

ساخت، توسعه و ارزیابی سامانه جداکننده توت‌فرنگی با استفاده از تکنولوژی بینایی ماشین

سامان آبدانان مهدی‌زاده^{۱*} و مریم سلطانی کاظمی^۲

چکیده

سیستم بینایی ماشین، از جمله سیستم‌های جدید در زمینه تشخیص کیفیت محصولات کشاورزی است. کیفیت محصولات کشاورزی، عاملی تعیین‌کننده در بازاریابی محصول است. در این پژوهش، دستگاهی به منظور توسعه و ارزیابی جداکننده توت‌فرنگی با استفاده از تکنولوژی بینایی ماشین ساخته شد. توت‌فرنگی، به عنوان منبع غنی از آنتوسیانین در طبیعت است. آنتوسیانین‌ها به دلیل آثار مفید در سلامتی، به خصوص به دلیل داشتن فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی و ضدالتهابی، بسیار مورد توجه هستند. در این پژوهش، به امکان استفاده از الگوریتم پردازش تصویر برای تعیین بی‌درنگ رسیدگی میوه توت‌فرنگی بر اساس ویژگی داخلی (میزان آنتوسیانین) پرداخته شد. بر این اساس ۱۲ تک کانال رنگی توسعه و ۲۲۸ ویژگی رنگی و بافتی استخراج و برای تعیین مؤثرترین ویژگی‌های استخراج شده، آنالیز همبستگی میان پارامترهای مخرب (وزن، آنتوسیانین، قند، کلروفیل و کارتنوئید) و غیرمخرب در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که فضای رنگی $R/(R+G+B)$ به عنوان فضای مطلوب و همچنین میانگین و کشیدگی این فضای رنگی به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۳ و ۰/۹۱ با آنتوسیانین به عنوان بهترین ویژگی‌ها انتخاب شدند. به علاوه میزان رسیدگی توت‌فرنگی در طی مراحل مختلف رشد با استفاده از سیستم بینایی ماشین با دقت ۹۰٪ تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: بینایی ماشین، پارامترهای بیوشیمیایی، توت‌فرنگی، رسیدگی.

ارجاع: آبدانان مهدی‌زاده س. و سلطانی کاظمی م. ۱۳۹۶. ساخت، توسعه و ارزیابی سامانه جداکننده توت‌فرنگی با استفاده از تکنولوژی بینایی ماشین. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ۶(۱): ۶۱-۶۹.

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
۲- دانشجوی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

* نویسنده مسئول: saman.abdanan@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۳۰

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa* Duch.) در بین میوه‌ها، به دلیل زیبایی، عطر و طعم خاص دارای ارزش فراوانی است. علاوه بر کیفیت ظاهری میوه، توت‌فرنگی دارای املاح معدنی، ویتامین‌های مختلف مانند C، B و E همچنین حاوی آنتی‌اکسیدان‌ها است (Samim Akhijahani & Khodaei, 2011). با توجه به امکان توسعه سطح زیر کشت این محصول در کشور، تلاش و مطالعه در زمینه افزایش عملکرد، ارتقای کیفیت تولید و افزایش زمان ماندگاری این محصول پس از برداشت بسیاری ضروری است؛ بنابراین دانستن میزان خواص داخلی آن در دوره‌های مختلف رسیدگی، امری ضروری است، از جمله این خواص آنتی‌اکسیدانی است که در انواع میوه‌ها و سبزیجات وجود دارد. درجه‌بندی میوه‌ها بر اساس رسیدگی، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تشخیص میزان رسیدگی در مواقعی که رنگ ظاهری رابطه‌ای با میزان رسیدگی میوه ندارد، به آسانی انجام نمی‌شود. بنابراین درجه‌بندی خودکار و دقیق میوه بر پایه میزان رسیدگی برای مکانیزه کردن صنعت کشاورزی در بخش فرآوری، بسته‌بندی و افزایش سودآوری مفید است. ارزیابی کیفیت تغذیه‌ای با روش‌های غیرمخرب در طول دوره رشد میوه، مهم و از محبوبیت بسزایی برخوردار است. از جمله روش‌های متداول غیرمخرب که در ارزیابی محصولات مختلف کشاورزی استفاده شده‌اند، می‌توان به روش‌های مختلف طیف‌سنجی برای سنجش کیفیت و ایمنی مواد غذایی (Abdanan Mehdizadeh et al., 2014)، اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های فیزیکی میوه‌ها مانند سختی (Ariana et al., 2006) و ویژگی‌های شیمیایی مانند مواد جامد محلول (Park et al., 2003) اشاره کرد. امروزه دانشمندان در پی ابداع روش‌های غیرمخرب هستند که ساده، ارزان و قابل دسترس و همچنین توانایی تشخیص سریع و دقیق میزان رسیدگی و قابلیت تجاری‌سازی را داشته باشند. بیشتر روش‌های غیرمخرب که تاکنون ابداع شده‌اند؛ گران قیمت و پیچیده هستند یا به صورت کاربردی قابل استفاده نیستند (Abbott et al., 1968)؛ در نتیجه باید به دنبال روشی ارزان و ساده در تشخیص رسیدگی محصول بود. روش بینایی ماشین برای بسیاری از محصولات که کیفیت آنها وابسته به ویژگی‌های سطح میوه است، مفید است. موفقیت این روش که از آن به

