

# بهینه‌سازی فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت حاوی پروتئین سفیده تخم مرغ و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و تخمین پارامترهای این فرایند با کمک شبکه‌ی عصبی مصنوعی

هانیه محله<sup>۱</sup>، مهدی قره‌خانی<sup>۲\*</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران  
 ۲- دکتری تخصصی، استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران  
 (تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۱۱)

## چکیده

در این تحقیق بهینه‌سازی فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت حاوی پروتئین سفیده تخم مرغ و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی با هدف کمینه نمودن افت پخت و میزان سختی و بیشینه نمودن میزان حجم مخصوص، ارتفاع نان، تخلخل و شاخص رنگی  $L^*$  توسط روش سطح پاسخ و در نهایت تخمین این پاسخ‌ها با کمک شبکه عصبی انجام گرفت. اثرات دو غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی در محدوده‌ی صفر تا ۱/۵ درصد و پروتئین سفیده تخم مرغ در محدوده صفر تا ۶ درصد با کمک طرح مرکب مرکزی بر پارامترهای حجم مخصوص، افت پخت، تخلخل، ارتفاع نان، سختی و شاخص‌های رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  پوسته نان بررسی گردید. بررسی نتایج نشان داد که شرایط بهینه برای تولید نان بدون گلوتن بر پایه ذرت زمانی ایجاد می‌شود که غلظت آنزیم و پروتئین سفیده تخم مرغ به ترتیب ۰/۶۵ و ۶ درصد باشد. با افزایش غلظت آنزیم افت پخت، تخلخل و شاخص  $a^*$  افزایش ولی میزان شاخص  $b^*$  کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم در فرمولاسیون نمونه‌ها در ابتدا افزایش و سپس کاهش در میزان ارتفاع نان و حجم مخصوص مشاهده شد. افزایش غلظت پروتئین سفیده تخم مرغ در فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت منجر به افزایش شاخص  $L^*$  و  $a^*$  و کاهش افت پخت و شاخص  $b^*$  گردید. نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی ۹ نورون یعنی چیدمان ۸-۹-۲ (شبکه‌ای با ۲ ورودی، ۹ 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 ۰/۰۰۱۱ بالاترین دقت را در بین توپولوژی‌های در نظر گرفته شده از خود نشان داد.

**کلید واژگان:** نان بدون گلوتن، ذرت، آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی، پروتئین سفیده تخم مرغ، مدل‌سازی شبکه عصبی.

\*مسئول مکاتبات: m.gharekhani@iaut.ac.ir

## ۱- مقدمه

بیماری سلیاک بیماری است که در آن غشاء مخاطی روده کوچک فرد مبتلاء به عدم تحمل گلوتن، توسط گلوتن آسیب می‌بیند، در نتیجه اختلال در جذب مواد مغذی، کاهش وزن، اسهال، کم خونی، خستگی، نفخ، کمبود فولات و پوکی استخوان به وجود می‌آید [۱]. افراد مبتلا به سلیاک بعد از مصرف غذاهای حاوی گلوتن یک سری نشانه‌های بالینی ناشی از اختلال در هضم گلوتن نشان می‌دهند که در زمان‌های طولانی منجر به آسیب پرزهای ویلی موجود در روده کوچک می‌شود. تنها درمان این بیماری حذف مطلق گلوتن از رژیم غذایی است [۲]. نان یکی از پرمصرف‌ترین غذاهای حاوی گلوتن می‌باشد. گلوتن پروتئینی مهم در شکل دهی ساختار آرد می‌باشد و مسئول خصوصیات الاستیک خمیر می‌باشد و در ساختمان ظاهر و بافت داخلی بسیاری از محصولات نانوائی شرکت دارد در سال‌های اخیر محققین زیادی در مورد محصولات فاقد گلوتن به‌خصوص نان فاقد گلوتن فعالیت می‌کنند که دستاوردهای گوناگونی را در بر می‌گیرد که شامل استفاده از نشاسته‌ها، صمغ‌ها (هیدروکلوئیدها)، محصولات لبنی، سایر پروتئین‌های فاقد گلوتن، پری بایوتیک و ترکیب آنها می‌باشد. این ترکیبات پلیمری خصوصیات ویسکوالاستیک گلوتن را تقلید می‌کنند و بدین وسیله ساختار، احساس دهانی، پذیرش و مدت ماندگاری محصولات نانوائی فاقد گلوتن افزایش پیدا کند [۳]. آردی که برای تولید نان فاقد گلوتن استفاده می‌شود بایستی آردی غیر از آرد گندم باشد، آرد ذرت از آنجایی که فاقد گلوتن است و سطح پروتئین، انرژی و محتوای تغذیه‌ای آن بالا است، برای تولید نان فاقد گلوتن مناسب می‌باشد ولی از آن به‌تنهایی نمی‌توان نان با کیفیت خوب تولید نمود [۴]، لذا ترکیباتی که توانائی تقلید خصوصیات گلوتن را دارند، در ترکیب خمیر آرد ذرت جهت بهبود خواص نان مورد استفاده قرار خواهند گرفت [۵].

در طول سال‌های اولیه هدف از افزودن ترکیبات پروتئینی به محصولات فاقد گلوتن، صرفاً افزایش ارزش تغذیه‌ای آنها بود اما اخیراً هدف اصلی از افزودن این ترکیبات، تشکیل یک فاز پیوسته پروتئینی جهت بهبود کیفیت محصولات فاقد گلوتن

می‌باشد، بنابراین انتخاب منبع پروتئین با قابلیت مورد نظر می‌تواند نقش مهمی را در توسعه محصولات فاقد گلوتن ایفا نماید [۶]. تخم‌مرغ افزودنی معمولی در نان است که برای افزایش عطر و طعم و بهبود ساختار استفاده می‌شود علاوه‌بر این سریع‌الهُضم بودن پروتئین‌های تخم‌مرغ برای دوره‌ی نقاهت بیماران سلیاک مناسب است. سفیده‌ی تخم مرغ مانع ژلاتیناسیون کامل نشاسته، کاهش سرعت بیاتی و بهبود ساختار قرص نان را در پی دارد [۷ و ۸]. امروزه آنزیم‌ها به طور گسترده برای رسیدن به اهداف تکنولوژیکی در فرآیندهای متعدد به عنوان ترکیبات سالم استفاده می‌شود. آنزیم‌ها بهترین و امن‌ترین جایگزین ترکیبات شیمیایی هستند، آنزیم‌ها به طور گسترده در تولید محصولات مبتنی بر غلات با اهداف متفاوت استفاده می‌شوند که شامل بهبود خواص خمیر، بهبود کیفیت محصولات تازه یا افزایش زمان ماندگاری می‌باشد. آنزیم‌هایی که اغلب در صنعت نانوائی استفاده می‌شود آلفا آمیلازهایی با منشأ (غلات، قارچی، میکروبی) هستند که برای بهبود مغز و پوسته‌ی نان، افزایش حجم و کمک به توسعه‌ی عطر و طعم استفاده می‌شود. آنزیم‌ها بر اساس فعالیتشان در سه گروه طبقه بندی می‌شوند که شامل عوامل ساختاری خمیر، بهبود کیفیت نان تازه و افزایش ماندگاری می‌باشند [۹]. در پژوهشی شین و همکاران (۲۰۱۰) به مطالعه‌ی اثر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و پروتئین‌هایی مانند کازئینات، پروتئین سویا و پروتئین آب پنیر در تهیه نان بدون گلوتن برنج پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن آنزیم و پروتئین در کنار هم موثرتر از افزودن این مواد به صورت جداگانه در خصوصیات ماندگاری عطر و طعم، حجم و تشکیل سلول‌های هوا و کیفیت نان برنج شد [۱۰]. در پژوهشی دیگر زیبرو و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی اثر پروتئین‌های بدون گلوتن (آلبومین، کلاژن، نخود، لوبیا و سویا) به‌عنوان تشکیل عوامل ساختاری در نان بدون گلوتن پرداختند. نتایج آنها نشان داد که حجم مخصوص نان حاوی پروتئین‌های سویا و نخود کمتر از نان حاوی آلبومین بود [۸].

