تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۳ / شماره /۷۶/ بهار و تابستان/ ۱۴۰۳/ص ۴۸ -۳۱

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

مدل‌سازی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پنیر فتای فراپالایشی کم‌چرب تولید شده با جایگزین‌های چربی و استارتر الحاقی به روش شبکهٔ عصبی مصنوعی

سحر آشکار [۱]، وحید حکیم زاده [۲*]، حسن رشیدی [۳]، سینا ایروانی کازار [۴]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحدقوچان، دانشگاه ازاد اسلامی، قوچان، ایران.

[۲*] دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

[۳] دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

[۴] دانشجوی مقطع دکتری تخصصی گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه ازاد اسلامی، قوچان، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۸/۱۷ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۱۰/۲۳

چکیده

مشکلات تغذیه‌ای ناشی از مقادیر بالای چربی در برخی از پنیرها سبب شده تا استفاده از جایگزین‌های چربی در این محصولات مورد بررسی قرار گیرد. مدل‌سازی سفتی، مقدار آب‌پنیر تولید شده و pH پنیر فتای فراپالایش کم‌چرب با سه سطح از لسیتین در مقدارهای صفر، ۱ و ۲ گرم بر کیلوگرم، سه سطح صفر، ۱۰ و ۲۰ گرم بر کیلوگرم از پودر آب‌پنیر، صمغ زانتان در مقادیر صفر، نیم و ۱ گرم بر کیلوگرم و استارتر الحاقی *لاکتوباسیلوس پاراکازئی* در دو مقدار ۱ و ۳ گرم بر لیتر با شبکهٔ عصبی مصنوعی به منظور تعیین بهترین نوع تابع انتقال، نوع قانون یادگیری و درصد داده‌های مورد استفاده برای مرحلهٔ تربیت، ارزیابی و آزمون بر اساس کمترین خطا و بیشترین ضریب همبستگی انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که بهترین مدل برای پیشگویی تغییرات سفتی پنیر الگوریتمی با یک لایه پنهان و تعداد ۷ نرون، تحت تابع انتقال سیگموئید با قانون یادگیری لونبرگ است که توانست ضریب همبستگی مناسبی (۰/۹۸۵) را نشان دهد. برای مقادیر آب‌پنیر خروجی از دلمه نیز مدلی با یک لایه پنهان، تعداد ۳ نرون و تابع انتقال تانژانت و قانون یادگیری لونبرگ بهترین الگوریتم را با ضریب همبستگی ۰/۹۰۸ ایجاد کرد. pH پنیر نیز توسط مدلی با یک لایه پنهان، تعداد ۸ نرون و تابع انتقال سیگموئید تحت قانون یادگیری لونبرگ و ضریب همبستگی ۰/۸۴۹۳ پیشگویی شد. بهترین درصد داده‌ها برای تربیت، ارزیابی و آزمون مقادیر سفتی، آب‌پنیر و pH به ترتیب ۶۰/ ۵/۳۵، ۳۰/۱۰/۶۰ و ۴۵/۲۰/۳۵ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تانژانت، سیگموئید، شبکهٔ عصبی مصنوعی، فراپالایش، زانتان، *لاکتوباسیلوس پاراکازئی*

مقدمه

پنیر نام عمومی برای گروهی از فرآورده‌های تخمیری شیر است که در مناطق مختلف جهان با طعم، بافت و شکل‌های بسیار متنوع تولید می‌شود و نقش مهمی در تأمین بسیاری از عناصر ضروری بدن دارد (Fox *et al.*, 2000). پنیر فراورده‌ای سرشار از کازئین و چربی (اجزای باقیمانده در دلمه) و فقیر از ترکیبات انحلال‌پذیر در آب است (پروتئین‌های آب‌پنیری، لاکتوز و ویتامین‌های انحلال‌پذیر

نویسنده مسئول: **Email:** v.hakimzadeh@yahoo.com

http://doi: 10.22092/fooder.2024.364066.1377

در آب که بیشتر وارد آب‌پنیر می‌شوند). فتا پنیری سفید و نسبتاً نرم است که بعد از طی‌شدن مراحل رسیدن، در آب‌نمک نگهداری می‌شود. مزهٔ شور و اندکی اسیدی از ویژگی‌های آن است و با داشتن ویژگی‌های خوب مورد قبول عدهٔ کثیری از مردم دنیاست(Awad, 2006) . فرایند انعقاد آنزیمی در تولید پنیر فتا منجر به تولید حدود ۱۳ کیلوگرم پنیر و ۸۷ کیلوگرم آب‌پنیر از هر ۱۰۰ کیلوگرم شیر می‌شود. پساب تولیدی دارای ۵۰ درصد مادهٔ خشک کل شیر اولیه است و حدود ۰/۵ درصد پروتئینی که در آن وجود دارد، دارای ارزش بیولوژیکی بیشتر از کازئین راه یافته به دلمهٔ پنیر است. ورود این پساب به محیط‌زیست باعث آلودگی آن می‌شود. راندمان پایین در روش‌های سنتی تولید پنیر یکی از مهم‌ترین عواملی است که باعث افزایش قیمت محصول نهایی و افزایش ضایعات می‌شود (Qods Rihani, *et al*,. 2009). استفاده از فرایند فراپالایش مهم‌ترین و متداول‌ترین روشی است که برای رفع معضلات روش‌های سنتی ارائه گردیده است و امروزه در تولید انواعی از پنیر قابلیت به‌کارگیری را دارد. در ایران نیز اغلب روش‌های سنتی در تولید پنیر سفید جای خود را به روش فراپالایش داده است. در این روش، تغلیظ و آبگیری قبل از انعقاد صورت می‌گیرد و مراحل برش و آبگیری و نگهداری در آب نمک نیز حذف می‌شود.(Banks, 2004) چربی در پنیر نقش‌های متعددی دارد، برای مثال در بافت، احساس دهانی، و طعم پنیر مؤثر است. با توجه به تأکید بسیاری از متخصصان بر لزوم کاهش مصرف چربی و اسیدهای چرب اشباع به‌منظور جلوگیری از بیماری‌های قلبی، تصلب شرائین و چاقی و نیز تقاضای روزافزون مصرف‌کنندگان، تولید فرآورده‌های دارای مقادیر کم‌چربی و کم کلسترول آن افزایش یافته است. کاهش چربی در پنیر اثرهایی مانند افزایش معنی‌دار رطوبت و پروتئین در پی دارد (Lteif *et al*., 2009). کاهش چربی سبب افزایش سفتی بافت می‌شود به‌طوری‌که با حذف بیشتر چربی، نقش تعیین کنندهٔ بافت بیشتر بر عهدهٔ پروتئین خواهد بود و در نتیجه از لطافت بافت کاسته می‌شود.(Saint-Eve *et al*., 2009) ترکیبات مختلفی به عنوان جایگزین چربی می‌توانند بدون ایجاد اثر نامطلوب تغذیه‌ای برای پنیر، ویژگی‌های تکنولوژیکی همانند ویژگی‌های چربی شیر را به پنیر اعطا کنند. از بین این ترکیبات می‌توان به سلولزها، نشاسته‌ها، پودرهای پروتئینی، لسیتین و غیره اشاره کرد (Lucca and Tepper, 1994) . به دلیل آنکه پنیرهای کم‌چرب از نظر طعم از پنیرهای پرچرب ضعیف‌تر است استفاده از یک سری استارترهای الحاقی می‌تواند این نقیصه را در پنیرها کاهش دهد و سبب تولید اسیدبوتیریک پروپونیک، استوئین و غیره شود (Monaloki *et al*., 2006).

