

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

سحر آشکار^۱، وحید حکیم زاده^{۲*}، حسن رشیدی^۳، سینا ایروانی کازار^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد 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 آزاد 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 فراپالایشی کم‌چرب با سه سطح از لسیترین در مقادیر 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 شبکه عصبی مصنوعی به منظور تعیین بهترین نوع تابع انتقال، نوع قانون یادگیری و درصد داده‌های مورد استفاده برای مرحله 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 دلme 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 ۵/۳۵/۶۰، ۳۰/۱۰/۶۰ و ۴۵/۲۰/۳۵ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تانژانت، سیگموئید، شبکه عصبی مصنوعی، فراپالایشی، زانتان، لاکتوباسیلوس پاراکازئی

مقدمه

بسیاری از عناصر ضروری بدن دارد. (Fox et al., 2000). پنیر فراورده‌ای سرشار از کازئین و چربی (اجزای باقیمانده در دلme) و فقیر از ترکیبات انحلال‌پذیر در آب است (پروتئین‌های آب‌پنیری، لاکتوز و ویتامین‌های انحلال‌پذیر

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

سبب افزایش سفتی بافت می‌شود به طوری که با حذف بیشتر چربی، نقش تعیین کننده بافت بیشتر بر عهده 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 استراتژی‌های 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 روزمره 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 و یک گره خروجی (متغیر وابسته) برقرار می‌کنند. مدل‌سازی فرآیندها می‌تواند در پیش‌بینی عملکرد سیستم‌ها، تأثیر متغیرهای عملیاتی و طراحی فرآیندها نقش مهمی داشته باشد. شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده 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 به دست آوریم، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند سودمند باشد (Zarifpoor and Hakimzadeh, 2018).

در آب که بیشتر وارد آب‌پنیر می‌شوند). فتا پنیری سفید و نسبتاً نرم است که بعد از طی شدن مراحل رسیدن، در آب‌نمک نگهداری می‌شود. مزه شور و اندکی اسیدی از ویژگی‌های آن است و با داشتن ویژگی‌های خوب مورد قبول عده کثیری از مردم دنیا است (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 ماده 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 دلمه 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 فرآپالایش 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 فرآپالایش 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

لازم برای نفوذ میله فلزی تا عمق ۱۰ میلی متر بر اساس واحد گ اندازه گیری شد. سرعت نفوذ ۳۰ میلی متر در دقیقه بود. هر تست در سه تکرار اجرا گردید. صفات مورد نظر یعنی سفتی بر اساس واحد گرم طی این آزمون بررسی شد (Omran *et al.*, 2020).

میزان آب پنیر

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

pH

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

مدل سازی

در این تحقیق، به منظور مدل سازی از شبکه عصبی مصنوعی با نرم افزار نروسولوشن نسخه ۶ استفاده شد. در این مدل سازی مقدار لسیتین، زانتان، استارتر و پودر آب پنیر به عنوان متغیرهای مستقل یا همان ورودی های شبکه و ویژگی های سفتی، مقدار آب پنیر و pH به عنوان متغیرهای وابسته با خروجی های شبکه انتخاب گردید. تعداد کل داده ها ۵۴ بود. مدل سازی بر پایه یک لایه مخفی با تعداد ۲ تا ۲۰ نرون برای توابع انتقال تانژانت هیپربولیک و سیگموئید و تحت قواعد یادگیری لوبنبرگ مارکورات و مونتوم صورت گرفت. پس از انتخاب بهترین تابع انتقال و قاعده یادگیری و همچنین مناسب ترین تعداد نرون، برنامه برای درصدهای مختلف یادگیری، ارزیابی و تست اجرا شد. در مرحله آخر نیز مقادیر اندازه گیری شده به روش تجربی با مقادیر حاصل از تست شبکه عصبی مصنوعی مقایسه گردید. ارزیابی مدل ها با استفاده از متغیرهای آماری همچون میانگین مربع خطا

با توجه به موارد فوق، سعی شده است تا در این تحقیق از مدل سازی به وسیله شبکه عصبی برای پیشگویی ویژگی های فیزیکیوشیمیایی پنیر کم چرب فراپالایش با توجه به مقادیر متفاوتی از جایگزین های چربی و استارترهای الحاقی استفاده شود که به بهبود ویژگی های پنیر کم چرب کمک می کند.