امروزه شبکه‌ی عصبی مصنوعی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند نقش مهمی در پیش‌بینی پارامترهای فرآیند ایفا می‌نماید. چندین تحقیق در زمینه‌ی کاربرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی در

## ۲-۲- روش‌ها

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

در این تحقیق برای تهیه نان، از سه سطح غلظت پروتئین سفیده تخم مرغ (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 (۲۰۱۲)، برای تهیه نان ابتدا تمامی ترکیبات خشک (به غیر از شکر) پس از توزین، با استفاده از الک با مش ۸۰ غربال گردید 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 شد و در نهایت مابقی آب اضافه گردید. خمیر مورد نیاز توسط همزن برقی (فیلیس، مدل HR1459/70، چین) 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  $10 \times 6.5 \times 4$  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، سپس عملیات پخت نان‌ها در دستگاه فر در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد توسط شعله بالا و دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد توسط شعله پایین تنظیم شده بود به مدت ۳۵ دقیقه صورت گرفت. پس از پخت، نان‌ها از قالب خارج شده و در دمای اتاق به مدت یک ساعت خنک و در کیسه‌های بدون درز پلی‌پروپیلنی در ابعاد  $18 \times 20$  سانتی‌متری بسته بندی شدند و تا زمان انجام آزمون‌های مربوطه در دمای اتاق نگه‌داری گردیدند [۱۴].

### ۲-۲-۲- اندازه‌گیری ارتفاع نان بدون گلوتن بر پایه‌ی

#### آرد ذرت

پس از انجام برش طولی قرص نان، ارتفاع قسمت تاج نان با خط کش اندازه‌گیری گردید [۱۵].

مدل‌سازی فرآیندهای مختلف انجام گرفته است، لرتوراسیری‌کول و ساتن (۲۰۱۰) مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی انتقال جرم در طی آب‌گیری اسمزی پوست لیموی آفریقایی<sup>۱</sup> [۱۱]، بخش آبدی و همکاران (۲۰۱۷) مدل‌سازی استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان در مقیاس صنعتی و دولت آبدی و همکاران (۲۰۱۶) استخراج لیکوپین از ضایعات گوجه‌فرنگی را مورد بررسی قرار دادند [۱۲ و ۱۳]. هیچ‌گونه پژوهشی در زمینه‌ی تهیه فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت و استفاده از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی صورت نگرفته است. هدف از این مطالعه تعیین شرایط بهینه تولید فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت به‌منظور رسیدن به حداقل افت پخت و سختی و حداکثر حجم مخصوص، تخلخل، ارتفاع و شاخص رنگی  $L^*$  می‌باشد و همچنین 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 از آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی خالص شرکت آرتین شیمی، پودر پروتئین سفیده تخم مرغ شرکت پارس ایلین مهر ایران، صمغ گوار، مخمر نانویی شرکت دکتر اوتکر ترکیه، نمک و شکر استفاده گردید. همچنین مواد شیمیایی 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، آون آزمایشگاهی (Memert، آلمان)، ترازوی دیجیتال (Gec Avery، ساخت انگلستان)، کج‌دال (Mode V50، ایران)، مخلوط‌کن برقی خمیر (Philips، چین)، فر پخت نانویی (صنایع پخت مشهد، ایران) و بافت سنج (Lefra، آمریکا)

1. kaffir lime peel

### ۲-۲-۳- اندازه‌گیری حجم مخصوص نان

حجم نمونه نان‌های حاصله با استفاده از روش جابه‌جایی دانه کلزا اندازه‌گیری شد. بدین صورت که وزن ظرف مورد نظر، وزن ظرف و کلزا، وزن ظرف، نان و کلزا و وزن ظرف و آب اندازه‌گیری شد. سپس از طریق دانسیته‌ی کلزا حجم آن به دست آمد. از اختلاف حجم کل و حجم کلزا، حجم نان به دست آمد و حجم مخصوص نان از نسبت حجم نان به جرم آن حساب گردید [۱۶].

### ۲-۲-۴- تعیین درصد افت پخت نان

وزن چانه‌های خمیر و وزن نمونه‌های نان پس از پخت و سرد کردن به مدت ۲-۳ ساعت، اندازه‌گیری شده و از طریق رابطه ۱ درصد افت پخت نان محاسبه شد [۱۷].

$$100 \times \frac{\text{وزن نان پس از پخت} - \text{وزن چانه نان}}{\text{وزن چانه نان}} = \text{درصد افت پخت}$$

وزن چانه نان

### ۲-۲-۵- ارزیابی میزان تخلخل نان

برای ارزیابی تخلخل نمونه‌ها از روش پردازش تصویر توسط عکس‌برداری با دوربین دیجیتال با وضوح ۱۲ مگا پیکسل و آنالیز با نرم افزار Image J استفاده شد [۱۸].

### ۲-۲-۶- 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 قرار گرفتند. حداکثر نیروی لازم برای فشار پروپ استوانه‌ای با قطر ۳۸/۱ میلی‌متر با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه به مرکز برش‌های مغز نان بعنوان شاخص سفتی محاسبه گردید. زمان استراحت ۱/۵ ثانیه در نظر گرفته شد و ضخامت برشهای مغز نان ۲×۲×۲ سانتی‌متر مکعب و میزان فشردگی<sup>۳</sup> تا ۵۰٪ ارتفاع اولیه تکه نان تعیین گردید. نقطه شروع<sup>۴</sup> و نقطه هدف<sup>۵</sup> به ترتیب ۵ گرم و ۱۰ میلی‌متر بود. این آزمون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت [۱۹].

