

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی فازی ویژگی‌های ظاهری زعفران با استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی

ایمان ذباح^{۱*}، زهرا حیدران داروقه امنیه^۲، بهناز بهزادیان^۳ و رویا رضایی^۴

- ۱- گروه کامپیوتر، واحد تربت حیدریه، دانشگاه آزاد اسلامی، تربت حیدریه، ایران؛ و پژوهشگر پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
 - ۲- گروه برق، واحد دولت‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
 - ۳- دانش‌آموخته کارشناسی گروه برق و کامپیوتر، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
 - ۴- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تربت حیدریه، دانشگاه آزاد اسلامی تربت حیدریه، ایران؛ و پژوهشگر پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
- تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳

چکیده

ایران بزرگ‌ترین تولیدکننده زعفران در جهان است. زعفران دارای اهمیت بالایی اقتصادی است و به دلیل افزایش فعالیت رقابتی صادراتی، نیازمند حمایت و گسترش و توسعه صادرات است. روند رو به رشد سهم صادرات زعفران از یک‌سو و درآمدزایی و کارآفرینی برای روستاییان کشور از سوی دیگر، لزوم توجه به این محصول را دوچندان می‌کند. رقابت در این عرضه و با وجود رقابتی قدرتمند در گرو مکانیزه کردن فرایندهای کاشت تا برداشت و درجه‌بندی تا بسته‌بندی امکان‌پذیر خواهد بود. بنابراین، ارزیابی ویژگی‌های ظاهری زعفران به منظور درجه‌بندی صحیح نیاز اساسی محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر، ویژگی‌های ظاهری با هدف درجه‌بندی زعفران با استفاده از روش‌های مختلف هوش مصنوعی شامل شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP)، (LVQ)، شبکه عصبی غیر نظارت شده (SOM)، سیستم‌های فازی (FNN) و سیستم استنتاج فازی عصبی (ANFIS) بررسی شده است. پایگاه داده مورد مطالعه مربوط به ۱۱۳ نمونه زعفران است که در ۴ طبقه زعفران پوشال (نگین)، پوشال درجه ۲ (خوب)، پوشال درجه سه (معمولی) و پوشال درجه چهار (ضعیف) که محققان این پژوهش آنها را گردآوری کرده‌اند. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که درجه‌بندی زعفران با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت در مدل ANFIS نسبت به دیگر روش‌ها بهتر است، به طوری که دقت طبقه‌بندی ۹۷/۵ درصد و میزان خطای ۰/۳۴۸۴ در تشخیص نمونه‌های آزمون به دست آمد.

واژه‌های کلیدی

درجه‌بندی زعفران، سیستم استنتاج فازی عصبی، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

گل‌دهی آن در اواسط پاییز شروع می‌شود و رشد رویشی گیاه تا اردیبهشت‌ماه به طول می‌انجامد (Jafarbeyglu & Mobaraky, 2008). زعفران گیاهی تریپلوئید^۳ و عقیم است و اجزای آن شامل سه

زعفران^۱ گران‌ترین ادویه جهان است که به نام طلای سرخ شهرت دارد و یکی از اعضای خانواده زنبقیان^۲ و از نوع پیازدار است (Aliabadi, 2013)

<http://doi: 10.22092/AMSR.2024.364271.1471>

Email: imanzabbah@gmail.com

*نگارنده مسئول:

1- Saffron (*Crocus sativus* L.)

2- Iridaceae

3- Triploid

به رونق بیشتر صنعت کشت زعفران در کشور شود (Saeidirad & Zarifneshat, 2021). طی تحقیقی، مکانیزه کردن جداسازی کلاله زعفران از پرچم و گلبرگ از طریق یک تونل باد عمودی و جداسازی اجزی گل در رطوبت‌های مختلف، با استفاده از منطق فازی بررسی شدند (Sadeghiravesh et al., 2012). رشید و همکاران (Rashid Sorkhabadi et al., 2016) نواحی مستعد کشت زعفران شهرستان تربت حیدریه را با استفاده از نقشه‌های سطوح ارتفاعی، شیب، ویژگی‌های خاک و آب و برخی فاکتورهای اقلیمی تأثیرگذار در کشت زعفران به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP^۶) ارزیابی و پهنه‌بندی کردند. محمدزاده و همکاران (Mohamadzadeh Moghadam et al., 2020) با طبقه‌بندی زعفران با استفاده از ویژگی‌های رنگی استخراج شده از تصویر و به کارگیری روش مبتنی بر بینایی ماشین یک بانک اطلاعاتی متشکل از ۴۴۰ تصویر را از زعفران برای سه کلاس مختلف جمع‌آوری کردند. نتیجه این تحقیق حصول میانگین دقت ۸۲/۲۳ درصد با استفاده از طبقه‌بندی کننده SVM بود. در تحقیقی دیگر ریاحی مدور و همکاران (Riahi Modavar et al., 2017) پیش‌بینی و تحلیل عدم قطعیت مدل شبکه عصبی مصنوعی را با استفاده از ۳۷ مؤلفه مختلف بر اساس داده‌های اقلیمی ۲۰ ساله استان خراسان جنوبی، در تخمین عملکرد زعفران در برنامه تحقیقی خود قرار دادند. در مطالعه‌ای دیگر، برای ارزیابی توان اراضی منطقه هوراند در تولید گندم آبی، با روش فازی-دلفی برای مدل‌سازی و تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفته است (Sadeghi Ravesh et al., 2021). زرقانی و همکاران (Zarghani et al., 2016) با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۷ (MLP)،

کاسبرگ^۱، سه گلبرگ^۲، سه پرچم^۳ و یک مادگی^۴ با کلاله^۵ سه شاخه است (Beiki, 2014). زعفران، طالب مناطق گرم و خشک با زمستان‌های ملایم و سرد است و بعد از طی یک دوره خواب ۵ ماهه از نیمه اردیبهشت‌ماه، دیگر نیاز به آبیاری ندارد. با توجه به این موضوع که ۱۶ استان کشور با وسعت ۵۷/۵ میلیون هکتار در شرایط بیابانی قرار گرفته‌اند و با محدودیت شدید منابع آبی روبه‌رو هستند، شناخت این گونه گیاهی به عنوان گیاهی با نیاز آبی اندک و بهبود بهره‌وری آن امری ضروری در اقتصاد کشاورزی است (Sanaeinejad et al., 2010). سالیانه حدود ۳۳۰ تن زعفران در جهان تولید می‌شود که ایران با تولید ۲۸۰ تن زعفران مقام اول را از نظر کمیت در جهان دارد و گفته شده هم اکنون ۹۴ درصد زعفران جهان در ایران تولید می‌شود (Dehbashi, 2022). تولید زعفران عمدتاً بر دانش بومی متکی است و از این‌رو بهره‌وری این محصول در ایران در مقایسه با سایر کشورهای تولیدکننده کمتر است (Nekouei et al., 2014). بهره‌گیری از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایندهای مختلف زعفران، از مرحله کاشت تا بسته‌بندی، می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری تولید گردد. در یک نگاه کلی می‌توان مطالعات مختلف با محوریت هوش مصنوعی در حوزه زعفران را به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

پیشرفت در زمینه هوش مصنوعی در کشاورزی، الگوریتم‌های دقیق، قوی و کم هزینه‌ای را ارائه می‌دهد که می‌توان از آنها برای تشخیص کیفیت مواد غذایی و نیز درجه‌بندی کیفیت زعفران استفاده کرد (Mohamadzadeh Moghadam et al., 2020). خودکارسازی مبتنی بر سیستم‌های هوشمند می‌تواند قیمت تمام شده محصول را کاهش دهد و منجر

1- Sepal

3- Stamen

5- Stigma

7- Multi-Layer Perceptron

2- Petal

4- Carpel

6- Fuzzy Analytical Hierarchy Process

تحقیقات نوین پیش‌بینی به دور مانده است و معدودی از مطالعات به درجه‌بندی زعفران در بخش کشاورزی پرداخته‌اند (Karbasi *et al.*, 2020).