عنوان بینایی کامپیوتر نیز یاد می‌شود، برای اندازه‌گیری عینی محصولات غذایی و کشاورزی گوناگون اثبات شده است (Brosnan & Sun, 2004). به طور کلی اندازه‌گیری پارامترهای کیفی، با استفاده از روش‌های تحلیلی سنتی که در صنعت غذا به کار می‌روند و با توجه به نیاز به زمان‌های خیلی زیاد و همچنین گران و مخرب بودن چندان مقرون به صرفه نیستند. هدف از انجام این پژوهش، ساخت، توسعه و ارزیابی جداکننده توت‌فرنگی با استفاده از تکنولوژی بینایی ماشین است. به منظور ارزیابی دستگاه به صورت بی‌درنگ بعد از استخراج پارامترهای کیفی میوه (کارتنوئید، کلروفیل a، کلروفیل b، میزان مواد جامد محلول و آنتوسیانین) و پارامترهایی غیرمخرب با استفاده از پردازش تصویر (میانگین، انحراف معیار، میانگین ریشه مربعات، میانگین هندسی، چولگی، کشیدگی، صافی، گشتاور سوم، یکنواختی، آنتروپی، زاویه شکل، خلوص رنگ، شاخص قهوه‌ای، آنتروپی، انرژی، یکنواخت، تباین، همبستگی و برجستگی) میزان رسیدگی میوه‌ها تعیین شدند.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌ها

در پژوهش حاضر برای بررسی پارامترهای مخرب در مراحل مختلف رسیدگی و ارتباط این پارامترها با پارامترها غیرمخرب که با استفاده از سیستم بینایی ماشین به دست می‌آید، روی رقم "پاروس" انجام شد. تعداد ۳۶ نمونه (۱ تیمار $\times$ ۹ مرحله $\times$ ۴ تکرار)، از مراحل رشد میوه توت‌فرنگی انتخاب شد (مرحله اول: ۱۰ روز بعد از گلدهی، مرحله دوم: ۱۲ روز بعد از گلدهی، مرحله سوم: ۱۵ روز بعد از گلدهی، مرحله چهارم: ۱۷ روز بعد از گلدهی، مرحله پنجم: ۱۸ روز بعد از گلدهی، مرحله ششم: ۲۰ روز بعد از گلدهی، مرحله هفتم: ۲۵ روز بعد از گلدهی، مرحله هشتم: ۲۸ روز بعد از گلدهی، مرحله نهم: ۳۰ روز بعد از گلدهی) (شکل ۱). نمونه‌ها از گلخانه‌ای در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان واقع در ۳۶ کیلومتری شمال شرقی اهواز، انتخاب شدند.

پردازش تصویر

معرفی فضاهای رنگی مورد استفاده و استخراج پارامترهای میوه از آن‌ها

فضاهای رنگی RGB

سه فضای رنگی مختلف RGB، HSV، و $L^*a^*b^*$ در این پژوهش استفاده شد. خروجی دوربین دیجیتال تصاویر سه کاناله RGB که مستقیماً در تحلیل‌ها استفاده شد، در فضای رنگی HSV مقدار فام (H) از ۰ تا ۱ تغییر می‌کند که نشانه تغییر رنگ از قرمز، زرد، سبز، فیروزه‌ای، آبی، سرخابی و سپس بازگشت به قرمز است. مقادیر اشباع (S) نیز که نشان‌دهنده میزان رنگ در یک روشنایی مشخص است، از ۰ تا ۱ تغییر می‌کند. V روشنایی رنگ بیان شده بوسیله H در تصاویر را نشان می‌دهد. فضای رنگی HSV، به ادراک انسان نزدیک‌تر است (Zhou et al., 2004). تبدیل تصاویر از فضای RGB به فضای $L^*a^*b^*$ انجام شد. مقدار متوسط L^* ، a^* و b^* توصیف‌کننده رنگ نمونه‌ها بود. در مدل $L^*a^*b^*$ ، CIE بیان‌کننده میزان روشنایی در محدوده صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید)، a^* بیان‌کننده میزان قرمزی (مقادیر مثبت) و سبزی (مقادیر منفی) و همچنین b^* بیان‌کننده زردی (مقادیر مثبت) و آبی (مقادیر منفی) است (Quevedo et al., 2009).

