



ارزیابی مدل‌سازی فرآیند خشک کردن زعفران به روش آون‌گذاری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

وحید حکیم‌زاده*

۱- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.

* نویسنده مسئول: v.hakimzadeh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۲

چکیده

زعفران ارزشمندترین ادویه شناخته‌شده در دنیا است. کروسین، پیکروکروسین و سافرانال به ترتیب به عنوان شاخص رنگ، طعم و آرومای زعفران شناخته می‌شوند. خشک کردن از مهمترین مراحل مؤثر بر کیفیت نهایی زعفران از لحاظ میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال محسوب می‌گردد. در این تحقیق، کارایی فرآیند خشک کردن به روش آون‌گذاری بر اساس متغیرهای مهمی همچون دما، زمان و ضخامت لایه زعفران تحت مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی قرار گرفت. نتایج مدل‌سازی فرآیند خشک کردن زعفران به روش آون‌گذاری نشان داد که اگر تغییرات کروسین تحت قانون یادگیری مومنتوم و تابع انتقال تانژانت با تعداد نوروں ۸ و با ۲۵، ۵۵ و ۲۰ درصد داده‌ها به ترتیب برای آموزش ارزیابی و آزمون مورد استفاده قرار گیرد، بیشترین ضریب تعیین (۰/۹۱۴) را خواهد داشت. در حالیکه برای تغییرات میزان پیکروکروسین قانون یادگیری لونیبرگ و تابع انتقال تانژانت در تعداد نوروں ۱۲ بهترین شبکه را با ۵۰، ۲۵ و ۲۵ درصد داده‌ها به ترتیب برای آموزش، ارزیابی و آزمون ($R^2 = 0/986$) طراحی کرد. تغییرات سافرانال نیز با قانون یادگیری لونیبرگ و تابع انتقال سیگموئید در تعداد نوروں ۸ و با ۳۵، ۴۵ و ۲۰ درصد از داده‌ها برای آموزش، ارزیابی و آزمون با ضریب تعیین مناسب ۰/۹۸۱ مدل و توسط شبکه آن پیش‌بینی شد.

واژه‌های کلیدی: پیکروکروسین، سافرانال، قانون یادگیری لونیبرگ، کروسین.

مقدمه

کلاله گل زعفران پس از چیدن به دلیل فسادپذیری بایستی خشک شود. از طرفی، خشک کردن از مهمترین مراحل مؤثر بر کیفیت نهایی محصول از لحاظ میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال نیز محسوب می‌گردد. از روش‌های مرسوم خشک کردن در صنعت زعفران می‌توان به روش الک و هیتر (روش اسپانیایی)، آون‌گذاری، میکروویو، خشک کردن تحت خلأ و خشک کردن انجمادی اشاره کرد که هر کدام دارای مزایا و معایبی هستند. خشک کردن با آون به دلیل سرمایه‌گذاری پایین، انعطاف‌پذیری بالا و کنترل دقیق‌تر پارامترهای عملیاتی بیشتر در ایران مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، خشک کردن به هر روشی که باشد باید شرایط حاکم بر فرآیند خشک کردن به گونه‌ای باشد تا بیشترین میزان رنگ، طعم و عطر زعفران حفظ شود (Atefi et al., 2013; Delshad & Hakimzadeh, 2017).

سیستم شبکه عصبی مصنوعی الهام گرفته شده از مغز و سیستم شبکه عصبی انسان می‌باشد و مانند مغز انسان از تعداد زیادی نرون تشکیل شده است. این شبکه‌ها مانند مغز انسان دارای قابلیت یادگیری می‌باشند. در مواردی که تعداد زیادی از اطلاعات ورودی و خروجی یک سیستم در اختیار باشد و قرار باشد از آن اطلاعات، یک سیستم ساختاری تعریف شود تا بتواند در پیش‌بینی متغیرهای وابسته نسبت به تغییرات متغیرهای مستقل به خوبی عمل کند استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند سودمند باشد. تاکنون برای شبکه‌های عصبی، توپولوژی‌های مختلف همراه با کاربردهای متنوع ارائه شده‌اند که طیف وسیعی از موضوعات را پوشش می‌دهند (Shahriari et al., 2017). محققین توجه ویژه‌ای به مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی در صنایع مختلف معطوف داشته‌اند، چرا که شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی از داده ورودی و خروجی می‌باشند که در اکثر موارد نتایج قابل قبولی گزارش شده است (Delgerangeh et al., 1998).

به طور کلی، کارایی فرآیند خشک کردن به روش آون‌گذاری به متغیرهای مهمی همچون دما، زمان و ضخامت لایه بستگی دارد. بنابراین، مدل‌سازی به روش شبکه‌های

زعفران به عنوان یک محصول کشاورزی و دارویی گران‌بها، جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران دارد. علیرغم افزایش قیمت زعفران در سال‌های اخیر، مصرف آن به دلیل خاصیت رنگ‌دهی، عطر و طعم بالا به عنوان یک محصول طبیعی همواره رو به رشد بوده است (Madan et al., 1966; Rios et al., 1996).

