طبقه‌بندی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس با تلفیق تکنیک‌های پردازش تصویر و روش‌های هوشمند

فرهاد فاتحی[1]، هادی صمیمی اخیجهانی[2]، اصغر محمودی[3]، عادل حسین‌پور[4]

[1]دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ farhadfatehi.87@gmail.com
[2]استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان؛ hsamimia@gmail.com
[3]دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز؛ mahmoud.as@tabrizu.ac.ir
[4]استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ a.hosainpour@urmia.ac.ir

چکیده

امروزه در کشاورزی نوین، به منظور جایگزین کردن ماشین‌های هوشمند به جای انسان، از ترکیب تکنیک‌های پردازش تصویر و روش‌های هوشمند استفاده شده است. در پژوهش حاضر از روشی مبتنی بر پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای طبقه‌بندی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس استفاده شد. در گام اول میوه توسط فرد خبره به شش طبقه (خروجی‌های ANN) تقسیم شد و از هر طبقه صد نمونه به صورت تصادفی تهیه گردید. در گام بعد از تصاویر تهیه شده از نمونه‌ها، سه ویژگی هندسی و دوازده ویژگی رنگ (ورودی‌های ANN) استخراج شد. بهینه بودن ساختارهای شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی بررسی شد. سرانجام شبکه عصبی پرسپترون با ساختار ۱۵-۱۸-۶ با میانگین دقت کل ۸۳/۸۳٪ انتخاب گردید.

کلمات کلیدی: طبقه‌بندی توت‌فرنگی، رقم پاروس، پردازش تصویر، شبکه عصبی مصنوعی.

Parus strawberry fruit classification by combining image processing techniques and intelligent methods

Farhad fatehi[1]*, Hadi samimi akhijahani[2], Asghar mahmoudi[1], Adel hossainpour[3]

1. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran
3. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Urmia, Iran

* Corresponding Author: FarhadFatehi.87@gmail.com

ABSTRACT

Nowadays in modern agriculture, in order to replace the intelligent machines instead of humans has been used from the combination of image processing techniques and intelligent methods.. In this study, a method based on image processing and artificial neural network was used to classify parus strawberry fruit. In the first step, the fruit was divided into six classes (ANN outputs) by the expert and one hundred samples was randomly selected from each class. In the next step, was extracted three geometric features and twelve color features (ANN inputs) from images taken from samples.. The optimality of the structure was investigated using root mean square error and correlation coefficient. Finally, the perceptron neural network with a structure of 15-18-6 was selected with an average accuracy of 83.83%.

Keywords: Strawberry classification, Parus variety, Image processing, Artificial neural network.

۱- فرهاد فاتحی، استان کردستان، ایمیل: FarhadFatehi.87@gmail.com

۱- مقدمه

توت‌فرنگی یکی از میوه‌های دانه‌ریز و بومی مناطق معتدله است که طرفداران زیادی دارد به همین دلیل روز به روز بر سطح زیر کشت آن افزوده می‌شود. این میوه به دلیل وجود مقدار فراوانی ویتامین ث، عناصر معدنی و سایر مواد مورد نیاز بدن اهمیت ویژه‌ای دارد و علاوه بر این‌که به صورت تازه به مصرف می‌رسد، در تهیه ژله، مربا، بستنی و شیرینی کاربرد دارد (Taghavi, 2005). ایران با بیش از ۳۶۰۰ هکتار سطح زیر کشت توت‌فرنگی مقام بیستم را در بین کشورهای تولید کننده توت‌فرنگی داراست. متوسط عملکرد توت‌فرنگی در واحد سطح ۱۰ تن است که نسبت به تولید در کشورهای اروپایی می‌تواند از رشد خوبی برخوردار باشد (FAO, 2013). بر اساس برآوردهای سازمان جهاد کشاورزی تلفات توت‌فرنگی از زمان برداشت تا زمان ارائه به بازار ۲۵ درصد کل محصول تولیدی است. ضعف کیفی تولیدات و سطح بالای تلفات پس از برداشت به علت استفاده از نهاده‌ها با کیفیت پایین، عملیات پرورشی ضعیف در سطح تولید، نبود دانش و مهارت در برداشت کردن، حمل و نقل ضعیف، نا مناسب بودن اصول و زیرساخت‌های پس از برداشت در ارتباط با خنک کردن اولیه، انتقال، انبارداری و بازاریابی، نبود امکانات فرآوری، هزینه حمل و نقل بالا و یکپارچگی ضعیف فعالیت‌ها در ارتباط با کانال‌های بازاریابی زنجیره‌ای و مجتمع می‌باشد (Salami, Ahmadi, Keyhani & Sarsaifee., 2010).

