نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۶، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۵، ص ۵۹-۴۹

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 6, No. 1, Spring - Summer 2016, p. 49-59

تشخیص عیوب ظاهری و درجه‌بندی گوجه‌فرنگی با استفاده از فناوری ماشین بینایی و شبکه‌های عصبی- فازی

هادی ایزدی[۱]- سعادت کامگار[۲*]- محمد حسین رئوفت[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۲۱

چکیده

از مهمترین فرآیندها در بسته‌بندی و نگهداری محصولات کشاورزی عملیات دسته‌بندی بوده که پردازش تصویر یکی از ابزارهای کاربردی در زمینه فن‌آوری‌های پس از برداشت است. هدف از پژوهش حاضر به‌دست آوردن الگوریتمی برای تشخیص عیوب ظاهری و درجه‌بندی محصول گوجه‌فرنگی و ارائه سامانه‌ی کارآمد در این زمینه است؛ برای سادگی این فرآیند، از شبکه‌های فازی عصبی موسوم به ANFIS استفاده شده است که در عین سادگی کار و تنظیم کردن، دقتی همپای شبکه‌های عصبی را به ارمغان می‌آورد. پس از عکس‌برداری از گوجه‌فرنگی‌های تهیه شده، این نمونه‌ها توسط فرد خبره در ۸ دسته از لحاظ رسیدگی و اندازه و سلامت یا خرابی دسته‌بندی شدند. ویژگی‌های ابعادی و رنگی تصاویر گرفته شده از این نمونه‌ها با استفاده از فن‌آوری ماشین بینایی و الگوریتم‌های طراحی شده به‌دست آمد و به سامانه‌ی ANFIS سپرده شد که در نهایت دسته‌بندی در سه سطح اولیه و یک سطح نهایی انجام گردید. سه سطح اولیه عبارت بودند از درجه‌بندی از لحاظ رنگ، اندازه و سلامت که داده‌های مربوط به هر سطح به‌عنوان ورودی به سامانه نهایی ارائه شدند. سامانه نهایی با در نظر گرفتن همزمان سه سطح رنگ، اندازه و سلامت، نمونه‌ها را در یکی از ۸ دسته تعریف شده قرار داد. میزان دقت در هر سطح برای قبل و بعد از آموزش، نشان از ارتقاء ده درصدی کیفیت تشخیص و درجه‌بندی در شرایط پس از آموزش داشت که این میزان برای درجه‌بندی‌های رنگ، اندازه، بافت و نهایی به‌ترتیب برابر ۸۹، ۸۱، ۹۵ و ۸۱٪ بود.

واژه‌های کلیدی: اندازه، دسته‌بندی، رسیدگی، رنگ، سلامت

مقدمه

در گذشته و تا چند دهه قبل در صنایع غذایی ارزیابی کیفی به‌صورت سنتی توسط افراد خبره و از طریق چشم و با استفاده از دست انجام می‌گرفت. بدیهی است که در این روش عملکرد بسیار پایین خواهد بود که به علت افزایش تقاضا از طرف مصرف‌کنندگان و در نتیجه نیاز به افزایش کیفیت و سرعت جداسازی روش سنتی پاسخ‌گوی نیاز نبوده و هزینه‌های زیادی در بر خواهد داشت. یکی از ابتدایی‌ترین و مهمترین عملیات‌های پس از برداشت، درجه‌بندی کیفی محصولات کشاورزی است. در بیشتر موارد دسته‌بندی مقدمه‌ای برای بسته‌بندی محصول است که این امر سبب تشخیص آسان‌تر کیفیت محصول توسط مشتری شده و توزیع و عرضه منظم‌تری را به دنبال خواهد داشت.

گوجه‌فرنگی یکی از مهمترین محصولات زراعی است که توسط میلیون‌ها انسان در سرتاسر جهان و همچنین در بین خانواده‌های ایرانی استفاده می‌گردد. با توجه به آمار اعلام شده توسط فائو در سال ۲۰۱۱، گوجه‌فرنگی به‌ترتیب دومین و سومین محصول کشاورزی مورد توجه مصرف‌کنندگان در ایران و جهان بوده و ایران با تولید ۶۸۲۵۰۰۰ میلیون تن در سال رتبه ششم در جهان را به خود اختصاص داده است (FAO, 2011).

تقریباً ۷۵٪ از مصرف گوجه‌فرنگی به‌صورت تازه‌خوری است. بنابراین اتخاذ روشی مناسب برای درجه‌بندی کیفی و در نهایت بسته‌بندی مناسب برای این محصول می‌تواند باعث افزایش بازارپسندی و ماندگاری آن شود.

پردازش تصویر، دانش جدیدی است که در چند دهه‌ی اخیر از هر دو جنبه‌ی نظری و عملی پیشرفت‌های چشمگیری داشته است. مزیت عمده‌ی استفاده از سامانه‌ی ماشین بینایی برای کنترل کیفیت

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم)، دانشگاه شیراز
۲ و ۳- استادیار و استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: (Email: saadatkamgar@yahoo.com

محصولات غذایی، دقت و یکنواخت بودن روند کنترلی است. از این میان شبکه‌های عصبی- فازی (ANFIS) یکی از روش‌های مدرن است که دقت بالاتر را در کنار سهولت بیشتر در جهت تعریف قوانین به ارمغان آورده است (Khalifa and Komarizadeh, 2012).

در این تحقیق در نظر داریم با استفاده از ماشین بینایی و سیستم عکس‌برداری معمولی به همراه سامانه شبکه عصبی- فازی تطبیقی اقدام به درجه‌بندی کیفی محصول گوجه‌فرنگی کنیم. مزیت این سامانه نسبت به سامانه‌های با کاربرد مشابه استفاده از قوانین شفاهی و دسته‌بندی هوشمند به مراتب نزدیک‌تر به هوش و معیارهای انسانی خواهد بود.