بخش اعظم رنگدانه‌های زعفران از گروه کاروتنوئیدها هستند. در این بین، کروسین که در واقع، گلیکوزیل استرهای کروسین می‌باشد، بیشترین مقدار را دارا بوده و به عنوان شاخص رنگ معرفی شده است. کروسین حدود ۶ تا ۱۶ درصد کل مواد جامد زعفران را بسته به اکوتیپ، شرایط رشد و روش فرآوری داراست. کروسین به عنوان یک آنتی-اکسیدان با از بین بردن رادیکال‌های آزاد از سلول‌ها و بافت‌ها نیز در برابر اکسیداسیون محافظت می‌کند (Winterhalter et al., 2000; Atefi et al., 2013; Melynk & Wang, 2010). مؤثرترین ترکیبی که در تعیین مزه تلخ زعفران نقش دارد پیکروکروسین است که در واقع یک گلیکوزید بی رنگ و تلخ مزه است که از دو بخش قندی (D-گلوکز) و یک بخش غیرقندی (۴-هیدروکسی-بتا سیکلو سیترال) تشکیل شده است. میزان پیکرو کروسین در کلاله تازه زعفران ۵-۲ درصد (غالباً حدود چهار درصد) می‌باشد. این میزان پس از فرایندهای اعمال شده روی کلاله تازه زعفران که با تجزیه پیکروکروسین همراه است کاهش می‌یابد و از شدت تلخی زعفران کاسته می‌شود و همراه با این کاهش تدریجی، به علت افزایش قندهای حاصل از تجزیه رنگدانه‌ها و پیکروکروسین و نیز تولید ترکیبات عطری و اکسیداسیون چربی‌ها، تلفیقی از مزه‌های تلخی، شیرینی و یا ترشی ایجاد می‌شود. دگلیکوزیله شدن طبیعی پیکروکروسین ترکیب شیمیایی مهم دیگر زعفران، سافرانال را به وجود می‌آورد. سافرانال بیش از ۷۰ درصد ترکیبات عطری زعفران را تشکیل داده و شاخص عطر است. همانند دیگر ترپنوئیدها، سافرانال از پیش ساز گلیکوزیدی خود یعنی پیکروکروسین موجود در زعفران به وجود می‌آید. میزان سافرانال همانند دیگر ترکیبات عطری در کلاله تازه زعفران بسیار ناچیز می‌باشد، اما پس از اعمال فرآیندهای مختلف بر روی کلاله تازه افزایش می‌یابد (Trantilis et al., 1998; Atefi et al., 2013; Mylenk & Wang, 2010).

در این تحقیق جهت مدل‌سازی از شبکه عصبی مصنوعی با نرم‌افزار نروسولوشن نسخه ۶ استفاده گردید. در این مدل-سازی دما، ضخامت لایه زعفران و زمان به عنوان متغیرهای ورودی (مستقل) و کروسین، پیکروکروسین و سافرانال به عنوان متغیرهای خروجی (وابسته) انتخاب شد (شکل ۱). ابتدا کل داده‌ها (۴۵ عدد) کاملاً تصادفی شد و سپس ساختاربندی شبکه‌ای با یک لایه پنهان و تعداد نرون‌های مختلف تحت قانون یادگیری لوببرگ و مومنتوم و دو تابع انتقال تانژانت و سیگموئید مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین بهترین درصد داده‌ها به منظور آموزش، ارزیابی و آزمون این شبکه توسط نرم‌افزار تعیین و حساسیت تغییرات کروسین، پیکروکروسین و سافرانال نسبت به دما، ضخامت لایه زعفران و زمان نیز ارزیابی شد (Shahidi, 2012). ارزیابی مدل‌ها با استفاده از متغیرهای آماری همچون میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین مربع خطای نرمال شده ($NMSE$)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تعیین R^2 صورت گرفت و در نهایت، حالتی که مقادیر پیش-بینی به مقادیر تجربی بسیار نزدیک بودند، به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید (Razavi et al., 2003). روابط متغیرهای فوق در معادلات (۱) تا (۴) آورده شده است.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - T_i)^2}{N} \quad (1)$$

$$NMSE = \frac{1}{\sigma^2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - T_i)^2 \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |O_i - T_i| \quad (3)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - T_m)^2}} \quad (4)$$

در صورت بالا بودن ضرایب همبستگی و به عبارتی همبستگی مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر مشاهداتی، می‌توان گفت که مدل‌های انتخابی قابل قبول خواهند بود (Salehi & Razavi, 2012; Movagharnejad & Nikzad, 2007).

عصبی مصنوعی^۱ (ANN) می‌تواند به منظور پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌های خشک‌کن زعفران استفاده شود. لذا در این تحقیق به مدل-سازی فرآیند خشک کردن زعفران به روش آون‌گذاری پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

زعفران مورد بررسی در این تحقیق از زمین‌های اطراف شهرستان تربت حیدریه تهیه گردید. فرآیند خشک کردن زعفران در آون خشک کن (شرکت فراکارتوس، ایران) در سه دمای ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، سه ضخامت ۰/۵، ۱/۲۵ و ۲ سانتی‌متر و پنج فاصله زمانی یکسان در بازه ۸۰ تا ۲۰۰ دقیقه (۴۵ آزمایش) بر میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال صورت پذیرفت (Delshad & Hakimzadeh, 2017).