در پژوهش حاضر تلاش شده است تا زعفران بدون دخالت دست و به صورت هوشمند، درجه‌بندی شود زیرا خطای انسانی در این پروسه که منجر به درجه‌بندی ناصحیح زعفران می‌شود بسیار محتمل است و می‌تواند چرخه ورود زعفران - به آزمایشگاه و قیمت‌گذاری آن را دچار مشکل کند. آنچه در این تحقیق دغدغه اصلی نگارندگان است، طراحی سیستم هوشمند تصمیم‌گیر به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی و نصیبی فازی بر اساس ویژگی‌های ظاهری زعفران است تا برآورد دقیق‌تری در تعیین درجه‌بندی زعفران بشود.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های مورفولوژیکی مانند طول و ضخامت کلاله، به واسطه نقش آن در خصوصیات ادویه‌ای، اهمیت زیادی در تجارت زعفران دارد. به همین دلیل در ارزیابی تنوع و طبقه‌بندی آن استفاده می‌شود (Caiola & Canini, 2010). در این مطالعه، هفت ویژگی کلیه نمونه‌ها شامل درشتی کلاله، رنگ زعفران، میزان کلاف، خامه، رطوبت، گرده و بقایای مواد خارجی توسط کارشناس خبره طبقه‌بندی بر اساس این ۷ پارامتر طبقه‌بندی شده و زعفران به یکی از ۴ کلاس درجه یک، خوب، معمولی، معمولی درجه دو تقسیم می‌شود. شکل ۱ چگونگی تخمین ۷ ویژگی زعفران را از نظر ظاهری نشان می‌دهد.

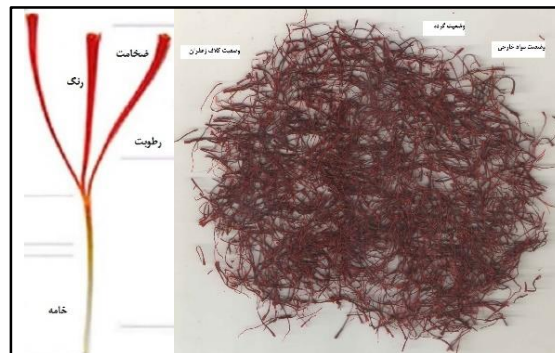
روابط بین پارامترهای خاک زعفران را تعیین کردند. نتایج مطالعه‌ای در خصوص تخمین عملکرد زعفران با استفاده از شبکه‌های عصبی پس انتشار خطا^۱ نشان می‌دهد که بافت خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده ویژگی‌های رشدی و عملکرد گل زعفران محسوب می‌شود (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2022). در خصوص دسته‌بندی زعفران و استفاده از روش‌های هوشمند نیز مطالعات محدودی صورت گرفته است. برای نمونه، بیکی (Beiki, 2014) با استفاده از روش‌های داده‌کاوی غیر نظارت شده و بر اساس الگوریتم‌های k-Means و k-Medoids، به خوشه‌بندی با دقت و صحت بیش از ۹۰ درصد دست یافتند. در تحقیقات طاهری و همکاران (Taheri *et al.*, 2012)، مدل فرآیندسازی اولترافیلتراسیون^۲ غشای گلبرگ زعفران با توجه به داده‌های آزمایشگاهی برای پیشگویی شار پرمیت^۳ در جداسازی غشایی آنتوسیانین^۴ از گلبرگ زعفران، به وسیله سیستم استنتاج فازی به دست آمد. استفاده از مدل‌های فازی در حوزه صادرات زعفران نیز مورد توجه محققین بوده است. آقایی (Aghaei & Rezagholizadeh, 2011) مزیت پویایی زعفران خراسان را در برابر دیگر محصولات کشاورزی بررسی کردند. یونسسی و گودرزی (Younesi & Goodarzi, 2016) در مطالعه‌ای قیمت صادراتی زعفران را با استفاده از داده‌های ماهانه ۱۳۶۱-۱۳۹۳، بر اساس مدل‌های سیستم عصبی فازی، شبکه عصبی و بازگشتی پیش‌بینی کردند. به رغم پژوهش‌های متعدد، بازار محصولات کشاورزی از عرصه

1- Back Propagation of Error

3- Permit Flux

2- Ultrafiltration

4- Anthocyanin



شکل ۱- نمونه زعفران و تخمین هفت پارامتر ظاهری

Fig. 1- Bulk saffron sample and estimation of 7 appearance parameters

برای نمونه، وقتی یک کیلوگرم زعفران از طرف این جدول، هفت ویژگی زعفران و ۴ نوع دسته‌بندی کشاورز به منظور ارزیابی عرضه می‌شود، کارشناس (فرد مشاهده می‌شود. پس از بررسی ۱۱۳ نمونه زعفران نتایج خبره) فرم اولیه را مطابق جدول ۱ تکمیل می‌کند. در

جدول ۱- فرم اولیه ثبت اطلاعات زعفران

Table 1- The initial form for registering bulk saffron information

نوع پارامتر Parameter Type	عنوان پارامتر Parameter Title	درجات هر پارامتر The Degrees of each Parameter		
ورودی (ویژگی‌ها) Input (Features)	درشتی کلاله	خیلی خوب	Very Good	خوب
	Large Stigma	متوسط	Median	بد
	رنگ Color	روشن / شفاف	Bright/ Nitid	روشن / کدر
		معمولی	Normal	کمی تیره
		کاملاً تیره	Quite Dark	مخلوط تیره و روشن
	کلاف	کاملاً کلاف	Full Skein	کلاف خوب
	Skein	کلاف متوسط	Median Skein	بدون کلاف
	خامه	زیاد	High	معمولی
	Style	کم	Low	خیلی کم
	رطوبت	خشک	Dry	رطوبت کم
خروجی دسته‌بندی Classification	Moisture	رطوبت زیاد	High Moisture	
	گرده Pollen	بدون گرده	Without Pollen	کم
		معمولی	Normal	زیاد
		خیلی زیاد	Very High	
	بقایای مواد خارجی Remnants of Foreign Matter	کم	Low	معمولی
		زیاد	High	خیلی زیاد
	دسته‌بندی Classification	درجه یک	classy	خوب
		معمولی	Normal	معمولی درجه دو
	خروجی Output			