### ۲-۲-۷- ارزیابی رنگ پوسته

برای ارزیابی تغییرات رنگ نمونه‌ها از روش پردازش تصویر توسط عکس‌برداری با دوربین دیجیتال با وضوح ۱۲ مگا پیکسل

و آنالیز با نرم افزار فتوشاپ استفاده شد [۲۰]. در تحقیقات غذایی، رنگ اغلب در محیط رنگی  $L^*a^*b^*$  بیان می‌شود.  $L^*$  بیانگر روشنایی است که مقدار آن از ۰ تا ۱۰۰ است و پارامتر  $a^*$  (از سبز به قرمز) و  $b^*$  (از آبی به زرد) دو مؤلفه رنگی هستند که از ۱۲۰+ تا ۱۲۰- متغیر هستند [۲۱]. با توجه به فاکتورهای  $a$ ،  $b$ ،  $L$  استانداردهای واقعی، منحنی استاندارد برای فاکتورهای  $a$ ،  $b$ ،  $L$  پوسته نان بدون گلوتن رسم و معادله آن به دست آمد. سپس میانگین اعداد به دست آمده از نرم افزار برای فاکتورهای  $a$ ،  $b$ ،  $L$  پوسته، در معادله خط استاندارد قرار داده شد تا اعداد واقعی به دست آید [۲۲].

### 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، ارتفاع نان، تخلخل و شاخص رنگی  $L^*$  تعیین گردید. در این آزمایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی در محدوده صفر تا ۱/۵ درصد و غلظت پروتئین سفیده تخم مرغ 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<sup>۶</sup> 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. شبکه عصبی مصنوعی متشکل از مجموعه‌ای از نورون‌ها با ارتباطات داخلی بین یکدیگر می‌باشد که قادر است بر اساس اطلاعات و داده‌های ورودی، جواب‌های خروجی را تخمین بزند. شبکه‌های عصبی معمولاً به صورت لایه لایه و منظم ایجاد می‌گردند. اولین لایه که اطلاعات و داده‌های ورودی به آن وارد می‌گردد لایه ورودی نامیده می‌شود. لایه‌های میانی لایه‌های مخفی و آخرین لایه که جواب‌های خروجی از مدل را فراهم می‌نماید لایه خروجی نامیده می‌گردد. ساده‌ترین و معمول‌ترین نوع شبکه عصبی که در بسیاری از علوم مهندسی از جمله تحقیق حاضر استفاده می‌گردد، شبکه عصبی چند لایه پرسپترون همراه با ناظر که از روش پس انتشار خطا برای آموزش کمک می‌گیرد، می‌باشد.

6. Central Composite Design (CCD)

2. Recovery Time-20  
3. Deformation Mation  
4. Trigger Point  
5. Target Value

**Table 1** Experimental conditions and observed response values of CCD

Exam Number	Variables			Answers			
	Concentration enzyme (%) (X <sub>1</sub> )	Concentration egg whites powder (%) (X <sub>2</sub> )	Height of bread (cm)	Specific volume of bread (ml/g)	Bake loss (%)	Porosity (%)	Bread hardness (g)
1	0 (-1)	0 (-1)	3.02	1.39	18.21	17.59	1749
2	1.5 (1)	0 (1)	3.33	1.69	18.33	18.79	1764
3	0 (-1)	6 (1)	2.85	1.12	15.66	17.86	1100
4	1.5 (1)	6 (1)	3.31	1.56	17.20	19.20	2738
5	0 (-1)	3 (0)	3	1.02	16.94	19.39	1796
6	1.5 (1)	3 (0)	3.29	1.39	17.76	20.66	2622
7	0.75 (0)	0 (-1)	3.8	1.76	18.26	18.74	1335
8	0.75 (0)	6 (1)	3.45	1.5	16.43	19.08	1498
9	0.75 (0)	3 (0)	4.15	1.46	17.34	20.7	1788
10	0.75 (0)	3 (0)	4.1	1.4	17.38	20.5	1790
11	0.75 (0)	3 (0)	4.06	1.45	17.37	20.55	1787
12	0.75 (0)	3 (0)	4.05	1.43	17.36	20.56	1789
13	0.75 (0)	3 (0)	4	1.43	17.35	20.58	1788

**Table 1 Continued** Experimental conditions and observed response values of CCD

Exam Number	Variables		Answers		
	Enzyme concentration (%) (X <sub>1</sub> )	Egg whites powder Concentration (%) (X <sub>2</sub> )	L*	a*	b*
1	0 (-1)	0 (-1)	86.28	-23.873	45.31
2	1.5 (1)	0 (1)	84.57	-24.588	41.53
3	0 (-1)	6 (1)	87.04	-25.66	39.58
4	1.5 (1)	6 (1)	85.12	-24.23	35.80
5	0 (-1)	3 (0)	86.79	-23.15	42.44
6	1.5 (1)	3 (0)	84.98	-23.5	38.67
7	0.75 (0)	0 (-1)	84.25	-23.75	43.42
8	0.75 (0)	6 (1)	84.96	-26.01	37.69
9	0.75 (0)	3 (0)	84.69	-23.7	40.52
10	0.75 (0)	3 (0)	84.68	-23.87	40.53
11	0.75 (0)	3 (0)	84.73	-23.8	40.57
12	0.75 (0)	3 (0)	84.71	-23.8	40.55
13	0.75 (0)	3 (0)	84.7	-23.6	40.5

متصل می‌گردد، ولی با نورون‌های لایه خودش ارتباط ندارد. خروجی هر نرون توسط رابطه (۲) تعریف می‌گردد:

رابطه (۲)

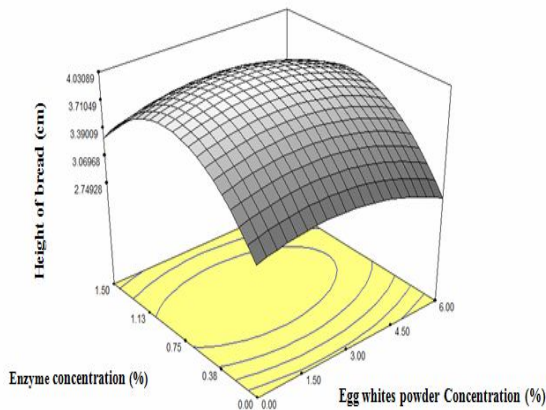
$$a = f \left( \sum_{i=1}^n p_i w_{ji} + b_j \right)$$

در این رابطه  $w_{ji}$  مقدار وزن اتصال بین نرون  $j$  ام لایه مذکور با نرون  $i$  ام لایه قبل است که بیانگر اهمیت ارتباط بین دو نرون در دو لایه متوالی می‌باشد،  $b_j$  وزن مربوط به بایاس<sup>۷</sup>