مروری بر پژوهش‌های پیشین

ماشین بینایی

همانطور که گفته شد با توجه به اینکه پردازش تصویر و ماشین بینایی از تکنولوژی‌های حال حاضر دنیا می‌باشد، عمده‌ترین کار یک محقق در زمینه استفاده از ماشین بینایی در کشاورزی استخراج ویژگی‌های اجسام مورد نظر در تصاویر دیجیتال با استفاده از این فناوری‌ها می‌باشد.

کاسادی و همکاران (۱۹۹۲) مؤلفه‌های دو بعدی رنگ R و G را برای نمایش اطلاعات رنگ سطح دانه لوبیا مورد استفاده قرار دادند. آن‌ها براساس مؤلفه‌های رنگ، الگوریتمی را تکمیل کردند که قادر بود دانه‌های بیمار، نارس و صدمه‌دیده به‌وسیله قارچ را از دانه‌های سالم تفکیک کند (Casady *et al.,* 1992).

ون و یانگ (۱۹۹۹) اقدام به طراحی و ساخت سامانه بینایی ماشین مادون قرمز نزدیک (۲۵۰۰-۸۰۰ نانومتر) کردند که قادر به تشخیص عیوب سیب در خط درجه‌بندی و بسته‌بندی به‌صورت بلادرنگ بود (Wen and Yang, 1999).

پولدر و همکاران (۲۰۰۳) براساس عوامل ظاهری گوجه‌فرنگی که دارای ارتباطی با میزان رسیدگی این محصول است و با استفاده از تصاویری که توسط ماشین بینایی مورد مطالعه قرار می‌گرفت، اقدام به درجه‌بندی این محصول از لحاظ رسیدگی کردند (Polder *et al.,* 2003).

لینو و همکاران (۲۰۰۸) برنامه نرم‌افزاری را به open source نوشتند که قادر بود تصاویر گرفته شده از محصولات کشاورزی ازجمله لیمو و گوجه‌فرنگی را به‌ترتیب از نظر اندازه و رنگ مورد بررسی قرار داده و درجه‌بندی کند (Lino *et al.,* 2008).

اینساک و همکاران (۲۰۱۲) برای درجه‌بندی گوجه آلبالویی اقدام به ساخت یک ماشین درجه‌بندی براساس رنگ کردند که قادر به درجه‌بندی این نوع گوجه‌فرنگی در دسته‌های طراحی شده براساس رنگ، اندازه و نقص ظاهری بود (In-Suck *et al.,* 2012).

هوش مصنوعی

شاهین و همکاران (۲۰۰۱) روشی برای دسته‌بندی سیب با استفاده از شبکه عصبی بهینه شده و طبقه‌بندی‌کننده فازی ارائه کردند (Shahin *et al.,* 2001).

ایرجی و توسی‌نیا (۲۰۱۱) نیز روشی براساس محیط انفیس متلب ارائه نمودند. با استفاده از منطق فازی فازی یک بررسی دقیق و قابل قبول بر روی داده‌ها انجام شده و درجه‌بندی گوجه‌فرنگی انجام شد (Iraji and Tosinia, 2011).

خلیفا و کماری‌زاده (۲۰۱۲) یک سامانه هوشمند طراحی کردند که با استفاده از مجموعه تحلیل انتشار آکوستیکی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی[1] (PCA) و سامانه طبقه‌بندی استنتاج نرو- فازی تطبیقی برای طبقه‌بندی گردو کار می‌کرد (Khalifa and Komarizadeh, 2012).

محمدی منور و همکاران (۲۰۱۳) سیستمی خودکار مبتنی بر بینایی کامپیوتر جهت برداشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای ارائه نمودند. دوربین CCD به‌عنوان حس‌گر بینایی از فضای کاری عکس می‌گرفته و گوجه‌ها با رسیدگی بالای ۵۰ درصد توسط پردازش تصاویر شناسایی می‌شدند. آنها کار خود را در سه فضای رنگی RGB، HSI و YCbCr انجام دادند و مشخص کردند که این عملیات در فضای YCbCr با درصد موفقیت بالاتری نسبت به سایر فضاهای رنگی مورد مطالعه این تشخیص را انجام می‌دهد (Mohamadi Monavar *et al.,* 2013).

جعفرلو و فرخی تیمورلو (۲۰۱۴) اقدام به اندازه‌گیری حجم سیب کردند. این تحقیق نشان می‌دهد که پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی می‌توانند به‌عنوان روش‌های ساده و کارآمد در تخمین حجم محصولات کشاورزی استفاده گردند (Jafarlou and Farrokhi Teimourlou, 2014).