استخراج و انتخاب ویژگی‌های رنگی از عکس میوه

ابتدا با روش آستانه‌گذاری میوه‌ها، از پس زمینه جدا شدند (Yam & Papadakis, 2004) و مقادیر جدول ۱ برای هر پیکسل در تصاویر از فضاهای رنگی RGB، HSV و $L^*a^*b^*$ محاسبه شد که حاصل آن تبدیل تصاویر از سه کانال به تک کانال برای هر ویژگی رنگی (مقادیر جدول ۱) است. سپس ویژگی‌های لیست شده در جدول ۲ (معادلات ردیف ۱ تا ۱۰ برای ۳ فضای رنگی و معادلات ردیف ۱۱ تا ۱۳ برای هر فضای رنگی $L^*a^*b^*$) محاسبه شدند. در نهایت برای محاسبه ویژگی‌های بافتی، GLCM تصاویر محاسبه و ویژگی‌های بافتی لیست شده در جدول ۲ معادلات ردیف ۱۴ و ۱۹ محاسبه شدند. در مجموع ۲۲۸ ویژگی رنگی و بافتی استخراج شد که با استفاده از آنالیز همبستگی میان پارامترهای مخرب و این ویژگی‌ها مهم‌ترین و موثرترین ویژگی‌ها، که همبستگی بالاتری با داده‌های به دست آمده از آزمون مخرب داشتند استخراج شد.



شکل ۱- مراحل مختلف رسیدگی

روش‌های غیرمخرب

این مرحله شامل دو بخش تصویربرداری به صورت ایستا^۱ (آفلاین) و بی‌درنگ^۲ (آنلاین) بود، که در تصویربرداری ایستا پارامترهای مربوط به رنگ میوه در طی مراحل مختلف رسیدگی ارزیابی شدند. در تصویربرداری بی‌درنگ، میزان رسیدگی میوه توت‌فرنگی به صورت آنلاین تشخیص داده شد.

تشخیص پارامترهای رنگ میوه توت‌فرنگی به صورت ایستا

اخذ تصاویر

در مرحله اول جعبه چوبی در ابعاد طول و عرض ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر تهیه شد؛ به طوری که در جعبه در بالا می‌بود، برای تعبیه دوربین به در دستگاه از پایه مخصوص دوربین استفاده شد. لنز دوربین کاملاً عمود بر کف جعبه بود. برای فراهم کردن نور مورد نیاز از دو لامپ فلورسنت استفاده شد. منابع نوری به گونه‌ای روی در جعبه تعبیه شدند که با لنز دوربین، از نظر موقعیت، زاویه ۴۵ درجه داشته باشند. استفاده از روکش سیاه رنگ برای قسمت کف جعبه برای تاریک کردن محیط داخلی و همچنین برای جلوگیری از انعکاس نور موقع عکس‌برداری مناسب است. وضوح تصاویر اخذ شده ۴۵۰×۳۶۰ پیکسل بود که به منظور استخراج پارامترهای رنگی به رایانه منتقل شدند. سپس در مرحله بعدی پردازش، تصویر برای استخراج پارامترهای رنگی انجام شد.

1- Off Line
2- On Line

ادامه جدول ۲-

ردیف	ویژگی	معادله
(۱۳)	شاخص قهوه‌ای ^{۱۳}	$B1 = [100(x-0.031)]/0.17$ $x = (a^* + 1.75L^*)/(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)$
(۱۴)	آنترپی ^{۱۴}	$E = \sum_{i,j=0}^{N-1} -Ln(P_{ij})P_{ij}$
(۱۵)	انرژی ^{۱۴}	$E = \sum_{i,j=0}^{N-1} (P_{i,j})^2$
(۱۶)	یکنواختی ^{۱۵}	$H = \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{ij}}{1+(i-j)^2}$
(۱۷)	تباین ^{۱۶}	$C = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{ij} (i-j)^2$
(۱۸)	همبستگی ^{۱۷}	$C = \sum \frac{(i-m)(j-m)P_{ij}}{s^2}$
(۱۹)	برجستگی ^{۱۸}	$P = \text{Sign}(B) B ^{\wedge 1/4}$ $B = \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{(i+j-2m)^4 P_{i,j}}{4s^4(1+C)^2}$