اندازه‌گیری سافرانال، کروسین و پیکروکروسین

ابتدا ۰/۵ گرم زعفران با آسیاب دستی پودر شد، به طوری که ۹۰ درصد آن از الک با مش ۱۰۰ میکرون عبور نماید. زعفران آسیاب شده به بالن ژوژه ۱۰۰۰ سی سی منتقل شد و ۸۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و به مدت یک ساعت بر روی همزن برقی (مدل $IKA-RH$) ساخت کشور کره جنوبی) با دور ۱۰۰۰ قرار داده شد. سپس ۲۰۰ میلی‌لیتر دیگر آب مقطر برای به حجم رساندن نهایی بالن به آن اضافه گردید. در نهایت، ۲۰ میلی‌لیتر از محلول فوق به بالن ژوژه ۲۰۰ میلی‌لیتری منتقل گردید و به حجم رسانده شد. محلول فوق بوسیله پمپ خلأ و قیف میلی‌پور استیل فیلتر شد. در نهایت، میزان جذب محلول فیلتر شده درون سل کوارتز با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل جن وی ۶۸۵۰- ساخت انگلستان) قرائت شد (ISIRI, 2001).

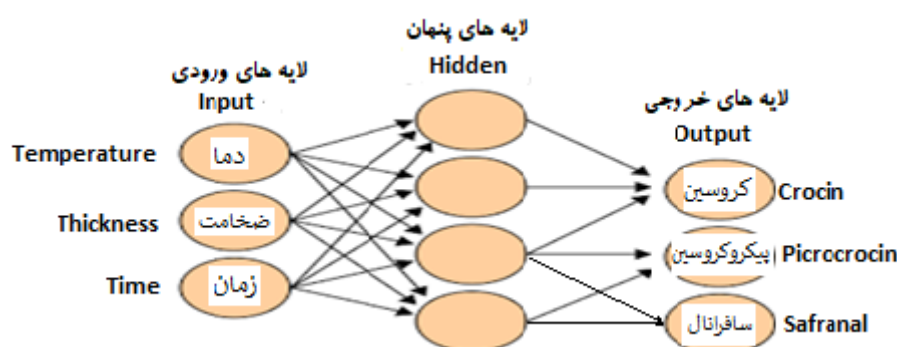
جهت اندازه‌گیری سافرانال، کروسین و پیکروکروسین، ابتدا دستگاه اسپکتروفتومتر با آب مقطر کالیبره شد. پس از آن سل کوارتز پر شده با نمونه فیلتر شده در مرحله قبل مطابق با طول موج مورد نظر برای تعیین هر یک از موارد فوق طبق جدول ۱ درون اسپکتروفتومتر قرار داده شد و مقدار جذب آن قرائت گردید (Atefi et al., 2013; ISO-Method, 2003; Sujata et al., 1992).

مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۱. طول موج‌های اندازه‌گیری کروسین، پیکروکروسین و سافرانال زعفران

Table 1. The wavelengths associated with the measurement of crocin, Picrocrocin and safranal of saffron

نام ماده Material name	طول موج ویژه (نانومتر) Specific wave length (nm)
کروسین Crocin	440
پیکروکروسین Picrocrocin	357
سافرانال Safranal	330



شکل ۱. لایه‌های ورودی و خروجی شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی کروسین، پیکروکروسین و سافرانال زعفران
Fig. 1. Input and output layers of artificial neural network for predicting crocin, picrocrocin and safranal of saffron

شبکه از نظر ضریب تعیین بالا و خطای کم مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب که ابتدا بهترین درصد داده‌ها برای یادگیری با بیشترین ضریب تعیین انتخاب شد. سپس با مشخص شدن بهترین درصد داده‌ها برای یادگیری، مناسب‌ترین درصد داده‌ها نیز برای ارزیابی و آزمون (جدول‌های ۵ تا ۷) درمورد کروسین، پیکروکروسین و سافرانال بدست آمد. همانطور که در جدول‌های ۵ تا ۷ مشاهده می‌شود، بهترین ضریب تعیین در پیش‌بینی مقدار کروسین توسط شبکه با اختصاص ۲۵ درصد از داده‌ها برای آموزش، ۵۵ درصد برای ارزیابی شبکه و ۲۰ درصد برای آزمون شبکه بدست آمد. همچنین بهترین مدل برای پیش‌بینی پیکروکروسین با درصدهای ۵۰، ۲۵ و ۲۵ از داده‌ها برای آموزش، ارزیابی و تست بدست آمد؛ در حالی که بهترین ضریب تعیین مدل برای پیش‌بینی میزان سافرانال مربوط به ۳۵، ۴۵ و ۲۰ درصد از داده‌ها به ترتیب برای آموزش، ارزیابی و آزمون بود.

نتایج و بحث

تعیین بهترین پیکربندی شبکه عصبی مصنوعی همانطور که در جدول‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است، خطا و ضریب تعیین هر نرون با قوانین یادگیری و توابع انتقال اشاره شده مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب برای پیش‌بینی کروسین شبکه‌ای با تعداد نرون هشت، تابع انتقال تانژانت، تحت قانون یادگیری مومنتوم و بر اساس بیشترین ضریب تعیین انتخاب شد. برای تغییرات پیکروکروسین نیز تابع انتقال تانژانت با قانون یادگیری لونیبرگ در تعداد نرون شماره ۱۲ بهترین شبکه با بیشترین ضریب تعیین را ارائه داد. در حالی که برای سافرانال نرون شماره شش با تابع انتقال سیگموئید و قانون لونیبرگ توانست شبکه‌ای با بهترین ضریب تعیین را طراحی کند.

