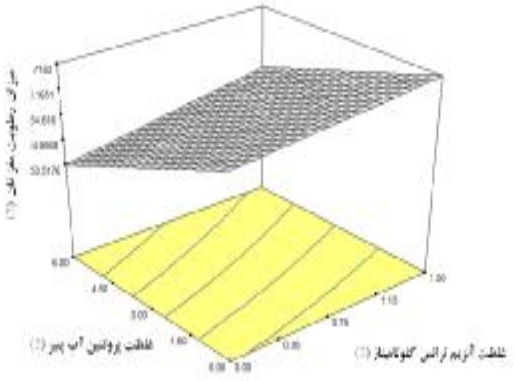


شکل ۳- نمودار سطح پاسخ میزان تخلخل نمونه‌ها تحت تأثیر غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و پروتئین آب پنیر

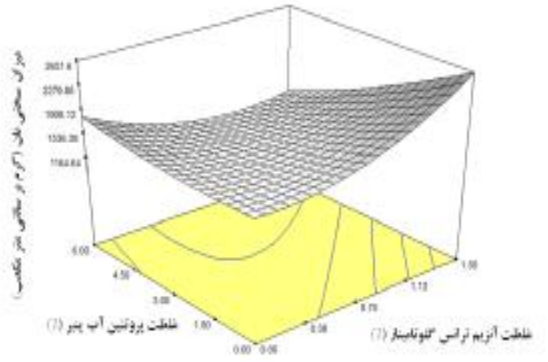
۳-٤- تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر بر رطوبت نان

آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ نشان داد که اثرات خطی پارامترهای غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر روی میزان رطوبت مغز نمونه‌ها در سطح احتمال ($p<0.05$) درصد تأثیر معنی‌داری داشتند. اثرات متقابل فاکتورهای مورد بررسی نیز تأثیر معنی‌داری در رطوبت نمونه‌ها داشت. بررسی نتایج نشان داد که در بین تمام متغیرهای مدل سطح پاسخ، پارامتر غلظت پروتئین آب پنیر بیشترین تأثیر را در روند میزان رطوبت نمونه‌ها داشت و برای برازش داده‌های رطوبت مدل چند جمله‌ای ساده انتخاب گردید. رابطه بین غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر در میزان رطوبت نمونه‌ها بیان‌گر حالت عکس در این دو متغیر بود، این حالت به وضوح در شکل ۴ نشان داده شده است به‌گونه‌ای که با افزایش غلظت آنزیم میزان رطوبت افزایش ولی با افزایش میزان پروتئین میزان رطوبت کاهش یافت. علت کاهش میزان رطوبت نمونه‌ها با افزایش میزان پروتئین آب پنیر این است که پروتئین آب‌پنیر محلول در آب بوده و لذا نمی‌تواند با مقادیر زیادی آب اتصال برقرار نماید در نتیجه کاهش میزان رطوبت را در پی دارد (۲). نتایج این بخش با نتایج صحرائیان و همکاران (۱۳۹۲)، تضاد داشت (۸). از طرفی افزایش غلظت آنزیم به علت تولید ترکیباتی که قادر به نگهداری رطوبت نمونه‌ها هستند باعث افزایش رطوبت نمونه‌ها می‌شود این نتایج با نتایج محله ۱۳۹۵، همخوانی داشت (۱۱). مدل برازش داده شده ناشی از تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر روی میزان رطوبت مغز نمونه‌ها در زیر نشان داده شده است، همانطور که مشخص است پارامترهای درجه دوم متغیرهای مورد بررسی تأثیری در مدل ارائه شده نداشتند و از مدل حذف شده بودند.

میزان رطوبت مغز نان‌ها = $+ 54.72 + 0.30\ X_1 - 0.80 X_2 + 0.10\ X_1X_2$



شکل ٤- نمودار سطح پاسخ میزان رطوبت مغز نان‌ها تحت تأثیر غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و پروتئین آب پنیر



شکل ٥- نمودار سطح پاسخ میزان سختی نمونه‌ها تحت تأثیر غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و پروتئین آب پنیر

