

Classification of Strawberry Based on Maturity Rate and Size Using Machine Vision

AMIN HOSSEINZADEH RENDI¹, JALAL KHODAEI^{2*}, NASSER BEHROOZI-KHAZAEI³

1. Graduated M.Sc. student in Biosystems Engineering Department, University of Kurdistan

2. Assistant professor in Biosystems Engineering Department, University of Kurdistan

3. Assistant professor in Biosystems Engineering Department, University of Kurdistan

(Received: Feb. 13, 2018- Revised: July. 22, 2018- Accepted: Aug. 6, 2018)

ABSTRACT

In this article a machine vision system and an artificial neural network (ANN) for classifying the strawberry based on maturity and shape features were used. First an image processing algorithm for extracting the color and shape features was investigated and then for grading the strawberry into three classes based on shape features and three classes of maturity based on colors features were done. The sensitivity analysis indicated that shape grading had highest sensitive to area, parameter, large and minor diameters features. Also a* and S color features had better correlation coefficient than other color features with total solid soluble and therefore were selected as supreme features for grading the strawberry based on maturity. Finally, results demonstrated that the ANN was able to classify with 94.04 and 95.14 total accuracy rate for shape and maturity grading.

Keywords: Artificial neural network, Image processing, Sensitivity analysis, Total solid soluble.

طبقه بندی توت فرنگی بر اساس میزان رسیدگی و اندازه به کمک ماشین بینایی

امین حسین زاده رندی^۱، جلال خدائی^{۲*}، ناصر بهروزی خزاعی^۲

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۴/۳۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۵/۱۵)

چکیده

در این پژوهش برای درجه بندی میوه توت فرنگی از لحاظ اندازه و میزان رسیدگی از بینایی ماشین و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. ابتدا یک الگوریتم پردازش تصویر برای استخراج ویژگی های رنگ و اندازه توت فرنگی توسعه داده شد و سپس درجه بندی توت فرنگی بر اساس اندازه به سه طبقه ممتاز، درجه یک و درجه دو و بر اساس میزان رسیدگی به کمک ویژگی های رنگی به سه طبقه رسیده، نیم رس و نارس انجام شد. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که درجه بندی بر اساس اندازه به ویژگی قطر بزرگ، قطر کوچک، محیط و مساحت حساسیت بیشتری دارد. همچنین بر اساس همبستگی بین میزان مواد جامد محلول و رنگ محصول، a^* و S از میان بقیه ویژگی های رنگی برای درجه بندی بر اساس میزان رسیدگی انتخاب شدند. در نهایت نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی قادر است با دقت کلی ۹۴/۰۴ و ۹۵/۱۴ به ترتیب درجه بندی بر اساس اندازه و میزان رسیدگی را انجام دهد.

واژه های کلیدی: شبکه های عصبی مصنوعی، پردازش تصویر، تحلیل حساسیت، میزان مواد جامد محلول.

مقدمه

سطح زیر کشت و میزان تولید توت فرنگی در ایران بترتیب ۴۹۸۶ هکتار و ۶۷۵۰۹ تن است. در استان کردستان سطح زیر کشت توت فرنگی در حدود ۲۹۱۶ هکتار می باشد که ۵۸٪ سطح زیر کشت کل کشور را شامل می شود. همچنین این استان با داشتن رتبه نخست تولید توت فرنگی در کشور، سالیانه ۴۴۵۷۰ تن محصول تولید می کند که برابر با ۶۶٪ تولید کل کشور بوده است (Anonymous, 2016). درجه بندی محصولات کشاورزی راهی مناسب برای ارائه محصولات به صورت بازارپسند می باشد. درجه بندی قبل از مرحله بسته بندی انجام می شود که بدین منظور اغلب میوه ها و سبزی ها از نظر خصوصیات ظاهری و کیفیت داخلی درجه بندی می شوند. درجه بندی توت فرنگی بر اساس شکل، اندازه، رنگ (میزان رسیدگی) و همچنین خرابی-هایی که در سطح میوه در اثر آسیب های مکانیکی و برخی از بیماری های قارچی بروز می کند، انجام می گیرد.

امروزه بسیاری از تولیدکنندگان داخلی به دلیل عدم توانایی در عرضه محصول خود به نحو بازارپسند متحمل خسارت می شوند. لذا، برخورداری از بسته بندی مناسب و

همچنین درجه بندی مکانیزه محصول قبل از بسته بندی، سبب افزایش مشتری پسندی و نیز افزایش صادرات محصولات باغی می گردد. برای درجه بندی میوه ها روش های مختلفی وجود دارد. روش های مکانیکی، با توجه به آسیب های مکانیکی مانند لهیدگی و ضربه که به محصول وارد می کنند، امروزه کمتر مورد توجه قرار می گیرند. ولی روش های غیر مخرب به دلیل دخالت کمتر توسط انسان و متعاقبا پایین بودن هزینه کارگری، راحت تر و باصرفه تر بوده و در حال حاضر به دلیل کاهش صدمات مکانیکی وارده به محصول مورد توجه قرار گرفته اند (Baigvand et al., 2015). امروزه درجه بندی میوه توت فرنگی در مزارع استان کردستان به صورت دستی انجام می گیرد که باعث تحمیل نمودن هزینه کارگری به کشاورز می شود و ممکن است هزینه های ناشی از خسارت را نیز به دنبال داشته باشد. سامانه های درجه بندی بر مبنای بینایی ماشین یکی از روش های نوین غیرمخرب برای درجه بندی محصولات بر اساس خصوصیات ظاهری می باشند (Mohammadi et al., 2015). این سامانه های درجه بندی از قسمت های مختلفی تشکیل شده اند که عبارتند از: ۱- بخش منفردساز ۲- بینایی ماشین ۳- الگوریتم پردازش تصویر ۴- الگوریتم تصمیم گیری ۵- تجهیزات جداساز. مهم ترین قسمت در سامانه های درجه بندی محصولات کشاورزی بر مبنای بینایی ماشین، طراحی الگوریتم های پردازش تصویر و تصمیم-

* نویسنده مسئول: J.khodaei@uok.ac.ir

تناوب دانه ها در راستای محور xها و yها بترتیب یک رابطه خطی با ضریب تعیین $0/۸۹۴۶$ و $0/۸۳۴۶$ بدست آمد. (Ishikawa et al., 2018) یک الگوریتم پردازش تصویر برای طبقه بندی توت فرنگی بر اساس ویژگی های شکل به ۹ طبقه را توسعه دادند. نتایج آنها نشان داد که الگوریتم پیشنهادی قادر است با دقت ۷۰ درصد توت فرنگی ها در ۹ طبقه، دسته بندی کند.