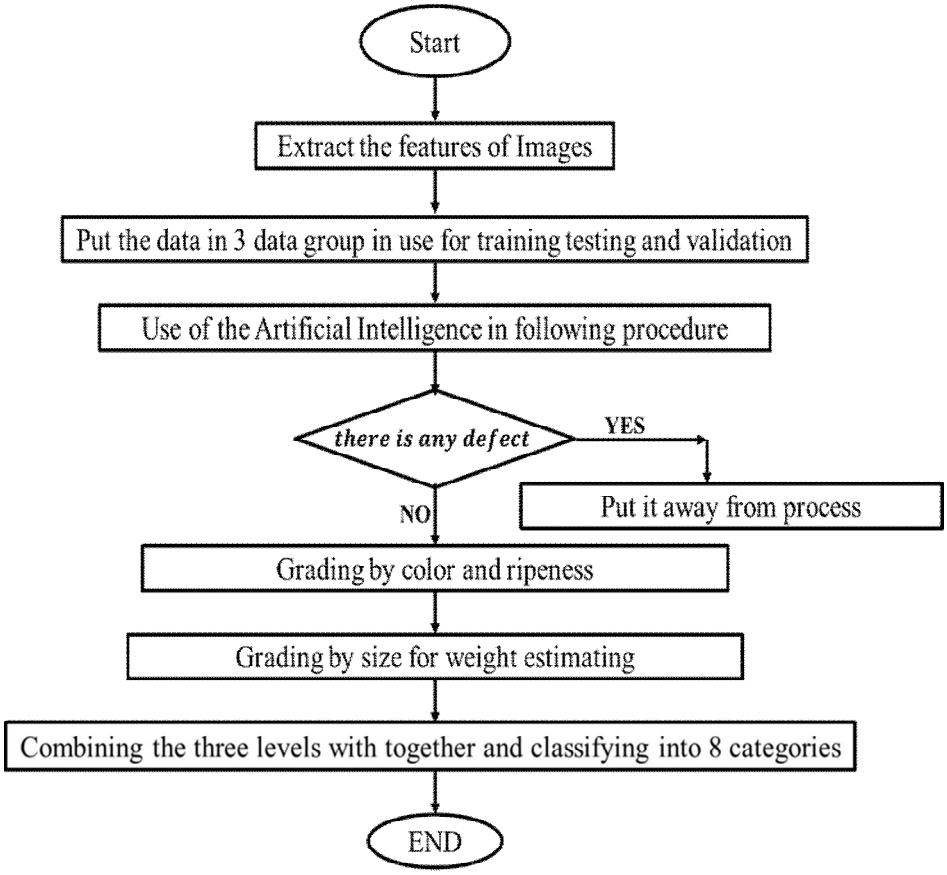
مواد و روش‌ها

دسته‌بندی محصول گوجه‌فرنگی به‌عنوان سومین میوه مورد استفاده در جهان و ارائه روش‌های نوین و دقیق برای این منظور از مسائلی است که بیشتر پژوهشگران را در سرتاسر جهان به خود مشغول داشته است. در این پژوهش بر آن بودیم که با توجه به فلوچارت زیر و مراحل ذکر شده در آن، شاهد درجه‌بندی مطلوب برای این محصول پر اهمیت باشیم.

ورودی شبکه عصبی- فازی (ANFIS) شامل ۵ ویژگی بوده که عبارتند از: مؤلفه میانگین رنگی قرمز و سبز، میانگین دو قطر و

1- Principle Component Analysis

مساحت سطح تصویر به‌دست آمده از تصـویر دو بعـدی و همچنـین درصد خرابی سطح تشخیص داده شده نسبت به سطح تصویر.



شکل ۱- فلوچارت مراحل کلی انجام پردازش

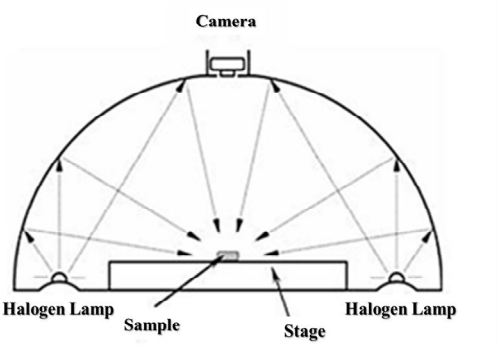
Fig.1. The flowchart of the all levels of processing

در نهایت، با توجه به معیارهای ارائه شده به شبکه طراحی شـده، ۸ خروجی منطبق بر ۸ خروجی در نظر گرفته شده توسط فـرد خبـره (۱- ناسالم ۲- نارس و سالم ۳- سالم و نیم‌رس و کوچک ۴- سالم و نیم‌رس و متوسط ۵- سالم و نیم‌رس و بـزرگ ۶- سـالم و رسـیده و کوچک ۷- سالم و رسیده و متوسط و ۸- سالم و رسیده و بزرگ) در نظر گرفته شد که عبارت بودند از: ۳ معیار رسیدگی، ۳ معیار اندازه و ۲ معیار سلامت و خرابی. در این پژوهش، تعداد ۵۰ عدد گوجه‌فرنگی از گونه ریوگراند از مزارع دانشکده کشاورزی دانشگاه شـیراز بـه‌صـورت تصادفی انتخاب و تهیه گردید که شامل نمونه‌های نارس، نیم‌رس و رسیده در اندازه‌های بزرگ، متوسط و کوچک بودند و تعدادی از آنهـا عیوب ظاهری داشتند. ابعاد گوجه‌فرنگی‌های انتخاب شده با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱± میلی‌متر اندازه‌گیری و توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱± توزین شدند.

عکس‌برداری

برای تهیه عکس‌ها از اتاقک نورپردازی با تابش غیر مستقیم که اصطلاحاً آسمان ابری نامیده استفاده گردید (شکل ۲). این اتاقـک از یک گنبد به قطر ۹۰ سانتی‌متر با سطح داخلی صیقلی و سفید رنـگ تشکیل شده که نمونـه‌هـای مـورد عکـس‌بـرداری در زیـر آن قـرار می‌گیرند. در این نورپردازی، لامپ‌هـای هـالوژن در محـیط اطـراف سکوی عکس‌برداری قرار گرفته‌انـد بـه شـکلی کـه نـور مسـتقیم از لامپ‌ها به نمونه نمی‌رسد (Jafari *et al.*, 2014).

جهـت اخـذ تصـاویر رنگـی از دوربـین دیجیتـال NIKON COOLPIX P4 ساخت ژاپن با وضوح ۸/۱ مگاپیکسل اسـتفاده شـد که در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری در بالای نمونه‌های مورد آزمایش قـرار داده شد. عکس‌برداری در ۶ وجه از نمونه‌ها به‌عمل آمد.

