

درجه‌بندی کیفی انار به روش پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی

کامران خیرعلی‌پور^{۱*} و فرشید مرزبانی^۲

۱) استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۲) فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

نویسنده مسئول: k.kheiralipour@ilam.ac.ir

چکیده

ایران بزرگترین تولیدکننده انار در جهان است. یکی از مشکلات پیش از برداشت انار آفتاب سوختگی است که در اثر تقابل دما و نور شدید رخ می‌دهد. این عارضه موجب کاهش کیفیت و ارزش اقتصادی محصول می‌گردد که نیازمند جداسازی آن از میوه‌های سالم است. لذا در این پژوهش درجه‌بندی انار با استفاده از روش پردازش تصویر مد نظر قرار گرفته است. بر این اساس تصاویر ۱۴۰ نمونه انار آفتاب‌سوخته و سالم، رقم ملس، با استفاده از یک اتاقک تصویربرداری تهیه گردید. الگوریتمی در نرم افزار متلب ۲۰۱۰ برای پردازش تصاویر کد نویسی گردید. توسط این الگوریتم مراحل پیش پردازش و استخراج ویژگی انجام شد. در نرم افزار متلب ۲۰۱۰ یک الگوریتم طبقه‌بند به روش شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده طراحی گردید. در کل تعداد ۲۶۷ ویژگی از فضاهای مختلف رنگی استخراج گردید که از بین آن‌ها میانگین کانال قرمز، میانه کانال قرمز، مد کانال قرمز، میانگین کانال a^* ، میانه کانال a^* ، مد کانال a^* ، میانگین کانال b^* ، میانگین کانال cg و سهم مساحت سیاه به عنوان ویژگی‌های کارا برای طبقه‌بندی انارهای سالم و آفتاب‌سوخته تشخیص داده شد. دقت تشخیص انارهای آفتاب‌سوخته از انواع سالم توسط الگوریتم ۱۰۰٪ بدست آمد. در نهایت یک سامانه برای تشخیص انار سالم از آفتاب‌سوخته بر اساس دو الگوریتم پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی طراحی و ساخته شد. نتایج این تحقیق برای جداسازی مکانیزه میوه‌های انار آفتاب‌سوخته از سالم قابل استفاده می‌باشد.

کلمات کلیدی: آفتاب‌سوختگی، انار، شبکه عصبی مصنوعی، طبقه‌بندی، ماشین بینایی.

انار، *Punica granatum*، یکی از قدیمی‌ترین میوه‌هایی است که در ایران کشت می‌شود. این گیاه بومی مناطق مرکزی آسیا از ایران تا هیمالیا است (Jackson and Looney, 1999). ایران رتبه اول تولید انار را در جهان دارد که تولید کل آن در سال زراعی ۹۲-۹۳ میزان ۹۹۰ هزار تن بوده است. متوسط میزان عملکرد انار آبی در کشور ۱۴/۵ تن در هکتار و از آن انار دیم ۷/۴ تن در هکتار بوده است (آمارنامه کشاورزی ۱۳۹۵). بیشتر مناطق انار کاری ایران در مناطق گرم و خشک استان‌های فارس، مرکزی، اصفهان و یزد قرار دارند که آفتاب‌سوختگی تابستانه در این مناطق یک پدیده شایع است.

آفتاب‌سوختگی از نابسامانی‌های پیش از برداشت است که موجب کاهش کیفیت و ارزش اقتصادی محصول می‌گردد (ناصری، ۱۳۸۰). آفتاب‌سوختگی در اثر تقابل دما و نور شدید رخ می‌دهد (Schrader *et al.*, 2009). گرمای زیاد و اشعه خورشید به ویژه اشعه فرابنفش سبب ایجاد آفتاب‌سوختگی و تغییر رنگ پوست میوه به زرد یا برنزه می‌شود (Glenn *et al.*, 2009). آفتاب‌سوختگی معمولاً در سال‌های اول باردهی، به دلیل پوشش برگی پایین، در قسمت جنوب غربی درخت بیشتر اتفاق می‌افتد (Gindab and Wand, 2007). تغییر رنگ یا سوختگی سطحی میوه از آسیب‌های اولیه آفتاب‌سوختگی است که در مرحله شدیدتر تغییر رنگ پوست از قهوه‌ای به سیاه و کاهش محتوای آب و خشکی دانه‌ها را در پی دارد (Yazici and Kaynak, 2009). در مواردی آفتاب‌سوختگی باعث از بین رفتن بیش از ۴۰ تا ۵۰ درصد از کل محصول شده است (شاگری و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین ارزش اقتصادی میوه‌های انار آفتاب سوخته بسیار پایین‌تر از انار سالم است. لذا نیاز است این نوع میوه‌ها از میوه‌های سالم جدا شده و سپس وارد بازار شده و یا برای صادرات آماده و بسته‌بندی شوند.