با توجه به این که توت فرنگی رقم پاروس بیشترین سطح زیر کشت را در ایران دارد و دارای شکل مخصوص به خود است، لذا در این پژوهش هدف توسعه یک الگوریتم پردازش تصویر، استخراج ویژگی های شکلی و رنگی، انتخاب مناسب ترین ویژگی های شکلی و رنگی برای رقم مذکور به منظور طبقه بندی بر اساس اندازه و درجه رسیدگی و همچنین ارائه یک طبقه بندی با دقت مناسب برای درجه بندی توت فرنگی می باشد. جهت تعیین ویژگی رنگی مناسب برای درجه بندی بر اساس میزان رسیدگی، از همبستگی بین میزان مواد جامد محلول و ویژگی های رنگی استفاده می شود.

مواد و روش ها

تهیه توت فرنگی

این پژوهش بر روی میوه توت فرنگی رقم پاروس انجام شد. کلیه نمونه ها در ۳ مرحله از ۲ فصل رشد (اردیبهشت ماه و شهریور ماه) از مزارع روستای گزنه از توابع شهرستان سنندج به صورت دست چین تهیه گردید. در هر مرحله از برداشت، برای کافی بودن تعداد نمونه ها از درجات مختلف به یک اندازه محصول چیده شد.

اجزای تشکیل دهنده بینایی ماشین

سامانه بینایی ماشین دارای قسمت های مختلفی می باشد که عبارتند از جعبه تصویربرداری، دوربین (مدل LVC-S60 HP)، کارت کپچر (مدل ETV-P7130-N)، سیستم نورپردازی (۱۲ عدد LED)، صفحه فایبرگلاس (مقابل سیستم نورپردازی جهت یکنواخت نمودن شدت نور تابشی) و رایانه می باشند. شکل ۱ سیستم بینایی ماشین استفاده شده در این پژوهش را نمایش می دهد.

کالیبره کردن دوربین

دوربین مورد استفاده در سیستم بینایی ماشین باید از نظر رنگ و دقت مکانی کالیبره گردد تا رنگ و اندازه واقعی را نشان دهد و یا بتوان بین آنها رابطه ای به دست آورد. برای کالیبره کردن دوربین از لحاظ رنگ، تعدادی کاغذ رنگی با مشخصات رنگی

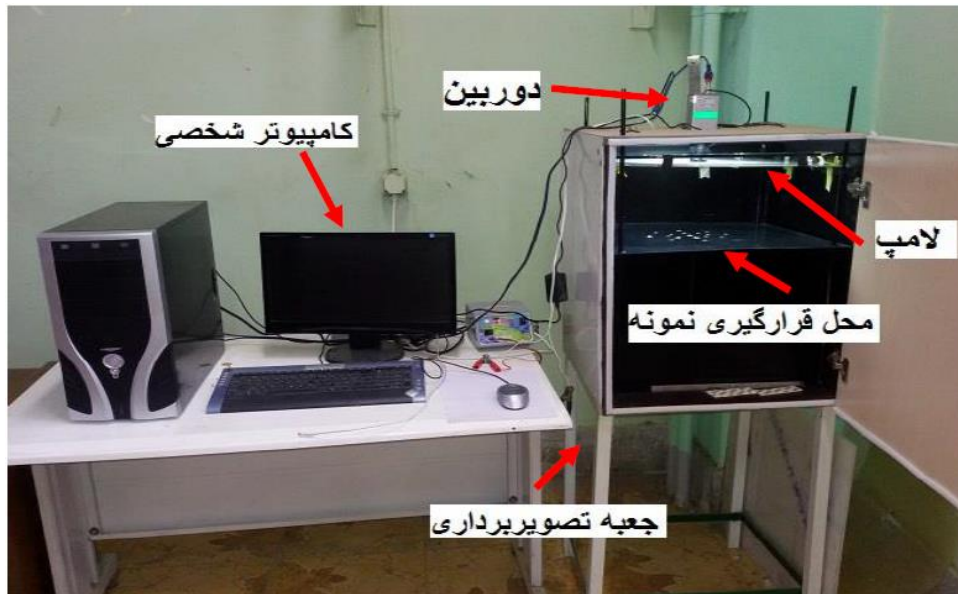
گیری و نیز ارزیابی آنها می باشد که تاثیر به سزایی در موفقیت و کاربرد یک سامانه درجه بندی با این روش دارند.