۳-۵- تأثیر متغیرها بر سختی نمونه‌ها

همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد با افزایش غلظت آنزیم و کاهش میزان پروتئین آب پنیر میزان سختی نمونه‌ها افزایش یافت. مقاومت مغز نان به تغییر شکل تحت عنوان سفتی مطرح می‌شود و به عنوان یک شاخص مهم در بیات شدن در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نقش گلوتن در جلوگیری از پدیده بیاتی، این ویژگی در نان بدون گلوتن شایع‌تر می‌باشد (۳۱). از طرفی گلوتن موجود در نان گندم با تشکیل یک شبکه پروتئینی، انتقال آب به سمت پوسته را کندتر کرده و در نتیجه بافت نان نرمتر می‌شود. لذا نبود گلوتن منجر به افزایش انتقال آب از سمت مغز به پوسته شده در نتیجه بافت مغز سفت و پوسته نرم می‌شود (۲۰). نتایج این بخش با نتایج ایوبی و همکاران (۱۳۹۰) و دورا و همکاران (۲۰۱۴)، مطابقت داشت (۲ و۱۷). مدل برازش داده شده ناشی از تأثیر فرمولاسیون‌های مختلف روی سختی نمونه‌ها در زیر نشان داده شده است، همان‌طور که از آن مشخص است بیشترین تأثیر را بر میزان سختی نمونه‌ها، پارامتر اثر متقابل غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر داشت.

میزان سختی نمونه‌ها $= + 1437.60 + 125.17\ X_1 - 300\ X_2 + 304.29\ X_1^2 + 87.54\ X_2^2 - 396.25\ X_1X_2$

۳-٦- تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر بر شاخص های رنگی پوسته نان

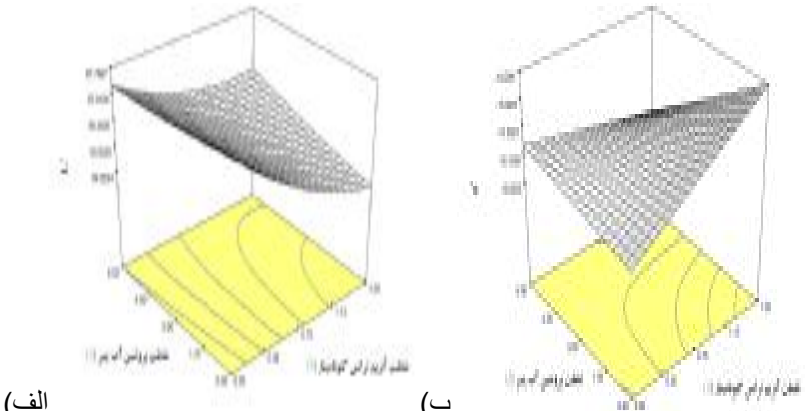
نتایج نشان داد که برای سه شاخص *L، *a و *b پوسته نان به‌ترتیب مدل چند جمله‌ای درجه دوم، چندجمله‌ای ساده و خطی بهترین مدل‌ها بودند. از طرفی بررسی روند تغییرات شاخص *L مشخص کرد که بیشترین تأثیر بر این خصوصیت را غلظت آنزیم دارا بود که با افزایش آن میزان شاخص *L کاهش یافت این در حالی بود که با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر این شاخص افزایش یافت (شکل ۶ الف). شکل ۶ ب نیز مشخص گرداند که روند تغییرات شاخص *a عکس روند تغییرات شاخص *L بود یعنی با افزایش غلظت آنزیم میزان آن افزایش و با افزایش غظلت پروتئین میزان آن کاهش یافت. شکل ۶ ج نیز نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم و همچنین غلظت پروتئین آب پنیز میزان شاخص *b کاهش یافت. رنگ پوسته نان در اثر واکنش مایلارد تشکیل می‌شود. بدین‌معنی‌که در اثر ترکیب مواد ازته با مواد احیاء کننده، در لایه‌های سطحی عمل قهوه‌ای شدن اتفاق می‌افتد. مقداری از رنگ پوسته نان مربوط به عمل کاراملیزه شدن قندها است. بدیهی است شدت رنگ مربوط به مقدار مواد مؤثر و شرایطی که این مواد تحت آن وارد عمل می‌شوند نظیر دما و بی‌آب شدن سطح نان، در سرعت و شدت رنگ تأثیر زیادی دارد. اندازه‌گیری رنگ در محصولات نانوایی برای ارزیابی کیفیت محصول، تعیین اثر مواد مختلف که در فرمول استفاده می‌شود، اثر تغییر متغیرهای