مدل‌سازی یکی از تکنیک‌های ذهنی بشر است که نه تنها برای هدف‌های علمی، بلکه برای اجرای امور روزمرهٔ بشر به دفعات استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم‌هایی الهام گرفته از سیستم‌های عصبی زیستی هستند که مجموعه‌ای از روابط ریاضی را بین گره‌های ورودی (متغیرهای مستقل)، مجموعه‌ای از گره‌های مخفی ویک گره خروجی (متغیر وابسته) برقرار می‌کنند. مدل‌سازی فرآیندها می‌تواند در پیش‌بینی عملکرد سیستم‌ها، تأثیر متغیرهای عملیاتی و طراحی فرآیندها نقش مهمی داشته باشد. شبکه-های عصبی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی دادهٔ ورودی و خروجی هستند. در مواردی که تعداد زیادی از اطلاعات ورودی و خروجی سیستم در اختیار باشد و بخواهیم برای آن سیستم، مدل ارائه کنیم، یا وقتی بخواهیم ساختاری از اطلاعات موجود به‌دست آوریم، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند سودمند باشد(Zarifpoor and Hakimzadeh, 2018) .

با توجه به موارد فوق، سعی شده است تا در این تحقیق از مدل‌سازی به‌وسیلهٔ شبکهٔ عصبی برای پیشگویی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پنیر کم‌چرب فراپالایش با توجه به مقادیر متفاوتی از جایگزین‌های چربی و استارترهای الحاقی استفاده شود که به بهبود ویژگی‌های پنیر کم‌چرب کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها

مواد

لیستین مایع خوراکی با کد ۴۲۷۹ از شرکت رزشیمی پویا، زانتان از شرکت واکرمن مشهد و پودر آب‌پنیر از شرکت پگاه خراسان تهیه گردید.

در تولید پنیر فتای فراپالایش کم‌چرب با جایگزین چربی، اثر لسیتین در سه سطح صفر، ۱ و ۲ گرم بر کیلوگرم، صمغ زانتان در سه سطح صفر، ۰/۵ و ۱ گرم بر کیلوگرم، پودر آب‌پنیر در سه مقدار صفر، ۱۰ و ۲۰ گرم بر کیلوگرم و همچنین استارتر الحاقی *لاکتوباسیلوس پاراکازئی* در دو سطح ۱ و ۳ گرم بر لیتر از ناتراوه بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بافتی پنیر حاصل از آن مطالعه شد. در این تحقیق پیشگویی سه ویژگی سفتی به عنوان شاخصه‌ای از بافت، مقدار آب‌پنیر حاصل از دلمه به عنوان راندمان تولید و pH نهایی پنیر به روش شبکهٔ عصبی مصنوعی مدل‌سازی شد(Rashidi *et al.*, 2018) .

آزمون‌ها

سفتی

برای سنجش سفتی از آزمون نفوذ با دستگاه سنجش بافت مدل QTS25, CNS FARNEL ساخت بریتانیا و پروب استوانه‌ای با قطر ۳ میلی‌متر (میلهٔ فلزی) استفاده شد. ارتفاع نمونه‌های پنیر ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد و نیروی لازم برای نفوذ میلهٔ فلزی تا عمق ۱۰ میلی‌متر بر اساس واحد g اندازه‌گیری شد. سرعت نفوذ ۳۰ میلی‌متر در دقیقه بود. هر تست در سه تکرار اجرا گردید. صفات مورد نظر یعنی سفتی بر اساس واحد گرم طی این آزمون بررسی شد (Omrani *et al.*, 2020).

میزان آب‌پنیر

میزان آب‌پنیر بر اساس آزمون انعقادی تعیین گردید. مقدار آب‌پنیر بر حسب گرم و با توزین بخش مایع موجود در هر بسته اندازه‌گیری شد(Rashidi *et al.*, 2018) .

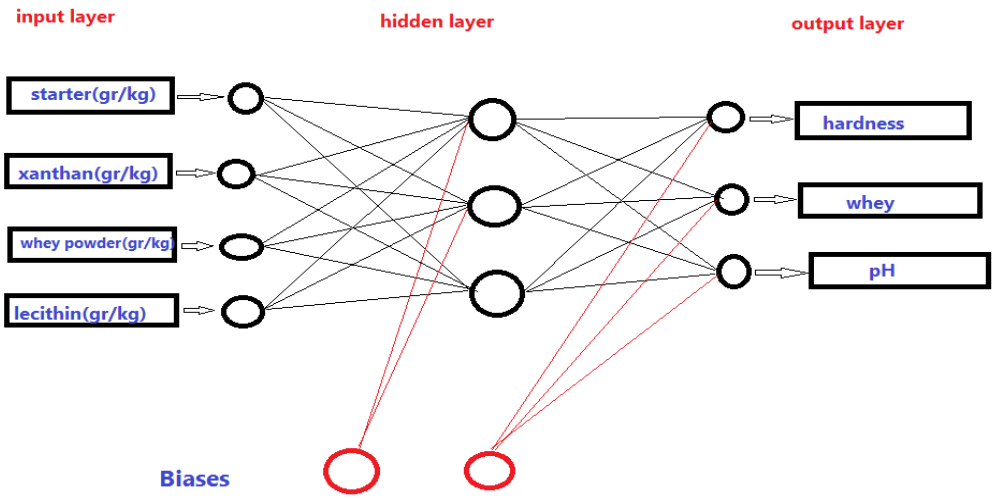
pH

مقدار pH پنیر توسط pH متر دیجیتالی مدل Oakton ساخت کشور مالزی تعیین شد. (jalilzadeh *et al.* 2018)

مدل‌سازی

در این تحقیق، به‌منظور مدل‌سازی از شبکهٔ عصبی مصنوعی با نرم‌افزار نروسولوشن نسخهٔ ۶ استفاده شد. در این مدل‌سازی مقدار لسیتین، زانتان، استارتر و پودر آب‌پنیر به عنوان متغیرهای مستقل یا همان ورودی‌های شبکه و ویژگی‌های سفتی، مقدار آب‌پنیر و pH به عنوان متغیرهای وابسته با خروجی‌های شبکه انتخاب گردید. تعداد کل داده‌ها ۵۴ بود. مدل‌سازی بر پایهٔ یک لایهٔ مخفی با تعداد ۲ تا ۲۰ نرون برای توابع انتقال تانژانت هیپربولیک و سیگموئید و تحت قواعد یادگیری لونبرگ مارکورات و مونتوم صورت گرفت. پس از انتخاب بهترین تابع انتقال و قاعده یادگیری و همچنین مناسب‌ترین تعداد نرون، برنامه برای درصدهای مختلف یادگیری، ارزیابی و تست اجرا شد. در مرحلهٔ آخر نیز مقادیر اندازه‌گیری شده به روش تجربی با مقادیر حاصل از تست شبکه عصبی مصنوعی مقایسه گردید. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از متغیرهای آماری همچون میانگین مربع خطا

(MSE)، میانگین مربع خطای نرمال شده (NMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب همبستگی R^2 صورت گرفت (Hakimzadeh *et al.*, 2020). حالتی که مقادیر پیش‌بینی به مقادیر تجربی بسیار نزدیک بودند، به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. درصورت بالا بودن ضریب‌های همبستگی و به عبارتی سازگاری مقادیر پیش بینی شده و مقادیر تجربی، مدل‌های انتخابی قابل قبول خواهد بود. (شکل ۱) ساختار شماتیک شبکهٔ مورد استفاده برای مدل‌سازی اثر مقدار لسیتین، زانتان، استارتر و پودر آب‌پنیر برسفتی پنیر، میزان آب‌پنیر حاصل از آن، و pH را نشان می‌دهد.



شکل ۱ – شماتیک شبکهٔ مورد استفاده برای مدل‌سازی اثر مقدار لسیتین، زانتان، استارتر و پودرآب پنیر برسفتی پنیر، میزان آب‌پنیر حاصل از آن، و pH

Figure 1- Schematic of the network used for modelling the effect of the amount of lecithin, xanthan, starter and whey powder on cheese hardness, the amount of whey produced, and pH

نتایج و بحث

در این تحقیق ابتدا به یادگیری مدل با دو قانون لونبرگ و مومنتوم برای حصول بهترین پیکربندی به منظور پیشگویی خروجی‌ها یا همان پارامترهای وابسته پرداخته شد. به این صورت که در تعداد نورون‌های مختلف، بهترین تابع از نظر بیشترین ضریب همبستگی و کمترین مجموع مربعات خطا مدل بررسی شد.