کیفیت یک مفهوم بشری است که پارمترهای زیادی را در بردارد (Abbott, 1999). کیفیت میوه توسط پارامترهای مختلفی تعریف می‌گردد که مجموعه آن‌ها تصویر کاملی از میوه مورد نظر ارائه می‌دهد. طبق بررسی‌های گوناگون داده‌هایی از قبیل رنگ، شکل، اندازه و جرم برای مصرف-کننده کافی نیستند؛ آن‌ها تمایل دارند اطلاعات بیشتری در مورد میوه‌ای که قرار است مصرف کنند داشته باشند (Voca et al., 2008). برای مثال در مورد توت‌فرنگی کیفیت به ظاهر میوه (شدت و توزیع رنگ میوه، شکل، اندازه، عدم خرابی و فساد در ظاهر میوه)، سفتی و طعم آن (که توسط مقادیر قند، اسیدهای آلی، فنولیک‌ها و ویژگی‌های مواد معطر فرار تعیین می‌شود) بستگی دارد. هر چه محتوای اسید کمتر و بلعکس مقدار ویتامین ث، مواد جامد محلول و متاقبا قند بیشتر باشد میوه دارای طعم بهتری است.

درجه‌بندی کیفی محصولات گوناگون کشاورزی می‌تواند در کاهش تلفات پس از برداشت، حفظ کیفیت و ارتقاء ارزش تجاری آن‌ها موثر باشدکه میوه توت‌فرنگی نیز از این قاعده مستثنی نیست. در سال‌های اخیر توجه به روش‌های غیر مخرب برای درجه‌بندی کیفی محصولات کشاورزی افزایش یافته است. یکی از این روش‌ها فناوری بینایی ماشین می‌باشد که با تلفیق تکنیک‌های پردازش تصویر و روش‌های هوشمند، نسبت به روش‌های سنتی و مخرب دارای مزایای، عدم نیاز به نیروی انسانی متخصص، دقت بیش‌تر، هزینه کمتر (Chen, Chao & Kim, 2002)، واکنش و پاسخ‌گویی سریع، شناسایی چند شاخص به طور هم‌زمان و غیر مخرب بودن است (Liming and Yanchao, 2010). این فناوری می-تواند انسان را در تشخیص عیوب ظاهری محصول (Riquelme, Barreiro, Ruiz-Altisent & Valero, 2008)، درجه‌بندی کیفی (Leemans and Destain, 2004) و طبقه‌بندی محصول بر اساس شکل و اندازه یاری کند (Abdullah, Mohamad-Saleh, Fathinul-Syahir & Mohd-Azemi , 2006). در این رابطه مطالعاتی انجام شده که در ادامه خلاصه‌ای از آن‌ها ذکر می‌گردد.

به منظور خوشه‌بندی محصول توت‌فرنگی از فناوری ماشین بینایی استفاده شد که توانایی تشخیص تعدادی از ویژگی‌های اندازه، شکل و رنگ از جمله بزرگ‌ترین قطر، لبه میوه و کانال a رنگ را داشت. برای خوشه‌بندی از الگوریتم k-means استفاده شد.دقت خوشه‌بندی این ماشین بر اساس ویژگی‌های بزرگ‌ترین قطر، لبه میوه و کانال a رنگ به ترتیب ۹۵٪، ۹۰٪ و ۸۸٪ بوده است (Liming and Yanchao, 2010). همچنین به منظور طبقه‌بندی محصول کشمش در چهار طبقه‌ی سبز رنگ بدون دم، سیاه رنگ بدون دم، سبز رنگ با دم و سیاه رنگ با دم از الگوریتمی مبتنی بر پردازش تصویر و روش‌های هوشمند استفاده شد. ویژگی‌های برتر شکل و رنگ کشمش، پس از قطعه‌بندی تصاویر به روش اتسو (Otsu, 1979)، با استفاده از CFS[1] که بر اساس میزان همبستگی ویژگی‌های انتخابی عمل می‌کند، انتخاب شدند و طبقه‌بندی با استفاده از روش‌های ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی صورت گرفت که روش شبکه عصبی مصنوعی با دقت ۹۶/۳۳٪ مناسب‌ترین روش بود (Mollazade,Omid & Arefi, 2012). در پژوهشی با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر بادام بر اساس مساحت به سه دسته‌ی بزرگ، متوسط و کوچک طبقه‌بندی شد. در ابتدا پس از قطعه‌بندی تصاویر تهیه شده از نمونه‌ها، مساحت آن‌ها اندازه‌گیری شد و وزن هر نمونه به وسیله ترازو اندازه‌گیری گردید و به عنوان مبنای انتخاب طبقه‌ها قرار گرفت. دقت حاصل ۹۹/۷۰ درصد شد (Castelo-Quispe, Band-Tapia, Lopez-Paredes, Barrios-Aranibar & Patino- Escarcina, 2013).