(Bato et al., 2000) یک ماشین درجه بند خودکار

توت فرنگی را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش درجه بندی بر اساس شکل و اندازه انجام گرفت. معیار شکل، نسبت بیشترین قطر به بیشترین ارتفاع و همچنین معیار اندازه، مساحت تصویر گرفته شده با دوربین بود. (Nagata & Talada, 2008) میوه توت فرنگی را بر اساس اندازه، شکل و میزان رسیدگی درجه بندی کردند. آنها در این تحقیق از پردازش تصویر بهره گرفته و بر اساس اندازه، شکل و درجه رسیدگی به ترتیب به ۵، ۳ و ۳ گروه، تقسیم بندی را انجام دادند. همچنین میزان لهیدگی در درجات رسیدگی مختلف نیز توسط پردازش تصویر و با استفاده از رنگ محصول انجام شد. نکته بعدی که در این تحقیق حائز اهمیت می باشد، استفاده از دوربین های فراطیفی است که با استفاده از آن داخل میوه نیز مورد ارزیابی قرار می گیرد. (Hayashi et al., 2010) از پردازش تصویر برای ساخت ماشین برداشت توت فرنگی استفاده کردند. آنها در این سامانه از سه دوربین برای تشخیص میوه استفاده نمودند. در این پژوهش میوه ها بر اساس میزان رسیدگی برداشت شد، که بدین منظور از میانگین های رنگ استفاده شده بود. دقت کار این دستگاه در حدود ۸۰ درصد گزارش شده است. (Liming & Yanchao, 2010) در پژوهشی از یک سیستم خودکار برای درجه بندی میوه توت فرنگی استفاده نمودند. سیستم آنها شامل ۴ بخش مکانیکی، پردازش تصویر، جداکننده و کنترلی بوده است. در بخش پردازش تصویر با استخراج ویژگی های مربوط به اندازه (قطر بزرگ) و رنگ (کانال a^*)، درجه بندی انجام شد. نتایج آنها بیانگر دقت درجه بندی توت فرنگی بر اساس اندازه و رنگ به ترتیب ۹۵ و $۸۸/۸$ درصد بود. همچنین زمان کل برای درجه بندی یک میوه را در حدود ۳ ثانیه گزارش نمودند. (Qingchun et al., 2012) از پردازش تصویر برای تشخیص مقدار رسیدگی میوه توت فرنگی جهت برداشت توسط ربات برداشت کننده استفاده نمودند. در این تحقیق مقدار و شدت اشباع رنگ محصول توسط پردازش تصویر استخراج و سپس با استفاده از این اطلاعات میوه های رسیده برداشت شد. دقت برداشت ربات در داخل گلخانه ۸۶% و متوسط زمان لازم برای برداشت یک نمونه $۳/۳۱$ ثانیه گزارش شده است. (Lee et al., 2018) یک نرم افزار کاربردی که برای کاربرد در گوشی های هوشمند مبتنی بر پردازش تصویر برای تعیین حجم توت فرنگی توسعه دادند. حجم توت فرنگی بر اساس حالت تناوبی دانه سفید رنگ روی توت فرنگی محاسبه می شد. بین حجم و

شد و سپس با تبدیل نمودن فضای رنگی RGB به $L^*a^*b^*$ مقدار رنگ هر کارت بدست آمد. سپس معادلات کالیبراسیون دوربین توسط داده‌های هانتربل و دوربین استخراج شد (Afshari-Joibari & Farahnaki, 2010). همچنین برای کالیبره کردن دقت مکانی، کاغذ میلی‌متری تهیه و پس از عکس‌برداری از آن مساحت و ابعاد هر پیکسل برحسب میلی‌متر استخراج در محاسبات بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

متفاوت در نرم افزار فتوشاپ طراحی و چاپ گردید (شکل ۲). سپس میزان واقعی پارامترهای رنگی هر کارت با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج هانتربل (مدل MINOLTA/ CR-400) در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ در ۵ نقطه مختلف از کارت اندازه‌گیری شد و مقدار میانگین به عنوان رنگ کارت در نظر گرفته شد. همچنین تعیین مقادیر پارامترهای رنگی هر کارت توسط دوربین، از کارت‌ها در داخل جعبه تصویربرداری عکس گرفته



