

Classification of Ripe and Unripe White Berry Fruit Using Thermal Image Processing

PARSA HAIDARY¹, ALI HAJI AHMAD* , HOSAIEN ROSHAN GHIASI¹

1. Department of agricultural machinery engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University college of agriculture and natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Aug. 28, 2019- Revised: Jan. 13, 2020- Accepted: Feb. 19, 2020)

ABSTRACT

Since white berry has much medical and edible benefit, it is known as a popular fruit. This research is carried out in order to classify ripe and unripe berries from each other using active thermography method. In this research 70 berries have been used as experimental samples randomly selected from a tree. They were sorted to “ripe” and “unripe” class by 5 expert people with attention to the color and texture of fruits. The temperature changes of samples by heat shock induction were recorded with a thermal camera and coefficients of first order, second order and logarithmic equations fitted to temperature-time graphs were employed for classification in MATLAB software. Using Principal Component Analysis (PCA) method, in MATLAB software, causes to use only first order equation coefficients, with an accuracy of 90 percent. Using the results of this research, the speed and accuracy of classification can be effectively increased in berry classification lines.

Keywords: Natural network, Classification, PCA, Thermography

طبقه‌بندی محصول رسیده و نارس میوه توت سفید به کمک پردازش تصاویر حرارتی

پارسا حیدری^۱، علی حاجی احمد^{۱*}، حسین روشن قیاسی^۱

۱. گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰)

چکیده

میوه توت به دلیل خواص بی شمار پزشکی و تغذیه‌ای، به عنوان میوه‌ای محبوب شناخته می‌شود. این پژوهش به منظور جداسازی توت‌های رسیده از نارس در نظر دارد، روشی را به کمک تصاویر حرارتی برپایه ترموگرافی فعال معرفی نماید. آزمایشات با ۷۰ نمونه میوه توت که به صورت تصادفی از یک درخت انتخاب شده بودند و توسط پنج فرد متخصص از روی رنگ و بافت، به دو طبقه رسیده و نارس تقسیم شده بودند، انجام گردید. تغییرات دمای نمونه‌ها با وارد کردن شوک حرارتی توسط دوربین حرارتی ثبت گردید و ضرایب مدل‌های درجه اول، درجه دوم و لگاریتمی برازش داده شده با نمودارهای دما-زمان برای طبقه‌بندی در نرم افزار متلب به کار گرفته شد. دقت طبقه‌بندی توت‌ها به کمک این نرم افزار و PCA، که تنها محدود به استفاده از ضرایب معادله درجه اول شده بود، مقدار ۹۰ درصد به دست آمد. با استفاده از نتایج این پژوهش می‌توان سرعت و دقت طبقه‌بندی را در خطوط طبقه‌بندی میوه توت به طور مؤثری بالا برد.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی، طبقه‌بندی، PCA، ترموگرافی.

مقدمه

توسعه بخش کشاورزی متناسب با جمعیت، امری ناگزیر می‌باشد که با چالش‌هایی همچون کمبود زمین‌های زراعی و کمبود آب شیرین مواجه است (Bala gafsheh, 2015; Tavana et al., 2007). بنابراین امروزه پیشرفت بخش کشاورزی به افزایش عملکرد در واحد سطح منعطف گردیده است (Sarbaz niri et al., 2016). کاهش تلفات حین برداشت محصول، یکی از مهم‌ترین گام‌هایی است که می‌توان در زمینه افزایش عملکرد در واحد سطح برداشت مورد پیگیری قرار گیرد. اکثر دستگاه‌های برداشت مورد استفاده در باغ‌ها، بدون توجه به رسیده یا نارس بودن محصول اقدام به جمع‌آوری محصول می‌نمایند. این عمل علاوه بر جلوگیری از رسیدن بخشی از میوه‌های درخت، منجر به ایجاد ناخالصی در محصول برداشت شده نیز می‌گردد، که به طور مستقیم بر مقوله کیفیت و به تبع آن، بر روی تجارت آن تاثیر می‌گذارد (Martínez et al., 2017). پژوهش حاضر به منظور ارائه راهکارهایی برای بهبود روش برداشت میوه توت و افزایش کیفیت میوه برداشت شده، انجام شده است. از برگ و میوه درخت توت سفید در زمینه‌های پزشکی و خوراکی استفاده می‌گردد. برای مثال در زمینه پزشکی، می‌توان به اثبات خاصیت ضد درد بودن عصاره الکلی برگ درخت توت برای موش‌های صحرایی اشاره نمود

(Mohammadifar et al., 2016). در زمینه خوراکی نیز میوه این درخت را به منظور تهیه پاستیل به کار می‌برند. (Shahidi et al., 2018). به منظور افزایش کیفیت برداشت میوه، خصوصاً میوه درخت توت، لزوم استفاده از یک واحد طبقه‌بند برای جدا سازی میوه‌ها احساس می‌گردد. تکنیک پردازش تصویر در زمینه طبقه‌بندی به عنوان روشی موثر برای شناسایی و تشخیص میوه‌ها به منظور دسته‌بندی، به کمک کشاورزان و باغداران آمده است (Pandey et al., 2013).