با توجه به مرور منابع مشخص گردید که تلفیق تکنیک‌های پردازش تصویر و هوش محاسباتی به منظور طبقه‌بندی محصولات کشاورزی، روشی قابل اعتماد است. به این ترتیب در پژوهش حاضر سعی گردید با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و همچنین شبکه عصبی مصنوعی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طبقه‌بندی گردد. درمطالعات قبلی در رابطه با طبقه‌بندی میوه توت‌فرنگی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی فقط یک ویژگی به عنوان ورودی سیستم در نظر گرفته شده است در حالی که در این پژوهش چند ویژگی به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی اعمال

[1] Correlation-based Feature Selection

گردید. همچنین در این پژوهش بر خلاف سایر پژوهش‌ها در تهیه تصاویر از نمونه‌ها کاسه گل میوه به منظور حفظ کیفیت آن حذف نگردید..

۲- بخش مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش حاضر، ابتدا نمونه‌های میوه توت‌فرنگی جمع‌آوری شد، سپس تصاویر نمونه‌ها در محفظه نورپردازی تهیه گردید و پس از جدا سازی تصاویر میوه‌ها از پس‌زمینه و کاسبرگ، ویژگی‌ها استخراج شد و سرانجام با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، نمونه‌ها طبقه‌بندی شدند. مراحل اصلی این الگوریتم در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

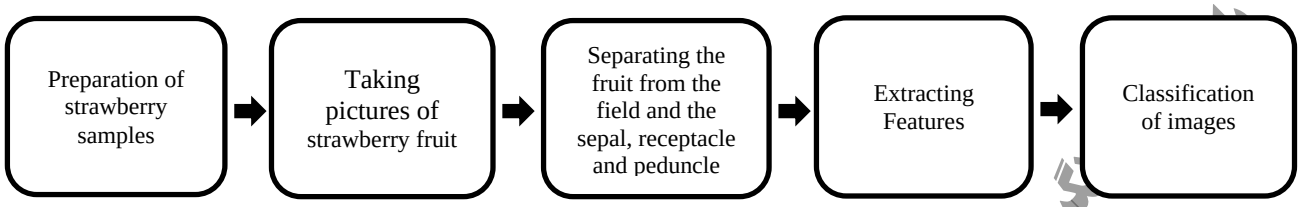

Fig 1. The main steps of the proposed algorithm
شکل ۱- مراحل اصلی الگوریتم پیشنهادی

۲-۱- جمع‌آوری و طبقه‌بندی نمونه‌ها

در استان کردستان اغلب توت‌فرنگی در هوای آزاد کشت می‌شود و سطح زیر کشت رقم تجاری پاروس بنا بر دلایل مختلف در حال پیشی گرفتن از سایر ارقام می‌باشد، لذا در پژوهش حاضر نمونه‌های میوه توت‌فرنگی رقم پاروس در بهار سال ۱۳۹۳، از مزارع کشت توت‌فرنگی در هوای آزاد واقع در روستای نشور سفلی از توابع شهرستان کامیاران استان کردستان تهیه گردید. نمونه‌ها برای تهیه تصاویر به گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ایلام منتقل شدند. در حین انتقال سعی گردید نمونه‌ها تغییرات رنگ و بافت نداشته باشند.

با بررسی‌های انجام شده مشخص گردید که استانداردی بین‌المللی و یا داخلی برای طبقه‌بندی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس وجود ندارد، لذا با نظر فرد خبره و بر اساس ویژگی‌های اندازه، شکل و رنگ نمونه‌ها به شش طبقه تقسیم گردیدند (شکل ۲). همچنین به منظور بررسی صحت طبقه‌بندی صورت گرفته تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی (ابعاد هندسی، جرم، حجم، چگالی ظاهری و حقیقی، تخلخل)، مکانیکی (سفتی و نقطه تسلیم بیولوژیکی) و شیمیایی (اسید آسکوربیک، اسیدیته، مواد جامد محلول کل و شاخص طعم) بررسی شد.