تشخیص رسیدگی به صورت بی درنگ

امروزه در بسیاری از فعالیتهای صنعتی، استفاده از نیروی انسانی جای خود را به نیروی مکانیکی و در بسیاری از موارد به نیروی مکانیکی ماهر یا سامانه‌های خودکار واگذار کرده است. بخش کشاورزی نیز همچون بخش صنعت نیاز مبرمی در به کارگیری سامانه‌های خودکار دارد. سیستم‌های درجه‌بندی خودکار محصولات کشاورزی به طور عمده شامل بخش مکانیکی و بخش پردازش تصویر است. در این پژوهش بخش مکانیکی شامل یک تخته نئوپان برای قرارگیری تمام اجزای دستگاه روی آن، تسمه نقاله است و از موتور (مدل Alsong، ۱۲ ولت ساخت کشور تایوان) برای انجام حمل و نقل محصولات کشاورزی استفاده گردید (که در واقع تسمه نقاله حرکت خود را از موتور می‌گیرد). ابعاد تسمه نقاله به ترتیب با طول و عرض ۲۱ و ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بخش پردازش

جدول ۱- تبدیل‌های صورت گرفته در فضاهای رنگی RGB، HSV و L*a*b* به منظور تک کانال کردن تصاویر و استخراج ویژگی

ردیف	ویژگی	معادله
$t_3 = R - G$	$t_2 = G / (R + B + G)$	$t_1 = R / (R + B + G)$
$t_6 = H - S$	$t_5 = R$	$t_4 = G$
$t_9 = b^*$	$t_8 = a^*$	$t_7 = H$
$t_{12} = L^*$	$t_{11} = V$	$t_{10} = S$

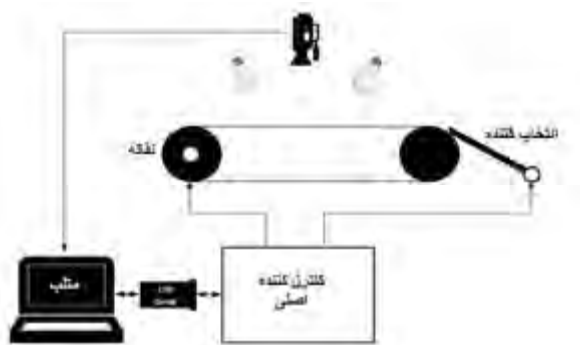
جدول ۲- ویژگی‌های رنگی و بافتی استخراج شده از تصاویر

ردیف	ویژگی	معادله
(۱)	میانگین ^۱	$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i)$
(۲)	انحراف معیار ^۲	$s = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m) \sqrt{p(z_i)}$
(۳)	میانگین ریشه مربعات ^۳	$RMS = \sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} \frac{(z_i)^2}{N}}$
(۴)	میانگین هندسی	$m_G = \sqrt[N]{\prod_{i=0}^{L-1} z_i}$
(۵)	چولگی ^۴	$s = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^3}{s^3}$
(۶)	کشیدگی ^۵	$k = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^4}{s^4}$
(۷)	صافی ^۶	$R = 1 - \frac{1}{(1+s^2)}$
(۸)	گشتاور سوم ^۷	$m = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^3 p(z_i)$
(۹)	یکنواختی ^۸	$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i)$
(۱۰)	آنترپی ^۹	$e = - \sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i)$
(۱۱)	زاویه فام ^{۱۰}	$(H^0) = \arctan(b^*/a^*)$
(۱۲)	خلوص رنگ ^{۱۱}	$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

- 1- Mean
- 2- Standard Deviation
- 3- Root mean square
- 4- Skewness
- 5- Kurtosis
- 6- Smoothness
- 7- Third moment
- 8- Uniformity
- 9- Entropy
- 10- Hue angle
- 11- Chroma
- 12- Browning Index

- 13- Entropy
- 14- Energy
- 15- Homogeneity
- 16- Contrast
- 17- Correlation
- 18- Prominence

سامانه جداکننده است که به محض برقراری جریان الکتریکی تسمه نقاله را به حرکت در می‌آورد. بخش دوم کنترلر (ATmega328) مورد استفاده در مدار الکتریکی است که عمل فعال‌سازی استپرموتور (بخش سوم) را به عهده دارد.