Mahendran et al., (2012) حداقل سخت افزار مورد نیاز به منظور آماده‌سازی یک واحد پردازش تصویر برای طبقه‌بندی میوه را شامل یک منبع نور، یک دوربین و مبدل آنالوگ به دیجیتال برای دوربین، رایانه، یک نمایشگر با وضوح بالا برای سهولت در پردازش تصاویر، دانسته‌اند. در زمینه طبقه‌بندی میوه‌های رسیده و نارس و حتی درجه‌بندی آن‌ها، پژوهش‌هایی به شرح زیر انجام گرفته است.

Usha et al., (2017) به منظور تعیین میزان رسیدگی توت فرنگی و بادمجان، سامانه‌ای بر پایه بینایی ماشین توسعه دادند. به منظور تعیین میزان رسیدگی به کمک بینایی ماشین، ویژگی‌های آماری همچون واریانس، میانگین، آنتروپی و همچنین برخی ویژگی‌های رنگی و ویژگی‌های نمودار هیستوگرام تصویر، از تصویر شی استخراج گردید. برای مثال مقدار آنتروپی در بادمجان

بزرگ و سیب‌های کوچک‌تر از قطر ۵۰ میلی‌متر را در طبقه کوچک قرار می‌داد.

در یکی از پژوهش‌ها، به منظور طبقه‌بندی یک گونه سیب پیوندی با نام «سیب فوجی»، برای محاسبه فضای اشغال شده توسط یک سیب، تصویر آن به فضای رنگی اوتا^۱ برده شد و سپس به وسیله آستانه‌گذاری، سیب از پس زمینه جدا گردید. سپس برای کاهش پارازیت تصویر، الگوریتم بالب^۲ مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت با کمک روشی بر پایه درج منحنی روی تصویر، مرز میوه در تصویر برای استخراج ویژگی مشخص گردید. یکی از ویژگی‌های انتخابی برای طبقه‌بندی، نسبت رنگ‌های مختلف در فضای رنگی HSI بود که پس از استخراج، این ویژگی‌ها به یک شبکه عصبی آموزش داده شدند. در نهایت این تکنیک موفق شد با دقت ۹۰ درصد، سیب‌ها را طبقه‌بندی کند (Feng et al., 2004). به منظور کاهش هزینه سامانه‌های طبقه‌بندی خودکار موجود، لینو و همکاران، نرم‌افزاری برای سهولت کار فروشندگان طراحی کردند. این نرم‌افزار بر پایه سه مشخصه رنگ، شکل و حجم میوه، توانایی تشخیص میوه‌هایی که دارای کبودی یا خرابی بودند را داشت. این نرم‌افزار با نام تجاری 'Image J' شناخته می‌شود. به منظور گردآوری داده، از یک دوربین CCD و به منظور پردازش داده‌ها از یک رایانه استفاده گردید. روشنایی محیط تصویر برداری، به کمک یک منبع نور متداول تأمین می‌گردد. برای پردازش، ابتدا تصاویر به فرمت تصاویر ۸ بیتی در آمدند، سپس میوه را از پس زمینه آن جدا نمودند. تا امکان محاسبه قطر آن فراهم گردد. به کمک محاسبه قطر میوه، مساحت آن محاسبه گردید که ضریب همبستگی آن دو مقدار ۸۹ درصد برآورد شد. وزن آن نیز از روی مساحت آن با دقت ۹۳ درصد پیش‌بینی گردید. به منظور به دست آوردن ویژگی‌هایی از رنگ تصاویر، میانگین فراوانی هر یک از باندهای R, G, B آن به صورت جداگانه محاسبه شد. سپس به کمک ویژگی‌های حاضر، کار طبقه‌بندی انجام گرفت (Lino et al., 2008).

برای تشخیص میزان خرابی میوه انبه، کاظمی و پناهی به کمک نرم‌افزار Matlab، یک سامانه طبقه‌بندی میوه برحسب میزان سلامت آن پایه‌ریزی کردند. داده برداری این سامانه به کمک یک دوربین ۳ مگاپیکسلی انجام گرفت و در مجموع، تعداد ۴۵ تصویر برای طبقه‌بندی آماده شدند. طبقه‌بندی به کمک محاسبه نسبت مساحت بخش لکه دار به مساحت کل میوه میسر گردید. در صورتی که این مقدار کمتر از ۰/۰۲ باشد، میوه سالم و اگر بین ۰/۰۲ تا ۰/۳ باشد، میوه لکه دار و اگر بیش از ۰/۳ باشد میوه فاسد گزارش می‌گردد. میزان موفقیت این سامانه ۷۵/۵ درصد

رسیده و نارس به ترتیب برابر ۷/۵ و ۷/۲ و برای بادمجان لکه دار مقدار ۷/۳ بود. در نهایت به کمک طبقه‌بند k-mean کار طبقه‌بندی در نرم‌افزار Matlab انجام گرفت. این طبقه‌بند میوه‌ها را به چند دسته نارس، رسیده و لکه دار تقسیم بندی می‌نمود.