در این شبکه تعداد نورون‌های لایه ورودی برابر با تعداد عناصر بردار ورودی و تعداد نورون‌های لایه خروجی برابر با تعداد عناصر بردار خروجی می‌باشد. آنالیز دقیق و واقعی برای پیدا کردن تعداد نورون‌های لایه میانی در کل بسیار پیچیده است. اما می‌توان گفت که تعداد نورون‌های لایه میانی تابعی از عناصر برداری ورودی و همچنین حداکثر تعداد نواحی از فضای ورودی که به طور خطی از هم جدا پذیرند می‌باشد. از این رو تعداد نورون‌های لایه مخفی عموماً به‌طور تجربی به‌دست می‌آید. هر نرون توسط خروجی خود به نورون‌های لایه بعد

می‌شود و از طرفی با افزایش پروتئین در فرمولاسیون با توجه به قدرت بالاتر شبکه تشکیل شده این خمیر می‌تواند انبساط بیشتری پیدا نماید و توانایی بالاتری در زمینه نگهداری حباب‌های هوا داشته باشد در نتیجه میزان ارتفاع نان حاصل افزایش پیدا می‌کند [۲۴]. در تحقیقی صفوی (۱۳۹۵)، تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی را بر ارتفاع نان بررسی کرد و بیان داشت که میزان ارتفاع با افزایش غلظت آنزیم در ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد [۲۵]. معادله تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین سفیده تخم‌مرغ برای ارتفاع نان در زیر نشان داده شده است، همانطور که مشخص است بیشترین تأثیر را بر میزان ارتفاع نان‌ها، پارامتر درجه دوم غلظت آنزیم می‌گذارد.

$$\text{ارتفاع نان} = +4.01 + 0.18 X_1 - 0.090 X_2 - 0.72 X_1^2 - 0.24 X_2^2 + 0.038 X_1 X_2$$



**Fig 1** Three-dimensional graphs of the effect of transglutaminase enzyme and the egg white protein concentration on bread height

### ۳-۲- تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر بر

#### حجم مخصوص نان‌های تولیدی

نتایج نشان داد که اثرات خطی، درجه دوم و متقابل فاکتورهای مورد بررسی بر حجم مخصوص نان‌ها معنی‌دار است ( $P < 0.05$ ). رابطه غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر بر حجم مخصوص نان‌های تولیدی مشخص گرداند که با افزایش غلظت آنزیم ابتدا حجم مخصوص نمونه‌ها افزایش و سپس به صورت خیلی جزئی کاهش یافت این در حالی بود که با افزایش غلظت پروتئین سفیده تخم‌مرغ ابتدا حجم مخصوص نمونه‌ها کاهش و سپس افزایش یافت (شکل ۲). بنا به مطالعات رزنتی و همکاران (۲۰۰۸) که روی خواص نان و

برای نوری  $\bar{z}_i$ ،  $\rho_i$  مقدار خروجی از نوری  $\bar{z}_i$  ام لایه قبل،  $\alpha$  مقدار خروجی از نوری  $\bar{z}_i$  ام،  $f$  تابع آستانه نوری  $\bar{z}_i$  ام.

توابع زیادی در انتقال اعداد از لایه قبل به لایه بعد ممکن است مورد استفاده قرار گیرند. از جمله می‌توان به توابع تانژانت سیگموئید هیپربولیکی، گوس، تانژانت هیپربولیک، تابع همانی<sup>۸</sup> و سکانت هیپربولیک را نام برد. ولی تابع تانژانت سیگموئید هیپربولیکی بیشترین استفاده را در مسائل مهندسی دارد. این تابع به صورت رابطه ۳ می‌باشد:

$$f(z) = \frac{1}{1 + \exp(-z)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

برای تعیین بهترین چیدمان شبکه از دو معیار ضریب تبیین ( $R^2$ ) و خطای مربعات میانگین (MRE) استفاده شد، این معیارها توسط روابط (۴) و (۵) محاسبه می‌شوند.

$$MRE = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|P_{ANNi} - P_{exp,i}|}{P_{exp,i}} \right) \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_{ANNi} - P_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\bar{P}_{ANN} - MR_{ANNi})^2} \right] \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این معادلات،  $P_{ANN}$  مقدار پیش‌بینی شده برای پارامترهای خروجی از شبکه،  $P_E$  مقادیر داده‌های تجربی به دست آمده از آزمایش و  $N$  تعداد مشاهدات می‌باشد [۱۲ و ۲۳].

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- تأثیر متغیرها بر میزان ارتفاع نان

نتایج تجزیه رگرسیون تهیه فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت نشان داد که اثر درجه اول غلظت آنزیم و اثرات درجه دوم متغیرها بر ارتفاع نان معنی‌دار بود و مدل چند جمله‌ای درجه دوم به‌عنوان بهترین مدل در این زمینه انتخاب گردید. با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز در فرمولاسیون و همچنین غلظت پروتئین سفیده تخم‌مرغ، میزان ارتفاع نان‌ها در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۱). این افزایش ارتفاع را می‌توان به عدم حفظ حالت انعطاف‌پذیری سطح خارجی خمیر نسبت داد که این امر خود منجر به سرعت شکل‌گیری نان و تأخیر در خشک‌شدن سطح خارجی خمیر

8. Identity function

پروتئین‌های تخم مرغ گزارش شده است [۲۸]. معادله تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین سفیده تخم‌مرغ برای حجم مخصوص نان در زیر نشان داده شده است.

### ۳-۳- تأثیر متغیرها بر افت پخت نمونه‌ها

افت پخت نشانه‌ای بر کاهش وزن نان در اثر پخت می باشد که از نظر اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده، مشخص گردید که اثر خطی پارامتر غلظت پروتئین سفیده تخم مرغ و بعد از آن غلظت آنزیم بیشترین اثرگذاری را بر افت پخت نمونه‌ها دارا بودند. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است با افزایش غلظت آنزیم افت پخت نمونه‌ها افزایش در حالی که با افزایش غلظت پروتئین سفیده تخم مرغ میزان آن کاهش یافته است. این افزایش میزان افت پخت با افزایش غلظت آنزیم را می‌توان به اثر تجزیه‌ای این آنزیم نسبت داد که نتایج این بخش با نتایج صفوی (۱۳۹۵)، مطابقت داشت [۲۵]. بنا به گزارش پوراسماعیل و همکاران (۱۳۹۰)، افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی سبب افزایش معنی‌دار در بازدهی خمیرهای حاصل از تیمارهای مختلف نسبت به نمونه شاهد شد. هر چهقدر رطوبت مغزنان بیشتر باشد، افت وزن نان پس از پخت کمتر گردید با توجه به اینکه افت وزن نان پس از پخت با بازدهی نان رابطه معکوس دارد، افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز به نمونه‌ها سبب افزایش معنی‌دار در بازدهی نان‌های حاصل نسبت به نمونه‌ی شاهد گردید که با نتایج این بخش در تضاد بود [۲۹]. مور و همکاران (۲۰۰۶)، بیان داشتند استفاده از پروتئین در فرمولاسیون نان منجر به کاهش افت پخت می‌گردد که با یافته‌های این مطالعه تطابق داشت [۲۸]. معادله تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین سفیده تخم‌مرغ برای افت پخت نمونه‌ها در زیر نشان داده شده است که به علت عدم تأثیر پارامترهای درجه دوم متغیرها در مدل انتخابی، آنها از مدل نهایی افت پخت نمونه‌ها حذف شده بودند.