مواد و روش ها

مواد

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

در تولید پنیر فتای فراپالایش کم چرب 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 آب پنیر 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 فیزیکیوشیمیایی و بافتی پنیر حاصل از آن مطالعه شد. در این تحقیق پیشگویی سه ویژگی سفتی به عنوان شاخصه ای از بافت، مقدار آب پنیر حاصل از دلمه به عنوان راندامان تولید و pH نهایی پنیر به روش شبکه عصبی مصنوعی مدل سازی شد (Rashidi *et al.*, 2018).

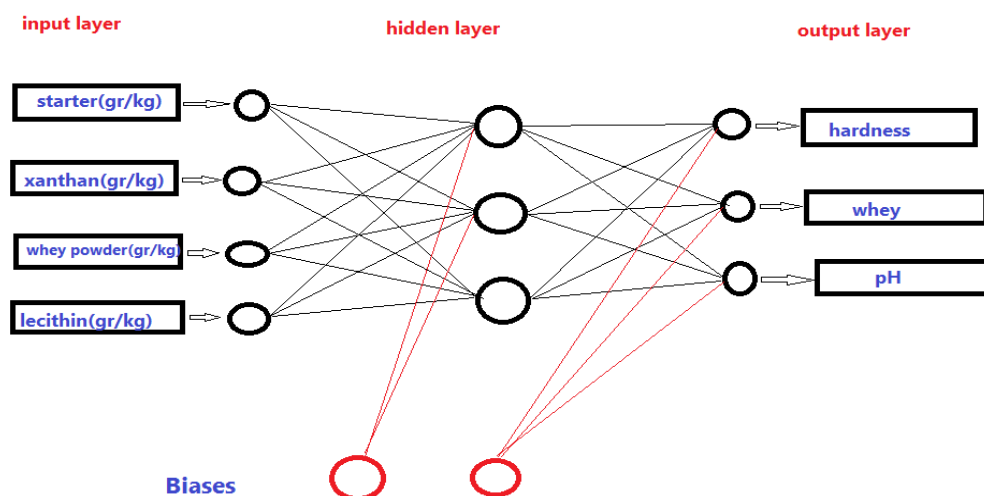
آزمون ها

سفتی

برای سنجش سفتی از آزمون نفوذ با دستگاه سنجش بافت مدل QTS25, CNS FARNEL ساخت بریتانیا و پروب استوانه ای با قطر ۳ میلی متر (میله فلزی) استفاده شد. ارتفاع نمونه های پنیر ۲۰ میلی متر در نظر گرفته شد و نیروی

بینی شده و مقادیر تجربی، مدل‌های انتخابی قابل قبول خواهد بود. (شکل ۱) ساختار شماتیک شبکه مورد استفاده برای مدل‌سازی اثر مقدار لسیتین، زانتان، استارتتر و پودر آب‌پنیر بر سفتی پنیر، میزان آب‌پنیر حاصل از آن، و pH را نشان می‌دهد.

(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. در صورت بالا بودن ضریب‌های همبستگی و به عبارتی سازگاری مقادیر پیش



شکل ۱ - شماتیک شبکه مورد استفاده برای مدل‌سازی اثر مقدار لسیتین، زانتان، استارتتر و پودر آب‌پنیر بر سفتی 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

سفتی پنیر

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، مدل پیشگویی سفتی پنیر فتای فرآپالایش به عنوان شاخصه‌ای از بافت در تابع انتقال سیگموئید نسبت به تابع انتقال تانژانت و تحت قانون یادگیری لونیگ دارای بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطا در تعداد نرون ۷ است. در حالی که تحت قانون یادگیری مومنتوم تابع انتقال تانژانت در تعداد نرون ۱۴ بهترین نتیجه را از نظر ضریب همبستگی و خطای مطلوب نشان می‌دهد (جدول ۲).

نتایج و بحث

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

میزان آب پنیر

همبستگی و کمترین خطا را دارد اما تابع انتقال تانژانت دارای ضریب همبستگی مناسب تری است.

مدل سازی با قانون یادگیری مومنتوم طراحی شبکه ضعیف تری را از نظر ضریب همبستگی و خطا برای پیشگویی مقدار آب پنیر در هر دو تابع انتقال نشان می دهد (جدول ۴).