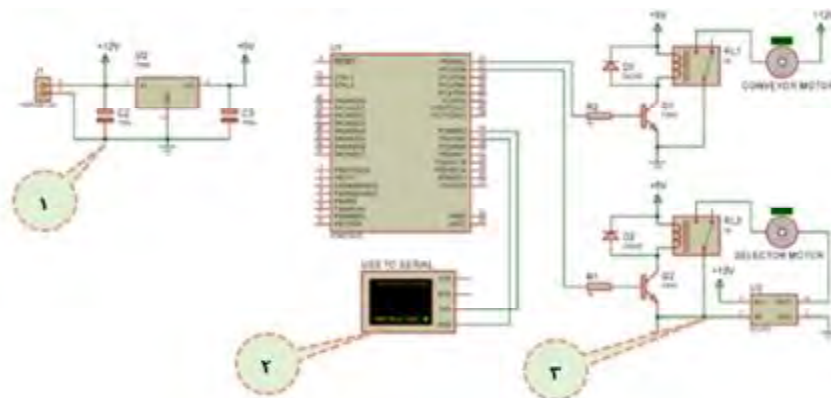


شکل ۲- شماتیک دستگاه جداسازی محصولات کشاورزی

تصویر شامل یک وبکم CCD (مدل Viera VI-1101) که روی یک پایه‌ی چوبی در ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری نصب شد تا ارتفاع تصویربرداری یکسان، و همچنین لنز وب کم عمود بر نمونه باشد. در ضمن از یک سطح شیبدار و یک استپرموتور به منظور پذیرش یا رد محصول براساس خروجی مورد نظر استفاده شد که حرکت خود را از مدار الکتریکی نشان داده شده در شکل ۴ می‌گیرد. از کامپیوتر نیز برای اجرای برنامه پردازش تصویر استفاده شد. سکوی تصویربرداری باید در شرایط نوری یکسانی قرار بگیرد تا تصویربرداری در شرایط ثابتی انجام شود. بدین منظور دو لامپ فلورسنت برای نورپردازی بهتر با زاویه ۴۵ درجه نسبت دوربین نصب شده‌اند (شکل ۲).

مدار الکتریکی

شکل ۳ مربوط به مدار الکتریکی سیستم کنترلر است، که سطح شیبدار بوسیله این محرک فعال می‌شود. این مدار شامل سه بخش است. در بخش اول بخش تغذیه



شکل ۳- مدار الکتریکی قسمت محرک دستگاه جداسازی

دوم سعی بر این بود که از هر هشت گروه دیگر انتخاب صورت پذیرد. زمانی که می‌توان داده‌ها را به دو گروه مثبت و منفی تقسیم کرد، دقت نتایج یک آزمایش که اطلاعات را به این دو دسته تقسیم می‌کند با استفاده از این شاخص‌ها قابل اندازه‌گیری و توصیف است. حساسیت به معنی نسبتی از موارد مثبت است که آزمایش آن‌ها را به درستی به عنوان مثبت علامت‌گذاری می‌کند. به بیان ریاضی، حساسیت حاصل تقسیم موارد مثبت واقعی به حاصل جمع موارد مثبت واقعی و موارد منفی کاذب است. تشخیص به معنی نسبتی از موارد منفی است که آزمایش آن‌ها را به درستی به عنوان منفی علامت‌گذاری می‌کند.

ارزیابی جداکننده و الگوریتم نوشته شده

برای ارزیابی جداکننده، از حساسیت (TPR)^۱، تشخیص (SPC)^۲، صحت (PPV)^۳ و دقت (ACC)^۴ که در آمار چهار شاخص برای ارزیابی نتیجه یک آزمایش دسته‌بندی دوحالته هستند، استفاده شد (معادلات (۲۰) - (۲۴)). بدین منظور ۱۰۰ عدد نمونه که تعداد ۵۰ عدد از این نمونه‌ها توت‌فرنگی با درجه یک و ۵۰ عدد مابقی درجه دو انتخاب شدند. شایان ذکر است که در انتخاب ۵۰ نمونه

- 1- Sensitivity
- 2- Specificity
- 3- Precision
- 4- Accuracy

در این معادله X_i و Y_i اندازه‌گیری متغیر X و Y (n ، ...، ۲، ۱، i)، و همچنین $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ میانگین‌های نمونه X و Y هستند.