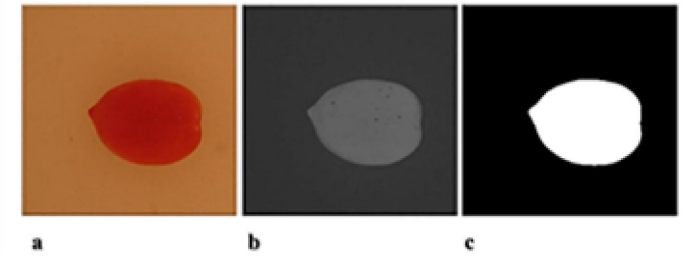


شکل ۲- اتاقک نورپردازی و عکس‌برداری از نمونه‌ها
Fig.2. Lighting chamber and capturing from sample

تصاویر دیجیتال اخذ شده از گوجه‌فرنگی‌ها جهت پردازش توسط نرم‌افزار متلب به کامپیوتر انتقال داده شد.

پردازش تصویر

تصاویر ورودی در نرم‌افزار متلب در ابتدا به‌صورت رنگی (RGB) بوده‌اند که برای انجام عملیات پردازشی جهت استخراج اطلاعات، در مرحله اول شکل به تصویر خاکستری درآورده شده و سپس با آستانه‌گذاری بر روی تصویر خاکستری، تصویر به‌صورت سیاه و سفید (صفر و یک) به نمایش درآمد. شایان ذکر است که برای حذف نوفه، تصاویر قبل از انجام آنالیز، پیش‌پردازش صورت گرفت. این پیش‌پردازش شامل حذف کامل پس‌زمینه و داشتن تصویری شفاف و کامل از سطح رویه نمونه می‌باشد.



شکل ۳- گام‌های متوالی جدا کردن سطح رویه نمونه از پس‌زمینه: تصویر اصلی رنگی (a)، تصویر خاکستری (b) و تصویر نهایی از این مرحله (c)
Fig.3. Consecutive steps for extracting foreground from background: a) Original color image, b) Grayscale image and c) Binary image

آستانه، کمیتی عددی است که پیکسل‌های با شدت روشنایی بالاتر از آن را به یک و کمتر از آن را به صفر تبدیل می‌کند. این روش برای تصاویر با تباین بالا در شرایطی که روشنایی کنترل شده باشد بسیار مؤثر است.

استخراج ویژگی‌های تصاویر

ویژگی‌های مستخرج از تصاویر شامل سه دسته بودند: ویژگی‌های شکل، ویژگی‌های بافت به‌صورت رنگی و ویژگی‌های رنگی.

ویژگی‌های شکل

در بحث خصوصیات شکلی تصاویر، ویژگی‌هایی از تصاویر مورد بررسی قرار گرفتند که اطلاعات از جرم محصول را به ما ارائه دهد. به این منظور از ابعاد و مساحت سطح تصویر استفاده گردید که در ادامه توضیح داده شده است.

برای محاسبه مساحت نمونه‌ها، تصویر سیاه و سفید حاصل فراخوان شده و با شمارش تعداد پیکسل‌هایی که دارای مقادیر سفید معادل یک بودند، مقدار مساحت محاسبه گردید.

مقادیر قطر بیشینه و قطر کمینه نمونه به‌ترتیب برابر است با طول بزرگ‌ترین محور و طول کوچک‌ترین محور نمونه. به‌عبارت دیگر

راستاهایی که شیء مورد نظر در تصویر سیاه و سفید به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد پیکسل سفید رنگ در آن‌ها باشد را قطر بیشینه و کمینه گوییم. میانگین قطرهای محاسبه شده نیز به‌صورت حسابی و از دو عدد به‌دست آمده حاصل گردید.

ویژگی‌های رنگی

در صنعت مواد غذایی تحلیل و اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها ضروری است. بدین منظور تقسیم‌بندی علمی که از لحاظ رنگ ظاهری برای تخمین میزان رسیدگی گوجه‌فرنگی انجام می‌گیرد در ۶ دسته به‌صورت زیر معرفی می‌گردد:

۱. قرمز؛ بیشتر از ۹۰٪ رنگ قرمز

۲. قرمز کم‌رنگ؛ ۹۰-۶۰٪ رنگ قرمز یا صورتی پررنگ

۳. صورتی؛ ۶۰-۳۰٪ رنگ قرمز

۴. تورنینگ[1] یا عطف؛ ۳۰-۱۰٪ رنگ قرمز که مرحله تغییر رنگ از سبز به صورتی را نشان می‌دهد.

۵. قطع‌کننده یا بریکرز[2]؛ شروع مرحله تغییر رنگ از سبز به زرد را نشان می‌دهد اما رنگ قرمز آن بیشتر از ۱۰٪ نمی‌باشد.

۶. سبز؛ سطح به کلی سبز می‌باشد.

با استناد به این تقسیم‌بندی که به‌صورت دیداری می‌باشد می‌توان تفسیری از میزان قرمزی را در مقابل رسیدگی گوجه‌فرنگی ارائه کرد و چون معیار رسیدگی برای ما در پژوهش حاضر در سه سطح می‌باشد می‌توان اطمینان حاصل کرد که برای دسته‌بندی می‌توان از رنگ ظاهری برای میزان رسیدگی گوجه‌فرنگی تصمیم‌گیری نمود. مشخصات رنگی در این مرحله از تصویر گوجه‌فرنگی به‌صورت میانگین مؤلفه‌های رنگی RGB و درصد آن‌ها به‌دست آمد.

ویژگی‌های بافتی

الگوریتم اجرا شده در این مرحله وظیفه دارد بافت ناسالم را از بافت سالم مشخص کند و درصدی از کل سطح نمونه را برای ما ارائه کند.

بر روی تصاویر اخذ شده پردازش‌هایی انجام گردید تا بتواند در وهله اول نقاطی از تصویر را برجسته کند که واقعاً جزو نواقص محسوب می‌شوند و بدین منظور ضرایبی بر ترکیب رنگی اعمال گردید که بتوان تصویر را به دو بخشی تبدیل کرد که سالم از ناسالم جدا گردد. نواقص مورد نظر عبارت بودند از سیاهی حاصل از کپک و کرم‌خوردگی و همچنین سفیدی حاصل از آب‌زدگی و آفتاب‌خوردگی.