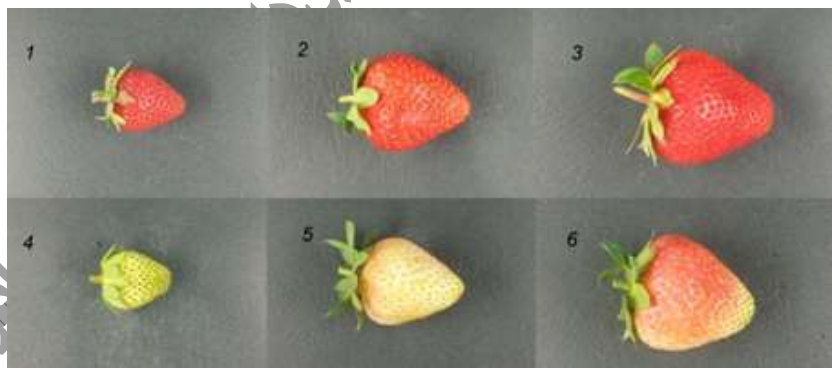

Fig 2. Classification done in this research
شکل ۲- طبقه‌بندی صورت گرفته در این پژوهش

۲-۲- تهیه تصاویر و قطعه‌بندی آن

برای تهیه تصاویر ۱۰۰ نمونه از هر طبقه به صورت کاملا تصادفی انتخاب گردید. برای از بین بردن نویزهای محیطی، از یک جعبه پردازش تصویر به ابعاد۳۰*۳۰*۳۰ سانتی‌متری استفاده شد. همچنین داخل جعبه برای حصول تصاویر با بهترین کیفیت و کمترین نویز، از لامپ‌های LED لوله‌ای استفاده شد. زمینه عکس‌ها برای از بین رفتن سایه و نویز سیاه انتخاب گردید. برای تهیه تصاویر از دوربین گوشی سامسونگ مدل Galaxy S II در فاصله ۳۰ سانتی‌متری استفاده شد.

قطعه‌بندی تصویر از مهم‌ترین بخش‌های پردازش تصویر می‌باشد. در قطعه‌بندی تصویر به قطعات یا اشیاء سازنده آن تقسیم می‌گردد. روش-های مختلفی برای بخش‌بندی تصویر وجود دارد. در این تحقیق از روش آستانه‌گذاری با استفاده از مولفه‌های R، G و B رنگ در فضای رنگی RGB برای جدا کردن میوه توت‌فرنگی از پس‌زمینه و کاسه گل استفاده شد پس از جداسازی میوه توت‌فرنگی از پس‌زمینه و کاسه‌گل از عملیات مورفولوژیکی اتساع و سایش با ساختار دایره‌ای (با بهره‌گیری از عملگرهای باز و بسته) به منظور ترمیم لبه میوه توت‌فرنگی استفاده شد. شکل ۳ مراحل مختلف پردازش تصویر را نشان می‌دهد.

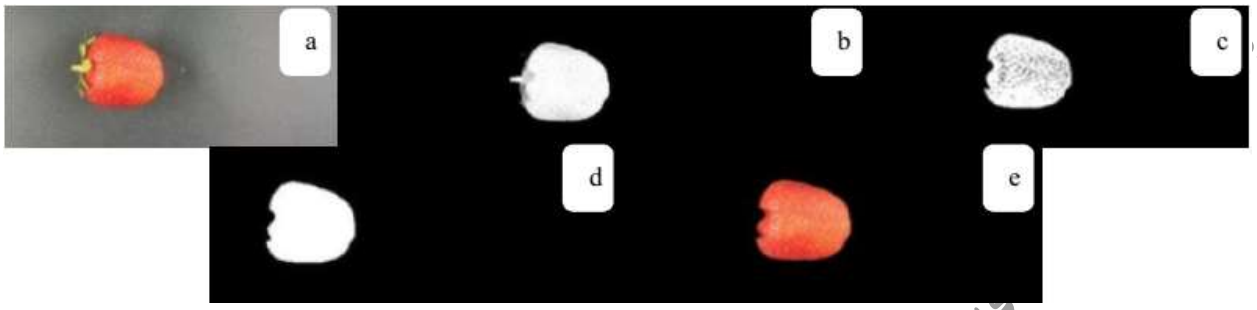

Fig 3. Image segmentation a) Image in RGB color space b) Deletion of background c)deletion of sepal, receptacle and peduncle d) Filling the holes and repairing the image border e) Isolated fruit after after segmentation

شکل ۳- قطعه‌بندی تصویر الف) تصویر در فضای رنگی RGB ب) حذف پس‌زمینه ج)حذف کاسه گل د) پر کردن چاله‌ها و ترمیم مرز تصویر و)میوه جدا شده پس از قطعه‌بندی

۳-۲- استخراج ویژگی‌های میوه

در مسائل مربوط به پردازش تصویر ویژگی‌های زیادی توسعه داده شده‌اند. هدف از استخراج ویژگی‌های تصویر، توصیف تصویر بر اساس برخی از توصیف‌گرهای آماری می‌باشد. این ویژگی‌ها در سه دسته ویژگی مورفولوژیکی یا هندسی، رنگ و بافت تقسیم‌بندی می‌گردند. هر کدام از این ویژگی‌ها می‌توانند کاربردهای متنوعی داشته باشند به عنوان مثال از ویژگی‌های مورفولوژیکی (قطر، محیط، مساحت، شکل و حجم و ...) در درجه-بندی محصولات کشاورزی، از ویژگی‌های رنگ برای مشخص کردن میزان رسیدگی، خرابی‌ها و فساد ظاهری محصولات کشاوزی و از ویژگی‌های بافتی برای مشخص کردن میزان چروکیدگی سطحی محصولات کشاورزی و شناخت بیماری‌های گیاهی استفاده می‌شود.