همان طور که در جدول ۳ دیده می شود، پیشگویی میزان آب پنیر حاصل تحت قانون یادگیری لونبرگ در هر دو تابع سیگموئید و تانژانت در تعداد نرون ۳ بالاترین ضریب

جدول ۱ - ساختارهای مختلف از شبکه عصبی مصنوعی با نرون های مختلف با قانون یادگیری لونبرگ و دو تابع انتقال برای پیش بینی 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.

شماره نرون Neurons	سفتی Hardness					قانون لونبرگ Levenberg				
	تابع سیگموئید Sigmoid					تابع تانژانت Tangent				
	خطای مربعات MSE	میانگین مربعات NMSE	میانگین MAE	قدر مطلق خطا	ضریب تبیین R	خطای مربعات MSE	میانگین مربعات NMSE	میانگین MAE	قدر مطلق خطا	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	

جدول ۲- 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.

شماره نرون Neurons	سفتی Hardness				قانون مومنتوم Momentum			
	تابع سیگموئید Sigmoid				تابع تانژانت Tangent			
	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین
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

مدل سازی خصوصیات پنیر فتای فراپالایشی کم چرب تولید شده با جایگزین های چربی و استارتر الحاقی به روش شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۳- ساختارهای مختلف از شبکه عصبی مصنوعی با نرون های مختلف با قانون یادگیری لونیبرگ و دو تابع انتقال برای پیش بینی آب پنیر حاصل از پنیر فتای فراپالایشی 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 نرون	تابع سیگموئید Sigmoid				تابع تانژانت Tangent			
	میانگین مربعات خطای MSE	میانگین مربعات خطای نرمال شده NMSE	میانگین قدر مطلق خطای MAE	ضریب تبیین R	میانگین مربعات خطای MSE	میانگین مربعات خطای نرمال شده NMSE	میانگین قدر مطلق خطای 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

جدول ۴ - ساختارهای مختلف از شبکه عصبی مصنوعی با نرون های مختلف با قانون یادگیری مومنتوم و دو تابع انتقال برای پیش بینی آب پنیر حاصل از پنیر فتای فراپالایشی 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 نرون	تابع سیگموئید Sigmoid				تابع تانژانت Tangent			
	میانگین مربعات خطای MSE	میانگین مربعات خطای نرمال شده NMSE	میانگین قدر مطلق خطای MAE	ضریب تبیین R	میانگین مربعات خطای MSE	میانگین مربعات خطای نرمال شده NMSE	میانگین قدر مطلق خطای MAE	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	0.186	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

یادگیری مومنتوم در تابع انتقال تانژانت توانسته است مدل بهتری را برای پیشگویی pH در تعداد نرون ۳ ارائه کند. با این حال، در تابع انتقال سیگموئید نیز ضریب همبستگی مناسبی برای پیش‌بینی pH در پنیر ایجاد شد که در جدول ۶ دیده می‌شود.

بر اساس داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار نروسولوشن و جدول ۵، قانون یادگیری لونیبرگ تحت هر دو تابع سیگموئید و تانژانت و به ترتیب در تعداد نرون ۸ و ۱۲ توانست مدل بهتری را از نظر ضریب همبستگی (۰/۹۸۴) نسبت به تعداد نرون‌های دیگر طراحی کند. این در حالی است که قانون

جدول ۵- ساختارهای مختلف از شبکه عصبی مصنوعی با نرون‌های مختلف با قانون یادگیری لونیبرگ و دو تابع انتقال برای پیش‌بینی آب‌پنیر حاصل از پنیر فتای فرابالایش 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

Neurons شماره نرون	pH پی اچ				قانون لونیبرگ Levenberg			
	تابع سیگموئید Sigmoid				تابع تانژانت Tangent			
	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین
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

مدل سازی خصوصیات پنیر فتای فراپالایشی کم چرب تولید شده با جایگزین های چربی و استارتر الحاقی به روش شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۶- ساختارهای مختلف از شبکه عصبی مصنوعی با نرون های مختلف با قانون یادگیری مومنتوم و دو تابع انتقال برای پیش بینی آب پنیر حاصل از پنیر فتای فراپالایشی 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.