در نهایت الگوریتم نوشته شده با اندکی خطا توانست تمام قسمت‌های دارای صدمه را تشخیص دهد و به‌صورت درصدی از خرابی در یک فایل اکسل ذخیره کند.

سامانه استنتاج فازی – عصبی تطبیقی

این سامانه با استفاده از داده‌های ورودی و قوانینی که از بررسی الگوها به‌دست آمده و بر این سامانه حاکم شده است، توابع عضویت را برای ورودی و خروجی مشخص کرد و در نهایت هریک از نمونه‌ها در دسته‌های مشخص شده قرار گرفتند.

با توجه به اینکه عملیات دسته‌بندی مد نظر این تحقیق براساس رنگ (میزان رسیدگی)، اندازه و سلامت نمونه‌هاست، بدین منظور اقدام به طراحی سامانه در چهار سطح گردید که به‌عنوان مثال در سطح اول، نمونه‌ها از لحاظ سلامت، در سطح دوم از لحاظ درصد رنگی و در سطح سوم از لحاظ اندازه مورد بررسی قرار گرفتند. در سطح چهارم با فراخوانی این اطلاعات، خروجی به‌عنوان ورودی سامانه در سطح چهار اقدام به مشخص کردن گروه محصولات در دسته‌های یک تا ۸ نمود. با طی کردن مراحل بالا داده‌ها برای کار با انفیس آماده شده‌اند. برای بیان دقت کار سیستم، نسبت نمونه‌های دسته‌بندی شده درست به کل تعداد نمونه‌های آن دسته محاسبه گردید (Xing *et al.*, 2006).

آموزش و آزمون

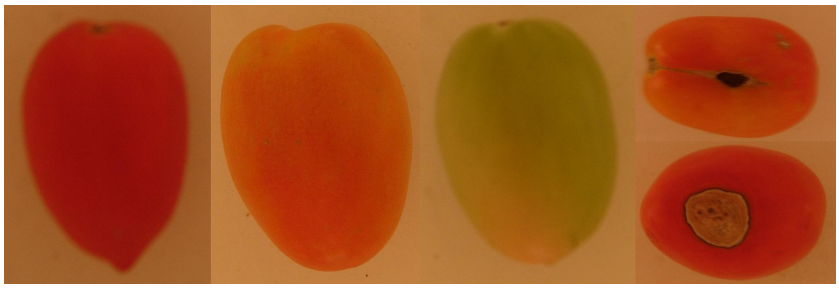
سامانه آموزش یافته به‌صورت اتوماتیک با استفاده از بخشی از داده‌ها خود را در دو مرحله قبل و بعد از آموزش مورد ارزیابی قرار می‌دهد. مقادیر دقت برای قبل از آموزش و صرفاً با استفاده از قوانین اعمال شده بر سامانه برابر است با ۸۲٪ در حالی‌که این دقت بعد از آموزش به عدد ۸۹/۴٪ می‌رسد که عدد قابل ملاحظه‌ای است.

این سه مرحله به‌طور مشابه برای سایر سطوح نیز اعمال گردید. شایان ذکر است که نام‌گذاری‌ها، توابع عضویت و قوانین برای هر سامانه متفاوت بوده است.

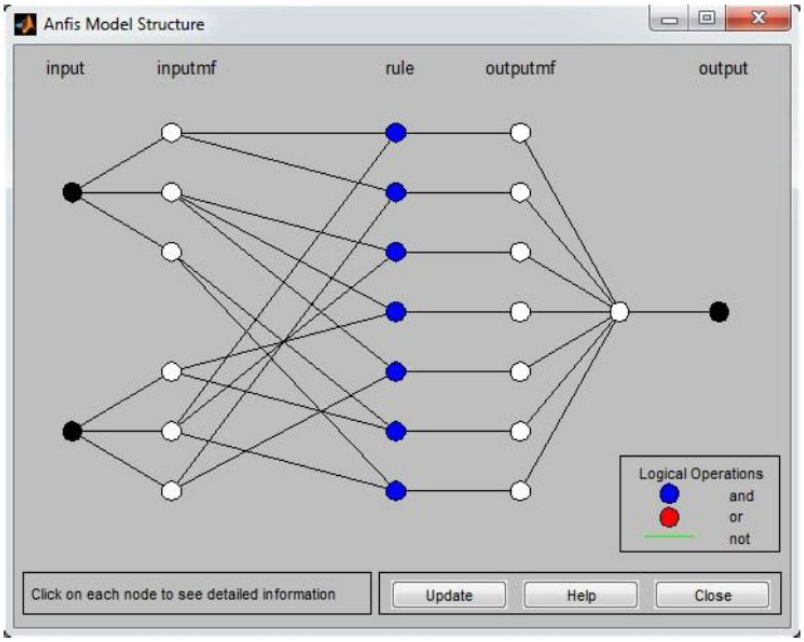
شماتیک سامانه استنتاجی فازی- عصبی تطبیقی که در دسته‌بندی رنگی اجرا شد مانند شکل ۵ می‌باشد.

به منظور ارزیابی این سامانه و صحت عملکرد آن به‌عنوان یک سامانه پویا از ۶۰ نمونه استفاده گردید که دارای مقادیر اندازه‌ای، رنگی و سلامت بود. این نمونه‌ها با استفاده از سامانه دسته‌بندی شدند و سپس نتایج به‌دست آمده از آن با نتایج تصمیم‌های فرد خبره مقایسه گردید که نشان می‌داد دقت سامانه با مقادیری که پس از آموزش به‌دست آمده بود نزدیک بود.