در این پژوهش جمعاً پانزده ویژگی، شامل سه ویژگی مورفولوژیکی و دوازده ویژگی رنگ به منظور طبقه‌بندی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس استفاده شد (جدول ۱). برای محاسبه ویژگی‌های مورفولوژیکی ابتدا تصاویر به تصاویر باینری تبدیل شدند. سپس سه ویژگی مساحت، محیط و نسبت قطر اصلی به قطر فرعی برای نمونه‌ها استخراج گردید. علت انتخاب ویژگی‌های مورفولوژیکی، وجود تمایز بین طبقات مختلف از لحاظ شکل و اندازه بود. با بررسی فضاهای رنگی مختلف، فضای رنگی RGB انتخاب گردید. علت انتخاب این فضای رنگی، وجود تمایز در مولفه‌های رنگی طبقه‌های مختلف بود. همچنین چهار توصیف‌گر آماری مرتبط با رنگ شامل: میانگین، استاندارد، چولگی و کشیدگی از نمونه‌های توت‌فرنگی استخراج گردید. به منظور قطعه‌بندی تصاویر و استخراج ویژگی‌های مورفولوژیکی رنگ ار نرم‌افزار MATLAB (R2012a) استفاده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر

Table 1. The Features extracted from the images

Name	Color feature	Name	Apparent feature
F1	MeanR	F13	Area
F2	MeanG	F14	Perimeter
F3	MeanB	F15	AspectRatio
F4	StdR		
F5	StdG		
F6	StdB		
F7	SkewnessR		
F8	SkewnessG		
F9	SkewnessB		
F10	KurtosisR		
F11	KurtosisG		
F12	KurtosisB		

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

۲-۴- تفکیک و شناسایی تصاویر

به منظور طبقه‌بندی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) که یکی از روش‌های داده‌کاوی است استفاده شد (Omid et al., 2009). ساختار هر ANN از سه لایه نرون تشکیل می‌گردد: ۱- لایه ورودی ۲- لایه مخفی و ۳- لایه خروجی. تعداد نرون‌های لایه‌های ورودی، مخفی و خروجی به ترتیب برابر با تعداد بردارهای ویژگی‌های ورودی، دشواری و پیچیدگی مسئله طبقه‌بندی و تعداد طبقات خروجی می‌باشد همیشه تمایل به سمت کمترین تعداد لایه و نرون وجو دارد چرا که این امر باعث کاهش اندازه شبکه و افزایش سرعت آموزش می‌گردد که در کارهای آنلاین از اهمیت زیادی برخوردار است.. از فاکترهای مهم دیگر در طراحی ANN، تابع فعالیت، الگوریتم آموزش و تعداد دور آموزش می‌باشد. در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه استفاده شد این ساختار به دلیل به عدم نیاز به ترتیب زمانی داده‌های ورودی و خطی بودن تابع فعالیت نرون‌های ورودی برای کابردهای آنلاین ساختاری مناسب می‌باشد. هچنین در راستای کمک به به همین افزایش سرعت یادگیری و حل پیچیدگی مسئله از تابع فعالیت سیگموئید خطی در نرون‌های لایه مخفی و لایه خروجی استفاده شد. آموزش نیز به صورت دسته‌ای با الگوریتم یادگیری مومنتوم با مومنتوم ۰/۷ و ضریب یادگیری ۰/۶ استفاده شد. این الگوریتم یکی از سریع‌ترین الگوریتم‌های آموزشی می‌باشد که با تغییر مقدار مومنتوم سرعت یادگیری را متناسب با همسو بودن یا عدم همسو بودن داده‌های ورودی تغییر می‌دهد و همین امر موجب حذف داده‌های غلط از روند یادگیری می‌شود. همچنین در این الگوریتم شاخص توقف، افزایش مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) می‌باشد. ۶۰۰ زوج بردار به شبکه داده شد که از این تعداد، ۵۰٪ برای آموزش، ۲۰٪ برای ارزیابی و ۳۰٪ برای تست مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌سازی ANN در نرم‌افزار NEUROSOLUTION 5 صورت گرفت.