بررسی درصدهای مناسب آموزش، ارزیابی و آزمون شبکه در ادامه این تحقیق، درصد داده‌های اختصاص داده شده برای آموزش، ارزیابی و آزمون به منظور بهترین طراحی

جدول ۲. بهترین طراحی شبکه عصبی مصنوعی بر اساس تعداد نرون و تابع انتقال تحت قانون یادگیری مومنتوم برای پیش‌بینی میزان کروسین زعفران طی خشک کردن به روش آون‌گذاری

Table 2. The best architectures of ANN in different of number of neurons and transfer function under Momentum learning law for crocin of saffron during drying by oven method

Crocin (کروسین)		Momentum (قانون یادگیری مومنتوم)						
No. of Neurons (تعداد نرون)	Sigmoid (تابع سیگموئید)				Tangent (تابع تانژانت)			
	میانگین مربعات خطا MSE	میانگین مربع خطای نرمال شده NMSE	میانگین خطای مطلق MAE	ضریب تعیین R ²	میانگین مربعات خطا MSE	میانگین مربع خطای نرمال شده NMSE	میانگین خطای مطلق MAE	ضریب تعیین R ²
2	68.162	1.716	6.502	0.663	46.192	1.102	5.356	0.032
3	42.986	1.112	5.996	0.563	34.392	0.914	4.652	0.545
4	41.274	1.440	5.472	0.680	51.232	1.125	5.956	0.637
5	34.245	0.785	5.115	0.642	41.535	0.996	4.412	0.616
6	38.741	0.923	5.802	0.423	70.253	1.302	6.652	0.354
7	35.001	0.915	5.425	0.577	35.852	0.875	4.632	0.549
8	30.330	0.774	5.126	0.635	25.438	0.902	5.425	0.889
9	36.103	1.012	5.225	0.405	63.704	1.524	7.144	0.519
10	32.458	0.892	4.752	0.607	92.123	2.321	6.342	0.699
11	36.179	0.910	5.191	0.695	36.354	0.925	5.002	0.468
12	39.127	0.899	5.256	0.483	58.452	1.214	6.145	0.737
13	37.452	1.105	5.302	0.437	20.564	0.512	3.521	0.636
14	36.320	0.911	5.102	0.625	68.853	1.532	6.754	0.685
15	36.143	0.822	5.205	0.544	67.694	1.625	6.245	0.494
16	35.007	0.852	5.335	0.665	91.202	2.224	6.927	0.443
17	36.133	0.835	5.211	0.623	42.562	0.845	4.652	0.572
18	31.114	0.864	4.910	0.668	95.534	3.211	8.422	0.111
19	33.904	0.799	5.001	0.599	77.723	4.742	8.632	0.202
20	33.597	0.865	4.870	0.624	86.761	2.253	8.521	0.696

جدول ۳. بهترین طراحی شبکه عصبی مصنوعی بر اساس تعداد نرون و تابع انتقال تحت قانون یادگیری لوبنبرگ برای پیش‌بینی میزان پیکروکروسین زعفران طی خشک کردن به روش آون‌گذاری

Table 3. The best architectures of ANN in different of number of neurons and transfer function under Levenberg learning law for picrocrocin of saffron during drying by oven method

Picrocrocin (پیکروکروسین)		Levenberg (قانون یادگیری لوبنبرگ)						
No. of Neurons (تعداد نرون)	Sigmoid (تابع سیگموئید)				Tangent (تابع تانژانت)			
	میانگین مربعات خطا MSE	میانگین مربع خطای نرمال شده NMSE	میانگین خطای مطلق MAE	ضریب تعیین R ²	میانگین مربعات خطا MSE	میانگین مربع خطای نرمال شده NMSE	میانگین خطای مطلق MAE	ضریب تعیین R ²
2	0.014	0.075	0.172	0.965	0.051	0.119	0.218	0.949
3	0.046	0.082	0.152	0.960	0.039	0.081	0.159	0.962
4	0.032	0.075	0.176	0.965	0.035	0.082	0.156	0.967
5	0.036	0.076	0.1139	0.966	0.145	0.219	0.324	0.832
6	0.027	0.048	0.118	0.984	0.026	0.056	0.119	0.971
7	0.029	0.059	0.125	0.974	0.040	0.086	0.123	0.965
8	0.026	0.052	0.142	0.976	0.036	0.079	0.139	0.968
9	0.035	0.064	0.148	0.963	0.028	0.066	0.125	0.977
10	0.037	0.059	0.129	0.970	0.019	0.042	0.109	0.984

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

11	0.029	0.039	0.119	0.976	0.032	0.072	0.163	0.972
12	0.021	0.048	0.110	0.982	0.011	0.115	0.188	0.991
13	0.041	0.088	0.185	0.968	0.025	0.059	0.1132	0.975
14	0.032	0.049	0.142	0.974	0.059	0.114	0.218	0.959
15	0.037	0.059	0.141	0.972	0.016	0.031	0.118	0.987
16	0.052	0.079	0.165	0.965	0.053	0.104	0.205	0.955
17	0.042	0.091	0.195	0.959	0.022	0.036	0.141	0.982
18	0.024	0.042	0.101	0.984	0.066	0.152	0.236	0.942
19	0.036	0.072	0.014	0.992	0.031	0.066	0.160	0.976
20	0.027	0.055	0.123	0.977	0.032	0.075	0.159	0.979

جدول ۴. بهترین طراحی شبکه عصبی مصنوعی بر اساس تعداد نرون و تابع انتقال تحت قانون یادگیری لوبنبرگ برای پیش‌بینی میزان سافرانال زعفران طی خشک به روش آون‌گذاری