لازم است گفته شود پارامترهای مندرج در جدول ۱ بر اساس تحلیل‌هایی اخذ شده است که در شرکت‌های بسته‌بندی و صادرات زعفران به منظور ارزیابی اولیه آن صورت می‌پذیرد، اما برخی از این پارامترها به عنوان معیار علمی در پژوهش‌های مختلف استفاده شده است. برای نمونه، در پژوهش علی‌آبادی (Aliabadi, 2012) به منظور دسته‌بندی زعفران از پارامتر میزان رنگ و بوی زعفران استفاده شده است. در پژوهش مقدسی (Moghaddasi, 2010) به این نکته اشاره شده که گرده پرچم گل زعفران دارای یک گلوکوزید متبلور است و می‌تواند در کیفیت بسته‌بندی زعفران اثر مخربی داشته باشد. در پژوهش قرآنی و همکاران (Qurani et al., 2017) به تأثیرات دما و رطوبت نسبی و ریزگردها (مواد زائد) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی زعفران اشاره شده است. این پژوهش نشان می‌دهد که افزایش رطوبت، آهنگ خروج ترکیبات مؤثر زعفران را افزایش می‌دهد و در کیفیت طبقه‌بندی این محصول تأثیر بسزایی خواهد داشت. در پژوهش مرادی‌نژاد و همکاران (Birjandi Toroghi et al., 2023) نشان داده شده است که شرایط مختلف خشک کردن و نگهداری سبب کاهش کیفیت و مواد مؤثر کلالة زعفران می‌شود و با تأثیرگذاری در طبقه‌بندی زعفران از ارزش و اعتبار آن برای صادرات می‌کاهد.

نرمال‌سازی داده‌ها

با توجه به اینکه ورود داده‌ها به شکل خام باعث کاهش سرعت و دقت در مدل‌سازی‌های عصبی می‌شود و همچنین به لحاظ یکسان کردن ارزش داده‌های ورودی، نرمال کردن داده‌ها با رابطه ۱ خواهد بود.

$$X_n = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

که در آن،

X_n = داده نرمال شده؛ X = داده اولیه (نرمال نشده)؛ X_{max} و X_{min} = به ترتیب حداکثر و حداقل داده‌های ورودی.

داده‌های آموزش و آزمون

مطالعه حاضر روی ۱۱۳ نمونه زعفران با وزن یکسان نسبی ۳ گرم اجرا و نمونه‌ها از شرکت زعفران کیان توس اخذ شده است. این اطلاعات شامل هفت ویژگی (طبق جدول ۱) است که هر یک از آنها مشتمل بر چند حالت است. برای مثال با بررسی رنگ زعفران، عبارت "کاملاً تیره" ثبت می‌شود یا در مورد ویژگی گرده، شخص خبره با نگاه کردن به زعفران که در بدو ورود معمولاً به صورت کیلویی است نسبت به وضعیت گرده موجود در زعفران اظهار نظر می‌کند و یکی از حالات بدون گرده، معمولی، کم، زیاد و خیلی زیاد را انتخاب و ثبت می‌کند. این متغیرهای زبانی می‌تواند در تحلیل فازی مورد استفاده قرار گیرد و مدل عصبی فازی که در ادامه ارائه می‌شود می‌تواند درجه‌بندی زعفران را پس از آموزش انجام دهد. در این پژوهش، ۷۰ درصد داده‌ها به منظور آموزش شبکه (۸۰ نمونه)، ۱۵ درصد به منظور اعتبارسنجی و ۱۵ درصد به منظور صحت‌سنجی (در مجموع ۳۳ نمونه) استفاده شده است. به منظور حصول اطمینان از صحت عملکرد مدل‌های یادگیر از روش اعتبارسنجی متقابل (K-fold) با مقدار $k=5$ استفاده شده است. به این ترتیب تمامی داده‌ها در فرایند آموزش مدل‌های شبکه عصبی شرکت می‌کنند.

ارزیابی مدل‌ها

معمولاً معیارهای مختلفی به منظور ارزیابی کارایی مدل‌های طبقه‌بند استفاده می‌شود. دو معیار میانگین مربعات خطا (MSE^1) و مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE^1$) و نیز مفهوم انحراف معیار

نظارت نشده، و مدل فازی (FNN) و در نهایت شبکه عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) به عنوان یک روش فازی نظارت شده بررسی و ارزیابی شده‌اند. هدف اصلی این پژوهش تشخیص نوع درجه زعفران از طریق ویژگی‌های ظاهری آن است و تلاش بر این است تا با کمینه کردن خطای تشخیص نتایج دقیق‌تری به دست آید.

طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی نظارت شده LVQ و MLP

شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان ابزارهایی قدرتمند و جامع برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، عاملی شناخته می‌شوند که توانایی تدوین توابع پویا و انعطاف‌پذیر را دارند. یکی از شبکه‌های عصبی محبوب، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) است. ساختار MLP به تعدادی گره با توابع فعال‌سازی مشخص در لایه‌های جداگانه تقسیم می‌شود.

شکل ۲ نشان‌دهنده شبکه عصبی مورد استفاده در این پژوهش با سه لایه با نرون‌های S_i در هر لایه و ورودی P با بردار R است. در فرآیند یادگیری، وزن‌ها به صورت متوالی تصحیح می‌شوند تا خروجی شبکه عصبی با مقادیر هدف هماهنگ و منجر به کمینه خطا شود (Abidi et al., 2023).

(STD^2) که نشانگر میزان بازدهی مدل هستند از روابط ۲ تا ۴ محاسبه می‌شوند:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (3)$$

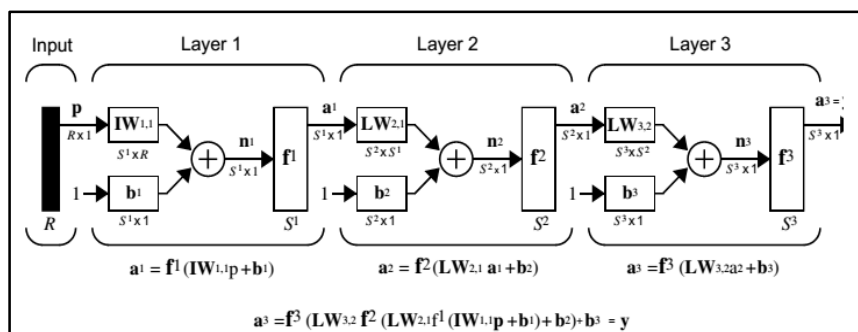
$$STD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |A_i - \mu|^2} \quad (4)$$

که در آنها،

y_i = نتایج مشاهداتی (Target); $\hat{y}_i$ = نتایج محاسباتی (Output); و N = تعداد کل مشاهدات. MSE و RMSE اختلاف این دو مقدار را نشان می‌دهند. کمترین مقدار RMSE، بالاترین صحت پیش‌گویی را نشان می‌دهد. از این‌رو هرچه این مقدار به صفر نزدیک‌تر شود، مدل ارائه شده به واقعیت نزدیک‌تر است.