نتایج و بحث

نتایج پردازش تصویر

مطابق با نمودار روندنمای پردازش تصویر، که در شکل ۴ نشان داده شده است، هدف از انجام پردازش تصویر استخراج میوه توت‌فرنگی و به دست آوردن اطلاعات رنگی از آن است. ابتدا تصویر توت‌فرنگی فراخوانی شد، بعد از حذف نویز و حفره‌های موجود در تصویر کاسبرگ جدا شده، سپس از آن، تصویر توت‌فرنگی استخراج و پارامترهای رنگی به دست آمد.

با توجه به اینکه رسیدگی در محصول توت‌فرنگی به میزان آنتوسیانین موجود در آن ارتباط مستقیم و با میزان کلروفیل ارتباط معکوس دارد، در نتیجه از فضای رنگی t_1 به عنوان فضای مطلوب و از میانگین تعداد پیکسل‌های قرمز به عنوان ویژگی مورد نظر در توسعه سیستم بینایی ماشین استفاده شد. البته شایان ذکر است که از کشیدگی نیز می‌توان برای تعیین میزان آنتوسیانین با توجه به R^2 بالاتر نسبت به میانگین استفاده کرد؛ اما به دلیل اینکه در جداکننده‌ها برخط سرعت بسیار مهم است، سادگی در ویژگی انتخاب شده در کاهش هزینه‌های محاسباتی از اهمیت بسزایی برخوردار است. مقدار R^2 در شکل ۵ برای دو ویژگی میانگین و کشیدگی آمده است.

معادله استخراج شده در شکل ۵- الف به عنوان معادله پایه در پیشگویی میزان آنتوسیانین در سیستم بینایی ماشین وارد شد.

مطابق شکل ۶ برای سه مرحله رسیدگی میانگین شدت کانال قرمز برای پیکسل‌ها در سطح میوه تعیین شد که براساس معادله محاسبه شده در شکل ۶ مقدار آنتوسیانین برای هر سه میوه مشخص و در خروجی نرم‌افزار برای کاربر به نمایش در می‌آید. مقدار خطای میانگین برای سیستم بینایی ماشین توسعه یافته ۱۶/۳٪ است. شایان ذکر است که بیشتر خطای محاسبه شده میان آنتوسیانین پیشگویی شده و اندازه‌گیری شده مربوط به دوره میانی که رنگ سطح میوه قرمز کمرنگ و متمایل به صورتی است.

در نهایت به منظور بررسی وجود اختلاف معنی‌دار میان تشخیص فرد خبره با سامانه جداکننده آزمون کی-دو^۱ در سطح احتمال ۵٪ انجام شد (معادله (۲۴)).

$$PPV (\%) = \frac{TP}{TP + FP} \times 100 \quad (20)$$

$$TPR (\%) = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (21)$$

$$SPC (\%) = \frac{TN}{TN + FP} \times 100 \quad (22)$$

$$ACC (\%) = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \times 100 \quad (23)$$

$$c^2 = \frac{\sum_{i=1}^g \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}}{\sum_{i=1}^g \frac{O_i^2}{E_i}} \quad (24)$$

TP مثبت صحیح^۲، FP مثبت کاذب^۳، TN منفی صحیح^۴، FN منفی کاذب^۵، O_i فراوانی‌های مشاهده شده و E_i فراوانی‌های مورد انتظار هستند.

آزمون‌های مخرب

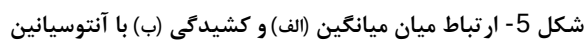
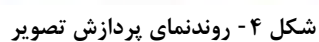
برای اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی میوه ابتدا عصاره میوه تهیه شد. اندازه‌گیری کل مواد جامد محلول آب میوه‌ی توت‌فرنگی با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دستی (مدل - MT03 ساخت ژاپن) انجام و براساس درصد بریکس ارائه شد. برای سنجش آنتوسیانین در آب میوه از روش Holecraft et al. (1998) استفاده گردید. کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از روش پیشنهادی Lichtenthaler Wellburn & (1985) اندازه‌گیری شد.