Table 4. The best architectures of ANN in different of number of neurons and transfer function under Levenberg learning law for safranin of saffron during drying by oven method

Safranin (سافرانال)	Levenberg (قانون یادگیری لوبنبرگ)							
	Sigmoid (تابع سیگموئید)				Tangent (تابع تانژانت)			
No. of Neurons (تعداد نرون‌ها)	میانگین مربعات خطا MSE	میانگین مربع خطای نرمال شده NMSE	میانگین خطای مطلق MAE	ضریب تعیین R ²	میانگین مربعات خطا MSE	میانگین مربع خطای نرمال شده NMSE	میانگین خطای مطلق MAE	ضریب تعیین R ²
2	60.523	0.298	6.112	0.848	65.215	0.230	6.315	0.830
3	52.252	0.297	5.845	0.856	71.358	0.365	6.055	0.831
4	51.562	0.214	5.352	0.880	66.584	0.085	6.717	0.941
5	57.842	0.289	5.421	0.859	98.325	0.458	7.890	0.741
6	11.025	0.066	2.913	0.986	12.345	0.012	2.410	0.967
7	55.472	0.125	5.352	0.895	25.395	0.421	3.970	0.933
8	19.012	0.096	2.462	0.975	60.852	0.211	5.266	0.785
9	35.852	0.184	5.335	0.941	21.958	0.098	3.613	0.925
10	39.128	0.197	5.485	0.936	29.374	0.523	3.351	0.958
11	42.252	0.044	2.645	0.970	21.854	0.042	3.253	0.956
12	11.285	0.063	2.095	0.983	32.523	0.079	3.424	0.960
13	22.604	0.074	3.127	0.967	24.632	0.052	2.728	0.969
14	20.485	0.066	3.412	0.957	42.845	0.142	4.764	0.949
15	32.811	0.203	4.148	0.926	12.225	0.011	2.812	0.974
16	44.201	0.247	6.523	0.868	45.235	0.236	6.780	0.849
17	53.175	0.244	6.099	0.873	29.374	0.121	4.302	0.945
18	12.129	0.039	2.278	0.980	48.005	0.523	5.830	0.888
19	17.793	0.114	3.852	0.974	32.896	0.062	2.602	0.967
20	26.666	0.156	3.345	0.940	20.342	0.101	3.274	0.955

جدول ۵. تعیین بهترین درصد از داده ها برای آموزش، ارزیابی و آزمون شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش بینی میزان کروسین زعفران

Table 5. Determining the best percentage of data for training, evaluation and testing to predict crocin of saffron by ANN

درصد داده های آموزش Training data (%)	درصد داده های ارزیابی Validation data (%)	درصد داده های آزمون Testing data (%)	ضریب تعیین R ²	میانگین خطای مطلق MAE	میانگین مربع خطای نرمال شده NMSE	میانگین مربعات خطا MSE
25	5	70	17.425	0.895	6.097	0.165
25	10	65	11.578	0.933	5.894	0.258
25	15	60	15.742	0.782	4.118	0.663
25	20	55	19.245	0.712	5.121	0.642
25	25	50	17.117	0.432	4.581	0.786
25	30	45	14.241	0.563	3.459	0.795
25	35	40	10.715	0.709	4.714	0.823
25	40	35	17.138	0.615	5.452	0.765
25	45	30	21.719	0.719	5.005	0.647
25	50	25	22.404	0.526	2.699	0.775
25	55	20	18.025	0.494	3.346	0.914
25	60	15	16.102	0.565	3.624	0.821
25	65	10	17.843	0.611	4.975	0.855
25	70	5	21.426	0.702	5.324	0.765

جدول ۶. تعیین بهترین درصد از داده ها برای آموزش، ارزیابی و آزمون شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش بینی میزان پیکروکروسین زعفران

Table 6. Determining the best percentage of data for training, evaluation and testing to predict picrocrocinn of saffron by ANN

درصد داده های آموزش Training data (%)	درصد داده های ارزیابی Validation data (%)	درصد داده های آزمون Testing data (%)	ضریب تعیین R ²	میانگین خطای مطلق MAE	میانگین مربع خطای نرمال شده NMSE	میانگین مربعات خطا MSE
50	5	45	0.016	0.029	0.095	0.923
50	10	40	0.026	0.065	0.112	0.942
50	15	35	0.031	0.054	0.139	0.965
50	20	30	0.045	0.095	0.174	0.967
50	25	25	0.031	0.066	0.132	0.986
50	30	20	0.024	0.075	0.162	0.961
50	35	15	0.023	0.052	0.123	0.952
50	40	10	0.038	0.125	0.152	0.924
50	45	5	0.056	0.142	0.195	0.965

جدول ۷. تعیین بهترین درصد از داده‌ها برای آموزش، ارزیابی و آزمون شبکه عصبی به منظور پیش‌بینی میزان سافرانال زعفران

Table 7. Determining the best percentage of data for training, evaluation and testing to predict safranal of saffron by ANN