مدل‌های طبقه‌بند

در این مطالعه به منظور بررسی مدل‌های هوشمند در طبقه‌بندی زعفران، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP)، شبکه عصبی بردار کوانتیزه (LVQ) به عنوان روش‌های دسته‌بندی نظارت شده و شبکه عصبی خودسازمانده (SOM) به عنوان یک روش دسته‌بندی

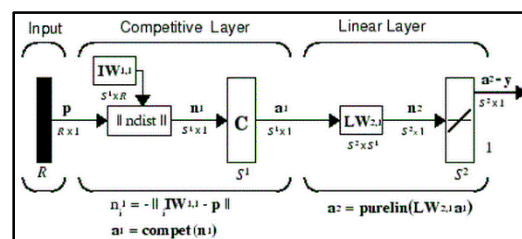


شکل ۲- ساختار شبکه عصبی سه لایه مورد استفاده در این پژوهش

Fig. 2- The three-layer neural network structure employed in this study

لایه رقابتی دسته‌بندی کردن بردارهای ورودی را یاد می‌گیرد و لایه خطی کلاس‌های لایه رقابتی را به دسته‌های هدف که توسط کاربر تعیین شده است، نگاشت می‌کند. شکل ۳ معماری شبکه LVQ در این مطالعه را نشان می‌دهد. در این شکل، S1 و S2 به ترتیب تعداد نرون‌های لایه رقابتی و خطی و R تعداد عضوهای بردار ورودی هستند. هر دو لایه رقابتی و خطی دارای یک نرون به ازای هر کلاس هستند.

تعداد نرون‌ها باید با دقت کافی تعیین شود تا مشکل برآزش بیش از حد ایجاد نشود (Younesi & Goodarzi, 2016). در این تحقیق، تعداد نرون‌ها از ۲ تا ۱۴ نرون در لایه‌های مخفی (متغیرهای i و j مطابق با جدول ۳) آزمایش شده است. سرانجام بیش از ۱۰۰ معماری ارزیابی شدند که از این میان معماری تک لایه "۶-۴-۷" مبتنی بر الگوریتم LM با ۹۳/۷۵ درصد دقت به عنوان بهترین شبکه شناخته شد. شبکه عصبی LVQ^۱ دارای دو لایه رقابتی و خطی است.



شکل ۳- معماری شبکه عصبی مصنوعی یک لایه LVQ

Fig. 3- The Structure of the LVQ One-Layer Artificial Neural Network

تکرارها برای تمامی آنها ۱۰ و مدل یادگیری از نوع LVQ2 انتخاب شده است. معماری ۷-۵-۴ با الگوریتم SCG با ۷۲/۷۲ درصد دقت به عنوان برترین معماری انتخاب شد. جدول ۲ نتایج به دست آمده از ارزیابی دو شبکه MLP و LVQ است.

در این شبکه، الگوریتم‌های یادگیری متعددی وجود دارد. در این مطالعه بیش از ۱۵۰ معماری مبتنی بر سه الگوریتم (BR, SCG, LM) در شبکه عصبی مصنوعی LVQ با حداکثر ۱۴ نرون در یک لایه بررسی شد تا بتوان بهترین معماری شبکه را به منظور طبقه‌بندی ویژگی‌های ظاهری زعفران به دست آورد. تعداد

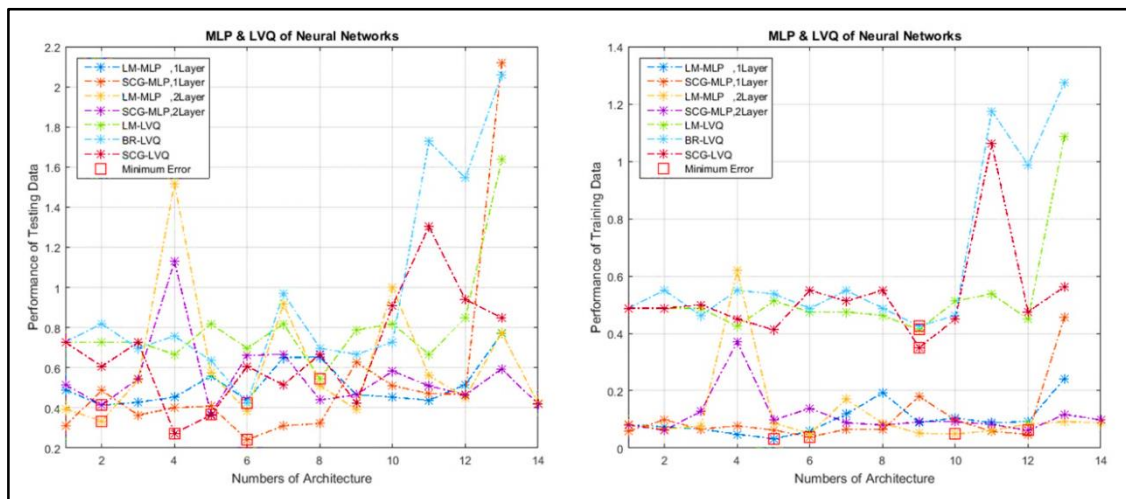
جدول ۲- پارامترهای شبکه عصبی (i-j: متغیرهای تعداد نرون در هر معماری با ۱ و ۲ لایه پنهان بین ۲ تا ۱۴ نرون)

Table 2- Parameters of the Neural Network (i-j: The Variables of Neuron Number in the each Architecture with 1 and 2 Hidden

Layers between 2 and 14 Neurons)					
نوع الگوریتم آموزش شبکه عصبی Type of Training Algorithm of Neural Network	پارامترهای آموزش Training Parameters	ساختار معماری شبکه عصبی Structure of Architecture of Neural Network	کمترین میزان خطا- کارایی Minimum Error-Performance	دقت تشخیص داده‌های آموزش Accurately Detecting Training Data	دقت تشخیص داده‌های آزمون Accurately Detecting Testing Data
Feed Forward Back Propagation (LM Algorithm)	Learning Rate: 0.05	7-i-4 & 7-i-j-4	Training Data: 0.0327 Testing Data: 0.2408	93.75%	75.75%
LVQ (LM, BR Algorithm)	-	7-i-4	Training Data: 0.3500 Testing Data: 0.2727	91.62%	72.72%

۴ نمایان‌گر میزان خطای معماری‌های پیاده‌سازی شده روی داده‌های آموزش و آزمون منطبق با دو شبکه عصبی MLP و LVQ به همراه معماری مؤثر با کمترین میزان خطاست.

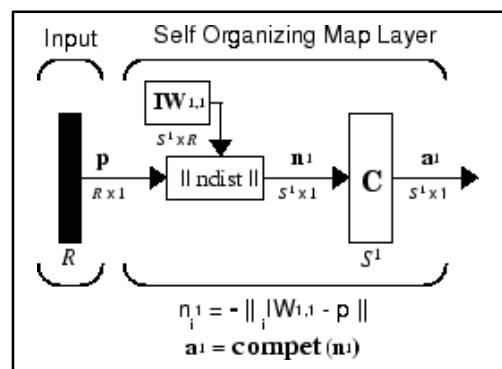
وضعیت خطای دو معماری، مبتنی بر الگوریتم SCG در ازای ۱۰ و ۵ نرون، در لایه رقابتی به ترتیب در ارزیابی داده‌های آموزش با ۰/۳۵۰۰ و داده‌های آزمون با ۰/۲۷۲۷ به عنوان کمترین خطاها به ثبت رسیدند. شکل



شکل ۴- نمودار میزان خطای داده‌های آموزش (سمت راست) و آزمون (سمت چپ) دو شبکه عصبی MLP و LVQ
Fig. 4- The Error Graph of Training Data (Right Side) and the Test (Left Side) of the Two MLP and LVQ Neural Networks

می‌کنند. نورون‌ها با یک تابع همسایگی به یکدیگر متصل شده‌اند. هر بردار ورودی، بر اساس بیشترین شباهت، نورون موجود در لایه خروجی را فعال می‌کند که سلول برنده خوانده می‌شود. شباهت معمولاً بر اساس فاصله اقلیدسی بین دو بردار اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۵ نمایان‌گر ساختار شبکه خود سازمان‌دهنده است.