آنالیز همبستگی

آنالیز همبستگی^۶، نوع و میزان رابطه بین دو متغیر را نشان می‌دهد. در این مطالعه، ارتباط بین ویژگی‌های مخرب با متغیرهای بافتی و رنگی با استفاده از مقادیر ضریب همبستگی (r)، که مقیاسی از رابطه خطی بین دو متغیر است، ارزیابی و ضریب همبستگی با استفاده از معادله (۲۵) محاسبه شد.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^g (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^g (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^g (y_i - \bar{y})^2}} \quad (25)$$

- 1- Chi-Square Test
- 2- True Positive
- 3- False Positive
- 4- True Negative
- 5- False Negative
- 6- Correlation analysis



جدول ۳- همبستگی میان پارامترهای آماری با ویژگی‌های کیفی توت‌فرنگی در فضای رنگی t_1

[illegible]

جدول ۳- همبستگی میان پارامترهای آماری با ویژگی‌های کیفی توت‌فرنگی در فضای رنگی t_1

کشیدگی	صافی	گشتاور سوم	یکنواختی	آنتروپی	وزن	TSS	آنتوسیانین	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتونیند	کلروفیل کل	a/کلروفیل b	مجموع کارتونیند
کشیدگی	۱												
صافی	۰/۶۹*	۱											
گشتاور سوم	-۰/۱۱	-۰/۷۴*	۱										
یکنواختی	۰/۸۹*	۰/۸۶	-۰/۴۴*	۱									
آنتروپی	۰/۸۷*	۰/۸۶*	-۰/۴۶	۰/۹۹*	۱								
وزن	۰/۳۵	-۰/۱۱	۰/۵۱	۰/۱۸	۰/۱۷	۱							
TSS	۰/۳۴	۰/۰۱	۰/۴۶	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۷۸*	۱						
آنتوسیانین	۰/۳۵	-۰/۱۷	۰/۵۳	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۸۵*	۰/۵۶	۱					
کلروفیل a	-۰/۲۸	-۰/۰۱	-۰/۴۲	-۰/۱۶	-۰/۱۸	-۰/۶۳*	-۰/۸۳*	-۰/۴۷	۱				
کلروفیل b	-۰/۱۷	۰/۱۳	-۰/۳۳	-۰/۰۹	-۰/۰۸	-۰/۳۷	-۰/۴۷	-۰/۲۷	-۰/۲۹	۱			
کارتونیند	-۰/۰۶	-۰/۰۴	-۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۱۸	-۰/۱۹	-۰/۱۰	۰/۱۷	-۰/۰۱	۱		
کلروفیل کل	-۰/۲۶	۰/۱۰	-۰/۴۵	-۰/۱۵	-۰/۱۴	-۰/۵۸	-۰/۷۶	-۰/۴۲	۰/۷۱*	۰/۸۸	۰/۸۰*	۱	
کلروفیل a/کلروفیل b	-۰/۱۷	-۰/۰۱	-۰/۲۴	-۰/۰۹	-۰/۰۹	-۰/۳۸	-۰/۴۹	-۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۱۱	۰/۰۹	۱	
مجموع کارتونیند	-۰/۰۶	-۰/۰۴	-۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۱۹	-۰/۱۹	-۰/۱۰	۰/۱۷	-۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۱	۱

سامانه ماشین بینایی و فرد خبره میزان آنتوسیانین آن‌ها با آزمون مخرب تعیین و به عنوان معیاری برای صحت انتخاب دو سامانه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بازرسی توسط افراد خبره در خصوص این پارامتر نشان داد که از بین ۱۰۰ عدد توت‌فرنگی مورد ارزیابی ۵۰ عدد به عنوان سطح درجه یک معرفی شدند، و همچنین تعداد ۶ عدد از توت‌فرنگی‌های درجه ۲ به عنوان درجه یک تعیین و ۴۴ عدد به گروه درجه دو فرستاده شدند. نتایج سامانه جدا کننده خودکار همچنان نشان داد که از ۵۰ عدد توت‌فرنگی درجه ۱ تعداد ۴۷ عدد به درستی و ۳ عدد به اشتباه طبقه‌بندی شدند. همچنین نتایج طبقه‌بندی توسط دو گروه بازرسی توسط فرد خبره و سامانه جداکننده چهار شاخص حساسیت، تشخیص، صحت و دقت ارزیابی شد که فرد خبره طبقه‌بندی را با صحت، حساسیت، تشخیص و دقت به ترتیب با ۱۰۰٪، ۸۸٪، ۱۰۰٪ و ۹۴٪ انجام داد. همچنین سامانه جداکننده این طبقه‌بندی را نیز با صحت، حساسیت، تشخیص و دقت به ترتیب با ۹۴٪، ۹۲٪، ۹۳/۸٪ و ۹۰٪ انجام داد. مطابق آنالیز آماری و آزمون کی-دو اختلاف معنی‌داری میان فرد خبره و سامانه بینایی ماشین در سطح احتمال ۵٪ وجود ندارد که نشان از دقت قابل قبول سامانه بینایی ماشین دارد.