در دهه‌های گذشته یکی از موضوعات مورد علاقه محققان بررسی کیفیت میوه‌ها بوده است. در سال‌های گذشته درجه‌بندی کیفی محصولات کشاورزی توسط کارگران به صورت دستی صورت گرفته است ولی هزینه زیاد کارگری، خستگی، بازده پایین و متفاوت بودن سطح تشخیص کارگران به علت تأثیرپذیری از شرایط محیطی، لزوم استفاده از روش‌های نوین را به سبب شده است. در حال حاضر روش‌های غیرمخرب مرسوم بوده و بخش عمده‌ای از کار سامانه کنترل خودکار کیفیت در فراوری و جداسازی به عهده سامانه‌های ماشین بینایی می‌باشد. ماشین بینایی علاوه بر توانایی بررسی ویژگی‌های ظاهری مانند رنگ، اندازه، آسیب‌های سطحی را دارد، در صورت به کارگیری در طول موج‌های مختلف می‌تواند عامل‌هایی همچون آسیب‌های زیرپوستی و حتی برخی از ویژگی‌های شیمیایی میوه را به سامانه پردازشی انتقال دهد (صدیقی انارکی و همکاران، ۱۳۸۳؛ سلاجقه و شاه بیگ، ۱۳۷۹). این روش به دلیل ویژگی‌هایی مانند قیمت پایین، سرعت بالا، غیرمخرب بودن و عدم تأثیرپذیری از شرایط محل کار مورد توجه محققین و همچنین بخش صنعت و کشاورزی قرار گرفته است.

جارالمسجد و همکاران (۱۳۸۷) یک سامانه جداسازی سیب‌زمینی با استفاده از ماشین بینایی را که یک کاربر غیرمتخصص نیز بتواند از آن استفاده کند طراحی کردند. آزمایش‌ها بر روی ۵۰ نمونه سیب‌زمینی انجام گرفت و با رعایت اصول یادشده سامانه ۹۸٪ سیب‌زمینی‌ها را به درستی جدا کرد در این آزمایش از روش میکروکنترلر استفاده شد. یک ماشین خودکار برای درجه‌بندی و بسته‌بندی دانه انار طراحی و



ساته شده است. محققین دانه انار بعد از جدا شدن بر اساس رنگ به چهار طبقه دسته‌بندی نمودند (Blasco *et al.*, 2009). نتایج تحقیق آن‌ها نشان از ۹۰٪ موفقیت بود. دهکردی و همکاران (۱۳۹۰) از سامانه ماشین بینایی برای درجه‌بندی سیب بر اساس رنگ استفاده نمودند. بدین منظور آن‌ها ویژگی‌های ۹۵ تصویر را استخراج کرده و با استفاده از شبکه عصبی با دقت ۹۶٪ درجه‌بندی سیب را با موفقیت انجام دادند. خزائی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از روش پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی سیب‌زمینی را از کلوخه و سنگ با دقت ۱۰۰٪ تشخیص دادند. خیرعلی‌پور و پرما (۱۳۹۴) مطالعه‌ای جهت درجه‌بندی خیار بر اساس شکل با استفاده از روش پردازش تصویر انجام دادند. آن‌ها با استفاده از روش طبقه‌بندی تحلیل تفکیک درجه دوم توانستند با دقت ۹۳/۱ درصد تصاویر نمونه‌های خیار با شکل مطلوب را از نامطلوب تشخیص دهند. از روش پردازش تصویر برای درجه‌بندی میوه خرمالو بر اساس پردازش تصویر و روش تحلیل تفکیک درجه دوم استفاده شده است و محققین به دقت طبقه‌بندی ۹۰/۲۴٪ دست یافتند (Mohammadi *et al.*, 2015).