شکل ۱- سامانه بینایی ماشین

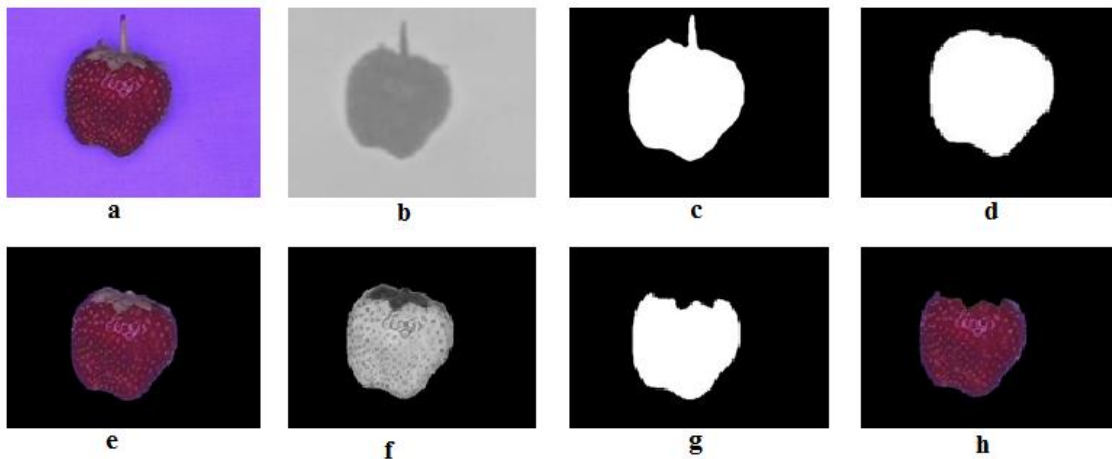


شکل ۲- کارت‌های رنگی طراحی شده برای اندازه‌گیری مقدار $L^*a^*b^*$

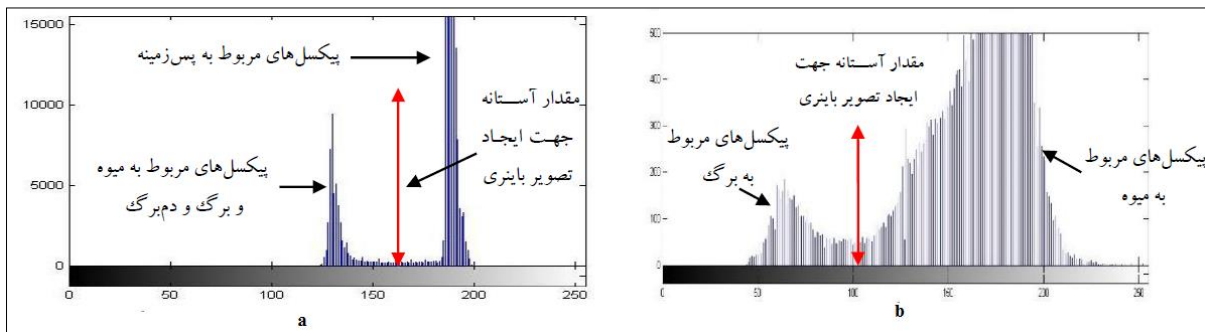
عمگر دیسکی به قطر ۷ پیکسل و عملگرهای سایش و اتساع (شکل ۳-d)، ۶. ماسک گذاری بر روی تصویر اصلی به کمک تصویر d و تحصیل تصویر با پس‌زمینه حذف شده (شکل ۳-e)، ۷. انتخاب کانال V از فضای رنگی HSV (شکل ۳-f) به عنوان مناسب‌ترین کانال برای حذف برگ با توجه به هیستوگرام آن (شکل ۳-b)، ۸. تبدیل تصویر خاکستری V به تصویر باینری به کمک روش آستانه گذاری اتسو (شکل ۳-g)، ۹. ماسک گذاری بر روی تصویر e به کمک تصویر g و تحصیل تصویر با حذف برگ (شکل ۳-h). از تصویر h-۳ برای استخراج ویژگی‌های رنگی و از تصویر d-۳ برای استخراج ویژگی‌های شکلی و اندازه استفاده شد. فلوجارت الگوریتم مراحل مختلف الگوریتم پردازش تصویر طراحی شده در شکل ۵ نشان داده شده است.

الگوریتم پردازش تصویر

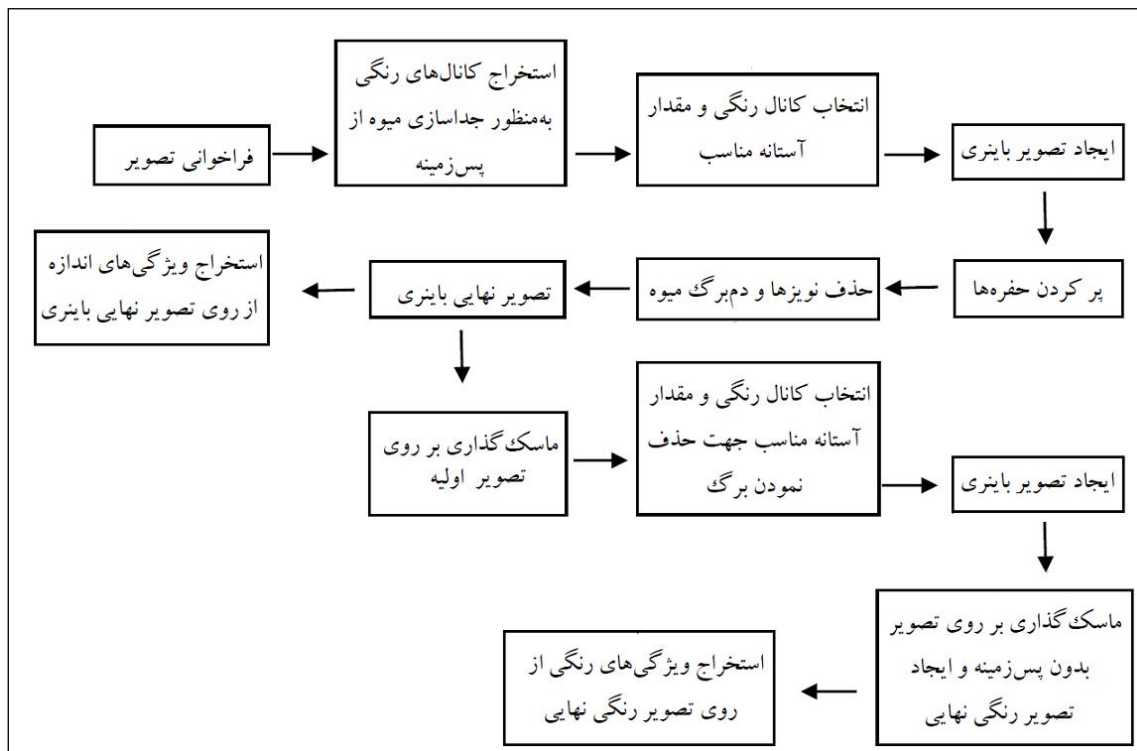
پس از اینکه نمونه‌ها جمع‌آوری شدند، آنها را به صورت تکی در برابر دوربین قرار داده و با فراخوانی دستور مربوطه در نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۶، یک تصویر از هر نمونه گرفته شد. پس از اتمام تصویربرداری یک الگوریتم پردازش تصویر شامل مراحل زیر توسعه داده شد: ۱. تصویر RGB گرفته شده در نرم‌افزار MATLAB فراخوانی می‌شود (شکل ۳-a)، ۲. انتخاب کانال Cb از فضای رنگی YCbCr (شکل ۳-b) به عنوان مناسب‌ترین کانال برای حذف پس‌زمینه با توجه به هیستوگرام آن (شکل ۳-a)، ۳. تبدیل تصویر خاکستری Cb به تصویر باینری به کمک روش آستانه گذاری اتسو (شکل ۳-c)، ۴. پر کردن حفره‌های موجود در ناحیه سفید به کمک دستور imfill. ۵. حذف دم برگ میوه با استفاده از



شکل ۳- الگوریتم پردازش تصویر: (a) تصویر اصلی، (b) تصویر کانال Cb از فضای رنگی YCbCr، (c) تصویر باینری (d) تصویر نهایی باینری بعد از حذف دم- برگ، (e) تصویر رنگی بدون پس‌زمینه و دم‌برگ، (f) تصویر کانال V جهت حذف برگ، (g) تصویر باینری میوه بدون برگ، (h) تصویر رنگی نهایی جهت استخراج ویژگی‌های رنگی.