فرآیند پخت و ارزیابی شرایط انبارداری ، امری بدیهی است (۴). گالاگر و همکاران (۲۰۰۳)، بیان داشتند که افزودن پودرهای لبنی در نان بدون گلوتن منجر به کاهش ارزش L در مقایسه با گروه کنترل گردید و این امر به دلیل وجود مقدار کم لاکتوز در این ترکیبات می‌باشد که در واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی مایلارد و کاراملیزاسیون شرکت می‌کنند (۲۰). همچنین گزارش شده است که با افزایش سطوح پروتئین آب‌پنیر به نان بدون‌گلوتن برنج، میزان شاخص رنگی L کاهش یافته و شاخص b افزایش می‌یابد و ارزش b این دو پروتئین بالاتر از کازئینات‌سدیم بود (۳۳). صحرائیان و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقات خود، سطوح مختلف پودر آب‌پنیر را در نان بدون گلوتن مورد بررسی قرار دادند و بیان نمودند که؛ با افزایش درصد پودر آب‌پنیر به جزء۳ درصد از این پروتئین میزان مؤلفه L نمونه‌های نان بدون گلوتن نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت و بیشترین میزان این مؤلفه مربوط به گروه شاهد گزارش شد (۸). مدل‌های برازش داده شده ناشی از تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر روی شاخص‌های *L، *a و *b پوسته نان به ترتیب در زیر نشان داده شده است.

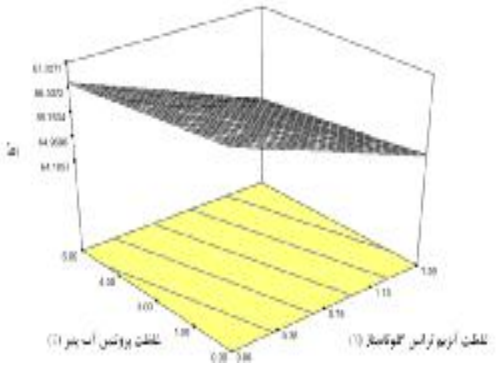
L^* شاخص $= + 85.93 - 1.05\ X_1 + 0.16 X_2 + 0.45\ X_1^2 + 0.068\ X_2^2 + 0.41\ X_1X_2$

a^* شاخص $= - 15.85 + 0.27\ X_1 - 0.42\ X_2 - 0.63\ X_1X_2$

b^* شاخص $= + 65.75 - 1.26\ X_1 - 0.31\ X_2$



الف) ب)



ج)

شکل ٦- نمودار سطح پاسخ الف) *L، ب) *a و ج) *b پوسته نان‌ها تحت تأثیر غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و پروتئین آب پنیر

۳-۷- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش علاوه بر بهینه‌سازی فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت به‌کمک روش سطح پاسخ، مقادیر خصوصیات مورد بررسی توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی پیش‌بینی گردید. برای انجام این عمل ترکیبی از لایه‌ها و نورون‌های مختلف برای مدل‌سازی شبکه عصبی پرسپترون مورد استفاده قرار گرفت. شبکه‌ی عصبی با یک و دو لایه پنهان، تعداد ۲ تا ۱۰ نورون به‌طور تصادفی انتخاب و قدرت شبکه در پیش‌بینی پاسخ‌های مورد بررسی تخمین زده شد. برای ایجاد شبکه پس انتشار پیش‌خور، تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید هیپربولیکی برای لایه ورودی به لایه پنهان اول و از پنهان اول به پنهان دوم و تابع فعال‌سازی خطی برای لایه خروجی استفاده شد. همچنین الگوی یادگیری لونبرگ - مارکوات، چرخه یادگیری ۱۰۰۰ و دو معیار ارزیابی ضریب همبستگی (R^2) و میانگین مربعات خط (MSE) برای ایجاد و ارزیابی شبکه استفاده شد. در ضمن در این فرآیند ۶۰ درصد داده‌ها جهت آموزش، ۱۵ درصد به منظور اعتبار سنجی و ۲۵ درصد نیز برای تست شبکه طراحی شده به کار گرفته شد. بررسی نتایج به‌دست آمده در خصوص شبکه عصبی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی ۷ نورون یعنی چیدمان ۸-۷-۲ (شبکه‌ای با ۲ ورودی، ۷ گره (نورون) در لایه پنهان و ۸ خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج شبکه‌ی عصبی پرسپترون در پیش‌بینی پاسخ‌های مورد بررسی