طبقه‌بندی میوه‌ها معمولاً با توجه به میزان رسیدگی، سایز، رنگ، کیفیت و گونه به صورت دستی صورت می‌گیرد. به منظور خودکار نمودن روند طبقه‌بندی میوه‌ها در پژوهشی در سال ۲۰۱۶ از یک دوربین دیجیتال که ابعاد تصویر آن ۴۸۰*۶۴۰ پیکسل بود، استفاده گردید. این تصاویر در جعبه‌ای که شدت تابش منبع نور داخل آن ۴۳۰ لوکس بود، از ۱۶۰ پرتقال تهیه گردید. از دو ویژگی پایه اندازه و رنگ میوه، ویژگی‌هایی برای طبقه‌بندی پرتقال‌ها استخراج گردید. برای نمونه می‌توان به اندازه‌گیری میانگین فضا‌های رنگی R, G, B اشاره نمود. به کمک این ویژگی‌ها و آموزش آن‌ها به شبکه عصبی رگرسیون خطی، شبکه توانایی جدا سازی و همچنین تخمین زدن عمر آن‌ها را با دقت ۹۰ الی ۹۸ درصد به دست آورد (Jhawar et al., 2016).

Singh et al. (2015) سینگ به این دلیل که معمولاً سامانه‌های دستی نسبت به سامانه‌های رایانه‌ای از دقت کمتری برخوردارند، در طبقه‌بندی میوه نارنگی از یک سامانه رایانه‌ای ارتقاء داده شده، استفاده نمود. به منظور تصویربرداری از یک دوربین سونی با رزولوشن ۱۴/۱ مگاپیکسل استفاده گردید. تعداد ۳۰۳ تصویر در این طبقه‌بندی به کار گرفته شدند. برای طبقه‌بندی میوه‌های نارنگی تعداد ۱۲ ویژگی که شامل ۶ ویژگی، در هر یک از فضا‌های رنگی HSI و RGB بودند، استخراج گردید. سپس این ویژگی‌ها با طبقه‌بند k-mean آموزش داده شدند. نتایج مستخرج از طبقه‌بند، داده‌ها را به سه دسته رسیده، نارس و بیش از حد رسیده تقسیم نمود. دقت کلی طبقه‌بندی این سامانه در نرم‌افزار Matlab، مقدار ۹۸/۶۶ درصد به دست آمد.

به عنوان روشی غیر مخرب برای طبقه‌بندی میوه‌ها، Jadhav et al. (2013)، سامانه‌ای بر پایه یک رایانه و یک پردازنده متصل به عملگر، برای طبقه‌بندی میوه‌های سیب مورد استفاده قرار دادند. تصاویر ورودی در نرم‌افزار Matlab پردازش می‌شدند. نرم‌افزار، متناسب با ویژگی‌های دریافتی از تصویر، توسط یک پردازنده ARM7 از طریق درگاه سریال RS232 ارتباط برقرار می‌کرد. این پردازنده از طریق فرمان به عملگرهای مرتبط با سه ظرف، کار طبقه‌بندی را انجام می‌داد. ابعاد میوه‌های دریافتی حاصل از تصاویر گرفته شده از آن‌ها، ویژگی‌ای بود که به کمک آن در نرم‌افزار Matlab طبقه‌بندی انجام می‌شد. به این ترتیب سامانه، سیب‌هایی با قطر بیش از ۶۰ میلی‌متر را در طبقه

به دست آمد (Mohamad Kazemi et al., 2011).

در یکی از پژوهش‌های سنوات اخیر، در طبقه‌بندی یک رقم توت فرنگی به نام توت فرنگی پارس^۱ تعداد ۱۰۰ نمونه از ۶ طبقه مختلف از سطح رسیدگی که قبلاً توسط یک فرد ماهر آموزش دیده طبقه‌بندی شده بود، انتخاب گردید. سپس از تصاویر گرفته شده، ۳ ویژگی هندسی و ۱۲ ویژگی رنگ به منظور طبقه‌بندی هوشمند به شبکه عصبی آموزش داده شد. این شبکه با ساختار ۱۵-۱۸-۶ به معنی دریافت ۱۵ ویژگی ورودی و ۱۸ نرون به عنوان لایه مخفی و ۶ خروجی، توانست با دقت ۸۶/۸۶٪ کار طبقه‌بندی را به پایان برساند (Fatehi et al., 2018).

انار به عنوان درختی که در مناطق گرم به خوبی رشد می‌کند، شناخته می‌شود. اما گاهی اوقات به دلیل تابش بیش از حد اشعه خورشید، این میوه دچار سوختگی می‌شود، به همین منظور مرزبانی اقدام به جداسازی میوه‌های آسیب دیده از میوه‌های سالم نمود و خواص فیزیکی این دو طبقه را مورد اندازه‌گیری قرار داد. با استخراج ویژگی‌هایی از تصاویر این نمونه‌ها و به کمک الگوریتم پیاده سازی شده در Matlab، طبقه‌بندی صورت گرفت. بیشترین دقت که معادل ۱۰۰٪ بود، توسط تحلیل شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل تفکیک درجه دوم به دست آمد (Marzbani, 2015).

به منظور تشخیص بیماری به وجود آمده گیاه خیار در اثر یک عفونت قارچی و تفکیک آن از خیار سالم از دوربین مادون قرمز استفاده گردید. در مراحل اولیه بیماری منافذ تنفسی گیاه به دلیل ترشح ABA بسته می‌شوند و تعرق برگ کاهش و دمای آن در زمان تابش خورشید نسبت به دمای برگ‌های سالم افزایش می‌یابد. در نهایت با پیشرفت بیماری، منجر به از بین رفتن سلول‌های برگ می‌شود که باعث از دست دادن بی رویه آب می‌گردد. مسئله از دست رفتن آب در شب و نبود خورشید عامل کاهش دمای برگ نسبت به برگ‌های سالم نیز هست. بنابراین با توجه به تغییر دمای برگ نسبت به دمای یک برگ سالم، به کمک دوربین ترموگرافی که یک روش یک روش غیر مخرب است. می‌توان برای تشخیص گیاه مریض به سادگی اقدام نمود (Wang et al., 2012).