سفتی پنیر

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، مدل پیشگویی سفتی پنیر فتای فراپالایش به عنوان شاخصه ای از بافت در تابع انتقال سیگموئید نسبت به تابع انتقال تانژانت و تحت قانون یادگیری لونبرگ دارای بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطا در تعداد نورون ۷ است. در حالی که تحت قانون یادگیری مومنتوم تابع انتقال تانژانت در تعداد نورون ۱۴ بهترین نتیجه را از نظر ضریب همبستگی و خطای مطلوب نشان می‌دهد (جدول۲).

میزان آب‌پنیر

همان‌طور که در جدول ۳ دیده می شود، پیشگویی میزان آب‌پنیر حاصل تحت قانون یادگیری لونبرگ در هر دو تابع سیگموئید و تانژانت در تعداد نورون ۳ بالاترین ضریب همبستگی و کمترین خطا را دارد اما تابع انتقال تانژانت دارای ضریب همبستگی مناسب‌تری است.

مدل‌سازی با قانون یادگیری مومنتوم طراحی شبکه ضعیف‌تری را از نظر ضریب همبستگی و خطا برای پیشگویی مقدار آب‌پنیر در هر دو تابع انتقال نشان می‌دهد (جدول۴).

جدول۱ - ساختارهای مختلف از شبکه عصبی مصنوعی با نرون‌های مختلف با قانون یادگیری لونبرگ و دو تابع انتقال برای پیش‌بینی سفتی پنیر فتای فراپالایش تولید شده با جایگزین چربی

Table1- Different structures of artificial neural network with different neurons with Levenberg's learning law and two transfer functions to predict the hardness of UF feta cheese produced with fat substitute.

Hardness سفتی					قانون لونبرگ Levenberg			
	تابع سیگموئید Sigmoid				تابع تانژانت Tangent			
شماره نورون Neurons	میانگین مربعات خطای MSE	میانگین مربعات خطای NMSE	میانگین قدرمطلق خطا MAE	ضریب تبیین R	میانگین مربعات خطای MSE	میانگین مربعات خطای NMSE	میانگین قدرمطلق خطا MAE	ضریب تبیین R
2	208975.110	1.146	309.960	0.463	121103.916	0.664	244.228	0.606
3	187389.377	1.027	314.880	0.630	235755.598	1.292	389.068	0.579
4	185624.293	1.017	267.326	0.596	128770.938	0.706	272.632	0.658
5	215375.381	1.181	317.814	0.557	215569.286	1.182	352.687	0.472
6	140535.515	0.770	289.967	0.703	216861.718	1.189	378.972	0.734
7	75084.001	0.411	214.382	0.845	224437.069	1.230	360.777	0.460
8	141188.581	0.774	271.092	0.614	356039.057	1.952	456.904	0.219
9	220952.435	1.211	353.780	0.577	141529.823	0.776	316.305	0.731
10	345027.347	1.892	444.375	0.284	279806.009	1.534	404.789	0.507
11	99172.948	0.543	271.602	0.812	317467.050	1.741	416.718	0.342
12	133694.221	0.733	329.619	0.761	222274.437	1.218	397.906	0.720
13	152917.677	0.838	295.547	0.640	60379.516	3.676	600.950	0.208
14	179481.144	0.984	336.964	0.644	262398.078	1.439	405.418	0.511
15	134955.903	0.740	259.612	0.584	139926.376	0.767	314.377	0.603
16	159119.412	0.872	265..679	0.548	207912.869	1.140	397.709	0.517
17	158381.022	0.868	264.293	0.536	151333.926	0.829	284.468	0.599
18	130499.184	0.715	288.598	0.617	285538.817	1.565	417.961	0.373
19	178378.914	0.978	355.803	0.595	340313.612	1.866	455.584	0.591
20	207340.690	0.137	368.168	0.749	189486.772	1.039	345.978	0.602

جدول۲- ساختارهای مختلف از شبکه عصبی مصنوعی با نرون‌های مختلف با قانون یادگیری مومنتوم و دو تابع انتقال برای پیش‌بینی سفتی پنیر فتای فراپالایش تولید شده با جایگزین چربی

Table2 - Different structures of artificial neural network with different neurons with momentum learning law and two transfer functions to predict the hardness of UF feta cheese produced with fat substitute.

Hardness سفتی	Momentum قانون مومنتوم							
	تابع سیگموئید Sigmoid				تابع تانژانت Tangent			
شماره نورون Neurons	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	ضریب تبیین R	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	ضریب تبیین R
2	236932.872	1.299	383.375	0.448	215027.715	1.179	303.075	0.428
3	409086.815	2.243	582.046	0.164	214387.278	1.175	295.073	0.414
4	227720.847	1.248	360.276	-0.389	170036.241	0.932	255.183	0.491
5	333980.694	1.831	508.476	0.102	148849.306	0.816	281719	0.644
6	312211.024	1.712	477.377	-0.376	152661.659	0.837	293.719	0.610
7	344820.613	1.891	518.728	0.119	156458.158	0.858	273.195	0.599
8	273519.828	1.500	445.730	0.631	199570.093	1.094	297.512	0.453
9	306004.241	1.675	484.591	0.482	199492.994	1.094	321.083	0.528
10	236686.461	1.298	334.390	-0.185	166498.435	0.913	293.742	0.620
11	204238.092	1.120	314.950	0.218	160543.807	0.880	286.560	0.613
12	212891.012	1.167	338.692	0.173	260207.535	1.426	440.841	0.584
13	304850.008	1.671	450.514	-0.465	183808.137	1.008	270184	0.510
14	189248.839	1.037	302.592	0.449	163387.141	0.896	332.534	0.749
15	207569.937	1.138	322.038	0.226	148575.893	0.814	318.838	0.637
16	208273.165	1.142	314.019	0.145	183415.39	1.005	333.591	0.622
17	204402.080	1.120	355.297	0.405	304961.911	1.672	454.162	0.504
18	204801.633	1.123	329.405	0.361	307044.639	1.683	481.566	0.569
19	219883.966	1.205	354.771	0.173	495453.416	2.717	557.365	0.122
20	213974.968	1.173	316.018	0.134	228008.633	1.250	365.081	0.459

جدول۳- ساختارهای مختلف از شبکه عصبی مصنوعی با نرون‌های مختلف با قانون یادگیری لونبرگ و دو تابع انتقال برای پیش‌بینی آب‌پنیر حاصل از پنیر فتای فراپالایش تولید شده با جایگزین چربی

Table3- Different structures of artificial neural network with different neurons with Levenberg's learning law and two transfer functions to predict whey from UF feta cheese produced with fat substitute

Neurons شماره نورون	Whey آب‌پنیر				قانون لونبرگ Levenberg			
	تابع سیگموئید Sigmoid				تابع تانژانت Tangent			
	خطای میانگین مربعات MSE	خطای میانگین مربعات نرمال شده NMSE	میانگین قدرمطلق خطا MAE	ضریب تبیین R	خطای میانگین مربعات MSE	خطای میانگین مربعات نرمال شده NMSE	میانگین قدرمطلق خطا MAE	ضریب تبیین R
2	0.173	0.941	0.224	0.377	0.170	0.923	0.231	0.360
3	0.090	0.493	0.195	0.799	0.089	0.458	0.189	0.867
4	0.197	1.074	0.266	0.2006	0.091	0.495	0.191	0.815
5	0.186	1.014	0.238	0.243	0.166	0.904	0.237	0.499
6	0.209	1.135	0.344	0.232	0.173	0.939	0.305	0.391
7	0.133	0.726	0.66	0.537	0.163	0.885	0.243	0.398
8	0.100	0.547	0.216	0.726	0.108	0.587	0.210	0.696
9	0.145	0.791	0.265	0.502	0.150	0.818	0.263	0.493
10	0.118	0.645	0.257	0.605	0.146	0.796	0.232	0.475
11	0.100	0.546	0.208	0.703	0.128	0.695	0.258	0.561
12	0.133	0.722	0.252	0.546	0.140	0.761	0.246	0.586
13	0.112	0.609	0.237	0.633	0.107	0.585	0.214	0.664
14	0.145	0.787	0.279	0.476	0.136	0.740	0.257	0.541
15	0.116	0.630	0.248	0.614	0.145	0.789	0.230	0.565
16	0.157	0.854	0.238	0.410	0.154	0.837	0.256	0.478
17	0.141	0.765	0.217	0.541	0.111	0.605	0.211	0.646
18	0.119	0.650	0.249	0.592	0.127	0.691	0.256	0.571
19	0.124	0.676	0.262	0.573	0.146	0.793	0.283	0.510
20	0.108	0.589	0.230	0.661	0.139	0.756	0.266	0.516

جدول٤ – ساختارهای مختلف از شبکهٔ عصبی مصنوعی با نرون‌های مختلف با قانون یادگیری مومنتوم و دو تابع انتقال برای پیش‌بینی آب‌پنیر حاصل از پنیر فتای فراپالایش تولید شده با جایگزین چربی

Table 4- Different structures of artificial neural network with different neurons with momentum learning law and two transfer functions to predict whey from UF feta cheese produced with fat substitute.