تعداد نورون در لایه‌های پنهان		R2	MSE
دوم	اول		
۲	–	۰/۹۹۹	۰/۵۵
۳	–	۰/۹۹۹	۰/۲٤۱
٤	–	۰/۹۵۵	۰/۱۵۰
۵	–	۰/۹۱۸	۰/۹۲
٦	–	۰/۹٦۵	۰/۰٦۵
۷	–	۱/۰۰	۰/۰۰۰۳
۸	–	۰/۹۹۹	۰/۰۰٦
۹	–	۰/۹٦۹	۰/۰۲
۱۰	–	۰/۹۸۱	۰/۰۳
–	۲	۰/۹۸۷	۰/۰٦۵
–	۳	۰/۹٤۲	۰/۰۳۷
–	٤	۰/۹۷٤	۰/۰٤۹
–	۵	۰/۹۷۲	۰/۰۰۳
–	٦	۰/۹۷۱	۰/۰۰۷٤
–	۷	۰/۹۱۲	۰/۰۳۳
–	۸	۰/۸۸۸	۰/۰٦۲
–	۹	۰/۹۸٦	۰/۰۰٤۸
–	۱۰	۰/۹۹٦	۰/۰٦

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین پاسخ‌های مورد بررسی استفاده گردید. نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی ۷ نورون یعنی چیدمان ۸-۷-۲ (شبکه‌ای با ۲ ورودی، ۷ گره (نورون) در لایه پنهان و ۸ خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد. به‌منظور یافتن بهترین فرمولاسیون در تهیه نان بدون گلوتن بر پایه ذرت همراه با افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و پروتئین آب پنیر، غلظت آنزیم در دامنه سطوح صفر تا ۱/۵ درصد و پروتئین آب پنیر در دامنه سطوح صفر تا ۶ درصد تنظیم گردید. فرایند روش سطح پاسخ برای تعیین شرایط بهینه، تولید نان بدون گلوتن بر پایه ذرت همراه با افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و پروتئین آب پنیر، به منظور رسیدن به حداقل افت پخت و سختی و حداکثر حجم مخصوص، تخلخل و شاخص رنگی L* استفاده گردید. نتایج نشان داد که به منظور رسیدن به اهداف ذکر شده، بایستی غلظت آنزیم ۰/۳۷ درصد و غلظت پروتئین آب پنیر ۴/۵۴ درصد باشد. تحت شرایط مذکور مطلوبیت ۰/۷۲۱حاصل گردید. لذا انتظار می‌رود با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، بتوان در مقیاس صنعتی فرآورده ای با ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای مناسب برای مصرف بیماران مبتلا به سلیاک تولید نمود.

۵- منابع

۱. ابراهیم پور، ن. ۱۳۸۸. بررسی نان حجیم بدون گلوتن با استفاده از برخی هیدروکلوئیدها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه تبریز. ٦٣ صفحه.

۲. ایوبی، ا.، حبیبی نجفی، م.ب و کریمی، م. ۱۳۹۰. بررسی اثر سطوح مختلف کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (Wpc) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک روغنی. *فصلنامه علوم و صنایع غذایی*. ۸ (۲۹): ۸۱-۸۸.

۳. خش آبادی، ح.، وحدانی، م.، مقیمی، م.، بذرافشان، م.، رشیدزاده، ش. و بوژمهرانی، ا. ۱۳۹٦. مدل‌سازی فرایند پخت در حین استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقیاس صنعتی. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*. ١٤(٦٩): ١-١١.

٤. پایان، ر. ١٣٨٤. *مقدمه‌ای بر تکنولوژی غلات*. انتشارات آییژ. تهران. ٤٢٠ صحه.

۵. رضوانی، الف و شهیدی، س.ا.۱۳۹۳. استفاده از افزودنی‌های مناسب در بهبود نان بدون گلوتن. دومین همایش ملی بهینه‌سازی زنجیره تولید، توزیع و مصرف در صنایع غذایی.

٦. سلیمانی فرد، م.، خدائیان چگینی، ف.، نجفیان،، گ.، صادقی ماهونک، ع.ر. و خمیری، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کفیران بر کیفیت و ماندگاری نان حجیم. *مجله ی نوآوری در علوم و فناوری غذایی*. ۵(٤): ۵۳-٦۵.