برنج، پس از برداشت با پوسته و برخی ناخالصی‌های اضافی همراه می‌باشد که کیفیت محصول را مورد تاثیر قرار می‌دهند. به منظور پاک‌سازی خودکار برنج از ناخالصی‌ها و پوسته‌های همراه آن، سیستمی برپایه ترموگرافی فعال پایه‌ریزی شد. پس از حرارت دادن برنج توسط یک لامپ ۴۲ وات، تصاویر ترموگرافی از برنج در حال سرد شدن به همراه ناخالصی‌های آن گرفته شد. برای این

آزمایش تیمارهایی متشکل از ۲۰٪ پوسته، ۴۰٪ پوسته، ۶۰٪ پوسته، ۱۰۰٪ پوسته و ۱۰۰٪ دانه مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از تجزیه و تحلیل تصاویر ترموگرافی در نرم افزار متلب و اعمال آستانه بر روی تصاویر، به دلیل تفاوت دمایی برنج با سایر ناخالصی‌ها می‌توان آن‌ها را از یکدیگر تمیز داد. پس از گذشت مدت زمان ۲۵ ثانیه می‌توان بهترین درصد تفکیک را به دست آورد. دقت تیمارها برای جداسازی در هر یک از تیمارهای فوق به ترتیب ۱۰۰٪، ۱۰۰٪، ۹۸/۳۳٪، ۹۷/۶۷٪ و ۹۴٪ درصد به دست آمد (Jamil et al., 2014).

برخی تحقیقات نیز به منظور طبقه‌بندی میوه‌ها از شیوه تصویربرداری حرارتی استفاده نموده‌اند. به عنوان نمونه برای تشخیص درجه تازگی انار از دو روش تصویربرداری مرئی و حرارتی استفاده شد. در بخش تصویربرداری مرئی از ویژگی‌های رنگ، شکل و بافت دانه‌های انار برای جداسازی استفاده گردید. هر ویژگی به تنهایی دارای درصد موفقیت نسبتاً کمی بود، اما با استفاده از تمام این ویژگی‌ها برای تصویربرداری مرئی، دقت ۹۹ درصد به دست آمد. در بخش بعد برای تعیین درجه تازگی، ۳۵ دانه انار در طول ۱۵ روز نگهداری شدند و در چهار گروه در روزهای اول و پنجم و دهم مورد تصویر برداری قرار گرفتند. تصویربرداری حرارتی آن‌ها به کمک یک دوربین حرارتی و سرما دادن به آن‌ها انجام شد. دانه‌ها به مدت ۶۰ ثانیه در دمای ۲۰°C- قرار داد شدند. پس از آن تا سه دقیقه به صورت هر دقیقه یک بار از آن‌ها تصاویر حرارتی تهیه شد. بهترین دقت طبقه‌بندی در دقیقه سوم در روز اول با مقدار ۹۷/۷ درصد به دست آمد. این روش به عنوان روشی غیر مخرب توانایی تشخیص درجه تازگی انار را دارد (Mohamad zadeh et al., 2014).

دو مطالعه برای شناسایی اجسام خارجی موجود بر روی خط تولید به کمک تصاویر حرارتی انجام شدند. در یکی از مطالعات باهدف جداسازی شکلات بر روی خط تولید، از تصاویر حرارتی بدون هیچ گونه تحریک دمایی و تنها به کمک ضریب صدور سطح انجام گرفت و مطالعه دوم به منظور تفکیک ساقه، برگ و سایر اندام میوه با استفاده از ظرفیت گرمایی و تفاوت در جنس مواد آن‌ها انجام شد. در ابتدا با اعمال حرارت، دمای این قطعات را افزایش داده، سپس عمل تفکیک، طی روند سرد شدن بر روی یک تسمه نقاله به کمک رصد دوربین حرارتی، انجام گرفت (Vadivambal, Jayas, 2011).

از جمله مزایای طبقه‌بندی به کمک تصاویر ترموگرافی، می‌توان به ساده بودن و عدم نیاز به تجهیزات خاص برای نوردهی

ویژه آن‌ها، تغییرات دمایی توت‌ها با یکدیگر متفاوت باشند. بنابراین به عنوان ورودی شبکه عصبی پارامترهای ضرایب معادله درجه اول (رابطه ۱)، ضرایب معادله درجه دوم (رابطه ۲) و ضرایب معادله لگاریتمی (رابطه ۳) توسط نرم‌افزار Matlab 2018a برای داده‌های هر توت به دست آمد. این ویژگی‌ها که جمعاً هفت ورودی می‌باشند، به شبکه عصبی Fine tree در جعبه ابزار classification از نرم‌افزار Matlab آموزش داده شد. آموزش شبکه به روش N-Fold انجام گرفت که در این پژوهش مقدار N ۵ در نظر گرفته شد. تعداد ۱۰ اپوک ۲ به منظور طبقه‌بندی در نظر گرفته شد.

$$T = a_1 t + b_1 \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$T = a_2 t^2 + b_2 t + c_2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$y = a_3 \log(x) + b_3 \quad (\text{رابطه ۳})$$

در معادلات بالا T معرف دما برحسب °C و t به معنی زمان برحسب دقیقه می‌باشد. $a_1, b_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3$ نیز ضرایب ثابت معادله می‌باشند.