1- Turning point
2- Brickers



شکل ٤- نمونه‌هایی از گوجه‌فرنگی‌ها با سطوح رسیدگی‌های متفاوت و دو نمونه ناسالم
Fig.4. Samples of tomatoes at 3 stage of ripeness and a damaged one



شکل ۵- ساختار شبکه‌ای سامانه ANFIS برای دسته‌بندی رنگی
Fig.5. Network structure of ANFIS system for color-classification

نتایج و بحث

در این قسمت در بخش‌هایی جداگانه به بررسی ویژگی‌های هریک از دسته‌بندی‌های مشخص شده خواهیم پرداخت. این ویژگی‌ها عبارتند از: مساحت سطح و قطرها به منظور اندازه‌بندی، سطح رسیدگی با استفاده از مؤلفه‌های رنگی و تشخیص خرابی با استفاده از درصد استخراج شده از تصاویر به کمک ماشین بینایی.

ارزیابی الگوریتم‌های ویژه تخمین اندازه

پس از پردازش تصاویر اخذ شده از نمونه‌ها توسط نرم‌افزار متلب و استخراج ویژگی‌های سطح تصویر، قطرهای بیشینه و کمینه، این مقادیر با استفاده از نرم افزار SPSS 21 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

با توجه به اینکه سادگی و دقت، دو عامل مهم و در عین حال متقابل هستند بنابراین با در نظر گرفتن ویژگی‌های مورد نظر باید شیوه‌ای را در پیش بگیریم که همزمان با افزایش دقت، سادگی قوانین را نیز به ارمغان بیاورد. بنابراین از میان موارد ذکر شده از دو مورد سطح تصویر و قطر کوچک اندازه‌گیری شده توسط الگوریتم، برای تعریف قوانین ANFIS بهره گرفته شد. دلیل این انتخاب نیز با در نظر گرفتن معنی‌داری مقادیر همبستگی در سطح ۰/۰۱ به‌راحتی قابل استنباط است.

جدول ۱- همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و به‌دست آمده از الگوریتم‌ها

Table 1- Corelations between mesuresd values and calculated by algorithem

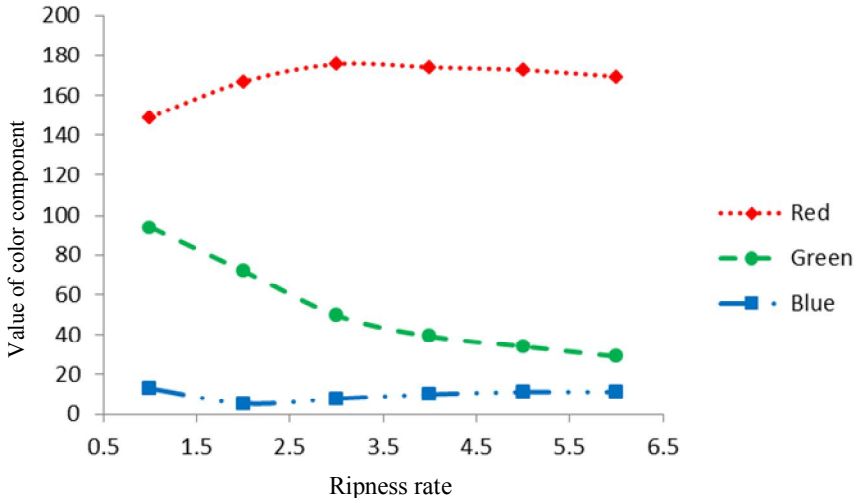
	سطح تصویر Projection area	قطر میانگین Mean diameter	قطر بزرگ Max diameter	قطر کوچک Min diameter
وزن Weight	0.790	0.759	0.550	0.828
قطر کوچک Min diameter	0.811	0.776	0.515	0.932
قطر بزرگ Max diameter	0.829	0.861	0.954	0.515
قطر میانگین Mean diameter	0.996	0.954	0.926	0.776
سطح تصویر Image's surface area	1	0.996	0.893	0.787

فرآیند پیش از آموزش، بیانگر توانایی سامانه برای دسته‌بندی مطلوب ما با استفاده از قوانین است. در قسمت دوم که شامل فرآیند پس از آموزش سامانه است، دقت ارائه شده بالطبع بیشتر از حالت قبل می‌باشد. در پژوهش حاضر مقادیر دقت سامانه قبل و بعد از آموزش در سطح درجه‌بندی اندازه به‌ترتیب عبارتند از: ۷۰/۷۵٪ و ۸۰/۹۵٪.

ارزیابی الگوریتم درجه‌بندی رنگی

مقادیر به‌دست آمده از استخراج ویژگی‌های رنگی RGB هر نمونه جهت تشخیص روندی متناسب با میزان رسیدگی مورد بررسی قرار گرفتند.

پس از عکس‌برداری و استخراج مقادیر میانگین مؤلفه‌های رنگی هر مورد و ذخیره کردن آن‌ها در یک فایل صفحه گسترده، با استفاده از نتایج به‌دست آمده نمودار مربوط به هر مؤلفه در طول رسیدگی ترسیم گردید. به منظور نشان دادن این روند به جای استفاده از ۳ سطح رسیدگی با توجه به دسته‌بندی علمی که در بالا به آن اشاره گردید دسته‌بندی در ۶ دسته صورت پذیرفت. با استناد به این نمودار این نتیجه حاصل می‌شود که می‌توان از این مؤلفه‌ها برای دسته‌بندی گوجه‌فرنگی‌ها در سه دسته استفاده نمود.



شکل ٦- مقادیر مؤلفه‌های رنگی در طی رسیدگی

Fig.6. Color components values during ripening

در پژوهش حاضر مقادیر دقت سامانه قبل و بعد از آموزش در سطح درجه‌بندی کیفی به‌ترتیب عبارتند از: ۸۲/۰۴٪ و ۸۹/۴۴٪.

ارزیابی سامانه کلی

سامانه در چند مرحله اقدام به دسته‌بندی می‌نماید که عبارتند از دسته‌بندی نمونه‌ها از نظر رنگ در سه دسته، از نظر اندازه در سه دسته و در نهایت سلامت یا خرابی در دو دسته سالم و ناسالم؛ در نهایت با داده‌هایی که حاصل این دسته‌بندی‌ها می‌باشند نمونه‌ها با اندازه‌ها میزان رسیدگی یا رنگ و سلامت مشخص شده در سطوح قبلی به‌عنوان داده ورودی برای سامانه نهایی در نظر گرفته شد تا با استفاده از این سامانه نمونه‌ها در ۸ دسته خروجی که همسان با دسته‌های تعیین شده با توجه به نظر فرد خبره می‌باشد قرار داده شود.