۷. شهیدی، ف. محبی، م. و احتیاطی، ۱. ۱۳۸۹. تحلیل تصاویر رقمی مغز نان بربری غنی شده با آرد سویا. *نشریه‌ی پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران*. ٤: ٢٤٧-٢٥٣.

۸. صحرائیان، ب.، حبیبی نجفی، م.ب.، کریمی، م.، حداد خدا پرست، م.ح.، قیافه داوودی، م. و نقی‌پور، ف. ۱۳۹۲. بررسی اثر پودر پنیر بر ویژگی‌های کمی و کیفی نان بدون گلوتن سورگوم. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران.

۹. عطای صالحی، ا.، رستمیان، م. و میلانی، ج. ۱۳۹۰. ارزیابی بافتی و حرارتی بیاتی نان فاقد گلوتن تهیه شده از آرد ذرت و نخود. *مجله‌ی علمی پژوهشی علوم و فناوری غذایی*. ۳(٤): ۳۵-٤٠.

۱۰. مجذوبی، م.، لایق، ب. و فرحناکی، ع.۱۳۹۰. تأثیر پکتین و پکتین با اتصالات عرضی بر ویژگی های خمیر و نان قالبی. *نشریه‌ی پژوهش های صنایع غذایی*. ۲۱ (۲): ۱۹۵-۲۰۷.

۱۱. محله، ه. ۱۳۹۵. تأثیر ایزوله پروتئین سویا، پودر سفیده ی تخم مرغ و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و حسی نان بدون گلوتن بر پایهٔ ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز. ١٤١ صفحه.

۱۲. مقیمی، م. ۱۳۹٦. بررسی و مدل‌سازی پیش‌بینی خواص فیزیکیو شیمیایی نان باگت غنی سازی شده با پودر هسته خرما به عنوان ترکیب پری‌بیوتیک با استفاده از منطق فازی. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*. ١٤(٦٧): ٢٥٣-٢٦٣.

۱۳. ناجی طبسی، س و محبی، م. ۱۳۹۲. استفاده از پردازش تصویر در بررسی تأثیر صمغ زانتان بر خصوصیات کیفی نان فاقد گلوتن. هشتمین کنگره ملی معندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران.

14. AACC International. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists 10th Ed. The Association: St. Paul. MN.
15. Asghar, A., Anjum, F.M., Allen, J.C., Daubert, CH.R. and Rasool, GH. 2009. Effect of modified whey protein concentrates on empirical and fundamental dynamic mechanical properties of frozen dough. *Food Hydrocolloids*. 23: 1687-1692.
16. Brites,C., Trigo, M.J. and Santos, C. 2010. Maize-Based Gluten-Free Bread: Influence of Processing Parameters on Sensory, and