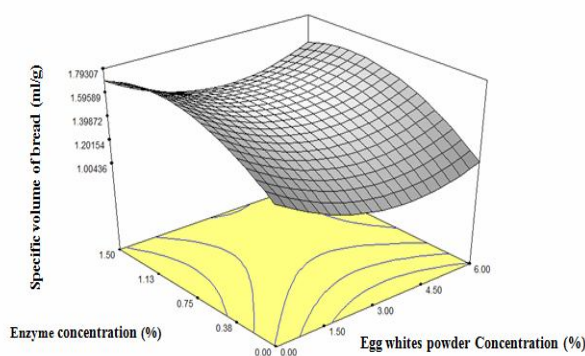
افت پخت نمونه‌ها

$$= 53.72 + 0.28 X_1 - 1.00 X_2 + 0.51 X_1 X_2$$

خمیر بدون گلوتن تهیه شده از آردهای مختلف با درصد‌های مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز انجام گرفت، نان ذرت حاوی ۱ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز دارای بیشترین میزان حجم مخصوص بود در حالی که افزایش درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز به ۱۰ درصد باعث کاهش حجم مخصوص نسبت به نمونه‌ی حاوی ۱ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز شد [۲۶]. نتایج حاصله همچنین با گزارش پونزارووات و همکاران (۲۰۱۴)، مطابقت داشت. برابر گزارش پونزارووات و همکاران (۲۰۱۴)، افزودن ۰/۱ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی باعث افزایش حجم مخصوص نان برنج کاساوا گردید. علت افزایش حجم مخصوص را می‌توان به غلبه واکنش اتصالات عرضی تشکیل شده بین اسید گلوتامین و لیزین نسبت داد از طرفی کاهش حجم مخصوص نیز می‌تواند به دلیل این باشد که پیوند عرضی ایجاد شده از رشد سلول‌های گاز در طول تخمیر جلوگیری کرده و سبب کاهش حجم مخصوص نان می‌شود [۲۷].

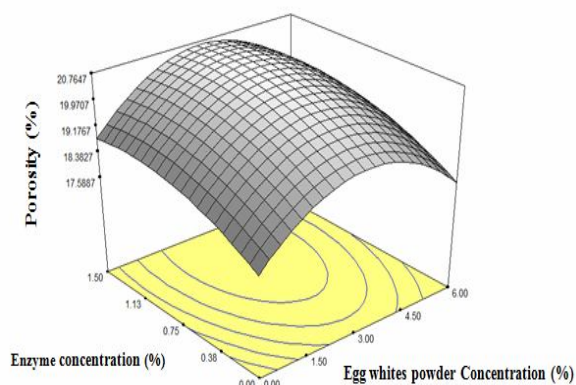
=حجم مخصوص نمونه‌ها

$$= 1.43 + 0.18X_1 - 0.099X_2 - 0.23X_1^2 + 0.23 X_2^2 + 0.034 X_1 X_2$$



**Fig 2** Three-dimensional graphs of the effect of transglutaminase enzyme and the egg white protein concentration on specific volume of bread

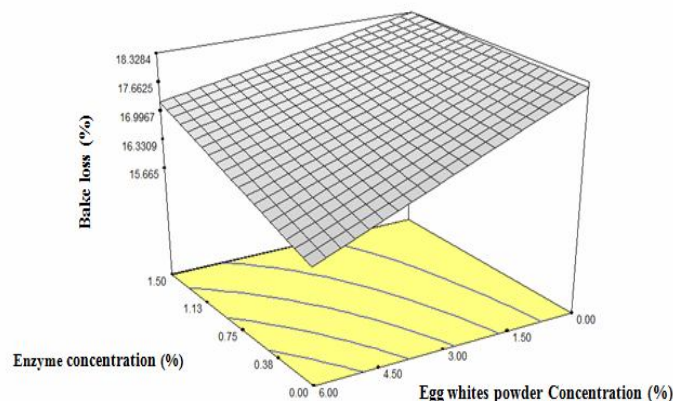
مور و همکاران (۲۰۰۶) از سطوح مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و پروتئین‌های مختلف برای تشکیل شبکه در نان بدون گلوتن استفاده کردند. بنا به گزارش آنها حجم مخصوص نان‌های حاوی پودر تخم مرغ و آرد سویا در سطوح مختلف آنزیم مشابه بودند که به دلیل افزایش اتصال شبکه‌ی



**Fig 4** Three-dimensional graphs of the effect of transglutaminase enzyme and the egg white protein concentration on porosity

### ۳-۵- تأثیر متغیرها بر شاخص‌های رنگی نان

یکی از خصوصیات کیفی مواد غذایی رنگ آن است که امروزه نقش مهمی در مقبولیت محصولات غذایی دارد، چنانچه محصول غذایی از رنگ مناسب که یکی از خصوصیات ظاهری است، برخوردار نباشد با کاهش شدید ارزش عرضه مواجه خواهد شد. سایر خصوصیات کیفی مانند عطر، طعم، بافت و غیره پارامترهایی هستند که پس از مصرف محصول غذایی و احیاناً پس از یکبار خریدن و مصرف کردن آن مورد قضاوت قرار می‌گیرد. رنگ عامل مؤثر در جلب نظر و انتخاب ماده‌ی غذایی است و وجود آن در تشخیص سریع پذیرش نهایی هر فرآورده غذایی مؤثر می‌باشد، زیرا رنگ باعث جذابیت ماده غذایی می‌گردد [۳۱]. نتایج نشان داد که برای سه شاخص  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  پسته نان به ترتیب مدل چند جمله‌ای درجه دوم، خطی 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  $L^*$  در ابتدا با شیب شدیدی افزایش و سپس به مقدار جزئی کاهش یافت این در حالی بود که با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر این شاخص همواره افزایش یافت (شکل ۵). شکل ۵ b نیز مشخص گرداند که روند تغییرات شاخص  $a^*$  نیز تقریباً مشابه روند تغییرات شاخص  $L^*$  بود با این تفاوت که با افزایش غلظت آنزیم و پروتئین میزان آن افزایش یافت. شکل ۵ c نیز نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم و همچنین غلظت پروتئین آب پنیر میزان شاخص  $b^*$  کاهش



**Fig 3** Three-dimensional graphs of the effect of transglutaminase enzyme and the egg white protein concentration on bake loss

### ۳-۴- تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر بر

### میزان تخلخل نان‌های تولیدی

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تولید فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت نشان داد که اثرات خطی و همچنین اثرات درجه دوم عوامل مورد بررسی بر میزان تخلخل معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ) ولی اثر متقابل غلظت آنزیم با پروتئین سفیده تخم مرغ تأثیر معنی‌داری بر میزان تخلخل نداشتند. نمودار تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین سفیده تخم مرغ نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم میزان تخلخل نمونه‌ها نسبت به محصول اولیه افزایش می‌یابد ولی با افزایش غلظت پروتئین سفیده تخم مرغ در فرمولاسیون در ابتدا میزان تخلخل افزایش و سپس کاهش یافت. 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 آب پنیر، 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 [۳۰]. معادله تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین سفیده تخم مرغ برای تخلخل نمونه‌ها در زیر نشان داده شده است که بیشترین تأثیر را در بین پارامترهای مورد بررسی بر میزان تخلخل پارامتر درجه دوم غلظت پروتئین سفیده داشت.