Neurons شماره نورون	Whey آب‌پنیر				قانون مومنتوم Momentum			
	تابع سیگموئید Sigmoid				تابع تانژانت Tangent			
	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	ضریب تبیین R	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	ضریب تبیین R
2	0.191	1.037	0.250	0.410	0.169	0.918	0.228	0.431
3	0.189	1.028	0.310	-0.695	0.165	0.899	0.226	0.456
4	0.194	1.055	0.253	0.645	0.155	0.841	0.214	0.529
5	۰/۱۸۹	1.029	0.252	-0.482	0.135	0.737	0.222	0.616
6	0.186	1.012	0.249	0.522	0.164	0.892	0.237	0.419
7	0.185	1.005	0.250	0.496	0.153	0.832	0.219	0.483
8	0.179	0.974	0.274	0.484	0.138	0.753	0.221	0.573
9	0.185	1.007	0.247	0.714	0.173	0.940	0.233	0.401
10	0.204	1.108	0.256	0.112	0.171	0.932	0.222	0.414
11	0.204	1.108	0.257	0.273	0.162	0.879	0.224	0.438
12	0.200	1.088	0.254	0.499	0.165	0.896	0.229	0.408
13	0.186	1.014	0.249	0.576	0.147	0.800	0.219	0.517
14	0.201	1.091	0.253	0.236	0.142	0.771	0.220	0.534
15	0.198	1.079	0.253	0.501	0.126	0.686	0.211	0.617
16	0.202	1.100	0.255	0.215	0.174	0.945	0.224	0.373
17	0.201	1.092	0.253	0.270	0.161	0.874	0.216	0.466
18	0.200	1.085	0.253	0.426	0.146	0.792	0.210	0.552
19	0.200	1.088	0.253	0.281	0.163	0.887	0.236	0.413
20	0.201	1.094	0.255	0.381	0.150	0.817	0.219	0.517

pH

بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار نروسولوشن و جدول۵، قانون یادگیری لونبرگ تحت هر دو تابع سیگموئید و تانژانت و به ترتیب در تعداد نورون ۸ و ۱۲ توانست مدل بهتری را از نظر ضریب همبستگی (۰/۹۸۴) نسبت به تعداد نورون‌های دیگر طراحی کند. این در حالی است که قانون یادگیری مومنتوم در تابع انتقال تانژانت توانسته است مدل بهتری را برای پیشگویی pH در تعداد نورون ۳ ارائه کند. بااین‌حال، در تابع انتقال سیگموئید نیز ضریب همبستگی مناسبی برای پیش‌بینی pH در پنیر ایجاد شد که در جدول ۶ دیده می‌شود.

جدول ۵- ساختارهای مختلف از شبکه عصبی مصنوعی با نرون‌های مختلف با قانون یادگیری لونبرگ و دو تابع انتقال برای پیش بینی آب‌پنیر حاصل از پنیر فتای فراپالایش تولید شده با جایگزین چربی

Table 5- Different structures of artificial neural network with different neurons with Levenberg's learning law and two transfer functions to predict whey from UF feta cheese produced with fat substitute

پی اچ pH					قانون لونبرگ Levenberg			
تابع سیگموئید Sigmoid					تابع تانژانت Tangent			
Neurons شماره نورون	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	ضریب تبیین R	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	ضریب تبیین R
2	0.006	0.047	0.064	0.979	0.008	0.063	0.065	0.967
3	0.011	0.085	0.080	0.957	0.009	0.072	0.081	0.973
4	0.006	0.044	0.060	0.977	0.012	0.090	0.090	0.955
5	0.006	0.049	0.058	0.976	0.006	0.045	0.064	0.977
6	0.011	0.084	0.077	0.964	0.028	0.210	0.122	0.903
7	0.008	0.059	0.072	0.973	0.019	0.141	0.116	0.933
8	0.004	0.036	0.059	0.984	0.010	0.077	0.080	0.967
9	0.015	0.111	0.093	0.946	0.010	0.075	0.080	0.962
10	0.006	0.049	0.063	0.975	0.009	0.066	0.072	0.968
11	0.007	0.054	0.066	0.976	0.006	0.048	0.060	0.975
12	0.015	0.113	0.102	0.945	0.007	0.057	0.075	0.984
13	0.011	0.084	0.080	0.957	0.063	0.464	0.190	0.760
14	0.011	0.086	0.090	0.957	0.010	0.074	0.079	0.963
15	0.010	0.073	0.088	0.974	0.006	0.049	0.059	0.976
16	0.008	0.060	0.075	0.975	0.014	0.104	0.095	0.950
17	0.006	0.046	0.064	0.977	0.006	0.047	0.061	0.976
18	0.012	0.093	0.090	0.966	0.013	0.100	0.093	0.956
19	0.022	0.164	0.106	0.924	0.008	0.062	0.065	0.968
20	0.007	0.054	0.061	0.974	0.024	0.182	0.119	0.923

جدول٦- ساختارهای مختلف از شبکهٔ عصبی مصنوعی با نرون‌های مختلف با قانون یادگیری مومنتوم و دو تابع انتقال برای پیش‌بینی آب‌پنیر حاصل از پنیر فتای فراپالایش تولید شده با جایگزین چربی

Table 6- Different structures of artificial neural network with different neurons with momentum learning law and two transfer functions to predict whey from UF feta cheese produced with fat substitute.

پی اچ pH					قانون مومنتوم Momentum			
	تابع سیگموئید Sigmoid				تابع تانژانت Tangent			
Neurons شماره نورون	خطای MSE میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	ضریب R تبیین	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	ضریب R تبیین
2	0.144	1.062	0.364	-0.684	0.005	0.042	0.060	0.980
3	0.135	0.998	0.358	0.772	0.005	0.040	0.060	0.980
4	0.136	1.006	0.357	0.371	0.008	0.064	0.069	0.974
5	0.138	1.018	0.362	-0.148	0.008	0.065	0.077	0.969
6	0.141	1.043	0.366	-0.7005	0.010	0.074	0.069	0.968
7	0.139	1.026	0.363	-0.133	0.006	0.050	0.063	0.976
8	0.150	1.107	0.364	-0.443	0.005	0.042	0.059	0.978
9	0.130	0.958	0.352	0.592	0.010	0.076	0.082	0.977
10	0.075	0.555	0.261	0.950	0.013	0.102	0.098	0.966
11	0.124	0.913	0.338	0.833	0.006	0.047	0.066	0.976
12	0.087	0.644	0.283	0.962	0.020	0.151	0.116	0.977
13	0.143	1.057	0.344	0.672	0.006	0.047	0.066	0.976
14	0.083	0.612	0.277	0.958	0.009	0.066	0.080	0.978
15	0.061	0.450	0.229	0.935	0.009	0.068	0.075	0.968
16	0.074	0.545	0.257	0.955	0.014	0.105	0.090	0.977
17	0.074	0.550	0.258	0.959	0.020	0.148	0.114	0.976
18	0.089	0.660	0.86	0.924	0.016	0.118	0.105	0.960
19	0.066	0.489	0.243	0.966	0.018	0.132	0.103	0.978
20	0.066	0.492	0.246	0.938	0.013	0.099	0.102	0.967

جدول ۷. مقایسهٔ کلی دو قانون یادگیری مومنتوم و لونبرگ در پیش‌بینی سفتی، آب‌پنیر و pH با دو تابع انتقال تانژانت و سیگموئید