نتایج و بحث

با ارزیابی تصاویر ترموگراف توت‌های رسیده و نارس مشاهده می‌شود، شدت تغییر دمای توت‌های نارس در طول تصویربرداری حرارتی نسبت به توت‌های رسیده بیشتر است. به گونه‌ای که در تصاویر آخر توت‌های نارس تقریباً ناپدید شده‌اند. در حالی که توت‌های رسیده هنوز با محیط اختلاف دما دارند و در تصویر مشخص هستند. لازم به ذکر است دامنه دمایی در شکل ۲ و شکل ۳ به منظور نمایش بهتر، متفاوت در نظر گرفته شده است.

پس از وارد کردن داده‌های دمای تصاویر حرارتی در نرم افزار Excel شکل ۴ به دست آمد، که نشان می‌دهد دمای توت‌های رسیده با شیب کمتری نسبت به توت‌های نارس تغییر می‌کند (شکل ۵). دلیل اکیداً صعودی نبودن داده‌ها را می‌توان در متفاوت بودن نقاط انتخابی (نقاط مرکز سطح هندسی تصویر هر توت) بر روی سطح توت عنوان نمود. به نظر می‌رسد، عامل تغییر کندتر شیب توت‌های رسیده نسبت به نارس را می‌توان در محتوای رطوبت بیشتر موجود در میوه توت و تغییر در بافت سطحی آن جستجو کرد. به دلیل افزایش مقدار آب موجود در توت‌های رسیده و به دنبال آن افزایش حجم توت، این توت‌ها دارای ظرفیت گرمایی بیشتری بوده و تغییرات دمایی آن‌ها با کندی صورت می‌گیرد. در نهایت به کمک ضرایب به دست آمده از تغییرات داده‌های هر توت در نرم افزار Matlab و آموزش آن‌ها

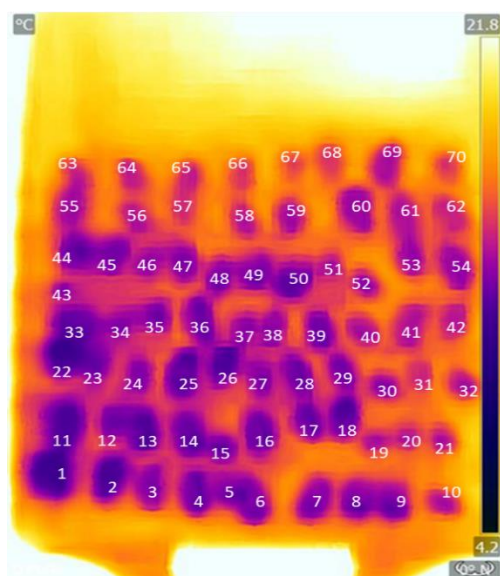
و مصرف انرژی اشاره کرد. زیرا زاویه برخورد نور و یا سایه‌های تشکیل شده بر روی تصویر ترموگرافی در صورت کوتاه بودن زمان اثر، تاثیر گذار نیست. و امکان تصویر برداری را در شرایط مختلف تابش نور فراهم می‌کند. با توجه به اهمیت طبقه‌بندی میوه توت، در پژوهش حاضر روشی برای جداسازی توت رسیده از نارس بر پایه تصاویر حرارتی و استفاده از هوش مصنوعی بنا نهاده شده که در ادامه، به شرح آن پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

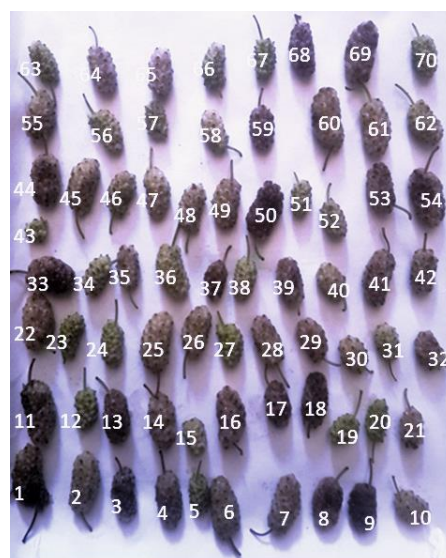
به منظور تفکیک توت‌های رسیده از نارس، از شیوه ترموگرافی فعال استفاده گردید. در روش ترموگرافی فعال قبل از تصویربرداری حرارتی، با دادن یا گرفتن انرژی حرارتی، جسم را مورد تحریک دمایی قرار می‌دهیم. در پژوهش حاضر، میوه توت قبل از تصویربرداری به کمک یک یخچال، مورد تحریک دمایی قرار گرفت. دوربین حرارتی مورد استفاده در این پژوهش، دوربین Flir one pro با رزولوشن دمایی °C/۰.۱ و تصویری ۶۴۰*۴۸۰ پیکسل بود. تعداد ۷۰ نمونه توت سفید در پردیس کشاورزی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج مورد آزمایش قرار گرفت. این نمونه‌برداری به صورت تصادفی از یک درخت جوان به صورت تازه جمع‌آوری گردید. پس از نمونه‌برداری توت‌ها، آن‌ها در آزمایشگاه بر روی کاغذ تایوک ۱ چیده شدند و به مدت ۱۲ ساعت در یخچال با دمای °C/۴ (Laguerre et al., 2002) قرار گرفتند تا کاملاً هم دمای یخچال شوند (شکل ۱). به منظور وضوح بیشتر در تصویر ترموگراف یک سینی به صورت جداگانه در دمای محیط قرار داده شد. سپس توت‌ها پس از خروج از یخچال در مدت ۴۵ ثانیه بر روی سینی چیده شدند (شکل ۲). به کمک دوربین ترموگراف به فاصله زمانی هر ۳۰ ثانیه روند تغییر دمای توت‌ها تا زمان ۱۰/۵ دقیقه مورد مشاهده قرار گرفت. سپس تلاش شد دمای مربوط به نقطه مرکز هندسی تصویر هر توت انتخاب گردد. سپس داده‌های به دست آمده، وارد نرم افزار Excel گردید و نمودار تغییر دمای هر توت نسبت به زمان نیز ترسیم شد. به منظور استخراج ویژگی‌های دما برای آموزش طبقه‌بندی، توت‌ها در ابتدا به کمک رنگ و بافت توسط پنج فرد متخصص به دو دسته رسیده و نارس تقسیم شدند. در صورتی که تعداد آرای اختصاص یافته بر هر میوه، مبنی بر رسیده یا نارس بودن آن، بیش از سه رای بود، آن رای به میوه مربوطه اختصاص داده می‌شد. انتظار می‌رفت به دلیل تفاوت در بافت و محتوای رطوبت موجود در توت‌های رسیده و نرسیده و در نتیجه تفاوت در ظرفیت گرمایی