Neurons شماره نورون	تابع سیگموئید Sigmoid				تابع تانژانت Tangent			
	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین	MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب 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. مقایسه کلی دو قانون یادگیری مومنتوم و لونیبرگ در پیش بینی سفتی، آب پنیر 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

Parameter	Number of Neuron شماره ی نورون	Transfer Function تابع انتقال	Levenberg قانون لونیبرگ				Momentum قانون مومنتوم					
			MSE خطای میانگین مربعات	NMSE خطای میانگین مربعات نرمال شده	MAE میانگین قدرمطلق خطا	R ضریب تبیین	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 آب پنیر	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 سیگموئید را برای پیش‌بینی سفتی پنیر، میزان آب‌پنیر و pH آن مشاهده 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 & Ekinici, 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 شبکه‌های عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی ماست‌های تجاری مانند ماست‌های کم‌چرب و طعم‌دار با استفاده از داده‌های معمول صنعت لبنیات که به راحتی در آزمایشگاه به دست می‌آید، استفاده کردند. شبکه‌های عصبی با الگوریتم یادگیری لونبرگ-مارکوات در

جعبه 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. به این ترتیب 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 مرحله اول و بر اساس جدول ۸ تا ۱۰ بهترین شبکه‌های 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 مرحله بعد، با ثلثت در نظر گرفت درصد داده‌های به‌دست‌آمده در مرحله قبل بهترین درصد داده‌ها برای ارزیابی (اعتبارسنجی) و آزمون مدل هم تعیین شد که به ترتیب در جدول‌های شماره ۱۱ تا ۱۳ دیده می‌شود.

مدل سازی خصوصیات پنیر فتای فرایالایشی کم چرب تولید شده با جایگزین های چربی و استارتر الحاقی به روش شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۸- مقایسه درصد های مختلف از آموزش برای انتخاب بهترین مدل برای پیش بینی سفتی پنیر

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

Training Data (%)	Validation Data (%)	Testing Data (%)	MSE	NMSE	MAE	R
درصد داده ها برای آموزش	درصد داده ها برای اعتبارسنجی	درصد داده ها برای آزمون	خطای میانگین مربعات	خطای میانگین مربعات نرمال شده	میانگین قدر مطلق خطا	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

جدول ۹- مقایسه درصد های مختلف از آموزش برای انتخاب بهترین مدل برای پیش بینی آب پنیر

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

Training Data (%)	Validation Data (%)	Testing Data (%)	MSE	NMSE	MAE	R
درصد داده ها برای آموزش	درصد داده ها برای اعتبارسنجی	درصد داده ها برای آزمون	خطای میانگین مربعات	خطای میانگین مربعات نرمال شده	میانگین قدر مطلق خطا	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	0.314	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

جدول ۱۰- مقایسه درصد های مختلف از آموزش برای انتخاب بهترین مدل برای پیش بینی pH

Table 10- Compare different percentages of training to select the best model for pH prediction

Training Data (%)	Validation Data (%)	Testing Data (%)	MSE	NMSE	MAE	R
درصد داده ها برای آموزش	درصد داده ها برای اعتبارسنجی	درصد داده ها برای آزمون	خطای میانگین مربعات	خطای میانگین مربعات نرمال شده	میانگین قدر مطلق خطا	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 (%)	Validation Data (%)	Testing Data (%)	MSE	NMSE	MAE	R
درصد داده‌ها برای آموزش	درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی	درصد داده‌ها برای آزمون	خطای میانگین مربعات	خطای میانگین مربعات نرمال شده	میانگین قدرمطلق خطا	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 آب پنیر

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

Training Data (%)	Validation Data (%)	Testing Data (%)	MSE	NMSE	MAE	R
درصد داده‌ها برای آموزش	درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی	درصد داده‌ها برای آزمون	خطای میانگین مربعات	خطای میانگین مربعات نرمال شده	میانگین قدرمطلق خطا	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 (%)	Validation Data (%)	Testing Data (%)	MSE	NMSE	MAE	R
درصد داده‌ها برای آموزش	درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی	درصد داده‌ها برای آزمون	خطای میانگین مربعات	خطای میانگین مربعات نرمال شده	میانگین قدرمطلق خطا	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

به دست آمده نیز در شکل ۳ دیده می شود. بر این اساس، ضریب همبستگی بین پیش بینی مدل با داده های تجربی تقریباً ۸۲ درصد به دست آمد. پیش بینی مدل انتخاب شده در مقادیر pH در برابر مقادیر به دست آمده از آزمایش های عملی در میزان pH در شکل ۴ بیانگر ضریب همبستگی مناسب بین پیش بینی مدل با داده های تجربی و در حدود ۹۷ درصد است.