Table 7- General comparison of two learning laws of momentum and Levenberg in predicting hardness, whey and pH with two tangent and sigmoid transfer functions

	Levenberg قانون لونبرگ						Momentom قانون مومنتوم					
Parameterمتغیر	Number of Neuron شماره ی نورون	Transfer Function تابع انتقال	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین	Number of Neuron شماره ی نورون	Transfer Function تابع انتقال	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین
Hardness سفتی	7	Sigmoid سیگموئید	75084.001	0.411	214.382	0.845	14	Tangh تانژانت	163387.141	0.896	332.534	0.749
Whey آب‌پنیر	3	Tangh تانژانت	0.089	0.485	0.189	0.867	9	Sigmoid سیگموئید	0.185	1.007	0.246	0.714
pH پی اچ	8	Sigmoid سیگموئید	0.004	0.036	0.059	0.984	3	Tangh تانژانت	0.005	0.040	0.060	0.980

در جدول ۷ می‌توان مقایسه ای کلی از قانون یادگیری لونبرگ و مومنتوم در توابع انتقال تانژانت و سیگموید را برای پیش‌بینی سفتی پنیر، میزان آب‌پنیر و pH آن مشاهد کرد.

محققان گوناگونی استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تعیین ویژگی‌های گوناگون محصولات لبنی را گزارش کرده‌اند که نتایج تحقیقات آنها حاکی از دقت بالای این مدل‌ها در این صنعت است. سوفیو و اکینسی (Sofu & Ekinci, 2007) برای پیش‌بینی زمان ماندگاری انواعی از ماست‌ها با اندازه‌گیری میزان آلودگی میکروبی و pH طی انبارداری در روزهای ۱، ۷ و ۱۴ و به طور همزمان عکس‌برداری از ماست با استفاده از ماشین بینایی برای تعیین تغییرات رنگ طی انبارداری و استفاده از داده‌های حاصل، به مدل‌سازی این تغییرات با شبکه‌های عصبی پرداختند. مدل عصبی طراحی شده شامل یک لایه پنهان با تابع فعال‌سازی سیگموئیدی بود. ورودی‌های این مدل pH ، تعداد مخمر و کپک، و آنالیزهای رنگ حاصل از MVS و خروجی آن زمان ماندگاری محصول بود. نتایج نشان داد انطباق کامل بین داده‌های حاصل از مدل با داده‌های آزمایشگاهی وجود دارد. داکروز و همکاران (Da Cruz *et al.*, 2009) نیز از مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی ماست‌های تجاری مانند ماست‌های کم‌چرب و طعم‌دار با استفاده از داده‌های معمول صنعت لبنیات که به‌راحتی در آزمایشگاه به دست می‌آید، استفاده کردند. شبکهٔ عصبی با الگوریتم یادگیری لونبرگ-مارکوات در جعبهٔ ابزار نرم‌افزار MATLAB طراحی شد. ارزیابی مدل به‌دست‌آمده نشان داد که داده‌های حاصل از سیستم عصبی با داده‌های آزمایشگاهی کاملاً و به‌صورت ۱۰۰ درصد همخوانی دارند. با توجه به نتایج گزارش شده توسط این محققان و همچنین نتایج حاصل از دقت بالای مدل‌های شبکه‌های عصبی می‌توان استفاده از این سیستم‌های هوشمند را در صنعت لبنیات و به‌خصوص در تولید و ارزیابی ماست، بسیار مفید و کارا دانست.

بررسی درصدهای مختلف آموزش، اعتبارسنجی و آزمون مدل

در این مرحله از مدل‌سازی، به کارایی مدل بر اساس درصدهای مختلف داده‌ها برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون مدل پرداخته شد. به‌این‌ترتیب که ابتدا بهترین درصد داده‌ها برای آموزش شبکه انتخاب شد و در مرحله بعد بر اساس آن، درصدهای مناسبی از ارزیابی و تست شبکه به‌دست آمد. در مرحلهٔ اول و بر اساس جدول ۸ تا ۱۰ بهترین شبکهٔ عصبی برای مدل‌سازی سفتی، میزان آب‌پنیر و pH پنیر موقعی به‌دست آمد که به ترتیب از ۶۰، ۶۰ و ۳۵ درصد داده‌ها برای آموزش شبکه استفاده گردید.

در مرحلهٔ بعد، با ثابت در نظر گرفت درصد داده‌های به‌دست‌آمده در مرحلهٔ قبل بهترین درصد داده‌ها برای ارزیابی (اعتبارسنجی) و آزمون مدل هم تعیین شد که به ترتیب در جدول‌های شماره ۱۱ تا ۱۳ دیده می‌شود.

جدول۸- مقایسهٔ درصدهای مختلف از آموزش برای انتخاب بهترین مدل برای پیش‌بینی سفتی پنیر

Table 8- Comparison of different training percentages to select the best model for cheese hardness prediction

Training Data (%) درصد داده‌ها برای آموزش	Validation Data (%) درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی	Testing Data (%) درصد داده‌ها برای آزمون	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین
5	47.5	47.5	205283.162	1.265	351.159	0.087
10	45	45	228150.585	1.316	349.977	0.548
15	42.5	42.5	210658.056	1.163	328.116	0.545
20	40	40	201383.970	1.116	309.026	0.551
25	37.5	37.5	184420.881	0.974	270.374	0.536
30	35	35	207036.206	1.105	334.460	0.466
35	32.5	32.5	179828.559	0.972	291.132	0.601
40	30	30	200464.626	1.168	316.837	0.540
45	27.5	27.5	216875.705	1.256	340.340	0.532
50	25	25	159111.863	0.872	295.248	0.583
55	22.5	22.5	110754.683	1.049	271.074	0.763
60	**20**	**20**	**43238.060**	**0.507**	**158.440**	**0.805**

جدول۹- مقایسه درصدهای مختلف از آموزش برای انتخاب بهترین مدل برای پیش‌بینی آب‌پنیر

Table 9- Comparison of different training percentages to select the best model for whey prediction

Training Data (%) درصد داده‌ها برای آموزش	Validation Data (%) درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی	Testing Data (%) درصد داده‌ها برای آزمون	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین
5	**47.5**	**47.5**	**0.301**	**1.122**	**0.401**	**-0.773**
10	45	45	0.243	0.855	0.294	0.439
15	42.5	42.5	0.287	0.992	0314	0.414
20	40	40	0.277	0.935	0.311	0.457
25	37.5	37.5	0.107	0.753	0.215	0.592
30	35	35	0.116	0.771	0.216	0.605
35	32.5	32.5	0.110	0.722	0.204	0.596
40	30	30	0.142	0.833	0.218	0.577
45	27.5	27.5	0.089	0.495	0.177	0.785
50	25	25	0.099	0.540	0.191	0.768
55	22.5	22.5	0.155	0.868	0.268	0.417
60	**20**	**20**	**0.113**	**0.584**	**0.215**	**0.799**

جدول۱۰-مقایسهٔ درصدهای مختلف از آموزش برای انتخاب بهترین مدل برای پیش‌بینی pH

Table10- Compare different percentages of training to select the best model for pH prediction

Training Data (%) درصد داده‌ها برای آموزش	Validation Data (%) درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی	Testing Data (%) درصد داده‌ها برای آزمون	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین
5	47.5	47.5	0.281	2.059	0.381	-0.377
10	45	45	0.022	0.161	0.109	0.922
15	42.5	42.5	0.012	0.088	0.082	0.958
20	40	40	0.025	0.195	0.110	0.944
25	37.5	37.5	0.016	0.121	0.092	0.953
30	35	35	0.011	0.083	0.079	0.960
35	**32.5**	**32.5**	**0.006**	**0.051**	**0.073**	**0.979**
40	30	30	0.008	0.063	0.071	0.970
45	27.5	27.5	0.008	0.064	0.072	0.969
50	25	25	0.006	0.045	0.063	0.977
55	22.5	22.5	0.008	0.066	0.077	0.968
60	20	20	0.010	0.077	0.986	0.962