با توجه به فقدان روش‌های نوین و عدم وجود فناوری‌های پیشرفته در بخش درجه‌بندی مکانیزه برای جداسازی میوه‌های انار آفتاب سوخته از سالم، در این پژوهش به طراحی الگوریتم‌هایی برای تشخیص میوه‌های انار سالم و آفتاب‌سوخته با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

اکتساب تصویر

این پژوهش در آبان ماه ۱۳۹۳ در گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام، انجام گرفت. تعداد ۱۴۰ نمونه میوه انار از رقم ملس تهیه گردید. نمونه‌ها به صورت دستی تمیز داده شد که شامل تعداد ۶۸ نمونه انار سالم و ۷۲ نمونه انار آفتاب‌سوخته بود. تصاویر نمونه‌ها در آزمایشگاه پردازش تصویر اکتساب گردید (شکل ۱). سامانه تصویربرداری موجود در آزمایشگاه پردازش تصویر دانشگاه ایلام دارای یک رایانه، یک اتاقک تصویربرداری و یک کارت تصویر می‌باشد.

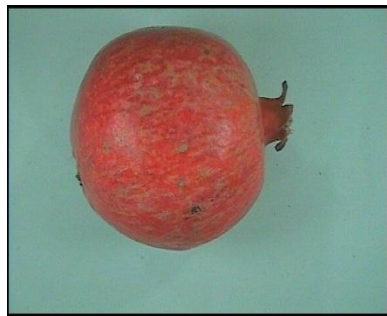
جهت گرفتن تصاویر با کیفیت بالا از زمینه سفید با کاغذ کالک استفاده شد. نمونه‌های مورد نظر به طور جداگانه در اتاقک تصویربرداری قرار گرفته و در ابتدا فاصله لنز دوربین از نمونه‌ها به طور ثابت برای تمامی نمونه‌ها ۲۰ سانتی‌متر تعیین و منابع نوری موجود روشن شد. بعد از تنظیم دوربین برای تصویربرداری، درب جعبه بسته شد و بعد از اکتساب تصویر از نمونه‌ها فایل آن با فرمت jpg در رایانه ذخیره گردید.

پردازش تصویر

برنامه‌ای در نرم‌افزار متلب ۲۰۱۰ جهت پردازش تصاویر اکتساب شده از نمونه‌های مورد نظر کد نویسی شد. در ابتدا تصویر اکتساب شده توسط نرم‌افزار خوانده، سپس مرحله پیش‌پردازش و پس از آن استخراج ویژگی صورت گرفت.



ج



ب



الف

شکل ۱. الف) اتاقک تصویربرداری، ب) تصویر انار سالم و ج) تصویر انار آفتاب سوخته.

پیش پردازش

پیش‌پردازش تصویر شامل برش حاشیه تصویر جهت حذف سیاهی در حاشیه، تبدیل تصاویر به تک رنگ، باینری و پر نمودن حفره‌ها، حذف اغتشاشات و نابسامانی‌های احتمالی و جداسازی پس‌زمینه می‌باشد. در شکل (۲) تصاویر انار جدا شده از پس‌زمینه نشان داده شده است.



ب



الف

شکل ۲. جداسازی تصویر انار از پس‌زمینه، الف) انار سالم و ب) انار آفتاب سوخته.

استخراج ویژگی

پس از جداسازی تصویر انار از پس‌زمینه، کانال‌های دیگر بدست آمد. با توجه به این که فضای اصلی تصویر فضای RGB بود، کانال‌های مختلف رنگی از فضاها رنگی RGB، HSI، $L^*a^*b^*$ ، $.rgb$ ، $.I1I2I3$ ، $YCrCbC$ و تصویر با استفاده از روابط مربوطه تهیه گردید. همچنین کانال خاکستری (چیدری، ۱۳۹۲) نیز بدست آمد.