۲-۵- ارزیابی نتایج

برای بررسی عملکرد ANN در طبقه‌بندی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس و انتخاب بهترن ساختار از شاخص‌های آماری نرخ طبقه‌بندی، ضریب همبستگی (r) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در دورهای مختلف آموزش استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- انتخاب بهترین ساختار ANN

پس از پیاده‌سازی ساختارهای مختلف ANN، بهترین ساختار با یک لایه مخفی و هجده عدد نرون (شکل۴) بر اساس ضریب همبستگی (شکل ۵) و ریشه میانگین مربعات خطا (شکل ۶) انتخاب شد. این ساختار نسبت به سایر ساختاره‌ها دارای ضریب همبستگی بیشتر و ریشه میانگین مربعات خطای کمتری می‌باشد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

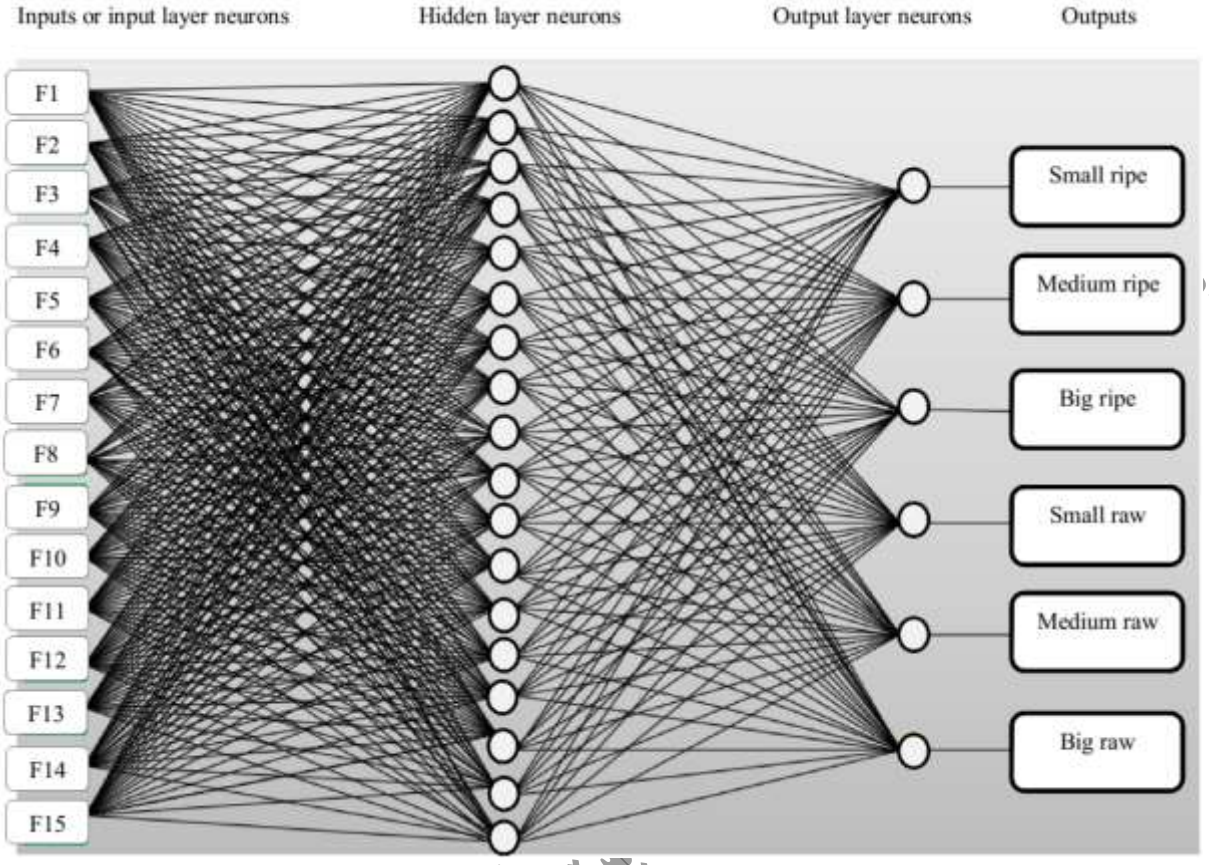

Fig 4. ANN structure

شکل ۴- ساختار شبکه عصبی مصنوعی

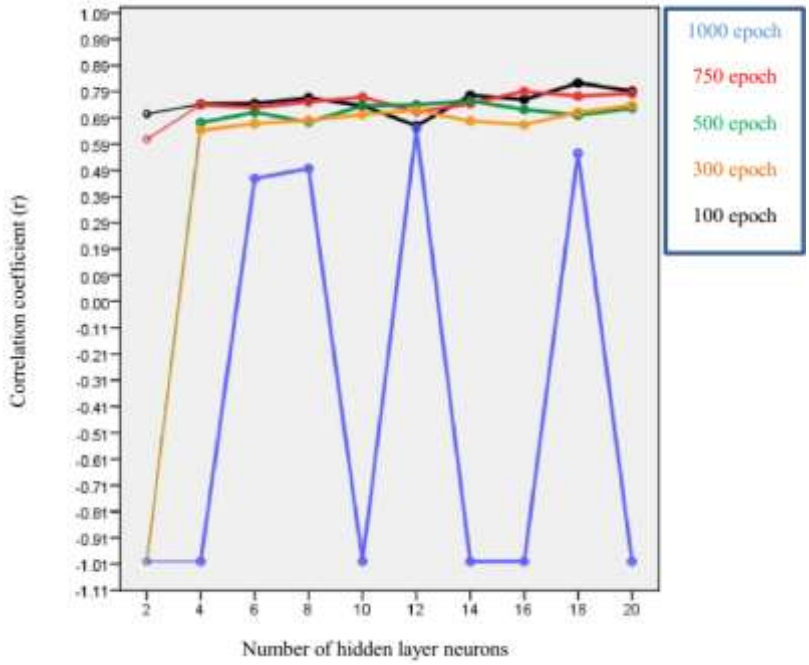