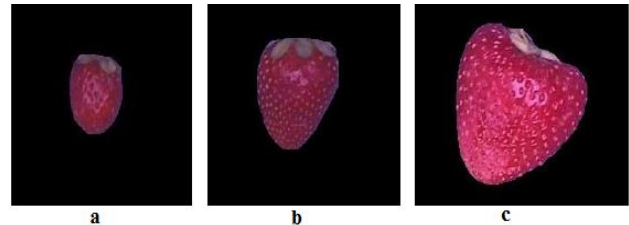
شکل ۴- (a) نمودار هیستوگرام کانال Cb از فضای رنگی YCbCr، (b) نمودار هیستوگرام کانال V از فضای رنگی HSV



شکل ۵- فلوچارت مراحل مختلف الگوریتم پردازش تصویر طراحی شده

طبقه‌بندی میوه‌های سالم بر اساس اندازه

در این تحقیق معیار درجه‌بندی میوه توت‌فرنگی بر اساس اندازه، نظر شخص خبره می‌باشد. نمونه‌های چیده شده برای انجام آزمایش که برابر با ۲۹۰ عدد می‌باشند، در مزرعه و توسط چند تن از افراد خبره مورد درجه‌بندی قرار گرفتند و میوه‌ها در ۳ طبقه ممتاز، درجه یک و درجه دو قرار داده شدند (شکل ۶). با مشخص بودن درجه هر کدام از توت‌فرنگی‌ها، عمل عکس-برداری صورت گرفت و به کمک الگوریتم پردازش تصویر طراحی شده، تصویر باینری ۳-d استخراج و ویژگی‌های اندازه شامل مساحت، محیط، قطر بزرگ، قطر کوچک، کشیدگی و توپری استخراج شد. ویژگی کشیدگی بر اساس نسبت بین مساحت جسم و مساحت کوچک‌ترین مستطیل محیطی بر آن و گردی به صورت رابطه‌ای بین مساحت و قطر بزرگ بیان می‌گردد (Mohsenin, 1970; Mark & Alberto, 2002). برای استخراج این ویژگی‌ها از تابع regionprops در نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. برای تعیین اینکه کدام یک از این ویژگی‌ها بیشترین تاثیر را بر دقت درجه‌بندی دارند از تحلیل حساست در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد.



شکل ۶- درجه‌بندی میوه‌ها بر اساس اندازه توسط افراد خبره: (a) درجه دو، (b) درجه یک، (c) درجه ممتاز

اندازه‌گیری شاخص بریکس

پس از تصویربرداری از میوه‌های چیده شده، برای تعیین میزان رسیدگی، میوه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شد و میزان مواد جامد محلول ۱ (TSS) نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رفاکتومتر (مدل ATAGO/DTM-3) و برحسب درجه بریکس (گرم قند موجود در ۱۰۰ گرم آب میوه)، اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا رفاکتومتر توسط آب مقطر کالیبره شد و سپس یک قطره از عصاره میوه بر روی منشور شیشه‌ای ریخته شد و در مقابل نور عدد بریکس یا میزان مواد جامد در محلول که عمدتاً نشانه میزان قند میوه است، قرائت شد.

طبقه‌بندی میوه‌ها بر اساس میزان رسیدگی

فاکتورهای زیادی برای تعیین میزان رسیدگی محصولات

کشاورزی وجود دارد. مقدار قند موجود در میوه‌ها یکی از این پارامترها می‌باشد که برای تعیین زمان برداشت میوه‌ها می‌توان استفاده کرد (Hohen *et al.*, 2003). با توجه به اینکه رنگ محصول توت‌فرنگی یک پارامتر شاخص در میزان رسیدگی محصول می‌باشد، لذا تعیین ویژگی‌های رنگی مناسب برای تعیین درجه رسیدگی و همچنین دسته‌بندی توت‌فرنگی بر اساس درجه رسیدگی به کمک ویژگی‌های رنگی ضروری است. در این پژوهش ابتدا برای تعیین میزان رسیدگی میوه توت‌فرنگی از پارامتر TSS بهره گرفته شده و ارتباط آن با پارامترهای رنگ محصول مورد بررسی قرار گرفته است. میوه‌های استفاده شده برای استخراج این پارامتر، دارای درجه‌های رسیدگی متفاوتی بودند و به صورت دست‌چین و از مزرعه انتخاب شده بودند که در شکل ۷ نشان داده شده است. پس از اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول، میوه‌ها به سه دسته نارس، نیم رس و رسیده تقسیم‌بندی شد. جهت بررسی میزان رسیدگی میوه توت‌فرنگی و تعیین درجه رسیدگی آن، همبستگی میان میزان مواد جامد محلول و پارامترهای رنگی مختلف که از فضاهای رنگی بدست آمده بودند، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا پارامترهای رنگی موثر تعیین گردند. با بهره‌گیری از الگوریتم پردازش تصویر ویژگی‌های رنگی که از روی تصویر نهایی رنگی (شکل ۳-h) استخراج شد عبارتند از: میانگین مقادیر L^* ، a^* و b^* از فضای رنگی $L^*a^*b^*$ ، میانگین مقادیر H ، S و V از فضای رنگی HSV (Nagata & Talada 2008; Hayashi *et al.*, 2010; Qingchun *et al.*, 2012).



شکل ۷- توت فرنگی با درجات مختلف رسیدگی

شبکه عصبی مصنوعی

برای درجه‌بندی توت‌فرنگی بر اساس اندازه و هم بر اساس رنگ از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه استفاده شد. برای طراحی شبکه نیاز به تعیین تعداد نورون‌های لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی می‌باشد. تعداد نورون‌ها در لایه ورودی هر شبکه برابر با تعداد ویژگی‌های انتخاب شده و در لایه خروجی بستگی به تعداد طبقه‌ها دارد. در این پژوهش درجه-

واقعی آنها مثبت بوده و بدرستی مثبت تشخیص داده است (مثبت صحیح^۲)، FP بیانگر تعداد توت‌فرنگی‌های که دسته واقعی آنها مثبت بوده و به اشتباه منفی تشخیص داده است (منفی کاذب^۳)، FN بیانگر تعداد توت‌فرنگی‌های که دسته واقعی آنها منفی بوده و به اشتباه مثبت تشخیص داده است (منفی کاذب^۴)، TN بیانگر تعداد توت‌فرنگی‌های که دسته واقعی آنها منفی بوده و بدرستی منفی تشخیص داده است (منفی صحیح^۵).