= تخلخل نمونه‌ها

$$+20.58 + 0.64 X_1 + 0.17 X_2 - 0.55 X_1^2 - 1.67 X_2^2 + 0.035 X_1 X_2$$



شرکت می‌کنند [۳۲]. همچنین گزارش شده است که با افزایش سطوح پروتئین آب‌پنیر به نان بدون گلوتن برنج، میزان شاخص رنگی L کاهش یافته و شاخص b (زردیت) افزایش می‌یابد و ارزش b این دو پروتئین بالاتر از کازئینات سدیم بود [۱۰]. بنا به گزارش زیبرو و همکاران (۲۰۱۵)، نوع پروتئین تأثیر قابل توجهی در میزان شاخص L داشت. حضور آلبومین سبب افزایش شاخص L، درحالی که استفاده از پروتئین سویا در نمونه‌های نان بدون گلوتن سبب کاهش شاخص روشنایی شد. مدل‌های برازش داده شده ناشی از تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین آب‌پنیر روی شاخص‌های  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  پوسته نان به ترتیب در زیر نشان داده شده است [۸].

$$L^* = 84.70 - 0.91 X_1 + 0.33 X_2 + 1.18 X_1^2 - 0.12 X_2^2 - 0.052 X_1 X_2$$

$$a^* = -24.12 + 0.058 X_1 - 0.62 X_2$$

$$b^* = 40.55 - 1.89 X_1 - 2.86 X_2$$

یافت. رنگ پوسته نان در اثر واکنش مایلارد تشکیل می‌شود. بدین معنی که در اثر ترکیب مواد از ته 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 نانویی 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

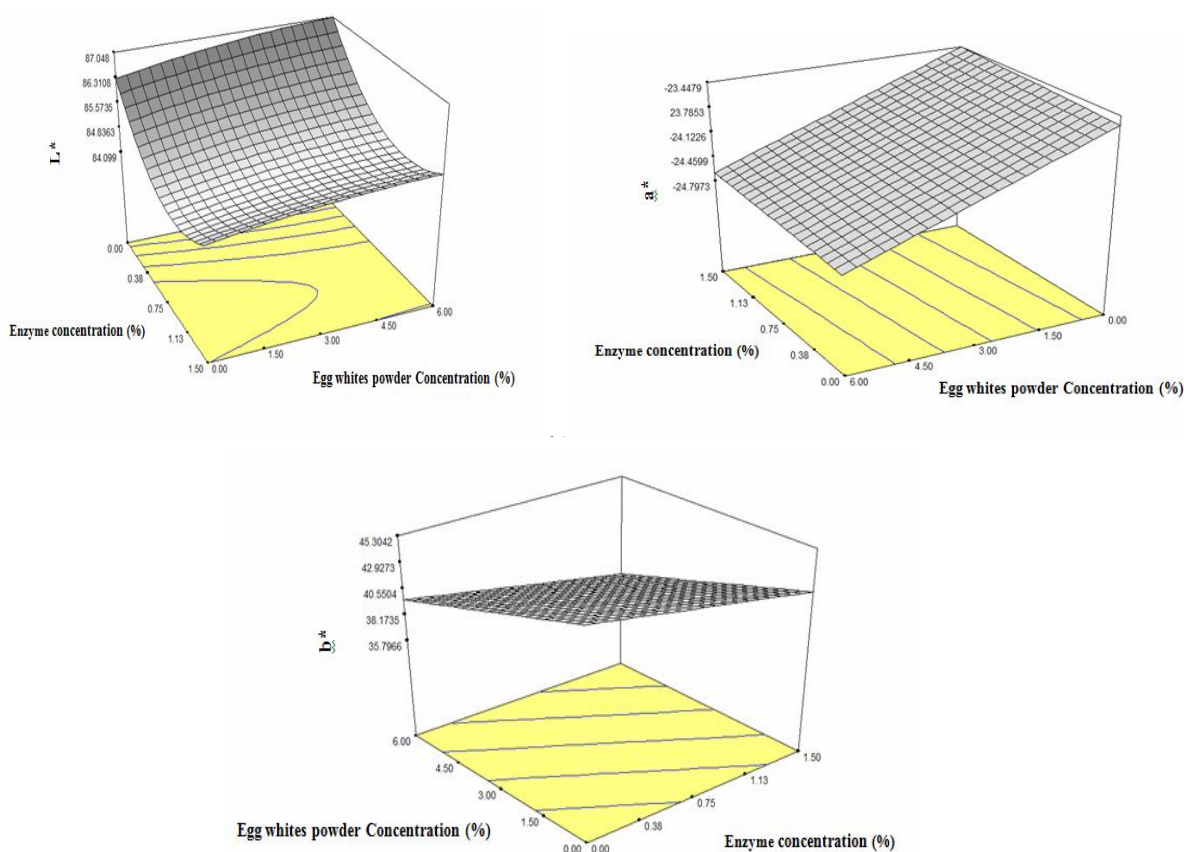


Fig 5 Three-dimensional graphs of the effect of transglutaminase enzyme and the egg white protein concentration on a ( $L^*$ ), b ( $a^*$ ) and c ( $b^*$ )

=سختی نمونه‌ها

$$+ 1788.55 + 413.33 X_1 + 81.27 X_2 + 421.05 X_1^2 - 371.39 X_2^2 + 405.81 X_1 X_2$$

### ۷-۳- بهینه‌سازی فرمولاسیون نان بدون گلوتن

#### بر پایه ذرت حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز

#### میکروبی و پروتئین سفیده تخم مرغ

به منظور یافتن بهترین شرایط تهیه فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت با افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و پروتئین سفیده تخم مرغ، با توجه به غلظت آنزیم که در دامنه غلظتی صفر تا ۱/۵ درصد و پروتئین سفیده تخم مرغ که بین صفر تا ۶ درصد تنظیم شده بود. فرایند بهینه‌سازی فرمولاسیون در شرایط ذکر شده به منظور رسیدن به حداقل افت پخت و سختی و حداکثر حجم مخصوص، تخلخل، ارتفاع و شاخص رنگی  $L^*$  بهینه‌یابی گردید. نتایج نشان داد که به منظور رسیدن به اهداف ذکر شده، بایستی غلظت آنزیم ۰/۶۵ درصد و غلظت پروتئین سفیده تخم مرغ ۶ درصد باشد. تحت شرایط مذکور مطلوبیت ۰/۷۳۵ حاصل گردید.