قبل از آموزش سامانه، مقدار دقت ارزیابی شده برای سامانه ۷۵/۵۱٪ و پس از آموزش این دقت به عدد ۸۱/۹۷٪ افزایش پیدا کرد. همچنین نتایج برای دقت سامانه به‌ترتیب برای سطوح اندازه‌ای، رنگی، سلامت و کلی برابر با ۷۵/۸۶، ۸۳/۷۹، ۹۴/۱۸ و ۷۶/۴۶٪ برآورد گردید.

تحلیل انجام شده با استفاده از آزمون مربع کای در برنامه SPSS نیز این ادعا را ثابت کرد که سامانه پویای ما به خوبی می‌تواند در شرایط کاری قرار بگیرد و برای همه گوجه‌فرنگی‌ها به خوبی کار کرده و دسته‌بندی با دقتی مطلوب را ارائه دهد.

نتیجه‌گیری

پس از انجام پژوهش و تجزیه و تحلیل‌ها می‌توان به نتایج کلی زیر رسید:

۱. برای به‌دست آوردن تخمین ابعاد گوجه‌فرنگی، ابعاد نمونه‌ها با استفاده از کولیس و ماشین بینایی اندازه‌گیری شد که نتایج نشان می‌داد می‌توان از این سامانه برای به‌دست آوردن ابعاد استفاده کرد.

۲. به منظور درجه‌بندی اندازه‌ای از قطر کوچک و مساحت سطح تصویر استفاده شد که به‌ترتیب ضرایب تبیین ۶۷٪ و ۶۲٪ را برای پیش‌بینی جرم داشتند؛ در نهایت با استفاده از سامانه انفیس این درجه‌بندی با دقت ۸۱٪ انجام گردید.

۳. به منظور درجه‌بندی رنگی از دو مؤلفه رنگی R و G استفاده شد که بیشترین تعریف از سطح رسیدگی را ارائه می‌دادند و درنهایت با استفاده از سامانه انفیس این درجه‌بندی با دقت ۸۹/۵٪ انجام گردید.

۴. به منظور درجه‌بندی بافتی یا همان جدا کردن نمونه‌های سالم از ناسالم از درصد ناسالمی تشخیص داده شده توسط ماشین بینایی استفاده گردید و چون در سامانه انفیس این سطح قوانین تنها یک شرط داشتند درصد دقت تفکیک به مقدار ۹۵٪ رسید.

۵. در سطح نهایی یا کلی، خروجی‌های سه سطح قبلی به‌عنوان ورودی به سامانه تحویل داده شدند و با استفاده از قوانین اعمالی براساس این ورودی‌ها، خروجی به‌صورت ۸ خروجی مشخص شده در اهداف دسته‌بندی گردید. دقت تفکیک در این سطح پس از آموزش به میزان ۸۱/۵٪ رسید.

۶. با توجه به نتایج حاصل از آزمون مربع کای می‌توان ادعا کرد که این سامانه می‌تواند جایگزین انسان گردد و با توجه به نحوه کارکرد و تنظیمات لازم برای به‌کار بردن این سامانه، می‌توان اذعان کرد که این سامانه با تغییراتی در سامانه‌های دریافت اطلاعات ورودی می‌تواند به‌عنوان یک سامانه قوی‌تر برای جایگزینی با انسان معرفی گردد.

References

1. Casady, W. W., M. R. Paulsen, J. F. Reid, and J. B. Sinclair. 1992. A trainable algorithm for inspection of soybean quality. Transactions of the ASAE 35 (6): 2027-2034.
2. In-Suck, B., Ch. Byoung-kwon, and K. Young-sik. 2012. Development of a compact quality sorting machine for cherry tomatoes based on real-time color image processing. International Conference of Agricultural Engineering. Valencia. Spain. July 8-12.
3. Iraji, M. S., and A. Tosinia. 2011. Classification of Tomatoes on Machine Vision with Fuzzy the Mamdani Inference, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Based (Anfis-Sugeno). Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5 (11): 846-853.
4. Jafari, A., A. Fazayeli, and M. R. Zarezadeh. 2014. Estimation of orange skin thickness based on visual texture coarseness. Journal of Biosystems Engineering 117: 73-82.
5. Jafarlou, M., and R. Farrokhi Teimourlou. 2014. Estimation of apple volume and its shape indentation using image processing technique and neural network. Journal of Agricultural Machinery 4 (1): 57-64. (In Farsi).
6. Khalifa, S., and M. H. Komarizadeh. 2012. An intelligent approach based on adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for walnut sorting. Australian Journal of Crop Science 06 (2): 183-187.
7. Lino, A. C. L., J. Sanches, and I. M. D. Fabbro. 2008. Image processing techniques for lemons and tomatoes classification. Journal of Bragantia 67: 785-789.
8. Mohamadi Monavar, H., R. Alimardani, and M. Omid. 2013. Computer vision utilization for detection

of green house tomato under natural illumination. Journal of Agricultural Machinery 3 (3): 9-15. (In Farsi).
9. Polder, G., G. W. A. M. Heijdena, and I. T. Young. 2003. Tomato sorting using independent component analysis on spectral images. Real-Time Imaging 9: 253-259.
10. Shahin, M. A., E. W. Tollner, and R. W. McClendon. 2001. Artificial Intelligence Classifiers for sorting Apples based on Watercore. Journal of Agricultural Engineering Research 79 (3): 265-274.
11. Wen, Z., and T. Yang. 1999. Building a rule-based machine-vision system for defect inspection on apple sorting and packing lines. Expert Systems with Applications 16: 307-313.
12. Xing J., M. Ngadi, N. Wang, and J. D. Baerdemaeker. 2006. Bruise Detection on Tomatoes Based on the Light Scattering Image. ASABE Annual International Meeting. Sponsored by ASABE Oregon Convention Center, Portland, Oregon, USA.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 6, No. 1, Spring - Summer 2016, p. 49-59