(ترموگرافی) در میوه های نارس از رسیده می باشد، که قابلیت مطلوبی در سامانه های جداسازی خودکار از خود نشان می دهد. به منظور مشاهده نتایج طبقه بندی نرم افزار، دو تصویر مربوط به پراکندگی داده ها (شکل ۶-الف) و ماتریس اغتشاش (شکل ۶-ب) آورده شده است. با توجه به این ماتریس ۹۲ درصد توت های رسیده و ۸۴ درصد توت های نارس درست تشخیص داده شده اند. به نظر می رسد علت عدم تشخیص دقیق توت های رسیده از نارس توت هایی در حال گذر به مرحله رسیدن می باشند. در این پژوهش به دلیل استفاده از تصاویر ترموگرافی، نیاز به بکارگیری منابع پیچیده سخت افزاری نبوده و ویژگی های استخراج شده نسبت به تصاویر مرئی کمتر می باشد. کار پردازش نیز سریع تر و با استهلاک کمتر انجام می پذیرد.

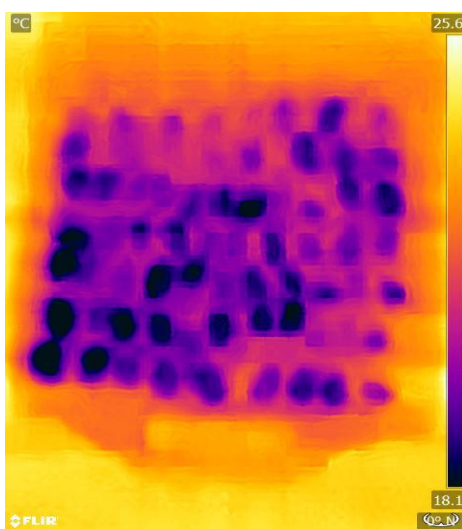
به شبکه عصبی، توت های رسیده و نارس با دقت ۹۰ درصد از یکدیگر تفکیک شدند. به کمک تحلیل PCA در نرم افزار Matlab (که به منظور نشان دادن میزان تأثیر هر یک از متغیرهای ورودی در پیش بینی طبقه مورد نظر به کار گرفته شد)، مشخص گردید، پارامترهای ضرایب معادله درجه اول با نتایج حاصله، بیشترین همبستگی را داشتند (جدول ۱). در میان دو ضریب معادله درجه اول نیز عرض از مبدأ با مقدار ۹۸/۸ درصد، تأثیر بیشتری از ضریب زاویه (شیب خط) با مقدار ۱/۲ درصد، داشت، که این موضوع بیانگر تغییر دمای سریع توت های نرسیده در مدت خروج (۴۵ ثانیه) از یخچال می باشد. این موضوع نشان دهنده امکان طبقه بندی به کمک تصاویر اولیه گرفته شده از میوه است، که حاکی از سرعت بالای تفکیک روش حرارت سنجی