درصد داده‌های آموزش	درصد داده‌های ارزیابی	درصد داده‌های آزمون	ضریب تعیین R^2	میانگین خطای مطلق MAE	میانگین مربع خطای نرمال شده NMSE	میانگین مربعات خطا MSE
Training data (%)	Validation data (%)	Testing data (%)				
35	5	60	79.261	0.532	7.810	0.686
35	10	55	92.519	0.450	5.733	0.768
35	15	50	25.356	0.139	3.454	0.938
35	20	45	23.722	0.135	3.814	0.939
35	25	40	36.537	0.216	4.647	0.913
35	30	35	32.312	0.179	4.205	0.933
35	35	30	20.036	0.101	3.569	0.951
35	40	25	16.263	0.082	3.413	0.853
35	45	20	45.952	0.231	4.926	0.981
35	50	15	83.160	0.461	7.329	0.770
35	55	10	79.761	0.442	7.535	0.753
35	60	5	36.979	0.127	3.755	0.965

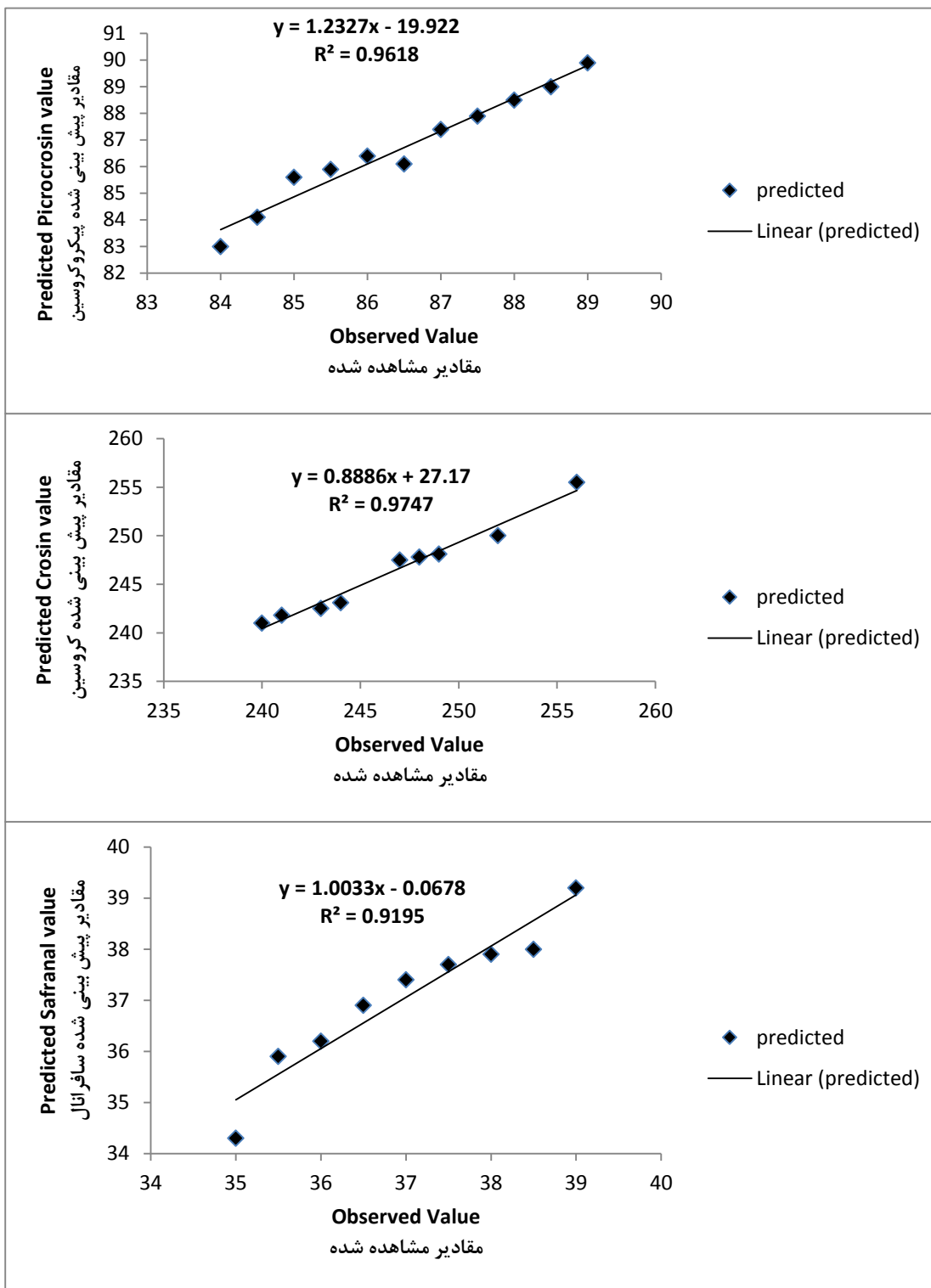
درجه سانتی‌گراد سبب کاهش کروسین و پیکروکروسین شد. آخوندی و همکاران (Akhondi et al., 2012) نیز کاهش کروسین را در دمای بالاتر از ۶۵ درجه سانتی‌گراد طی خشک کردن با آون الکتریکی گزارش کردند. دلیل این امر آن است که کروسین به عنوان یک کارتنوئید می‌تواند به شدت در معرض تخریب حرارتی و اکسایشی قرار داشته باشد (Gregory et al., 2005)، اما با گذشت زمان و اعمال انرژی بیشتر و در اثر تجزیه پیکروکروسین مقدار سافرانال افزایش می‌یابد، اما به دلیل آنکه سافرانال یک آلدئید فرار می‌باشد با افزایش بیشتر انرژی و به دنبال آن افزایش دما از مقدار این ماده کاسته شده است (Mazloumi et al., 2007).