حساسیت مدل

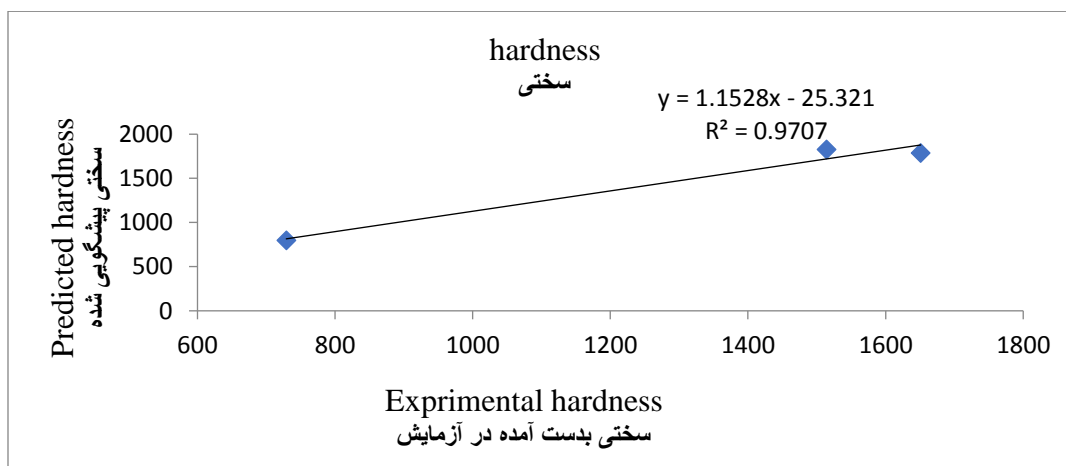
در انتهای این تحقیق میزان حساسیت مدل به ورودی ها یا همان پارامترهای مستقل نیز بررسی شد که بر اساس شکل ۵ مدل در پیش بینی مقدار سفتی به وجود صمغ زانتان حساسیت بیشتری دارد. این در حالی است که مدل برای پیش بینی میزان آب پنیر خروجی بیشتر به مقدار استارتر و پودر آب پنیر حساسیت نشان داده است. سرانجام اینکه برای پیش بینی pH پنیر، مقدار استارتر از سایر متغیرهای مستقل یا همان ورودی های مدل تاثیرگذارتر است.

همان طور که دیده شد، بهترین مدل برای پیش بینی سفتی (جدول ۱۱) موقعی به دست آمد که درصد داده های مورد استفاده برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون مدل به ترتیب ۶۰، ۳۵ و ۵ بود. همین طور، بر اساس جدول ۱۲، درصد داده های ۶۰، ۱۰ و ۳۰ به ترتیب برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون بهترین مدل پیش بینی مقدار آب پنیر تعیین شد.

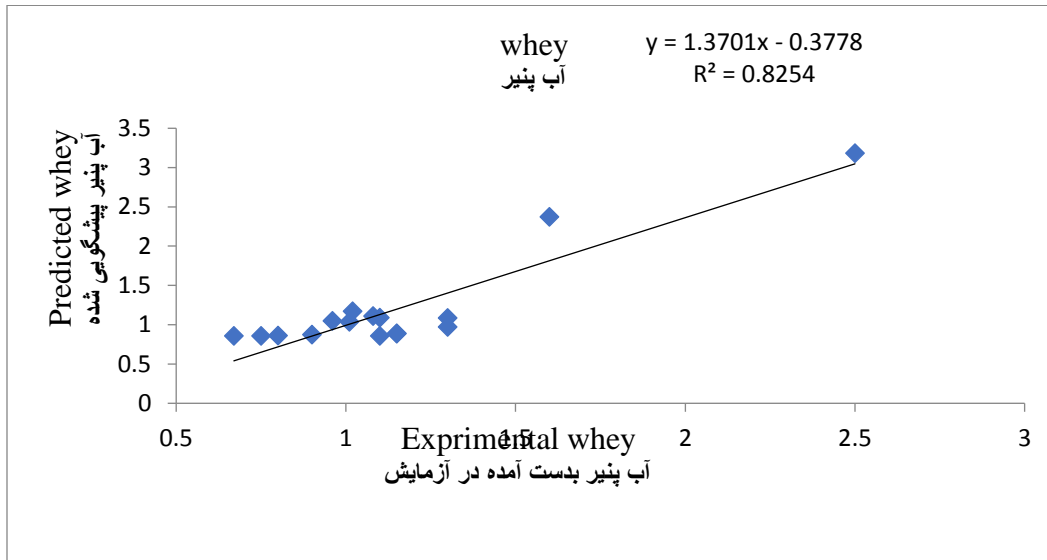
همچنین در پیش بینی pH پنیر، درصدهای ۳۵، ۲۰ و ۴۵ از داده ها برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون بهترین ضریب همبستگی را نشان داده اند (جدول ۱۳).