نتایج و بحث

نتایج کالیبراسیون دوربین نشان داد که ضریب همبستگی بالایی بین داده‌های دستگاه رنگ‌سنج و دوربین که عبارتند از L^* ($R=0.9947$)، a^* ($R=0.9946$) و b^* ($R=0.9947$) وجود دارد. همچنین معادلات کالیبراسیون بین فضای رنگی دوربین و رنگ‌سنج استخراج شدند (شکل ۸). همچنین با برابر قرار دادن مساحت بدست آمده برحسب پیکسل از روی تصویر کاغذ میلی‌متری و اندازه آن برحسب میلی‌متر مربع، ضرایب ثابتی برای ابعاد و مساحت هر پیکسل برحسب واحد فیزیکی بدست آمد. این مقادیر برای مساحت هر پیکسل 0.05 میلی‌متر مربع و برای طول هر ضلع پیکسل 0.224 میلی‌متر می‌باشد.

2. True Positive
3. False Positive
4. False Negative
5. True Negative

بندی بر اساس اندازه به سه طبقه و برای رنگ هم سه طبقه می‌باشد. بنابراین تعداد نورون‌ها در لایه خروجی در هر شبکه برابر سه در نظر گرفته شد. برای تعیین تعداد نورون‌های لایه میانی از روش سعی و خطا استفاده شد. تقسیم‌بندی داده‌ها برای آموزش، ارزیابی و آزمون بترتیب ۷۰-۱۵-۱۵ و به صورت تصادفی انجام گرفت. برای آموزش هر دو شبکه از الگوریتم یادگیری گرادیان توام که در نرم افزار MATLAB با تابع Trainscg شناخته می‌شود بهره گرفته شد و از تابع تانژانت سیگموئید در لایه میانی و از تابع رقابتی^۱ در لایه خروجی استفاده می‌نماید.

معیار ارزیابی در مرحله آموزش

برای ارزیابی بهتر قابلیت شبکه عصبی مصنوعی مناسب انتخاب شده ماتریس اغتشاش (CM) استخراج می‌شود و پارامترهای نظیر دقت (AC)، حساسیت (SE) و دقت کلی (CCR) طبق روابط زیر محاسبه می‌شود (Banakar et al., 2016):

$$CM = \begin{bmatrix} TP & FP \\ FN & TN \end{bmatrix} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$AC = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

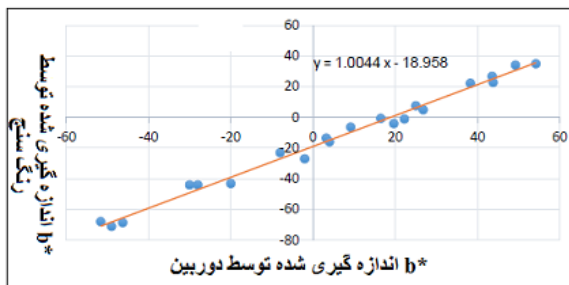
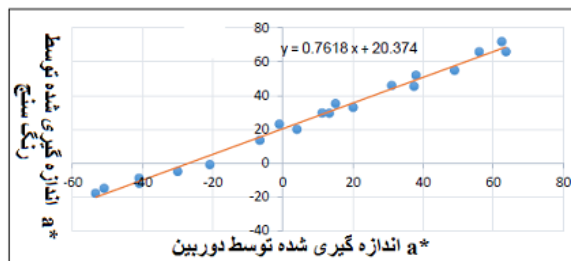
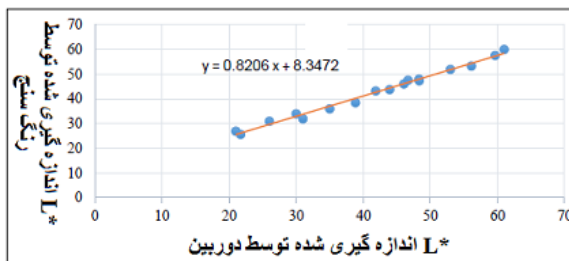
$$\text{(رابطه ۳)}$$

$$SE = \frac{TP}{TP+FN} \times 100$$

$$CCR = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \times 100 \quad \text{(رابطه ۴)}$$

در این روابط TP بیانگر تعداد توت‌فرنگی‌های که دسته

1. Soft max transfer function



شکل ۸- رابطه بین داده‌های رنگ سنج و دوربین

بندی استفاده شد. تعداد نورون‌های لایه ورودی برابر ۶ (برابر با تعداد ویژگی‌ها) بود. ساختارهای مختلفی از شبکه عصبی

بعد از مشخص شدن طبقه هر توت‌فرنگی و استخراج ویژگی‌های اندازه، از شبکه عصبی مصنوعی سه لایه برای درجه-

جدول ۲- ماتریس اعتشاش، دقت و حساسیت جداسازی میوه توت‌فرنگی بر

دقت (درصد)	اساس اندازه		
	درجه دو	درجه یک	ممتاز
۹۷/۰۲	۰	۲	۶۵
۹۰/۹	۶	۱۰۰	۴
۹۴/۳۴	۱۰۰	۶	۰
۹۴/۰۹	۹۴/۳۴	۹۲/۵۹	۹۴/۲۰

برای درجه‌بندی بر اساس رسیدگی ابتدا از میزان مواد جامد محلول توت‌فرنگی استفاده شد که در تغییرات آن در محدوده ۱/۳-۶ بوده است که بر این اساس میوه‌ها در سه دسته نارس، نیمه رسیده و رسیده کامل درجه‌بندی شدند. برای انتخاب ویژگی‌های رنگی مناسب ابتدا میزان همبستگی بین ویژگی‌های رنگی و میزان مواد جامد محلول مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، پارامترهای L^* ، a^* و S که به ترتیب مربوط به فضاهای رنگی $L^*a^*b^*$ و HSV و دارای همبستگی ۰/۸۶۰۶، ۰/۸۸۷۸ و ۰/۷۸۹۴ با میزان مواد جامد محلول موجود در میوه توت‌فرنگی می‌باشند. در این بین پارامترهای L^* مربوط به شدت نور می‌باشند و بیانگر رنگ محصول نیست، بنابراین مورد استفاده قرار نگرفت و ۲ ویژگی رنگی دیگر بعنوان ورودی به شبکه عصبی مصنوعی وارد می‌شود.