بررسی همبستگی مقادیر آزمون شده توسط شبکه با داده‌های آزمایشگاهی

شکل ۲ همبستگی داده‌های تجربی (آزمایشگاهی) با داده‌های پیش‌بینی شده (مدل) توسط شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد. نتایج حاصله از بررسی نشان داد که مقادیر آزمون شده کروسین، پیکروکروسین و سافرانال توسط مدل به ترتیب با ضرایب ۰/۹۷۴، ۰/۹۶۱ و ۰/۹۱۹ با مقادیر آزمایشگاهی همبستگی داشتند.

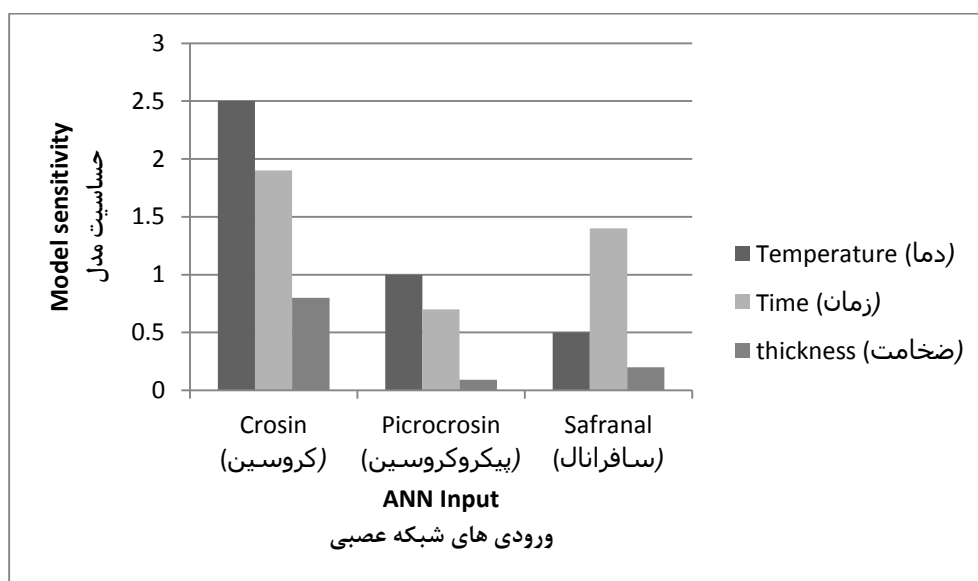
تعیین حساسیت مدل به داده‌های ورودی

در انتهای این تحقیق حساسیت مدل‌ها نسبت به متغیرهای عملیاتی یا همان داده‌های ورودی مورد ارزیابی قرار گرفت که بر اساس شکل ۳ بیشترین حساسیت مدل برای پیش‌بینی کروسین و پیکروکروسین مربوط به دما و برای پیش‌بینی میزان سافرانال مربوط به زمان بود. در این رابطه ریوس و همکاران (Rios et al., 1996) نیز طی تحقیقات خود نشان دادند که افزایش دمای آون الکتریکی بالاتر از ۴۰



شکل ۲. ضرایب تعیین بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی برای کروسین، پیکروکروسین و سافراناال زعفران

Fig. 2. R^2 coefficients between observed and predicted values and predicted values by the model for the crocin, picrocrocin and safranal of saffron



شکل ۳. حساسیت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نسبت به داده‌های ورودی برای پیش‌بینی کروسین، پیکروکروسین و سافرانال زعفران

Fig. 3. The sensitivity of the ANN's models for prediction of crocin, picrocrocin, and safranal of saffron

در تعداد نورون ۱۲ بهترین شبکه را با ۵۰، ۲۵ و ۲۵ درصد داده‌ها به ترتیب برای آموزش، ارزیابی و آزمون ($R=0/986$) طراحی کرد. تغییرات سافرانال نیز با قانون یادگیری لونتبرگ و تابع انتقال سیگموئید در تعداد نورون ۸ و با ۳۵، ۴۵ و ۲۰ درصد از داده‌ها برای آموزش، ارزیابی و آزمون با ضریب تعیین بالا با مقدار $0/981$ مدل و توسط شبکه آن پیش‌بینی شد.

نتیجه‌گیری

نتایج مدل‌سازی فرآیند خشک کردن زعفران به روش آون‌گذاری نشان داد که اگر تغییرات کروسین تحت قانون یادگیری مومنتوم و با تابع انتقال تانژانت با تعداد نورون ۸ و با ۲۵، ۵۵ و ۲۰ درصد داده‌ها به ترتیب برای آموزش ارزیابی و آزمون مورد استفاده قرار گیرد بیشترین ضریب تعیین ($0/914$) را خواهد داشت؛ در حالی که برای تغییرات میزان پیکروکروسین قانون یادگیری لونتبرگ و تابع انتقال تانژانت