جدول ۱۱. تعیین بهترین درصد داده‌ها برای ارزیابی و آزمون مدل در پیش‌بینی مقدار سفتی پنیر

Table 11- Determining the best percentage of data to evaluate and test the model in predicting cheese hardness

Training Data (%) درصد داده‌ها برای آموزش	Validation Data (%) درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی	Testing Data (%) درصد داده‌ها برای آزمون	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین
60	5	35	126957.755	0678	220.493	0.679
60	10	30	586145.527	3.433	467.088	0.181
60	15	25	123347.129	0676	230.06	0.716
60	20	20	110886.945	1.302	257.882	0.622
60	25	15	88829.386	0.954	209.472	0.745
60	30	10	51975.362	0.411	191.752	0.911
60	**35**	**5**	**40391.565**	**0.244**	**172.993**	**0.985**

جدول ۱۲. تعیین بهترین درصد داده‌ها برای ارزیابی و آزمون مدل در پیش‌بینی مقدار آب‌پنیر

Table 12- Determining the best percentage of data to evaluate and test the model in predicting the amount of whey

Training Data (%) درصد داده‌ها برای آموزش	Validation Data (%) درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی	Testing Data (%) درصد داده‌ها برای آزمون	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین
60	5	35	0.085	0.568	0.193	0.756
60	**10**	**30**	**0.093**	**0.547**	**0.215**	**0.908**
60	15	25	0.185	1.005	0.243	0.329
60	20	20	0.111	0.571	0.218	0.799
60	25	15	0.267	1.023	0.96	0.679
60	30	10	0.431	1.335	0.428	0.878
60	35	5	0.045	6.976	0.192	-0.840

جدول ۱۳. تعیین بهترین درصد داده‌ها برای ارزیابی و آزمون مدل در پیش‌بینی pH پنیر

Table 13- Determining the best percentage of data to evaluate and test the model in cheese pH prediction

Training Data (%) درصد داده‌ها برای آموزش	Validation Data (%) درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی	Testing Data (%) درصد داده‌ها برای آزمون	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین
35	5	60	0.012	0.089	0.096	0.979
35	10	55	0.009	0.072	0.070	0.966
35	15	50	0.005	0.043	0.059	0.981
35	**20**	**45**	**0.004**	**0.033**	**0.054**	0.984
35	25	40	0.005	0.041	0.062	0.984
35	30	35	0.007	0.053	0.062	0.972
35	35	30	0.007	0.059	0.074	0.978
35	40	25	0.006	0.049	0.071	0.976
35	45	20	0.006	0.047	0.061	0.976
35	50	15	0.010	0.090	0.088	0.963
35	55	10	0.008	0.081	0.074	0.967
35	60	5	0.040	0.276	0.130	0.890

همان‌طور که دیده شـــد، بهترین مدل برای پیش‌بینی سفتی (جدول ۱۱) موقعی به‌دست آمد که درصد داده‌های مورد اسـتفاده برای آموزش، اعتبار سـنجی و آزمون مدل به ترتیب ۶۰، ۳۵ و ۵ بود. همین‌طور، بر اســـاس جدول ۱۲ ، درصـــد داده‌های ۶۰، ۱۰ و ۳۰ بـه ترتیـب برای آموزش، اعتبارسـنجی و آزمون بهترین مدل پیش‌بینی مقدارآب پنیر تعیین شد.

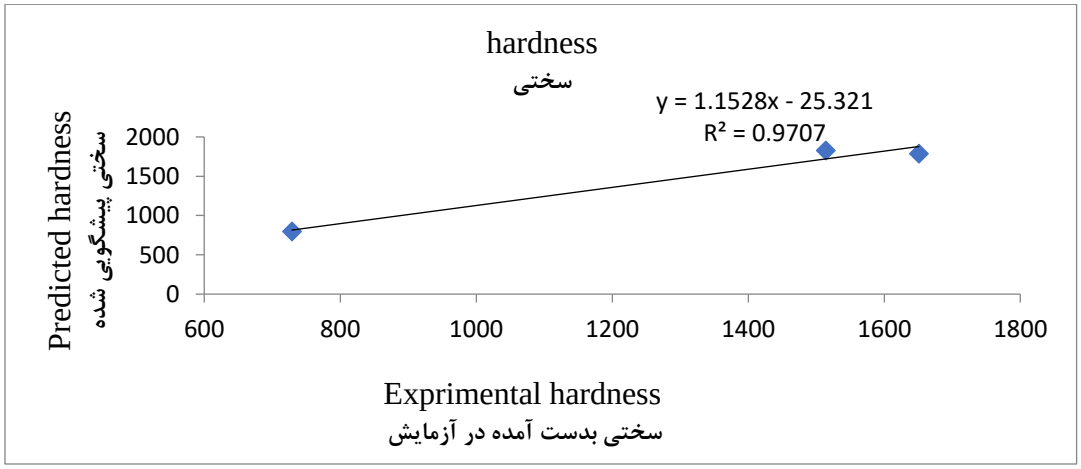
همچنین در پیش‌بینی pH پنیر، درصدهای ۳۵، ۲۰ و ۴۵ از داده‌ها برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون بهترین ضریب همبستگی را نشان داده‌اند (جدول ۱۳).

پیش‌بینی مقادیر سفتی، آب‌پنیر خروجی، و pH پنیر فتای فراپالایش توسط مدل همبستگی پیش‌بینی مقادیر سفتی توسط مدل با مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش-های عملی در شکل ۲ دیده می شود. بر این اساس، ضریب همبستگی بین پیش‌بینی مدل با داده‌های تجربی برای مقادیر سفتی تقریبا ۹۷ درصد به‌دست آمد.

ضـریب همبسـتگی بین داده‌های پیش‌بینی شـده با مدل و مقادیر به‌دســت‌آمده از آزمایش‌های عملی در مقدار آب‌پنیر به‌دسـت‌آمده نیز در شـکل ۳ دیده می شـود. بر این اسـاس، ضـریب همبســتگی بین پیش‌بینی مدل با داده‌های تجربی تقریبا ۸۲ درصد به‌دست آمد. پیش‌بینی مدل انتخاب شده در مقادیر pH در برابر مقادیر به‌دســت آمده از آزمایش‌های عملی در میزان pH در شـکل ۴ بیانگر ضـریب همبسـتگی مناســب بین پیش‌بینی مدل با داده‌های تجربی و در حدود ۹۷ درصد است.

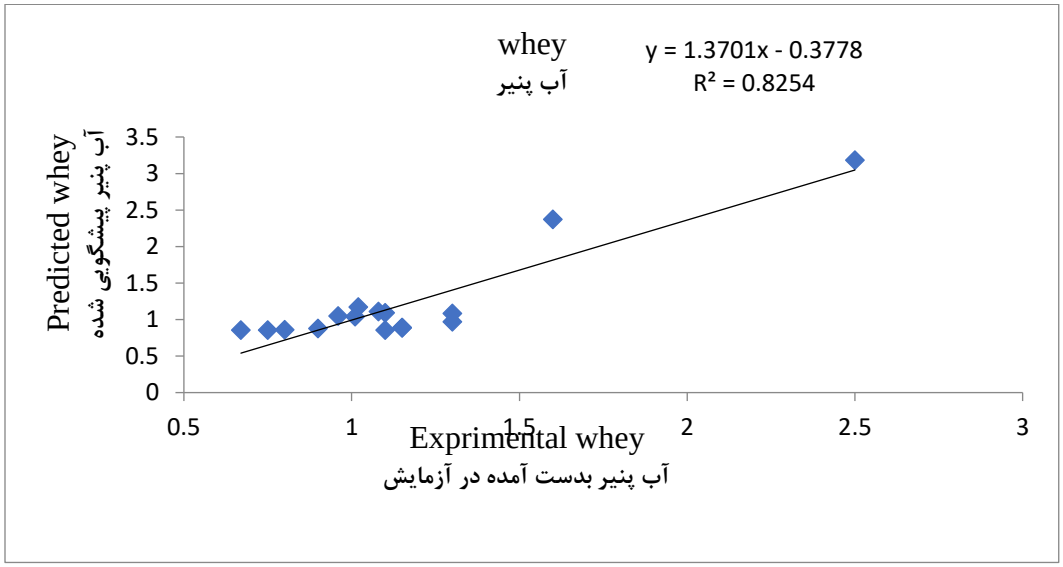
حساسیت مدل

در انتهای این تحقیق میزان حساسیت مدل به ورودی‌ها یا همان پارامترهای مسـتقل نیز بررسـی شـد که بر اسـاس شـکل ۵ مدل در پیش‌بینی مقدار سـفتی به وجود صـمغ زانتان حساسیت بیشتری دارد. این در حالی است که مدل برای پیش‌بینی میزان آب‌پنیر خروجی بیشـــتر بـه مقـدار استارتر و پودر آب‌پنیر حساسیت نشان داده است. سرانجام اینکه برای پیش‌بینی pH پنیر، مقدار اســـتارتر از ســـایر متغیرهای مســـتقل یا همان ورودی های مدل تاثیرگذارتر است .