جدول ۱- همبستگی میان شاخص TSS و ویژگی‌های رنگی

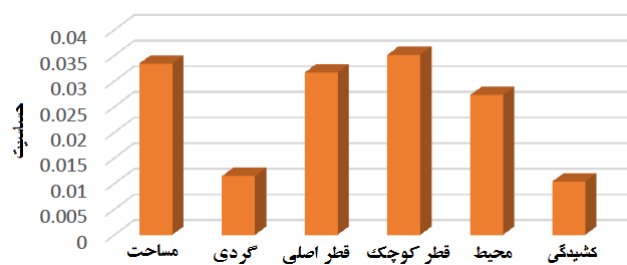
میزان همبستگی	ویژگی‌های رنگی
۰/۸۶۰۶	L^*
۰/۸۸۷۸	a^*
۰/۵۸۵۹	b^*
۰/۲۳۵۲	H
۰/۸۷۹۴	S
۰/۱۴۵۸	V

همچنین با توجه به اینکه رنگ میوه یکی از معیارهای عمومی برای تعیین رسیدگی و زمان برداشت محصول می‌باشد، نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل نیز بیانگر وجود همبستگی بالا بین میزان رسیدگی و رنگ میوه توت‌فرنگی در طی فرآیند رسیدن می‌باشد. به عبارتی رنگ میوه یکی از شاخص‌های مهم در تشخیص رسیدگی توت‌فرنگی است. با افزایش رسیدگی میوه توت‌فرنگی، میزان مواد جامد محلول افزایش یافته و باعث شیرینی توت‌فرنگی می‌گردد. با در دست داشتن این ویژگی‌ها و وارد نمودن آنها به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی، درجه-بندی بر اساس میزان رسیدگی انجام گردید. تعداد میوه‌هایی که

مصنوعی مورد آموزش و ارزیابی قرار گرفت که نتایج برخی از بهترین ساختارها در جدول ۱ نشان داده شده است و بر اساس نتایج این جدول شبکه عصبی مصنوعی با ساختار ۳-۱۰-۶ با مقادیر خطای ۰/۴۹۴۵، ۰/۴۸۱۲ و ۰/۴۸۲۶ به ترتیب برای آموزش، ارزیابی و آزمون به عنوان بهترین شبکه انتخاب شد. همچنین برای مشخص نمودن ویژگی‌های تاثیرگذار بر دقت درجه‌بندی بر اساس اندازه از تحلیل حساسیت استفاده شد که نتایج آن در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، ویژگی‌های اندازه که دقت درجه‌بندی حساسیت بالایی به آن‌ها دارد عبارت‌اند از مساحت، قطر اصلی، قطر فرعی و محیط. بنابراین شبکه انتخاب شده این بار با چهار ورودی مورد آموزش و ارزیابی قرار گرفت که این ساختار قادر بود با مقادیر خطای ۰/۴۹۹۵، ۰/۴۷۸۲ و ۰/۴۸۴۶ به ترتیب برای آموزش، ارزیابی و آزمون عمل درجه بندی را انجام دهد که نسبت به حالت با شش ورودی دقت شبکه افزایش یافت. همچنین ماتریس اغتشاش درجه‌بندی میوه توت‌فرنگی بر اساس اندازه برای شبکه مذکور در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، این ساختار از شبکه عصبی مصنوعی با ویژگی‌های انتخاب شده با حساسیت بالا قادر است طبقه‌های ممتاز، درجه ۱ و ۲ به ترتیب با دقت ۹۷/۰۲، ۹۰/۹ و ۹۴/۳۴ و با دقت کلی ۹۴/۰۹ درصد عمل درجه‌بندی را انجام دهد. نتایج این پژوهش در مقایسه با نتایج (Liming & Yanchao (2010 برای درجه‌بندی توت فرنگی بر اساس اندازه و شکل از دقت بالاتری برخوردار بود.

جدول ۱- مقادیر خطای شبکه عصبی مصنوعی با تعداد نوروں مختلف در لایه

میان‌ی برای طبقه‌بندی بر اساس اندازه			
تعداد نوروں لایه میان‌ی	خطای آموزش	خطای ارزیابی	خطای آزمون
۶	۰/۴۸۸۴	۰/۴۸۵۰	۰/۴۸۵۵
۸	۰/۴۹۱۲	۰/۴۸۷۱	۰/۴۸۶۹
۱۰	۰/۴۹۴۵	۰/۴۸۱۲	۰/۴۸۲۶
۱۲	۰/۴۹۲۰	۰/۴۸۲۳	۰/۴۸۴۹
۱۴	۰/۴۹۳۵	۰/۴۸۶۳	۰/۴۸۸۲



شکل ۹- نتایج تحلیل حساسیت

مقایسه با نتایج (Liming & Yanchao (2010) که فقط از پارامتر رنگ a^* برای درجه بندی بر اساس رنگ استفاده کرده بود و به دقت ۸۹٪ رسیده بود، بالاتر بود.