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۶، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۵، ص ۵۹-۴۹

Tomato grading system using machine vision technology and neuro-fuzzy networks (ANFIS)

H. Izadi[1]- S. Kamgar[2*]- M. H. Raoufat[3]

Received: 18-03-2014
Accepted: 12-11-2014

Introduction: The quality of agricultural products is associated with their color, size and health, grading of fruits is regarded as an important step in post-harvest processing. In most cases, manual sorting inspections depends on available manpower, time consuming and their accuracy could not be guaranteed. Machine Vision is known to be a useful tool for external features measurement (e.g. size, shape, color and defects) and in recent century, Machine Vision technology has been used for shape sorting.

The main purpose of this study was to develop new method for tomato grading and sorting using Neuro-fuzzy system (ANFIS) and to compare the accuracies of the ANFIS predicted results with those suggested by a human expert.

Materials and Methods: In this study, a total of 300 image of tomatoes (Rev ground) was randomly harvested, classified in 3 ripeness stage, 3 sizes and 2 health.

The grading and sorting mechanism consisted of a lighting chamber (cloudy sky), lighting source and a digital camera connected to a computer.

The images were recorded in a special chamber with an indirect radiation (cloudy sky) with four florescent lampson each sides and camera lens was entire to lighting chamber by a hole which was only entranced to outer and covered by a camera lens.

Three types of features were extracted from final images; Shap, color and texture. To receive these features, we need to have images both in color and binary format in procedure shown in Figure 1.

For the first group; characteristics of the images were analysis that could offer information an surface area (S.A.), maximum diameter (Dmax), minimum diameter (Dmin) and average diameters. Considering to the importance of the color in acceptance of food quality by consumers, the following classification was conducted to estimate the apparent color of the tomato;

1. Classified as red (red > 90%)
2. Classified as red light (red or bold pink 60-90%)
3. Classified as pink (red 30-60%)
4. Classified as Turning (red 10-30%, It showed the color green change to pink)
5. Classified as Breakers (red < 10%, It showed the color green change to yellow)
6. Classified as green (The whole fruit area was green)

To estimate the quality of tomato, we need to estimate background of the images. For this purpose we should follow the preocedure as shown in Fig.2.

According to flowcharts shown in Fig.1, our samples will be in the following stages: (Fig.3.)

Fig.4 shows that during the ripening of tomato red color is increased and green color is decreased. Indicating chlorophyll degradation while lycopen started to be produced.

According to figure 6 we utilize the R and G value of tomato for ripening decision. As ripening data we utilize the mean of red and green values of pixels that are used for this goal. For correct processing of last group, edge of images were removed that had incompletely understood of the fruit color and determine color coefficients, the system with slight error could detect all parts of the damage. Quantity of damage area reported in the proportion of the total area of tomato.

In the present work, 5 factors were considered and the linguistic variables corresponding to the values were created in 4 levels: size, color or ripening, a healthy and final level that classified tomatoes in 8 classes. In size level input values were minimum diameter and surface area. These values classified the tomatoes into 3 groups. In color level input values were Red and Green component values. These values were used to classify the tomatoes in 3 group, too. In healthy and unhealthy level, input value was proportion of damage area to tomato

1- Graduated student of Biosystems Department, Shiraz University
2- Assistant Professor of Biosystems Department, Shiraz University
3- Professor of Biosystems Department, Shiraz University
(*- Corresponding Author Email: saadatkamgar@yahoo.com)

total area. This value were used to classify the tomatoes in 2 group. In final level, outputs of previous levels are our inputs now. This values going to classify the tomatoes into 8 final groups.

Results and Discussion: This system can classify the tomatoes in 8 groups just with rules. For this reason we measured the accuracy of the system before training. This values were 70.7, 82.0, 95.7 and 75.5% for size, color, health and final system respectively. For achieving all ability of ANFIS in classifing we done the above measuring after training of machine. The results were 80.9, 89.5, 95.7 and 81% for size, color, health and final system respectively, that indicate the accuracy of the system is raised by 10%. A validation step is done in this study. The accuracy of the system is measured versus a human expert. The classification was done with 60 samples. The accuracies of machine were 75.9, 83.8, 94.2 and 76.5%. Analysis of results with qui-square test indicated that there is no significant difference between machine results and human expert choices.The validation process proved that system is useful in this purpose.

Conclusions: This research was about evaluating of using machine vision and ANFIS in grading machines and done in off-line mode. The research was redirected to the following general conclusions:

1. To obtain an estimate of tomatoes, sample sizes were measured by using calipers and machine vision, the results showed that this system can be used to obtain dimensions.

2. For the purpose of size grading, the small diameter and the surface area of the image was used whichyielded 67% and 62% accuracy for determining the mass, in comparison the ANFIS system performance was precisely 81%.

3. For the purpose of color grading, red and green were used which is a better description of quality. For this the ANFIS system was used for color grading and it performed at 89.5%.

4. For the purpose of sample selection grading (dividing the rotten from the good), optical robot was used. The outcome of system ANFIS and the optical robots had the same results of selection at 95%.

5. In an aggregate or globally, the criteria from the above was used as an input for the grading and classification. Based on these inputs, the ultimate output was consequently categorized into 8 groups. The precision of the division or the selection was determined to be 81.5%.

6. With respect to the testing based on chi-square, it can be determined that this system can replace human workers. In addition, based on the performance and necessary adjustments to the system and its grading criteria better system can be built to replace human workers.

Keywords: Classifying, Health, Ripeness, Size, Sorting