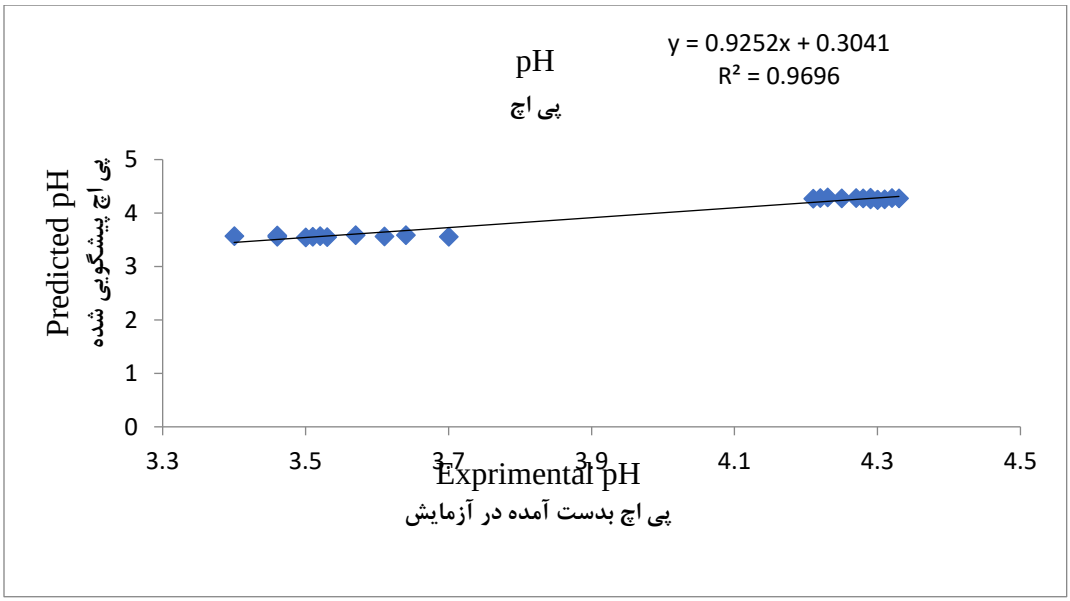
شکل۲- نمودار ضریب همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی شده با مدل و داده‌های تست شدهٔ آزمایشگاهی در میزان سفتی پنیر

Figure 2- The graph of the correlation coefficient between the data predicted by the model and the laboratory tested data in cheese hardness



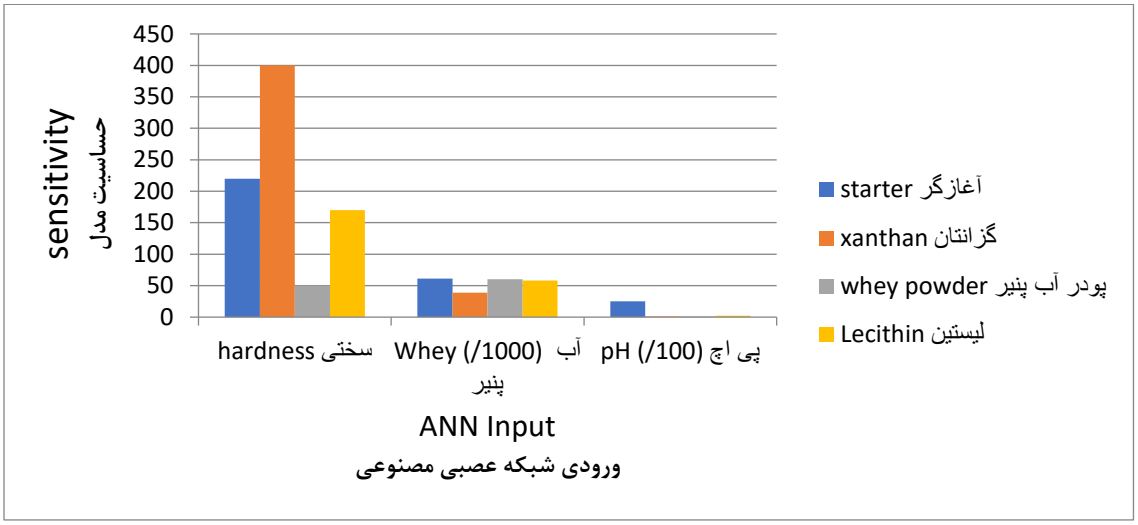
شکل۳- نمودار ضریب همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی شده با مدل و داده‌های تست شدهٔ آزمایشگاهی در میزان آب‌پنیر

Figure 3- Correlation coefficient diagram between the data predicted by the model and the laboratory tested data in the amount of whey



شکل٤- نمودار ضریب همبستگی بین داده‌های پیشگویی شده با مدل و داده‌های تست شده آزمایشگاهی در میزان pH

Figure 4- Graph of the correlation coefficient between the data predicted by the model and the laboratory tested data in pH



شکل۵- مقایسهٔ حساسیت نورون‌های ورودی (پارامترهای مستقل) بر مدل پیشگویی مقادیر سفتی، آب‌پنیر و pH پنیر فتای فراپالایش تولید شده با جایگزین چربی

Figure 5- Comparing the sensitivity of input neurons (independent parameters) on the prediction model of hardness, whey and pH values of ultra-refined feta cheese produced with fat substitute

صمغ زانتان یک اگزوپلی ساکارید طبیعی با وزن مولکولی بالا ست که توسط *زانتاموناس کامپستریس* تحت شرایط نامطلوب سنتز می‌شود. این صمغ در مواد غذایی به عنوان قوام دهنده، پایدارکننده، و امولسیفایر استفاده می‌شود (Salari *et al.*, 2017). در تحقیقی، مقایسهٔ نمونه‌های پنیر سفید ایرانی حاوی صمغ ریحان و زانتان با نمونه‌های حاوی ریحان/گوار نشان داد که نمونه‌های حاوی زانتان سختی بیشتری دارند که احتمالاً موید این مطلب است که این هیدروکلوئید تأثیر بیشتری در استحکام ژل پنیر تولیدی دارد و تأثیر گوار صرفاً قوام دهندگی است. سفتی پنیر شاخصی از استحکام ژل است و مطالعات نشان می‌دهد زانتان نقش مؤثری در استحکام ژل دارد (Hesarinejad *et al.*, 2021). آلمیدا و همکاران (Almeida, *et al.*, 2009). تأثیر پودر آب‌پنیر بر روند تغییرات اسیدیته و قابلیت زنده‌مانی مخلوط باکتری‌های سنتی ماست و انواع پروبیوتیک را بررسی کردند و نشان دادند که شمارش باکتری‌ها در حضور پودر آب‌پنیر به طور معنی‌داری بیشتر است که نشانگر اثر مثبت آن بر تعداد و فعالیت این باکتری‌هاست. وجود لاکتوز و پروتئین‌های آب‌پنیر باعث فعالیت بیشتر باکتری‌های لاکتیکی و افزایش تولید اسیدلاکتیک و حتی اسیدسیتریک می‌شود. آب‌اندازی خود به خودی بدون اعمال نیروی خارجی نیز درواقع نوعی انقباض ژل است که درنتیجهٔ بی‌ثباتی شبکهٔ ژلی ایجاد می‌شود و به کاهش توانایی ژل در نگهداری سرم می‌انجامد. با کاهش pH ، نیروی لازم برای فشرده‌شدن بافت کاهش می‌یابد. مقدار کلسیم نیز در توده‌های کازئینی کاهش می‌یابد و با ضعیف‌شدن شبکهٔ پروتئینی نیروی لازم برای فشرده‌شدن بافت کاهش پیدا می‌کند و به‌این‌ترتیب سینرزیس افزایش و خروج آب‌پنیر افزایش می‌یابد.