Fig 5. Correlation coefficient's relationship with number of hidden layer neurons and number of training courses

شکل ۵- رابطه ضریب همبستگی با تعداد نرون‌های لایه مخفی و تعداد دور آموزش

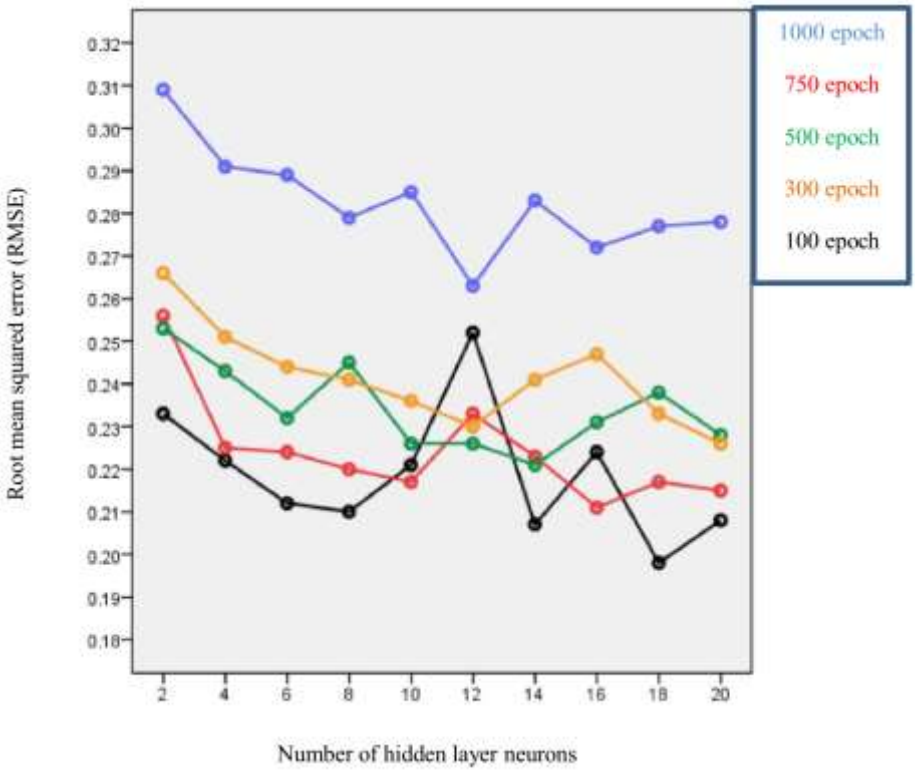

Fig 6. The root mean square error's relationship with number of hidden layer neurons and number of training courses

شکل ۶- رابطه ریشه میانگین مربعات خطا با تعداد نرون‌های لایه مخفی و تعداد دور آموزش

۲-۳- طبقه‌بندی توت‌فرنگی با ANN انتخاب شده

پس از انتخاب بهترین ساختار ANN، از آن برای طبقه‌بندی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس در شش طبقه شامل رسیده کوچک (طبقه اول)، رسیده متوسط (طبقه دوم)، رسیده بزرگ (طبقه سوم)، نارس کوچک (طبقه چهارم)، نارس متوسط (طبقه پنجم) و نارس بزرگ (طبقه ششم) استفاده شد. همچنین به منظور بررسی عملکرد شبکه، ماتریس اغتشاش آن (جدول ۲) محاسبه و نرخ طبقه‌بندی (جدول ۳) از آن استخراج گردید.