منابع

- Atefi, M., Akbari Oghaz, A.R., and Mehri, A., 2013. Drying effects on chemical and sensorial characteristics of saffron. *Iran. J. Nutrition Sci. & Food Technol.* 8(3), 201-208. [in Persian with English Summary].
- Bansi, L., Raina, S.G., Agarwal, B., Ashok, K., Bhatia, I., and Govind, S.G., 1996. Changes in pigments and volatiles of saffron (*Crocus sativus* L.) during processing and storage. *J. Sci. Food Agric.* 71, 27-32.
- Delgerange, N., Cabassud, C., Cabassud, M., Durand-Bourlier, L., and Lain, J.M., 1998. Neural network for prediction of ultrafiltration transmembrane pressure application to drink water. *J. Membr. Sci.* 150, 111-123.
- Delshad, S., and Hakimzadeh, V., 2017. Optimization of saffron drying parameters by using oven and microwave using response surface methodology. *J. Saffron Res.* 5(2), 151-162. [in Persian with English Summary].
- Gregory, M.J., Menary, R.C., and Davies, N.W., 2005. Effect of drying temperature and air flow on the production and retention of secondary metabolites in saffron. *J. Agric. Food Chem.* 53, 5969-5975.
- ISIRI., 2001. General Saffron Specification. No. 259, Institute of Standards and Industrial Research of Iran. [in Persian].
- ISO-3632-2-2003., 2003. Part I: Specification, Part 2: Test Methods. International Organization for Standardization, Geneva.

- Madan, C., Kapur, B., and Gupta, U., 1966. Saffron. *Econ. Bot.* 20(4), 377-85.
- Akhondi, E., Kazemi, A., and Maghsoodi, V., 2012. Determination of a suitable thin layer drying curve model for saffron (*Crocus sativus L.*) stigmas in an infrared dryer. *Sci. Iran.* 18(6), 1397-1401. [in Persian with English Summary].
- Mazloumi, M., Taslimi, A., Jamshidi, A., Atefi, M., Haj Seyed Javadi, N., Komeyli Fanood, R., Seyed Ahmadian, F., Falahat Pish, H., Choobdar, N., Hadian, Z., Golestan, B., and Shafighi, A., 2007. Comparing the effects of drying methods using by vacuum, freezing, sun, microwave with traditional method on properties of Ghaen saffron. *Iran. J. Nutr. Sci. & Food Technol.* 2(1), 69-76. [in Persian with English Summary].
- Melynk, J.P., Wang, S., and Marcone, M.F., 2010. Chemical and biological properties of the world's most expensive spice: Saffron. *Food Res. Int.* 43, 1981-1989.
- Movagharnejad, K., and Nikzad, M., 2007. Modeling of tomato drying using artificial neural network. *Comp. Elect. P.* 78-85.
- Rios, J., Recio, M., Giner, R., and Manez, S., 1996. An update review of saffron and its active constituents. *Phytother. Res.* 10(3), 189-93.
- Razavi, S.M.A., Mousavi, S.M., and Mortazavi, S.A., 2003. Dynamic prediction of milk ultrafiltration performance: A neural network approach. *Chem. Eng. Sci.* 58, 4185-4195.
- Salehi, F., and Razavi, S.M.A., 2012. Dynamic modeling of flux and total hydraulic resistance in nano filtration treatment of regeneration waste brine using artificial neural network. *Desalin. Water Treat.* 41, 95-104.
- Shahidi Noghabi, M., Razavi, S.M.A., and Mousavi, S.M., 2012. Prediction of permeate flux and ionic compounds rejection of sugar beet press water nanofiltration using artificial neural networks. *Desalin. Water Treat.* 44(1-3), 83-91.
- Shahriari, S., Hakimzadeh, V., and Shahidi, M., 2017. Modeling the efficiency of microfiltration process in Reducing the hardness, improvement the non-sugar component rejection and purity of raw sugar beet juice. *Ukr. Food J.* (6)4, 648-660.
- Sujata, V., Ravishankar, G., and Venkataraman, L., 1992. Methods for the analysis of the saffron metabolites crocin, crocetins, Picrocrocin and safranal for the determination of the quality of the spice using thinlayer chromatography, high-performance liquid chromatography and gas chromatography. *J. Chromatogr. A.* 624(1), 497-502.
- Trantilis, A.P., Beljebbar, A., Manfair, M., and Polissou, M.F.T., 1998. Raman spectroscopic study of carotenoids from saffron (*Crocus sativus L.*) and some derivatives. *Spectroch. Acta.* 54, 651-657.
- Winterhalter, P., and Straubinger, M., 2000. Saffron-renewed interest in an ancient spice. *Food Rev. Int.* 16(1), 39-59.



Original Article:

Modeling of Saffron Drying with Oven Using by Artificial Neural Network

Vahid Hakimzadeh*

1- Assistant professor, Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.

**Corresponding author Email: v.hakimzadeh@yahoo.com*

Received 16 August 2019; Accepted 01 February 2020

Abstract

Saffron is the most valuable spice known in the world. Crocin, picrocrocin and safranal are known as saffron color, taste and aroma indices, respectively. Also, drying process is one of the most important processes that affecting on its quality in terms of crocin, picrocrocin and safranal contents. In this study, the efficiency of drying process by oven method based on important variables such as temperature, time and thickness of saffron layer were modeled by artificial neural network (ANN) method. The results showed that if crocin changes under momentum learning rule and tangent transfer function with 8th neurons and 25, 55 and 20% of the data were used for evaluation and test training, respectively; the coefficient has the highest correlation coefficient (0.914). Whereas for the changes of picrocrocin, the Levenberg learning law and the tangent transfer function in the neurons of 12 designed the best networks with 50, 25 and 25% of data for training, evaluation and testing, respectively (R= 0.986). Safranal value was also predicted by the Levenberg learning law and Sigmoid transfer function in neuron number 8 with 35, 45 and 20% of the data for training, evaluation and testing with appropriate correlation coefficient of 0.981 and predicted by its network.

Keywords: Crocin, Levenberg learning law, Picrocrocin, Safranal.