نتیجه گیری

نتایج کلی این تحقیق اعم از بهترین تابع پیش‌بینی، تعداد نورون، قانون یادگیری و درصد داده‌های مختلف لحاظ شده برای آزمون، ارزیابی و تست را می‌توان به‌صورت خلاصه در جدول ۱۴ مشاهده کرد.

جدول ١٤- نتیجه‌گیری کلی بر اساس قانون یادگیری، تابع انتقال و بهترین درصدهای آزمون، ارزیابی، و تست.

Table 14- General conclusion based on learning law, transfer function and best test percentages, evaluation and test

متغیر وابسته **Dependent variable**	لایه پنهان **Hidden Layer**	تعداد نرون **Number neuron**	تابع انتقال **Transfer Function**	قانون یادگیری **Learning Law**	درصد داده‌ها برای آموزش/ اعتبارسنجی / آزمون **Data Percentage for Learning/ Validation and test**	ضریب همبستگی **Correlation Coefficient**
Hardness **سفتی**	1	7	Sigmoid تابع سیگموئید	**Levenberg** **قانون لونبرگ**	5/35/60	0.985
whey **آب‌پنیر**	1	3	Tangent تابع تانژانت	**Levenberg** **قانون لونبرگ**	30/10/60	0.908
pH **پی اچ**	1	8	Sigmoid ـابع سیگموئید	**Levenberg** **قانون لونبرگ**	45/20/35	0.984

منابع

Almeida, K. E. D., Tamime, A. Y., & Oliveira, M. N. D. (2009). Influence of total solids contents of milk whey on the acidifying profile and viability of various lactic acid bacteria. LWT-Food Science and Technology, 42(2), 672-678.

Awad, S. (2006). Texture and flavour development in Ras cheese made from raw and pasteurised milk. Food chemistry, 97(3), 394-400.

Banks, J. M. (2004). The technology of low-fat cheese manufacture. International Journal of Dairy Technology, 57(4), 199-207.

Da Cruz, A. G., Walter, E. H. M., Cadena, R. S., Faria, J. A. F., Bolini, H. M. A., & Fileti, A. F. (2009). Monitoring the authenticity of low-fat yogurts by an artificial neural network. Journal of Dairy Science, 92(10), 4797-4804.

Danesh, E., Jooyandeh, H., Samavati, V., & Goudarzi, M. (2017). Effect of enzymatic transglutaminase treatment on textural and sensory properties of low-fat UF-Feta cheese incorporated with whey proteins using response surface optimization. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 13(2), 282-294.

Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. (2017). Fundamentals of cheese science.

Hakimzadeh, V. (2020). Modeling of Saffron Drying with Oven by Artifical Neural Network. Journal of Saffron Research, 8(1), 115-126.

Hesarinejad, M. A., Arefkhani, A., Rafe, A., Javidi, F., & Sadeghian, A. (2021). Investigating the qualitative, textural and sensory characteristics of low fat Iranian white cheese containing a mixture of basil seed gum with xanthan or guar.

Jalilzadeh, A., Hesari, J., Peighambardoust, S. H., & Javidipour, I. (2018). The effect of ultrasound treatment on microbial and physicochemical properties of Iranian ultrafiltered feta-type cheese. Journal of Dairy Science, 101(7), 5809-5820.

Lteif, L., Olabi, A., Baghdadi, O. K., & Toufeili, I. (2009). The characterization of the physicochemical and sensory properties of full-fat, reduced-fat, and low-fat ovine and bovine Halloumi. Journal of dairy science, 92(9), 4135-4145.

Lucca, P. A., & Tepper, B. J. (1994). Fat replacers and the functionality of fat in foods. Trends in Food Science & Technology, 5(1), 12-19.

Manolaki, P., Katsiari, M. C., & Alichanidis, E. (2006). Effect of a commercial adjunct culture on organic acid contents of low-fat Feta-type cheese. Food chemistry, 98(4), 658-663.

Omrani Khiabanian, N., Motamedzadegan, A., Naghizadeh Raisi, S., & Alimi, M. (2020). Chemical, textural, rheological, and sensorial properties of wheyless feta cheese as influenced by replacement of milk protein concentrate with pea protein isolate. Journal of texture studies, 51(3), 488-500.

Qods Rihani, M., Mortazavi, A., Mazaheri Tehrani, M., Razavi, S.M.A. (2009). Investigating the effect of process conditions on the physical, chemical and sensory characteristics of ultra-refined feta cheese produced from a mixture of cow's milk and soy milk. PhD thesis, Ferdowsi University Mashhad [in Persia].

Rashidi, H., Mazaheri-Tehrani, M., Razavi, S. M. A., & Ghods-Rohany, M. (2018). Improving Textural and Sensory Characteristics of L ow-Fat UF Feta Cheese Made with Fat Replacers.

Saint-Eve, A., Lauverjat, C., Magnan, C., Déléris, I., & Souchon, I. (2009). Reducing salt and fat content: Impact of composition, texture and cognitive interactions on the perception of flavoured model cheeses. Food chemistry, 116(1), 167-175.

Salari, S., Zanganeh, M., Fadavi, A., & Ahmadi, Z. (2017). Effect of xanthan gum and carboxymethyl cellulose on physical properties of cream cheese. International Journal of Advancements in Technology, 8(1), 1-5.

Sofu, A., & Ekinci, F. Y. (2007). Estimation of storage time of yogurt with artificial neural network modeling. Journal of Dairy Science, 90(7), 3118-3125.

Zarifpoor, M., & Hakimzadeh, V. (2018). Investigating of artificial neural network potential to predict the properties of refined raw sugar beet juice by electrocoagulation process. Ukrainian food journal, (7, Issue 4), 682-691.

Food Engineering Research/Vol.23/No.76/Spring & Summer 2024/P: 31-48

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Modeling the physicochemical characteristics of ultra-refined low-fat feta cheese produced with fat substitutes and additional starter by artificial neural network method

S. Ashkar, V. Hakimzadeh*, H. rashidi, S. Iravani kazar

***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of food science and technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.
Email: v.hakimzadeh@yahoo.com
Received:8 November 2023 **Accepted:** 13 January 2024
http://doi:. 10.22092/fooder.2024.364066.1377

Abstract

Nutritional problems, due to high amount of fat in some cheese, have caused the use of fat substitutes to be investigated. Modeling the hardness, whey and pH of UF low-fat feta cheese with three levels of lecithin at 0, 1 and 2 g/kg, three levels of 0, 10 and 20 g/kg of whey powder, xanthan gum. in amounts of 0, 1/2 and 1 g/kg and additional starter of *Lactobacillus paracasei* in two amounts of 1 and 3 g/l with artificial neural network in order to determine the best type of transfer function, type of learning law and percentage of data used for training, evaluation and the test was performed based on the lowest error and the highest correlation coefficient. The results showed that the best model for predicting cheese hardness changes was an algorithm with a hidden layer and the number of 7 neurons, under the sigmoid transfer function with Levenberg's learning law, which could show a good correlation coefficient (0.985). For whey, a model with a hidden layer, the number of 3 neurons and the tangent transfer function and Levenberg's learning law created the best algorithm with a correlation coefficient of 0.908. Also, the pH of cheese was predicted by a model with a hidden layer, the number of 8 neurons and the sigmoid transfer function under Levenberg's learning law and the correlation coefficient was 0.8493. The best percentage of data for education, evaluation and testing of hardness, whey and pH values were obtained 5.35.60, 30.10.60 and 45.20.35 respectively.

Keywords: Tangent, sigmoid, artificial neural network, Ultrafiltration, xanthan, *Lactobacillus paracasei*