پیش بینی مقادیر سفتی، آب پنیر خروجی، و pH پنیر فتای فرآپالایش توسط مدل همبستگی پیش بینی مقادیر سفتی توسط مدل با مقادیر به دست آمده از آزمایش های عملی در شکل ۲ دیده می شود. بر این اساس، ضریب همبستگی بین پیش بینی مدل با داده های تجربی برای مقادیر سفتی تقریباً ۹۷ درصد به دست آمد.

ضریب همبستگی بین داده های پیش بینی شده با مدل و مقادیر به دست آمده از آزمایش های عملی در مقدار آب پنیر

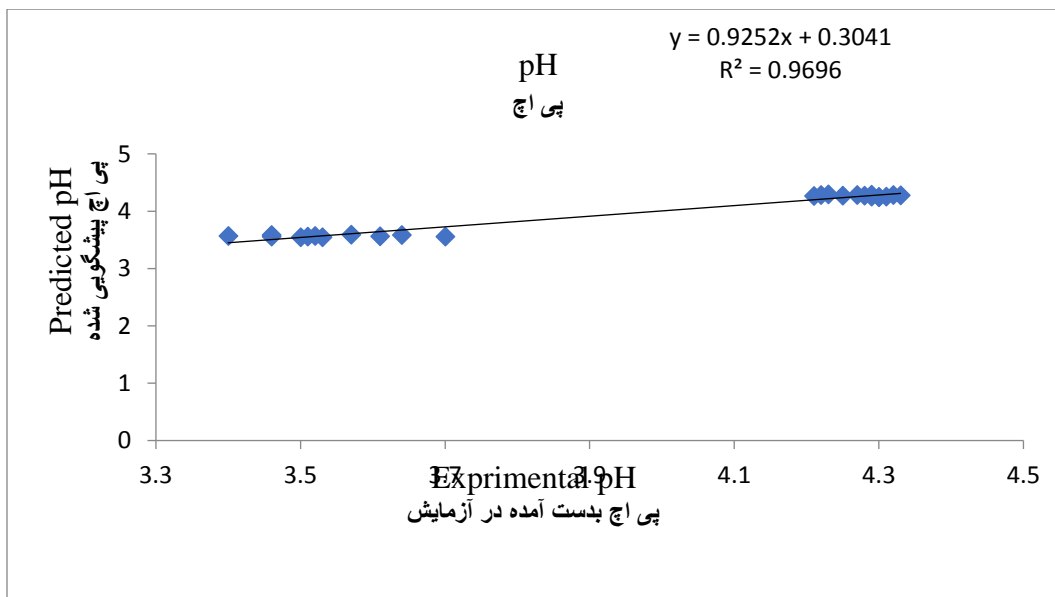


شکل ۲- نمودار ضریب همبستگی بین داده های پیش بینی شده با مدل و داده های تست شده آزمایشگاهی در میزان سفتی پنیر
Figure 2- The graph of the correlation coefficient between the data predicted by the model and the laboratory tested data in cheese hardness