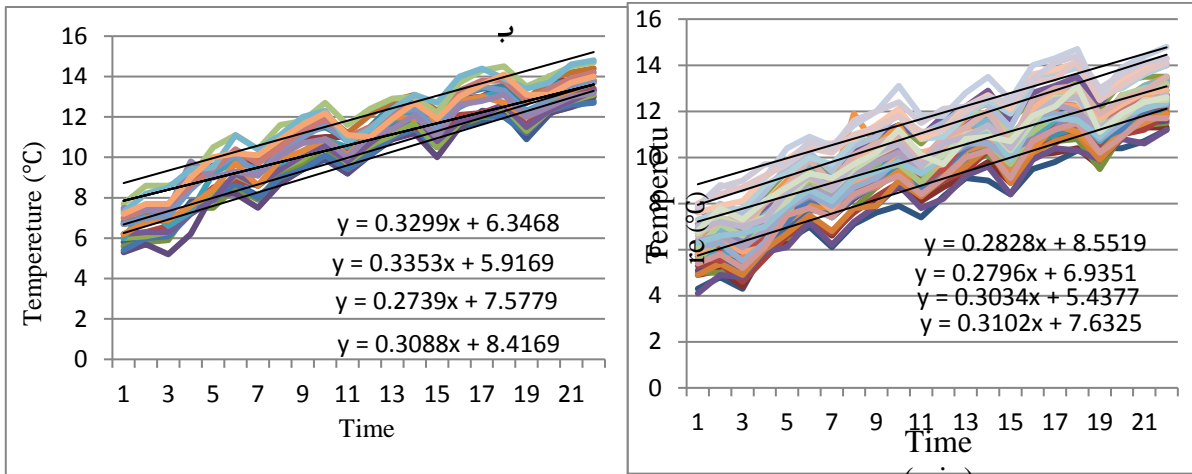
شکل ۲- تصویر ترموگراف از نمونه های آزمایشی در ثانیه اول



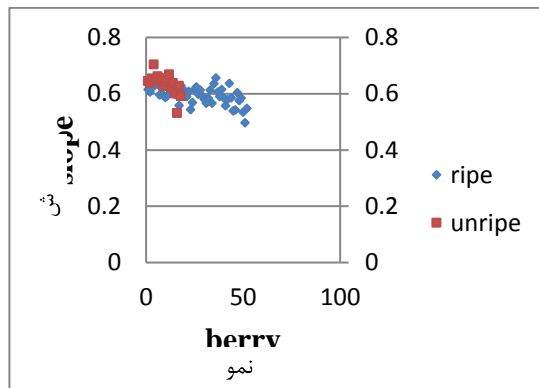
شکل ۱- نمونه آزمایش



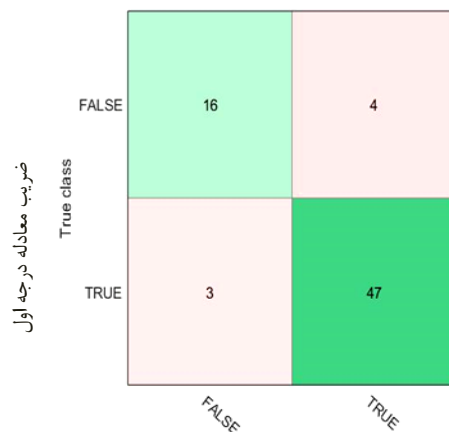
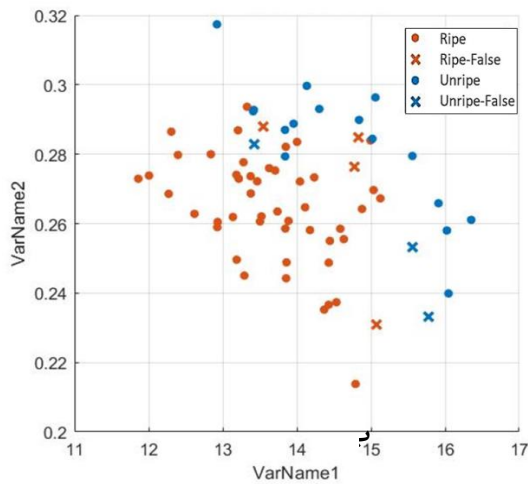
شکل ۳- تصویر ترموگرافی در دقیقه ۱۰/۵



شکل ۴- الف) تغییرات دمای توت نارس ب) تغییرات دمای توت رسیده



شکل ۵- تفکیک شیب توت های رسیده و نرسیده در اکسل



عرض از مبدا معادله درجه اول

شکل ۶- الف) پراکندگی داده‌های پیش‌بینی شده نسبت به ضرایب معادله درجه اول ب) ماتریس اغتشاش داده‌ها

جدول ۱- محدوده ضرایب ورودی شبکه عصبی

| ضرایب | ضریب معادله لگاریتمی | عرض از مبدا معادله لگاریتمی | ضریب X^2 در معادله درجه دوم | ضریب X در معادله درجه دوم | عرض از مبدا معادله درجه دوم | ضریب معادله درجه اول | عرض از مبدا معادله درجه اول |
|---------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| بازه | ۲/۷۲ تا ۱/۹۳ | ۱۴/۱۶ تا ۹/۸۸ | -۰/۰۲ تا -۰/۰۱ | ۰/۸۹ تا ۰/۵۹ | ۱۴/۰۸ تا ۱۰/۱۳ | ۰/۳۱ تا ۰/۲۱ | ۱۶/۳۵ تا ۱۱/۸۶ |
| میانگین | ۲/۳۶ | ۱۱/۸۸ | -۰/۰۲ | ۰/۷۸ | ۱۱/۹۲ | ۰/۲۶ | ۱۴/۰۰ |

نتیجه گیری

۹۰ درصد انجام شد و بیشترین دقت به کمک عرض از مبدا معادله درجه اول به دست آمد. این مسئله نشان دهنده سرعت بالای تفکیک تصویربرداری حرارتی می باشد. استفاده از تصاویر ترموگرافی به دلیل عدم نیاز به استخراج ویژگی های پیچیده، باعث افزایش سرعت و کاهش زمان در عملیات طبقه بندی بود که به نوبه خود منجر به کاهش هزینه های جانبی سامانه و افزایش بازده گردید.