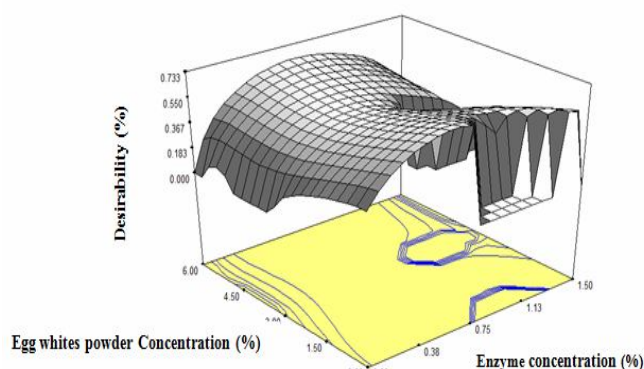


Fig 7 Optimized conditions achieved in this study

### ۶-۳- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش علاوه بر بهینه‌سازی فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت به کمک روش شناسی 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

### ۶-۳- تأثیر غلظت آنزیم و پروتئین آب پنیر بر

#### میزان سختی نان‌های تولیدی

نتایج نشان داد که تمام پارامترهای درجه اول، درجه دوم و اثرات متقابل مورد بررسی بر میزان سختی تأثیر معنی‌داری داشتند ( $p < 0/01$ ). همان‌طور که از شکل ۶ مشخص است، تغییرات غلظت آنزیم و پروتئین سفیده تخم مرغ بر میزان سختی نمونه‌ها رابطه عکس هم داشتند، یعنی این‌که با افزایش غلظت آنزیم ابتدا میزان سختی کاهش و سپس افزایش یافت ولی با افزایش غلظت پروتئین میزان سختی در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. بیشترین میزان سختی نمونه‌ها در شرایطی به‌دست آمد که میزان غلظت آنزیم و پروتئین در فرمولاسیون نان‌های تولیدی در حداکثر میزان خود قرار داشتند. سفتی اندازه‌گیری حداکثر نیروی مورد نیاز برای فشردن مغز توسط یک میله در سرعت خاص است [۸]. افزایش در سختی بافت مغز نان در نتیجه پیوند عرضی پروتئین‌هاست. پور اسماعیل و همکاران (۲۰۱۱)، نیز نتایج مشابهی را در اثر افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر نان حاوی صمغ گوار مشاهده کردند [۲۹]. افزایش در سختی مغز نان به علت افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز، قبلاً در نان گندم و همین‌طور در نان بدون گلوتن دیده شده بود [۷ و ۲۸].

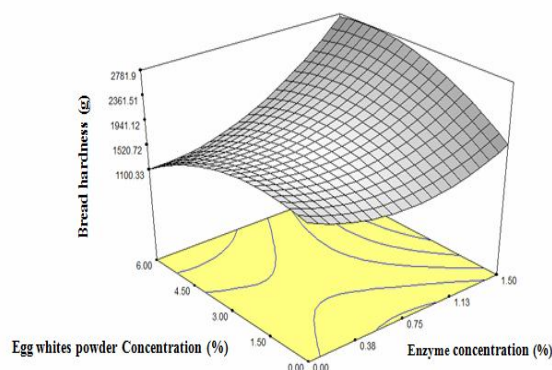


Fig 6 Three-dimensional graphs of the effect of transglutaminase enzyme and the egg white protein concentration on bread hardness

بنا به گزارش مور و همکاران (۲۰۰۶) که واکنش بین آنزیم ترانس گلوتامیناز و سه منبع پروتئینی (آرد سویا، پودر تخم مرغ و پودر آب پنیر) را طول ۵ روز نگهداری بررسی کردند، نان‌های حاوی پودر تخم مرغ و آنزیم سفت‌تر از نمونه‌ی بدون آنزیم بود. مدل نهایی ارائه شده برای میزان سختی نان‌های تولیدی در زیر آورده شده است [۲۸].

درصد نیز برای تست شبکه طراحی شده به کار گرفته شد. بررسی نتایج به دست آمده در خصوص شبکه عصبی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی ۹ نورون یعنی چیدمان ۸-۹-۲ (شبکه‌ای با ۲ ورودی، ۹ گره (نورون) در لایه پنهان و ۸ خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد (جدول ۲). این شبکه با مقدار ضریب همبستگی ۱/۰۰ و میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۱۱ بالاترین دقت را در بین توپولوژی‌های در نظر گرفته شده از خود نشان داد.

شبکه در پیش‌بینی پارامترهای اسمزی طالبی ایرانی تخمین زده شد. برای ایجاد شبکه پس‌انتشار پیش‌خور، تابع فعال‌سازی تانزانت 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 لوبنبرگ-مارکوات، چرخه یادگیری ۱۰۰۰ و دو معیار ارزیابی ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و میانگین مربعات خطا (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

**Table 2** The results of comparison of suggested artificial neural networks in prediction of observed response

MSE	$R^2$	The number of neurons in hidden layers	
		second	First
0.6217	0.958	-	2
0.2020	0.988	-	3
0.8646	0.847	-	4
0.016	0.999	-	5
0.0999	0.999	-	6
0.2649	0.966	-	7
0.051	0.995	-	8
<b>0.0011</b>	<b>1.00</b>	-	<b>9</b>
0.8701	0.933	-	10
0.1236	0.994	2	-
0.4252	0.902	3	-
0.2050	0.993	4	-
0.425	0.994	5	-
0.0242	0.999	6	-
0.1991	0.948	7	-
0.8529	0.968	8	-
0.1245	0.942	9	-
0.1638	0.982	10	-

نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی ۹ نورون یعنی چیدمان ۸-۹-۲ (شبکه‌ای با ۲ ورودی، ۹ گره (نورون) در لایه پنهان و ۸ خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد.

#### ۵- منابع

- [1] Blades, M. 1997. Food allergies and intolerances: an update. *Nutrition and Food Science*, 4: 146-151.
- [2] Catassi, C. & Fasano, A. 2008. Celiac Disease. P.1-22. In: Arendt EK and Dal Balleo F (eds), *gluten-free cereal product and beverages*. Academic Press.
- [3] Gallagher, E., T.R. Gormley, and E.K. Arendt. 2004. Recent advances in the

#### ۴- نتیجه گیری

روش سطح پاسخ برای تعیین شرایط بهینه پاسخ‌های مورد بررسی تولید نان بدون گلوتن بر پایه ذرت با افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و پروتئین سفیده تخم مرغ به منظور رسیدن به حداقل افت پخت و سختی و حداکثر حجم مخصوص، ارتفاع، تخلخل و شاخص رنگی  $L^*$  بهینه‌یابی گردید. نتایج نشان داد که به منظور رسیدن به اهداف ذکر شده، بایستی غلظت آنزیم ۰/۶۵ درصد و غلظت پروتئین سفیده تخم مرغ ۶ درصد باشد. تحت شرایط مذکور مطلوبیت ۰/۷۳۵ حاصل گردید. هم‌چنین در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین پاسخ‌های مورد بررسی استفاده گردید.