Instrumental Quality. *Food and Bioprocess Technology*. 3: 707-715.
17. Deora, N.S., Desval, A. and Mishra, H.N. 2014. Functionality of alternative protein in gluten-free product development. International Food Science and Technology. 1-16.
18. Dłużewska, E ., Lukasiak, K.M. and Kurek, N. 2014. Effect of Transglutaminase Additive on The Quality of Gluten-Free Bread. *Journal of Food Technology*. 38(1): 21-36.
19. Fani Sadrabadi, F., Yasini Ardakani, S.A. and Azizi, M.H. 2013. The Effect of Dairy Powders On The Gluten-Free Voluminous Breads. *International Journal of Current Microbiology And Applied Sciences*. 2(12): 551-559.
20. Gallagher, E., Gormley, T.R. and Arendt, E.K. 2003. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*. 56: 153–161.
21. Gujral, H.S., Guardiola, I., Carbonell, J.V. and Rosell, C.M. 2003. Effect of cyclodexterinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 51: 3814-3818.
22. Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N.and Biliaderis, C.G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of food Engineering*. 79: 1033-1047.
23. Madenci, A.B., and N. Bilgicli. 2014 . Effect of whey protein concentrate and buttermilk Powders on rheological properties of dough and Bread quality. *Journal of Food Quality*. 37: 117-124.
24. Matos Segura, M.E. and Rosell, C.M. 2011. Chemical Composition and Starch Digestibility of Different Gluten-free Breads. *Plant Foods Humen Nutrition*. 66: 224-230.
25. Mohammadi, M., Azizi, M.H., Neyestani, T. R., Hosseini, H. and Mortazavian, A. M. 2014. Development of gluten-free bread using Guar gum and Transglutaminase. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 1-24.
26. Moore, M.M., Heinbockel, M. Dockery, P. Ulmer, H. M. and Arendt, E.K. 2006. Network Formation in Gluten-Free Bread with Application of Transglutaminase. *Cereal Chemistry*. 83(1): 28–36.
27. Nunes, M. H. B., Ryan, L. A. M. and Arendt, E. K. 2009. Effect of low lactose dairy powder addition on the properties of gluten-free batters and bread quality. *European Food Res Research Technology*. 229: 31-41.
28. Ozkoc, S. O., Sumnu, G. and Sahin, S. 2009. The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens. *Food hydrocolloids*. 23: 2182-2189.
29. Poonnoy, P., Tansakul, A. and Chinnan, M. 2006. Artificial Neural Network Modeling for Temperature and Moisture Content Prediction in Tomato Slices Undergoing Microwave-Vacuum Drying. *Journal of Food Engineering & Physical properties*. 49: 185-191.
30. Renzetti, S., Bello, F.D. and Arendt, E.K. 2008. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*. 33-45.
31. Rodriguez Furlan, L.T. 2013. Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix. *Food Chemistry*. 170: 257-264.
32. Rostamian, M., Milani, J.M. and Maleki, G. 2014. Physical Properties of Gluten-Free Bread Made of Corn and Chickpea Flour. *International Journal of Food Engineering*. 10(3): 467–472.
33. Shin, M., Gang, D.O. and Song, J.Y. 2010. Effect of protein and transglutaminase on the preparation of Gluten-free rice bread. *Food science Biotechnology*. 19(4): 951-956.
34. Smerdel, B., Pollak, L., Novotni, D., Cukelj, N., Benkovic, M., Lusic, D. and Suric, D. 2013. Improvement of gluten-free bread quality using transglutaminase, various extruded flours and protein isolates. *Journal of Food and Nutrition Research*. 51(4): 242-253.
35. Tseng, C.S. and Lai, H.M. 2002. Physicochemical Properties of Wheat Flour Dough Modified by Microbial

Transglutaminase. *Journal of food science*. 67: 750-755.

36. Yam, K.L. and Papadakis, S.E. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. 61: 137–142.

(Original Research Paper)

Optimization of the Formulation of Corn-based Gluten-free Raised Bread Using Whey Protein Concentrate and Microbial Transglutaminase

Nesa Safavi[1], Mehdi Ghareh Khani[2*]

1- MSc Graduated, Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
2-Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

Received:22/10/2017 Accepted:28/10/2018

Abstract

In this research, optimization of the formulation of corn-based gluten-free bread with whey protein concentrate and microbial transglutaminase enzyme was conducted with the purpose of minimizing baking loss and hardness and maximizing the specific volume, porosity and color index L* response surface Methodology and finally, estimating these responses by the neural network. The effects of two concentrations of microbial transglutaminase enzyme in the range of 0 to 1.5% (0, 0.75 and 1.5%) and whey protein in the range of 0 to 6%(0, 3 and 6%) by central composite design on specific volume parameters, baking loss, porosity, bread moisture content, hardness and color indexes L*, a* and b* of bread crust were investigated. Investigating the results indicated that the optimum conditions for the production of gluten-free bread based on Corn flour is created when the enzyme and whey protein concentrations are 0.37% and 4.54%, respectively. By increasing the enzyme, baking loss, hardness, moisture and a* index increased, but L* and b* indexes decreased. The results also indicated that by increasing the enzyme in the formulation of samples, we firstly observe increase and then decrease in porosity rate. Increasing the whey protein concentration in Corn flour-based gluten-free bread formulation resulted in an increase in specific volume and L* index, and a decrease in bread moisture, hardness and a* and b* indexes. The results of artificial neural network modeling indicated that a network with a hidden layer containing 7 neurons, with an 8-7-2 layout (a network with 2 inputs, 7 nodes (neurons) in the hidden layer and 8 outputs), has the best result in predicting the mentioned outputs. This network indicated the highest accuracy among the mentioned topologies with a correlation coefficient of 1.00 and mean square error of 0.0003.

Keywords: Gluten-free Bread, Corn Flour, Microbial Transglutaminase Enzyme, Whey Protein Concentration , Neural Network Modeling.

*Corresponding Author: m.gharekhani@iaut.ac.ir