شکل ۶- میزان آنتوسیانین پیش‌بینی شده توسط سامانه ماشین بینایی

در این پژوهش علاوه بر اینکه رسیدگی به صورت بی‌درنگ براساس پارامتر رنگ تشخیص داده شد، همچنین بین پارامترهای داخلی که به صورت مخرب از توت‌فرنگی استخراج شد و پارامترهایی که به صورت غیرمخرب توسط پردازش تصویر به دست آمده یک ارتباط معنی‌داری وجود دارد.

نتایج سامانه با افراد خبره

جدول ۴ نتایج طبقه‌بندی میزان رسیدگی تعداد ۱۰۰ عدد توت‌فرنگی در دو سطح درجه یک و درجه دو توسط سامانه جداکننده و فرد خبره با یکدیگر مقایسه شدند. شایان ذکر است که بعد از طبقه‌بندی میوه‌ها توسط

جدول ۴ - نتیجه مقایسه سامانه جداکننده با فرد خیره

گروه پیش‌بینی شده				گروه واقعی
بازرسی توسط ماشین بینایی		بازرسی توسط انسان		
درجه دو	درجه یک	درجه دو	درجه یک	
۳	۴۷	۰	۵۰	درجه یک
۴۶	۴	۴۴	۶	درجه دو
	۹۴٪		۱۰۰٪	صحت
	۹۲٪		۸۸٪	حساسیت
	۹۳/۸٪		۱۰۰٪	تشخیص
	۹۰٪		۹۴٪	دقت

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به توسعه الگوریتم با کمک پردازش تصویر برای تعیین رسیدگی میوه توت‌فرنگی براساس رنگ پرداخته شد. بدین‌منظور ۱۲ فضای تک کانال و ۲۲۸ ویژگی از تصاویر استخراج شدند که مؤثرترین این ویژگی‌ها به کمک آنالیز همبستگی میان پارامترهای مخرب و غیرمخرب در سطح احتمال ۵٪ به دست آمد. مطابق نتایج به دست آمده فضای رنگی $R/(R+G+B)$ به عنوان فضای مطلوب و میانگین و کشیدگی به ترتیب با داشتن ضریب همبستگی ۰/۹۳ و ۰/۹۱ با آنتوسیانین به عنوان بهترین ویژگی انتخاب شدند. همچنین دقت کلی سیستم بینایی ماشین در تعیین میزان رسیدگی توت‌فرنگی در طی مراحل مختلف رشد ۹۰٪ محاسبه شد.

منابع

- anthocyanine ammonia, phenylalanine, ammonia lyase and glucosyltransferase in the arils of stored pomegranates. Journal American Society Horticulture Science, 123(1): 136-140.
- Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. 1985. Determination of Total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. Biochemical Society Transactions, 11: 591-592.
- Park, B. Abbott, J. A. Lee, K. J. Choi, C. H. and Choi, K. H. 2003. Near-infrared diffuse reflectance for quantitative and qualitative measurement of soluble solids and firmness of Delicious and Gala apples. Transactions of the ASAE, 46(6): 1721-1731.
- Quevedo, R. A. Diaz, O. Caqueo, A. Ronceros, B. and Aguilera, J. M. 2009. Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous L^* color information from digital images. LWT-Food Sci. Int, 42(8): 1367-1373.
- Samimi Akhijahani, H. and Khodaei, J. 2011. Some physical properties of strawberry (Kurdistan variety). World Applied Science Journal, 13(2): 206-212.
- Yam, K. L. and Papadakis, S. E. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing colour of food surfaces. Journal of Food Engineering, 61: 137-142.
- Zhou, T. Harrison, A. D. and McKellar, R. 2004. Determination of acceptability and shelf life of ready-to-use lettuce by digital image analysis. Food Research International, 37: 875-881.
- Abbott, J. A. Bachman, G. S. Childers, N. F. Fitzgerald, J. V. and Matuski, F. J. 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. Food Technology, 22: 101-112.
- Abdanan Mehdizadeh, S. Minaei, S. Hancock, N. H. and Karimi Torshizi, M. A. 2014. An intelligent system for egg quality classification based on visible-infrared transmittance spectroscopy. Information Processing in Agriculture, 1: 105-114.
- Ariana, D. P. Shrestha, B. P. and Guyer, D. E. 2006. Integrating reflectance and fluorescence imaging for apple disorder classification. Comput Electron Agric, 50: 148-161.
- Brosnan, T. Sun, D. W. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision - a review. Journal of Food Engineering, 61: 3-16.
- Holecraft, D. M. Gil, M. I. and Keder, A. A. 1998. Effects of carbon dioxide on