نتیجه گیری کلی

در این پژوهش برای درجه بندی میوه توت فرنگی از لحاظ اندازه و رنگ از بینایی ماشین استفاده شد. ابتدا یک الگوریتم پردازش تصویر برای حذف پس زمینه و برگ های میوه توسعه داده شد. سپس ویژگی های رنگی در فضای $L^*a^*b^*$ و HSV و همچنین ویژگی های اندازه توت فرنگی مانند مساحت، محیط، قطر بزرگ و کوچک، کشیدگی و گردی استخراج شدند. از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه به عنوان طبقه بند برای درجه بندی توت فرنگی بر اساس اندازه به سه طبقه ممتاز، درجه یک و درجه دو و بر اساس رنگ به سه طبقه رسیده، نیمه رسیده و نارس استفاده شد. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که درجه بندی بر اساس اندازه به ویژگی های مانند قطر بزرگ، قطر کوچک، محیط و مساحت نسبت به دو ویژگی دیگر گردی و کشیدگی حساسیت بیشتری دارد. بر اساس همبستگی بین میزان مواد جامد محلول و رنگ محصول، ویژگی های رنگی a^* و S از میان بقیه ویژگی های رنگی برای درجه بندی بر اساس میزان رسیدگی انتخاب شدند. همچنین نتایج طبقه بندی نشان داد که شبکه با ساختار ۳-۱۰-۴ و دقت کلی ۹۴/۰۴ و شبکه با ساختار ۳-۷-۲ و دقت ۹۵/۱۴ به ترتیب برای درجه بندی بر اساس اندازه و رنگ مناسب ترین شبکه می باشند.

REFERENCES

Afshari-Joibari, H. and Farahnaki, A. (2010). Possibility of using Photoshop software for measurement food color: Investigation of the color changes of the Masafaty date of Bam during artificial propagation. *Iranian Food Science and Technology Research*, 5(1): 37-46.

Anonymous. (2016). Agriculture Iranian statistics, <http://amar.maj.ir>.

Bato, P.M., Nagata, M., Cao, Q.X., Hiyoshi, K. and Kitahara, T. (2000). Study on sorting system for strawberry using machine vision (part 2): development of sorting system with direction and judgement functions for strawberry (Akihime variety). *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, 62(2): 101-110.

Banakar, A., Zareiforoush, H., Baigvand, M., Montazeri, M., Khodaei, J., Behrooz-khazaei, N. (2016). Combined application of decision tree and fuzzy logic techniques for intelligent grading of dried figs. *Journal of Food Process Engineering*. doi:10.1111/jfpe.12456.

جدول ۲- خطای شبکه عصبی مصنوعی با تعداد نورون مختلف برای طبقه

بندی بر اساس رنگ			
تعداد نورون لایه میانی	خطای آموزش	خطای ارزیابی	خطای
۵	۰/۵۱۴۳	۰/۴۶۱۰	۰/۴۹۸۴
۷	۰/۵۵۰۲	۰/۴۶۵۹	۰/۴۵۸۹
۹	۰/۵۰۶۰	۰/۴۸۵۴	۰/۴۸۱۶
۱۱	۰/۶۰۲۸	۰/۴۵۰۴	۰/۵۱۷۱

جدول ۳- ماتریس اغتشاش، دقت و حساسیت درجه بندی میوه توت فرنگی

بر اساس میزان رسیدگی				
دقت (درصد)	نارس	نیمه رسیده	رسیده	
۹۳/۷۵	۰	۲	۳۰	رسیده
۹۱/۶۷	۱	۲۲	۱	نیمه رس
۱۰۰	۲۷	۰	۰	نارس
۹۵/۱۴	۹۶/۴۳	۹۱/۶۷	۹۶/۷۷	حساسیت (درصد)

میزان مواد جامد محلول در آنها اندازه گیری شده بود برابر با ۸۳ نمونه بوده است. از این تعداد ۳۲ نمونه مربوط به طبقه رسیده، ۲۴ نمونه مربوط به طبقه نیمه رسیده و ۲۷ نمونه مربوط به طبقه نارس هستند. ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی آموزش دیدند که نتایج برخی از ساختار در جدول ۴ آورده شده است که مبین آن است شبکه عصبی مصنوعی با ۷ نورون در لایه میانی با خطاهای ۰/۵۵۰۲، ۰/۴۶۵۹ و ۰/۴۵۸۹ به ترتیب برای آموزش، ارزیابی و آزمون مناسب ترین ساختار است. همچنین ماتریس اغتشاش (جدول ۵) آن نشان دهنده آن است که این شبکه قادر است با دقت کلی ۹۵/۱۴ درجه بندی بر اساس رسیدگی توت فرنگی را انجام دهد. نتایج این پژوهش در

Baigvand, M., Banakar, A., Minaei, S., Khodaei, J., Behrooz-khazaei, N. (2015). Machine vision system for grading of dried figs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119: 158-165.

Hayashi, S., Shigematsu, K., Yamamoto, S., Kobayashi, K., Kohno, Y., Kamata, J. and Kurita, M. (2010). Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test. *Biosystems Engineering*, 105: 160-171.

Hohen, E.Gasser, F.Gugyenbuhl, B., Kunsch, U. (2003). Efficacy of instrumental measurements for determination of minimum requirements of firmness, soluble solids, and acidity of several apple varieties in comparison to consumer expectations. *Postharvest Biology and Technology*, 7: 27-37.

Liming, X. and Yanchao, Z. (2010). Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71: 32-39.

Lee, D. H., Cho, Y. and Choi, J. M. (2017). Strawberry

- Volume Estimation Using Smartphone Image Processing. Horticultural Science and Technology, 35(6): 707-716.
- Ishikawa, T., Hayashi, A., Nagamatsu, S., Kyutoku, Y., Dan, I., Wada, T., Oku, K., Saeki, Y., Uto, T., Tanabata, T., Isobe, S. and Kochi, N. (2018). Classification of strawberry fruit shape by machine learning. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2, 463-470.
- Mohsenin, N. N. (1970). Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach, New York.
- Mohammadi, V., Kheiralipour, K., Ghasemi-Varnamkhasti, M. 2015. Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique. Scientia Horticulturae, 184: 123-128.
- Mark, S.N. and Alberto, S.A. 2002. Feature Extraction and Image Processing. A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd. Jordan Hill, Oxford. 350 P.
- Nagata, M. and Tallada, J.G. (2008). Quality evaluation of strawberries. Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation, 1: 265-287.
- Qingchun, F., Xiu, W., Wengang, Z., Quan, Q. and Kai, J. (2012). A new strawberry harvesting robot for elevated-trough culture. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 5(2): 1-8.