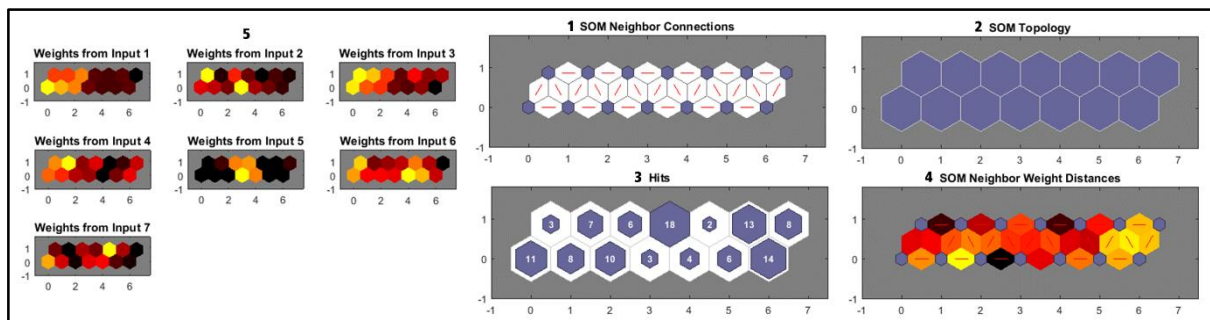
طراحی شبکه عصبی مصنوعی غیرنظارت شده SOM
شبکه عصبی SOM^۱ شبکه‌ای بدون ناظر از نوع خودسازمانده، با وزن ثابت است. هر نورون دارای یک بردار وزن n بعدی است که در آن n برابر با ابعاد بردارهای ورودی است. بردارهای وزن (سیناپس‌ها) لایه ورودی را به لایه خروجی (نقشه یا لایه رقابتی) متصل



شکل ۵- ساختار شبکه عصبی مصنوعی دو لایه SOM
Fig. 5- The Structure of the SOM Two-Layer Artificial Neural Network

فاصله اقلیدسی بین نورون‌های همسایه را می‌توان در شکل ۶ بخش ۴ مشاهده کرد؛ رنگ‌های تیره فاصله زیاد و شباهت کم نمونه‌ها به یکدیگر را نشان می‌دهند. این شبکه بدون ناظر است و توانسته ۸ نوع خوشه^۱ زعفران در خروجی تولید کند که با ۸ رنگ مشخص شده‌اند. برای هر یک از ویژگی‌های نمونه‌های زعفران، نمودار وزن‌ها را داریم که تمایز رنگ‌ها در شکل ۶ بخش ۵ حاکی از میزان تعلق ۱۴ نورون در هر ویژگی به هر یک از ۸ خوشه زعفران را نشان می‌دهد.

توپولوژی شبکه عصبی دو لایه ایجاد شده با ۱۴ نورون (معماری ۷-۷-۲-۴) در شکل ۶ نشان داده شده است. هر شش ضلعی نشان‌دهنده یک نورون است. آن‌جا که هر یک از نمونه‌ها حاوی ۷ ویژگی است، فضای ورودی ۷ بعدی است. شکل ۶ بخش ۱ خطوط قرمز اتصال بین نورون‌های همسایه را نشان می‌دهد. تعداد نمونه‌های آموزشی مربوط به هر نورون داخل هر شش ضلعی آمده (شکل ۶ بخش ۳) که ۱۸ داده ورودی بیشترین نمونه مورد استفاده برای آموزش شبکه است.



شکل ۶- خوشه بندی SOM داده‌های ورودی زعفران و برآورد وزنی ۷ ویژگی

Fig. 6- The SOM Clustering Saffron Input Data and Weight Estimate 7 Saffron Feature

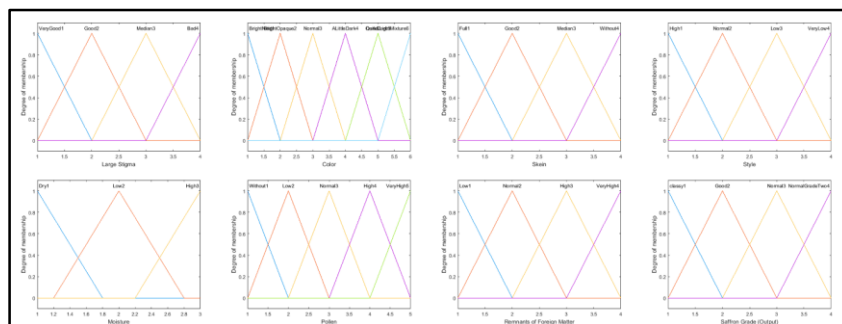
کارشناس آزمایشگاه، در نظر گرفته شد. تعیین کیفیت زعفران مطابق با جدول ۱، با عبارات زبانی بیان گردید که در شکل ۷ نشان داده شده است. سیستم استنتاج فازی مورد بررسی از نوع ممدانی^۳ است و با استفاده از روش نیمساز^۴ Bisector نمونه‌ها به حالت غیرفازی تبدیل شدند. در مدل فازی ابتدا هر ویژگی زعفران با استفاده از توابع عضویت فازی به صورت صفر و یک تعریف می‌شوند. بدین نحو که در هر ویژگی زعفران مقدار یک تابع عضویت نشان‌دهنده مناسب بودن و مقدار صفر نشان‌دهنده نامناسب بودن آن است. هر زعفران به عنوان عضوی از مجموعه فازی، با توجه به مقدار ویژگی‌هایش، درجه عضویت متفاوتی به خود می‌گیرد.

طراحی سیستم استنتاج فازی FIS^۲

در بخش پایانی این پژوهش به ارزیابی ظاهری زعفران با استفاده از روش‌های عصبی فازی پرداخته شده است. از آنجایی که ترکیب سیستم‌های عصبی و فازی به تولید سیستم‌های هوشمندتر می‌انجامد (Yasrebi et al., 2019)، استفاده از مدل‌های استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) مطلوب به نظر می‌رسد. این سیستم بر پایه مفاهیم نظریه فازی و نحوه تصمیم‌گیری تقریبی انسان‌ها بنا شده و برای اولین بار توسط لطفی‌زاده (Lotfizadeh, 1965) معرفی گردید. طبق جدول ۱، پارامترهای دخیل در درجه‌بندی زعفران می‌توانند ماهیت فازی داشته باشند. برای هر یک از این پارامترها، یک تابع عضویت مثلثی، بر اساس نظر