به کمک تحلیل نمودارهای به دست آمده از داده های دمایی هر توت و استخراج ویژگی هایی از نمودار تغییرات دما بر حسب زمان، شامل ضرایب معادله درجه اول، درجه دوم و لگاریتمی، که از طریق برازش این معادلات بر داده های مذکور به دست آمدند، به عنوان ورودی به نرم افزار Matlab داده شدند و با کمک PCA در ماژول طبقه بندی نرم افزار^۱ Matlab، طبقه بندی داده ها با دقت

REFERENCES

- Feng, G., & Qixin, C. (2004, June). *Study on color image processing based intelligent fruit sorting system*. In Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (IEEE Cat. No. 04EX788) (Vol. 6, pp. 4802-4805). IEEE
- Jadhav, R. S., & Patil, S. S. (2013). A fruit quality management system based on image processing. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, 8(6), 01-05.
- Jhavar, J. (2016). Orange sorting by applying pattern recognition on colour image. *Procedia Computer Science*, 78, 691-697.
- Jamil, N., & Bejo, S. K. (2014). Husk detection using thermal imaging technology. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 128-135.
- Lino, A. C. L., Sanches, J., & Fabbro, I. M. D. (2008). *Image processing techniques for lemons and tomatoes classification*. *Bragantia*, 67(3), 785-789.
- Laguerre, O., Derens, E., & Palagos, B. (2002). Study of domestic refrigerator temperature and analysis of factors affecting temperature: a French survey. *International journal of refrigeration*, 25(5), 653-659.
- Mahendran, R., Jayashree, G. C., & Alagusundaram, K. (2012). Application of computer vision technique on sorting and grading of fruits and vegetables. *J. Food Process. Technol*, 10, 2157-7110.
- Martínez, C., Manuel, V., Aristizábal, T., Darío, I., Moreno, C., & León, E. (2017). Evaluation of the composition effect of harvested coffee in the organoleptic properties of coffee drink. *Vitae*, 24(1), 47-58.
- Mohammadifar, M., Tamtaji, O. R., Behnam, M., Taghizadeh, M., & Talaei, S. A. (2016). *Analgesic Effect of Alcoholic Extract of Morus alba L. Leaf on Male Rats*. *The Horizon of Medical Sciences*, 22(2), 151-158.
- Pandey, R., Naik, S., & Marfatia, R. (2013). *Image processing and machine learning for automated fruit grading system: A technical review*. *International Journal of Computer Applications*, 81(16), 29-39.
- Singh, H., & Gill, N. (2015). Machine vision-based color grading of Kinnow mandarin. *International Journal*, 5(5).
- Usha, S., Karthik, M., Jenifer, R., & Scholar, P. G. (2017). *Automated Sorting and Grading of Vegetables Using Image Processing*. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 5(6), 53-61.
- Badly, L., & Rastegarpoor, M. (2018). *Object identification and grading by image processing (Case study: Pomegranate grading by color)*. Third National Conference on Computer Engineering, Information Technology and Data Processing. (in farsi)
- Tavana, H., Sabohi, M. (2007). *Solutions to reduce the use of groundwater resources in agriculture*. 1st Conference on Coping with Water Scarcity, Tehran. (in farsi)
- Sarbaz niri, O., Arsalan bod, M. (2016). *Investigating Barriers to Increasing Wheat Productivity in Iran Case Study*. 1ST national conference of Economics, Management and Accounting. Ahvaz, Department of Industry and Trade and Mines Khuzestan. (in farsi)
- Shahidi, F., Basiri, Sh., Sadeghi, F., Khalilian, S., Khazaiee, A. (2018). Preparation of white mulberry pastel (Mac gel) and evaluation of the effect of different amounts of pectin and agar on water activity, sensory, tissue properties and color parameters. (in farsi)
- Fatehi, F., Samimi akhijehani, H., Asghar, M., Hossien poor, A. (2018). *Strawberry Fruit Classification of Paros Cultivar by Combining Image Processing Techniques and Intelligent Methods*. National Congress on Biosystems Engineering and Mechanization, Hamedan. (in farsi)
- Mohamad Kazemi, F., Panahi laien, F. (2011). *Evaluation of mango fruit color for grading its quality using image processing*. The first specialized conference on computer intelligent systems and their applications.
- Bala gafsheh, M. (2015). *Water crisis, Iran's biggest environmental challenge in 21st century*. Second National Conference on Environmental Health, Health and Sustainable Environment. (in farsi)
- Marzbani, F. (2015). *Qualitative grading of pomegranates by image processing method*. Master thesis. (in farsi)

Mohamad zadeh, R., Abaspoor fard, M. H., Golzarian, M. R. (2014). *Development of a computer vision system to identify and evaluate human quality*. Master thesis. (in farsi)

Vadivambal, R., & Jayas, D. S. (2011). Applications of thermal imaging in agriculture and food industry—a review. *Food and bioprocess*

technology, 4(2), 186-199.

Wang, M., Ling, N., Dong, X., Zhu, Y., Shen, Q., & Guo, S. (2012). Thermographic visualization of leaf response in cucumber plants infected with the soil-borne pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 61, 153-161.