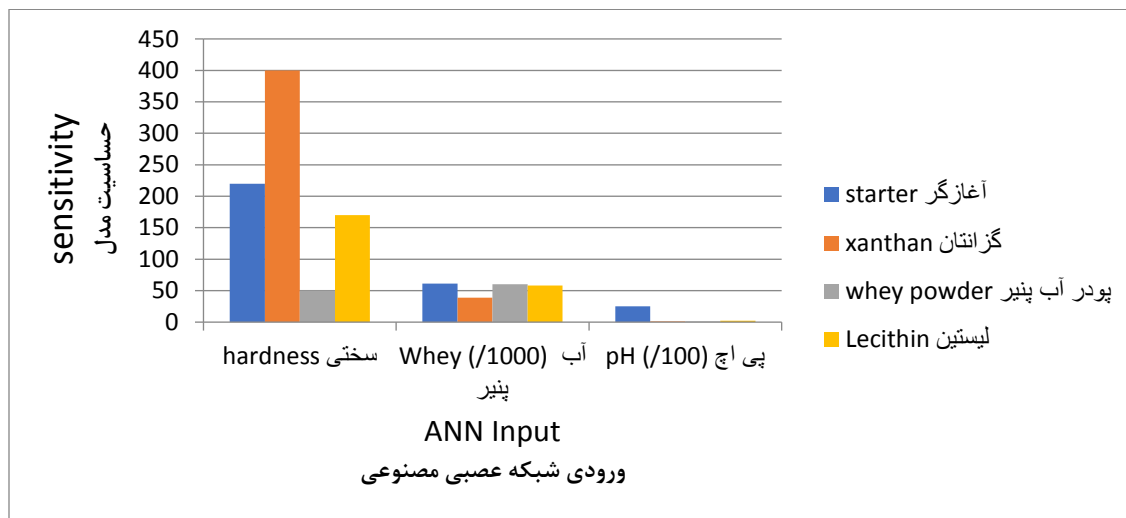
شکل ۳- نمودار ضریب همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی شده با مدل و داده‌های تست شده آزمایشگاهی در میزان آب پنیر

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



شکل ۴- 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



شکل ۵- مقایسه حساسیت نورون های ورودی (پارامترهای مستقل) بر مدل پیشگویی مقادیر سفتی، آب پنیر و pH پنیر فتای فراپالایشی 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

تعداد و فعالیت این باکتری هاست. وجود لاکتوز و پروتئین های آب پنیر باعث فعالیت بیشتر باکتری های لاکتیکی و افزایش تولید اسیدلاکتیک و حتی اسیدسیتریک می شود. آب اندازی خود به خودی بدون اعمال نیروی خارجی نیز در واقع نوعی انقباض ژل است که در نتیجه بی ثباتی شبکه ژلی ایجاد می شود و به کاهش توانایی ژل در نگهداری سرم می انجامد. با کاهش pH، نیروی لازم برای فشرده شدن بافت کاهش می یابد. مقدار کلسیم نیز در توده های کارزینی کاهش می یابد و با ضعیف شدن شبکه پروتئینی نیروی لازم برای فشرده شدن بافت کاهش پیدا می کند و به این ترتیب سینریزاس افزایش و خروج آب پنیر افزایش می یابد.

نتیجه گیری

نتایج کلی این تحقیق اعم از بهترین تابع پیش بینی، تعداد نورون، قانون یادگیری و درصد داده های مختلف لحاظ شده برای آزمون، ارزیابی و تست را می توان به صورت خلاصه در جدول ۱۴ مشاهده کرد.

صمغ زانتان یک اگزوپلی ساکارید طبیعی با وزن مولکولی بالا است که توسط *زانتاموناس کامپستریس* تحت شرایط نامطلوب سنتز می شود. این صمغ در مواد غذایی به عنوان قوام دهنده، پایدارکننده، و امولسیفایر استفاده می شود (Salari *et al.*, 2017). در تحقیقی، مقایسه نمونه های پنیر سفید ایرانی حاوی صمغ ریحان و زانتان با نمونه های حاوی ریحان/گوار نشان داد که نمونه های حاوی زانتان سختی بیشتری دارند که احتمالاً موید این مطلب است که این هیدروکلونید تأثیر بیشتری در استحکام ژل پنیر تولیدی دارد و تأثیر گوار صرفاً قوام دهنده است. سفتی پنیر شاخصی از استحکام ژل است و مطالعات نشان می دهد زانتان نقش مؤثری در استحکام ژل دارد (Hesarinejad *et al.*, 2021). آلמידا و همکاران (Almeida, *et al.*, 2009). تأثیر پودر آب پنیر بر روند تغییرات اسیدیته و قابلیت زندهمانی مخلوط باکتری های سنتی ماست و انواع پروبیوتیک را بررسی کردند و نشان دادند که شمارش باکتری ها در حضور پودر آب پنیر به طور معنی داری بیشتر است که نشانگر اثر مثبت آن بر

جدول ۱۴- نتیجه گیری 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

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

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 Artificial 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., Peighambaroust, 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 Khiabani, 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 Low-Fat UF Feta Cheese Made with Fat Replacers.
- Saint-Eve, A., Laverjat, 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.

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](https://doi.org/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*