جدول ۲- ماتریس اغتشاش

Table 2. The confusion matrix

ANN prediction	Real					
	Small ripe	Medium ripe	Big ripe	Small raw	Medium raw	Big raw
Small ripe	65	4	0	0	0	0
Medium ripe	35	90	12	0	0	2
Big ripe	0	4	81	0	0	13
Small raw	0	0	0	100	8	0
Medium raw	0	0	0	0	84	2
Big raw	0	2	7	0	8	83

جدول ۳- نرخ طبقه‌بندی

Table 3. The classification rate

Statistical index	Real					
	Small ripe	Medium ripe	Big ripe	Small raw	Medium raw	Big raw
CCR (%)	65	90	81	100	84	83

بر اساس ماتریس اغتشاش کمترین دقت طبقه‌بندی مربوط به طبقه رسیده کوچک (طبقه اول) می‌باشد (دقت یا نرخ طبقه‌بندی (CCR) برابر ٪۶۵ بود). علت آن تشابه این طبقه با طبقه رسیده متوسط است. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است تنها ویژگی‌های مورفولوژیکی در مورد این دو طبقه باعث تمایز می‌گردد در حالی که ویژگی‌های مبتنی بر رنگ هیچ تمایزی بین این طبقات ایجاد نمی‌کنند. بیشترین دقت نیز مربوط به طبقه نارس کوچک (طبقه سوم) بود (دقت برابر ٪۱۰۰ بود) که علت آن نیز تمایز کامل این طبقه از لحاظ ویژگی‌های مورفولوژیکی و رنگ با سایر طبقات بوده است. نهایتاً نتایج حاصل از ماتریس اغتشاش نشان می‌دهند که درجه‌بندی کیفی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی و رنگ با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی ANN می‌تواند بسیار موثر باشند و در ساخت دستگاه‌های درجه‌بندی و سورت مورد استفاده قرار گیرند.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس به شش کلاس بر اساس نظر فرد خبره طبقه‌بندی شد. ویژگی‌های استخراج شده شامل دوازده ویژگی رنگ و سه ویژگی مورفولوژیکی بودند. بهترین شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی پرسپترون دو لایه با هجده نرون در لایه مخف، تابع فعالیت سیگموئید، الگوریتم آموزش مومنتوم (با مقادیر مومنتوم ۰/۷ و ضریب یادگیری ۰/۶) و دقت ٪۸۳/۸۳ بدست آمد. از نتایج حاصل می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از شبکه‌های عصبی گوناگون و ویژگی‌های مورفولوژیکی و رنگی در حفظ کیفیت و توت‌فرنگی نقشی موثر داشته باشد.

۵- مراجع

Taghavi, T. (2005). Strawberry production guide: sana publications, Tehran,Iran. (persian)
Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetebles. *Journal of Postharvest Biology and Technology, 15,* 207-225.
Abdullah, M. Z., Mohamad-Saleh, J. Fathinul-Syahir, A. S., & Mohd-Azemi, B. M. N. (2006). Discrimination and classification of fresh-cut starfruits (Averrhoa carambola L.) using automated machine vision system. *Journal of Food Engineering, 76(4),* 506–523.
Castelo-Quispe, S., Banda-Tapia, J. D. Lopez-Paredes, M. N. Barrios-Aranibar, D., & Patino-Escarcina, R. (2013). Optimization of Brazil-Nuts Classification Process through Automation using Colour Spaces in Computer Vision. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications. 5,* 623-630.
Chen, Y. R., Chao, K., & Kim, M. S. (2002).Machine Vision Technology For Agricultural Applications. *Computers and Electronics In Agriculture, 36 (2),* 173-191.
Food and Agriculture Organization of The United Nation. (2010). http://www.fao/crop/statistics.
Leemans, V., & Destain, M. F. (2004). A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Journal of Food Engineering, 61,* 83-89.
Liming, X., &Yanchao, Z. (2010). Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture, 71,* 32-39.
Mollazade, K., Omid, M., & Arefi, A. (2012). Comparing data mining classifiers for grading raisins based on visual features. *Computers and Electronics in Agriculture, 84,* 124-131.
Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 9,* 62-66.
Riquelme, M. T., Barreiro, P. Ruiz-Altisent, M., & Valero, C. (2008). Olive classification according to external damage using image analysi. *Journal of Food Engineering, 87,* 371-379.
Salami, P., Ahmadi, H., Keyhani, A., & Sarsaifee, M. (2010). Strawberry post-harvest energy losses in Iran. *Researcher, 2,* 67-73.
Voca, S., Dobricevic, N., Dragovic-Uzelac, V., DuralijaDruzic, j., Cmelik, Z., & Babjelic, M.S. (2008). Fruit quality of new early ripening strawberry cultivars in Crotia. *Journal of Food Technology and Biotechnology. 46,* 292-298.