1- Cluster
3- Mamdani

2- Fuzzy Inference System
4- Bisector



شکل ۷- نمودارهای توابع عضویت فازی ۷ ویژگی ورودی و ۴ نوع خروجی کلاس‌بندی زعفران

Fig. 7- The Diagrams of Fuzzy Membership Functions 7 Input Characteristics and 4 Types Outputs of Saffron Classification

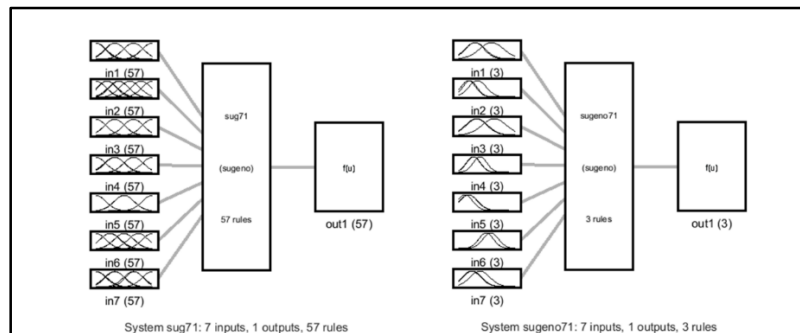
نتایج و بحث

فرآیند فازی‌سازی نمونه‌ها از نوع سوگنو و آموزش شبکه عصبی از نوع پیش‌خور^۱، همراه با ۱۰۰ بار تکرار با تابع سیگموئید در لایه مخفی دنبال شد. سه روش اصلی که در انقیس وجود دارد بررسی شد. در روش اول (شبکه تقسیمی^۲) فضای ورودی به تعداد مشخصی زیرفضا یا بخش‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود. هر بخش با یک نرون فازی از نوع گوسی^۳ ترکیب می‌شود. این روش به دلیل سادگی و قابلیت تعیین تعداد بخش‌ها به کار گرفته می‌شود. در روش دوم (خوشه‌بندی کاهشی^۴)، نقاط مرکزی (مراکز خوشه‌ها) با استفاده از مقادیر اولیه تعیین می‌شوند و بر اساس فاصله آنها از نقاط ورودی، اندازه خوشه‌ها تعیین می‌گردد. سپس هر خوشه با یک نرون فازی از نوع گوسی ترکیب می‌شود و در روش سوم (خوشه‌بندی فازی^۵)، از الگوریتم خوشه‌بندی فازی c-Means برای تعیین مراکز خوشه‌ها استفاده می‌شود. این مراکز به عنوان مراکز نرون‌های فازی استفاده می‌شوند. قوانین حاکم بر سیستم در روش

اول، دوم، سوم در ارزیابی نمونه‌های زعفران به ترتیب شامل مقادیر ۲۱۸۷، ۵۷ و ۳ قانون است. بنابراین، روش سوم با کمترین قوانین و کمترین توابع عضویت (۳ تابع برای تمام ویژگی‌های زعفران) روش مطلوب‌تری است؛ در این روش، نمونه‌های زعفران در ۴ خوشه دسته‌بندی شدند. در روش اول به دلیل حجم بالای قوانین، توابع عضویت بیشتری ایجاد شد که نیازمند پردازش بالایی است، در نتیجه کارایی این روش به نسبت دو روش دیگر کمتر است. سرانجام برای بررسی کارایی مدل عصبی فازی، با استفاده از معیارهای ارزیابی مدل‌ها، داده‌های خروجی هر یک از روش‌ها با داده‌های واقعی مقایسه شدند. در پژوهش حاضر، طراحی مدل فازی عصبی با استفاده از داده‌های نرمال‌شده صورت پذیرفت. به طوری که از ۱۱۳ نمونه زعفران، ۸۰ نمونه برای آموزش و ۳۳ نمونه باقی‌مانده برای آزمون مدل استفاده شد. شکل ۸ بیانگر تعداد و نوع توابع عضویت و نیز تعداد قوانین حاکم بر روش اول و دوم مدل عصبی فازی است.

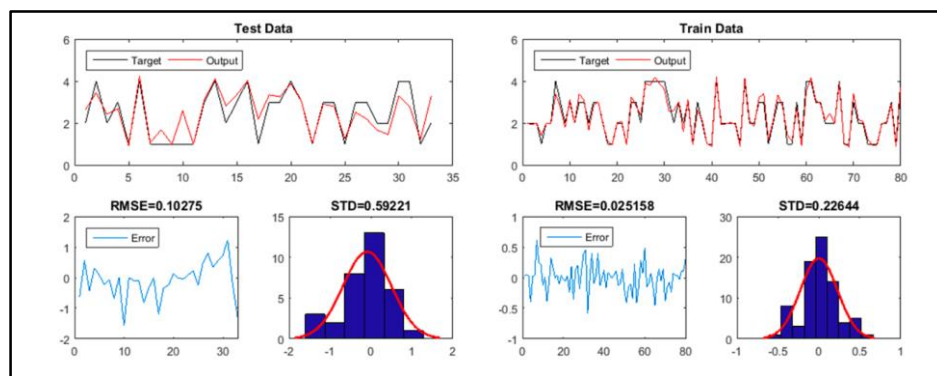
1- Feed Forward Backprobackation
3- Gaussian
5- Fuzzy c-Means Clustering

2- Grid Partitioning
4- Subtractive Clustering



شکل ۸- توابع عضویت ۷ ویژگی زعفران و قوانین حاکم بر روش اول (سمت چپ) و روش دوم (سمت راست) سیستم ANFIS
Fig. 8- The Membership Functions 7 Saffron Feature and Rules Governing Based on the First Method (Left Side) and the Second Method (Right Side) of the ANFIS System

کارآمدترین روش ANFIS یعنی روش سوم، خوشه‌بندی فازی (FCM) است که روی داده‌های آموزش و آزمون زعفران اجرا و میزان خطای آنها محاسبه شد (شکل ۹).



شکل ۹- نمودار میزان خطای داده‌های آموزش (سمت راست) و داده‌های آزمون (سمت چپ) مبتنی بر خوشه‌بندی فازی FCM
Fig. 9- The Diagram Error of Training Data (Right Side) and Test Data (Left Side) Based on FCM Fuzzy Clustering

پژوهش حاضر ویژگی‌های ظاهری بیش از ۱۰۰ نمونه زعفران، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بدون ناظر^۱ و با ناظر^۲ MLP و LVQ و همچنین مدل عصبی فازی ANFIS به سه روش ذکر شده ارزیابی شدند. نتیجه میزان خطا برای شبکه‌های عصبی با ناظر با الگوریتم‌های آموزش مختلف و تعداد نرون مختلف در لایه مخفی، در جدول ۳ ثبت گردید.