- maize and chickpea flours. *Innovative Food Science and Technology*. 3(4): 35-40.
- [15] Moaidi, S., Sadeghi Mahoonak, A.R., Azizi, A. and Maghsoodlou, Y. 2010. Effect of Gum Composition on the Exponential Characteristics of Wheat Flour Dough. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2 (2): 47-53.
- [16] Gujral, H.S., Guardiola, I., Carbonell, J.V. and Rosell, C.M. 2003. Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 51: 3814-3818.
- [17] Soleimanifard, M., Aelami, M., Chegini, F. K., Najafian, G., Mahoonak, A. R. S. and Khomeyri, M. 2014. Investigation on the effects of kefir on bulky bread quality and its shelf life. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 5 (4): 53-65.
- [18] Shaidi, F., Mohebi, M. and, Ehteati, A. 2010. Analysis of digital images of soybean flour-rich barberry breads. *Iranian Journal of Food Science and Technology*. 4: 247-253.
- [19] 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.
- [20] Majhzoobi, M., Laigh, M. and franaki, A. 2011. Effect of pectin and cross-linked pectin on characteristics of dough and pan bread. *Journal food research*. 21(2): 195-207
- [21] Naji Tabasi, S. and Mohebi, M. 2015. Using image processing to study the effect of xanthan gum on the quality characteristics of gluten-free bread. Eighth National Congress on Agricultural Machinery (BioSystem) and Mechanization of Iran.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Lonergan, D., and Minn, M. 1997. Glaze for dough products, United States Patent, 5, 180-965.
- formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 15: 143-152.
- [4] Payan, R. 2005. *An Introduction to Cereal Technology*. Ayezh Publication. 420 p.
- [5] Matos Segura, M.E., and C.M. Rosell. 2011. Chemical Composition and Starch Digestibility of Different Gluten-free Breads. *Plant Foods Humen Nutrition*. 66: 224-230.
- [6- Deora, N.S., Deswal, A. and. Mishra, v. 2014. Alternative Approaches Towards Gluten-Free Dough Development. *Recent Trends Food Engineering Reviews*. 6: 89-104.
- [7] Crockett, R., Pauline, L. and Vodovotz, Y. 2011. Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. *Food chemistry*, 129: 84-91.
- [8] Ziobro, R., Juszczak, L., Witczak, M. and Korus, J. 2015. Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Food Scientists & Technologists*. 53: 571-580.
- [9] Gallagher, E. 2009. *Gluten-Free Food Science and Technology*. Ashtown Food Research Centre, Teagasc, Dublin, Ireland. 1:246
- [10] 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.
- [11] Lertworasirikul, S. and Saetan, S. 2010. Artificial neural network modeling of mass transfer during osmotic dehydration of kaffir lime peel. *Journal of Food Engineering*. 98: 214-223.
- [12] Bakhshabadi, H., Vahdani, M., Moghimi, M., Bazrafshan, M., Rashidzadeh, Sh. and Bojmehrani, A. 2017. Modeling the cooking process during the extraction of oil from Sunflower seeds using artificial neural networks on an industrial scale. *Journal of Iranian Food Science and Technology*. 69(14):1-11. (In Persian).
- [13] Dolatabadi, Z., Elhami Rad, A.H., Farzaneh, V., Akhlaghi Feizabad, S.H., Estiri, S.H and Bakhshabadi, H. 2016. Modeling of the lycopene extraction from tomato pulps. *Food Chemistry*. 190: 968-973.
- [14] Ataye salhi, A., Rostamian, M. and Milani, J. 2012. Textural and thermal analysis of staling in gluten free bread prepared from

- with Application of Transglutaminase. *Cereal Chemistry*. 83(1): 28–36.
- [29] Poresmail, N., Azizi, M.H., Abbasi, S. and Mohamadi, M. .2011. Formulation of Gluten Free Bread Using Guar and Microbial Transglutaminase Enzyme. *Journal food research* 21(1): 69-81
- [30] Dluzewska, 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.
- [31] Khanipour, E., Keramat, J. and Shokrani, R. 2007. Determination of Optimum Conditions for Carotenoid Extraction from Tomatoes. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 11(2): 23-37.
- [32] 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.
- [25] Safavi, N. 2016. The effect of dairy powders and transglutaminase enzyme addition on the physicochemical and sensory properties of corn-based gluten-free bread. M.Sc. Thesis Department of Food Science and Engineering Islamic Azad University, Tabriz Branch. 141 p.
- [26] 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.
- [27] Pongjaruvat, W., Methacanon, P., Seetapan, N., Fuongfuchat, A. and Gamonpilas, C. 2014. Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads. *Food Hydrocolloids*. 35:143-150.
- [28] Moore, M.M., Heinbockel, M. Dockery, P. Ulmer, H. M. and Arendt, E.K. 2006. Network Formation in Gluten-Free Bread

## Optimization of the formulation of corn-based gluten-free bread with egg white protein and the microbial transglutaminase enzyme and parameters estimation of this process with artificial neuron network

Mahalleh, H. <sup>1</sup>, Gharekhani, M. <sup>2\*</sup>

1. M.Sc graduated, Department of Food science and engineering, Tabriz branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2. Department of Food science and engineering, Tabriz branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

(Received: 2017/11/02 Accepted:2017/12/02)

In this research, optimization of the formulation of corn-based gluten-free bread with egg white protein and the microbial transglutaminase enzyme was conducted with the purpose of minimizing baking loss and hardness, and maximizing the specific volume, bread height, porosity and color index  $L^*$  by the response surface method and finally, estimating these responses with the help of the neural network. The effects of the two concentrations of microbial transglutaminase enzyme in the range of 0 to 1.5% and egg white protein in the range of 0 to 6% with the help of the central composite design on specific volume parameters, baking loss, porosity, bread height, hardness and color indices  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  of bread crust were investigated. Investigating the results indicated that the optimum conditions for the production of gluten-free bread based on maize is created when the enzyme and egg white protein concentrations are 0.65% and 6%, respectively. By increasing the enzyme concentration, baking loss, porosity and  $a^*$  index increased, but the  $b^*$  index decreased. The results also indicated that by increasing the enzyme concentration in the formulation of samples, we firstly observed increase and then decrease in bread height and specific volume. Increasing the protein concentration of egg white in maize-based gluten-free bread formulation resulted in an increase in  $L^*$  and  $a^*$  indexes, and a decrease in baking loss and  $b^*$  index. The results of artificial neural network modeling indicated that a network with a hidden layer containing 9 neurons, with an 8-9-2 layout (a network with 2 inputs, 9 nodes (neurons) in the hidden layer and 8 outputs), had 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 0.0011.

**Keywords:** Gluten-free bread, Corn, Microbial transglutaminase enzyme, Egg white protein, Neural network modeling.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: m.gharekhani@iaut.ac.ir