بررسی شکل ۹ نشان می‌دهد که ویژگی‌های ظاهری زعفران به روش خوشه‌بندی فازی با انطباق مطلوبی ارزیابی شده است، به طوری که مجذور میانگین مربعات خطای آموزش و آزمون به ترتیب ۰/۰۲۵۱۵۸ و ۰/۱۰۲۷۵ حاصل شده است. دقت ارزیابی نمونه‌های آموزش (با ۷۸ نمونه داده صحیح از ۸۰ نمونه) و آزمون (با ۲۲ نمونه داده از ۳۳ نمونه) نیز به ترتیب با مقادیر ۹۷/۵ درصد و ۶۶/۶۶ درصد به ثبت رسیدند. در

جدول ۳- میزان خطای بهترین شبکه‌های عصبی پیاده‌سازی شده

Table 3- The Error Rate of the Best Neural Networks Implemented

نوع شبکه	نوع داده	نوع الگوریتم	تعداد نوروں لایه پنهان	کارایی شبکه عصبی	دقت شبکه عصبی	تعداد داده صحیح	MSE	RMSE	STD
Type of Neural Network	Type of Data	Type of Algorithm	Neuron Number of Hidden Layer	Performance of Neural Network	Accuracy of Neural Network	The number of Correct Data			
MLP	Train	LM	6	0.0327	93.75%	75	0.0625	0.0280	0.2513
LVQ	Train	LM	5	0.4500	65%	52	0.4250	0.0729	0.6157
LVQ	Train	SCG	10	0.3500	65%	52	0.3500	0.0661	0.5759
MLP	Test	SCG	5	0.4007	75.75%	25	0.3333	0.1005	0.5790
MLP	Test	SCG	7	0.2408	69.69%	23	0.3030	0.0958	0.5556
LVQ	Test	SCG	5	0.2727	72.72%	24	0.2727	0.0909	0.4846

تحلیل برآورد میانگین میزان خطا حاکی از آن است که مدل عصبی فازی در مقابل سایر مدل‌های ارزیابی درجه‌بندی زعفران، کمترین مقدار MSE را از آن خود کرده است؛ جدول ۴ نتایج نمونه‌های آموزش و آزمون را نشان می‌دهد.

جدول ۴- میانگین میزان خطای تمام شبکه‌های عصبی و میزان خطای سیستم عصبی فازی پیاده‌سازی شده

Table 4- The Average Error Rate for all Neural Networks and the Error Rate of the Neuro-Frazy System Implemented

نوع ساختار	نوع شبکه عصبی	خطای آموزش	خطای آزمون	خطای آموزش	خطای آزمون	انحراف معیار آموزش	انحراف معیار آزمون
Type of Structure	Type of Neural Network	MSE Train Data	MSE Test Data	RMSE Train Data	RMSE Test Data	STD Train Data	STD Test Data
ANN	MLP ¹	0.2870	0.6259	0.0599	0.1377	0.4999	0.7713
ANN	SOM ²	0.5667	0.8166	0.0842	0.1573	0.6748	0.8265
ANN	LVQ ¹	0.3420	0.7024	0.0654	0.1459	0.5373	0.8176
FNN	K-mean	0.0506	0.3484	0.0252	0.1028	0.2264	0.5922
ANFIS	FCM	7.5504e-13	0.04054	9.7150e-08	0.0108	8.7441e-07	0.3426

1. Calculations are based on the average of all architectures of One Layer Neural Network

2. Calculations are based on the average of all architectures of Two Layer Neural Network

۱. محاسبات بر اساس میانگین تمام معماری‌های شبکه عصبی یک لایه

۲. محاسبات بر اساس میانگین تمام معماری‌های شبکه عصبی دو لایه

نتیجه‌گیری

خبره برای تشخیص درجه زعفران با استفاده از ترکیب دسته‌بندی نظارت شده، نظارت نشده و فازی پرداخته است. از آن جایی که پدیده‌های واقعی، همواره نادقیق و مبهم هستند، در فرایند انتخاب و تصمیم‌گیری منطق فازی واقعی‌تر و نزدیک‌تر به رفتار انسانی عمل می‌کند. وجود فضای تصمیم‌گیری توأم با ریسک، ناخواسته بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در این شرایط طراحی یک سیستم خبره به منظور طبقه‌بندی

این تحقیق به تحلیل هوشمند زعفران از نظر ویژگی‌های ظاهری می‌پردازد. در بازار زعفران، ارزیابی قیمت زعفران عموماً بر اساس ویژگی‌های ظاهری آن است و بهره‌گیری از مدل‌های هوش مصنوعی و سامانه‌های خبره می‌تواند در تجزیه و تحلیل دقیق ویژگی‌های ظاهری و در نتیجه تعیین قیمت منصفانه نقش اساسی داشته باشد. این پژوهش به ارائه یک مدل

زعفران با توجه به ویژگی‌های ظاهری، که مورد داد و ستد بخش زیادی از کشاورزان است، می‌تواند نقش مهمی در توسعه و مکانیزه کردن این محصول استراتژیک داشته باشد و به کارگیری و چرخه ورود زعفران را به آزمایشگاه‌های زعفران هوشمندانه‌تر کند. آنچه در پژوهش‌های آتی می‌تواند بررسی شود اهمیت هر یک از ویژگی هفت‌گانه است. بدین منظور می‌توان از روش‌هایی مانند تحلیل مولفه اصلی (PCA) یا روش‌های هرس کردن^۱ استفاده برد و وزن هر یک از ویژگی‌ها را محاسبه کرد. وجود عامل‌های انسانی در ارزیابی زعفران چالشی است که می‌تواند در پژوهش‌های آتی محققان مورد توجه قرار گیرد و این مسئله با ارائه راهکارها یا ساخت ابزارهایی میسر خواهد بود که بتواند نقش عامل انسانی را که همواره مستعد خطاست کم‌رنگ کند.

قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج طرح پژوهشی اجرا شده به شماره قرارداد ۱۶۷۷۸۷ از محل اعتبارات پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت‌حیدریه است که از حمایت ایشان قدردانی می‌شود.

مراجع

- Abidi, A., Heydaran Daroogheh Amnyieh, Z., Jamahmoodi, H., Salamiya, S., & Zabbah, I. (2023). Improving the diagnosis of arrhythmia using a combination of neural networks in a hierarchical way. *Journal of Health and Biomedical Informatics*, 10(3), 223-237. (in Persian)
- Aghaei, M., & Rezagholizadeh, M. (2011). Iran's comparative advantage in production of Saffron. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 25(1), 121-132. [https://doi: 10.22067/jead2.v1390i1.8897](https://doi.org/10.22067/jead2.v1390i1.8897). (in Persian)
- Aliabadi, R. (2013). Using smart techniques to check the quality of saffron flower. Kerman Shahid Bahonar University. Kerman. (in Persian)
- AliAbadi, R., & Mohammadi, M. (2012). *Presentation of a new method for saffron flower cutting automation using intelligent techniques. Proceedings of the 2nd National Conference on Computer Engineering, Electrical and Information Technology*. May 24. Khomein Islamic Azad University. Iran. (in Persian)
- Aliakbari, P., Salari, A., & KhasheiSiuki, A. (2018). Determine of the actual and potential evapotranspiration and appropriate model for determining water requirement of saffron (Case study: Torbat Heydarieh). *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(3), 1051-1061. (in Persian)
- Beiki, A. H. (2014). Classification and prediction of three and multi stigma in saffron by statistical, unsupervised machine learning tools. *Saffron Agronomy and Technology*, 2(3), 199-204. (in Persian)
- Birjandi Toroghi, Z., Moradinezhad, F., Niazmand, R., & Bayat, H. (2023). Effect of vacuum and active packaging on the qualitative characteristics and microbial load of dry saffron stigma (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, (in Press). doi: 10.22048/jsat.2023.397103.1487. (in Persian)
- Caiola, M. G., & Canini, A. (2010). Looking for saffron's (*Crocus sativus* L.) parents. *Functional Plant Science and Biotechnology*, 4(2), 1-14.
- Colak, M. C., Çolak, C., Koçatürk, H., Sağiroğlu, Ş., & Barutçu, I. (2008). Predicting coronary artery disease using different artificial neural network models. *Anadolu Kardiyol Derg*, 8(4), 249-54.

- Dehbashi, M., Rajaei, A., & Kardan Moghadam, H. (2022). Locating and recognizing of saffron flowers using image processing. *Saffron Agronomy and Technology*, 10(3), 227-260. doi: 10.22048/jsat.2022.290185.1427. (in Persian)
- Jafarbeyglu, M., & Mobaraky, Z. (2008). The land proportion evaluation in Ghazvin province for Saffron cultivation based on Multi Criteria Decision method. *Natural Geographic Research*, 66, 101-119. (in Persian)
- Karbasi, A., Hosseini, M., Kareshki, H., & Moghimi, Z. (2020). Evaluation of awareness, attitude and willing of Saffron farmers to application of saffron research. *Journal of Saffron Research*, 8(2), 207-221. doi: 10.22077/jsr.2020.2612.1105.
- Khedri, A., Moradinejad, T., Dashti Barmaki, M., & Eskandari, M. (2024). Zoning of drinking water quality using entropy method and its relationship with the drought (Case study: Abdalan Aquifer, Gachsaran). *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(4), 17-36. doi: 10.22077/jdcr.2023.6366.1023. (in Persian)
- Lotfizadeh, A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. 8, 338-353.
- Moghaddasi, M. S. (2010). Saffron chemicals and medicine usage. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(6), 427-430.
- Mohamadzadeh Moghadam, M., Taghizadeh, M., Sadmia, H., & Pourreza, H. R. (2020). Classification of saffron using color features extracted from the image. *Saffron Agronomy and Technology*, 8(3), 319-399. (in Persian)
- Nekouei, N., Behdani, M. A., & KhasheiSiuki, A. (2017). Predicting saffron yield from meteorological data using expert system, razavi and South Khorasan provinces. *Journal of Saffron Research*, 2(1), 15-33. (in Persian)
- Qurani, B., Kadekhodai, R., & Al-Hosseini, A. (2017). The effect of biopolymer type, temperature and relative humidity on the physicochemical characteristics and stability of microencapsulated bioactive compounds of saffron. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 14 (64), 127-142. (in Persian)
- Rashid Sorkhabadi, M., Shahidi, A., & Khashei, S. A. (2014). Determination of suitable region for saffron cultivation based on water and soil characteristics using hierarchical analysis process method (Case Study: Torbate Hydariyeh City). *Journal of Saffron Research*. 2(1) , 58-72. doi:10.22077/jsr.2015.330. (in Persian)
- Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., & Moalem Benhangi, F. (2022). Optimization of manure and irrigation levels on flower and corm yields of saffron by using a central composite design. *Journal of Saffron Research*, 10(1), 45-63. https://doi: 10.22077/jsr.2021.4086.1152. (in Persian)
- Riahi Modavar, H., KhasheiSiuki, A., & Seifi, A. (2017). Accuracy and uncertainty analysis of artificial neural network in predicting saffron yield in the South Khorasan province based on meteorological data. *Saffron Agronomy & Technology*, 5(3), 255-271. (in Persian)
- Sadeghiravesh, M. H., Zehtabian, G. R., & Tahmores, M. (2012). Vulnerability assessment of environmental issues to desertification risk, Case study: Khezrabad region, Yazd. *Watershed Management Research*, 96, 75-87. (in Persian)
- Saeidirad, M. H., & Zarifneshat, S. (2021). Development and performance evaluation of an automatic saffron corm planter. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 51(4), 683-693.
- Sanaeinejad, S. H., Salajegheh, M., Hosseini, S. N., & Araghizadeh, M. (2010). *The effects of weather on saffron yield in southern Khorasan province by experimental method. Proceedings of the First International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling*. 14-15 Nov, Kerman, Iran. (in Persian)
- Taheri, T., Mousavi, S. M., Vakili, S. M. B., & Taheri, H. (2012). *Flux modeling in separation of anthocyanin membrane from saffron petals using fuzzy logic. Proceedings of the Third Conference on Science and Engineering of Separation*. May 2-4. Zahedan, Iran. (in Persian)

- Yasrebi, S. E., Zabbah, I., Behzadiyan, B., Maroosi, A., & Rezaie, R. (2019). Classification of saffron based on its apparent characteristics using artificial neural networks. *Saffron Agronomy and Technology*, 7(4), 521-535. <http://doi: 10.22048/jsat.2019.149440.1316>. (in Persian)
- Younesi, M., & Goodarzi, M. (2016). *Comparison of Fuzzy Neural Network Forecasting Potential (ANFIS) with Neural Network Models (ANN) and ARIMA Automatinising in estimating export prices of agricultural products (Case study: monthly price of saffron). Proceedings of the Fourth International Conference on Science and Engineering*. Sep. 19, Rome, Italy.
- Zarghani, F., Karimi, A., Khorasani, R., & Lakzian, A. (2016). To evaluation the effect of soil physical and chemical characteristics on the growth characteristics of saffron (*Crocus Sativus* L.) corms in Torbat-E Heydariyeh area. *Journal of Agroecology*, 8(1), 120-33. (in Persian)

Research Paper

Evaluation of the Appearance Characteristics of Saffron using Methods Based on Artificial Intelligence

I. Zabah^{1*}, Z. Heydaran Daroogheh Amnyieh, B. Behzadian and R. Rezae

*Corresponding Author: Department of Computer, Torbat Heydariyeh Branch, Islamic Azad University, Torbat Heydarieh, Iran; Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran. Email: imanzabbah@gmail.com.

Received: 1 December 2023, Accepted: 12 February 2024

[http://doi: 10.22092/AMSR.2024.364271.1471](http://doi:10.22092/AMSR.2024.364271.1471)

Abstract

Iran is the largest saffron producer in the world. Saffron is of great economic importance and due to increasing activities of export competitors, it requires support, expansion, and development of exports. The growing trend of saffron export share on one hand and income generation and entrepreneurship for rural residents on the other hand double the necessity of attention to this product. Competition in this supply chain, despite powerful competitors, will be possible through mechanizing processes from cultivation to harvesting and grading to packaging. Therefore, evaluating the physical characteristics of saffron for proper grading is considered essential. In this study, the physical characteristics for the purpose of saffron grading using various artificial intelligence methods including Multilayer Perceptron Neural Networks (MLP), Learning Vector Quantization (LVQ), Self-Organizing Maps (SOM), Fuzzy Neural Networks (FNN), and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) have been investigated. The database under study relates to 113 saffron samples categorized into 4 classes of Saffron Negin (top quality), Grade 2 Saffron (good), Grade 3 Saffron (normal), and Grade 4 Saffron (poor) collected by the researchers. The analysis results show that saffron grading considering uncertainties in the ANFIS model is superior to other methods, with a classification accuracy of 97.5% and a test sample detection error rate of 0.3484.

Keywords: Artificial Neural Network, Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), Saffron Evaluation, Saffron Grading



© 2023 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)