کانال‌های L^* ، a^* و b^* :

فضای $L^*a^*b^*$ یک فضای رنگی با ابعاد L برای روشنایی، a و b برای ابعاد رنگ، بر اساس مختصات فضای رنگی فشرده شده غیرخطی XYZ CIE می‌باشد. مولفه‌های این فضا با استفاده از روابط (۱) تا (۳) محاسبه شد (Cheng *et al.*, 2001):

$$L^* = 116 \times ((Y/Y_0)^{1/3} - 16) \tag{۱}$$

$$a^* = 500 \times ((X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}) \tag{۲}$$

$$b^* = 200 \times ((Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}) \tag{۳}$$

که:

$$X = 0.607 \times R + 0.174 \times G + 0.2 \times B \tag{۴}$$

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \tag{۵}$$

$$Z = 0.066 \times G + 1.116 \times B \tag{۶}$$

$$X_0 = 0.607 + 0.174 + 0.2 \tag{۷}$$

$$Y_0 = 0.299 + 0.587 + 0.114 \tag{۸}$$

$$Z_0 = 0.066 + 1.116 \tag{۹}$$

که R ، G و B کانال‌های قرمز، سبز و آبی هستند.

کانال‌های I_1 ، I_2 ، I_3 :

این فضای رنگی تبدیل یک تصویر به صورت متعامد است که در آن محورها ناهمبسته آماری هستند. مولفه‌های این فضا طبق روابط (۱۰) تا (۱۲) با فضای RGB رابطه خطی دارند (Cheng *et al.*, 2001)

$$I_1 = (R+G+B)/3 \tag{۱۰}$$

$$I_2 = (R-B)/2 \tag{۱۱}$$

$$I_3 = (2 \times G - R - B)/4 \tag{۱۲}$$

کانال‌های I ، S ، H :

در فضای HSI (رنگ، اشباع و شدت)، مولفه شدت را از اطلاعات حامل رنگ در یک تصویر رنگی جدا می‌کند. با توجه به یک تصویر در فضای RGB، مؤلفه‌های فضای HSI با استفاده از روابط (۱۳) تا (۱۵) به دست می‌آید (Gonzalez and Woods, 2002):



$$H = \arctan[(3^{1/2}) \times (G-B) / ((R-G) + (R-B))] \quad (13)$$

$$S = 1 - (3 / (R+G+B)) \times [\min(R, G, B)] \quad (14)$$

$$I = (R+G+B) / 3 \quad (15)$$

کانال‌های Cr، Cg و Cb:

در فضای YCrCbCg، اطلاعات روشنایی توسط یک مؤلفه Y ارائه می‌شود و اطلاعات رنگ به عنوان سه مؤلفه رنگ متفاوت، Cr، Cg و Cb ذخیره می‌شود. روابط (۱۶) تا (۱۸) برای تبدیل RGB به YCrCbCg مورد استفاده قرار گرفت (Bulanon *et al.*, 2002):

$$YCr = R - Y \quad (16)$$

$$YCg = G - Y \quad (17)$$

$$YCb = B - Y \quad (18)$$

که:

$$Y = 0.3 \times R + 0.6 \times G + 0.1 \times B$$

کانال‌های NR، NG و NB:

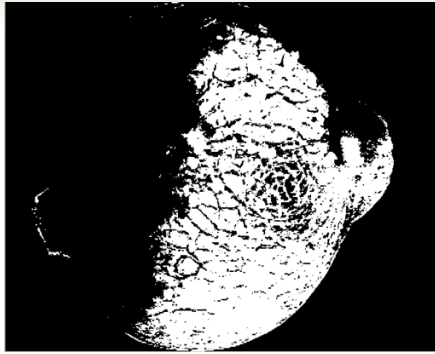
فضای نرمال RGB (NRGB) باعث می‌شود که رنگ‌ها از تغییرات در شدت روشنایی مستقل باشند. این فضا با استفاده از روابط (۱۹) تا (۲۱) ارائه شده است (Cheng *et al.*, 2001):

$$NR = R / (R+G+B) \quad (19)$$

$$NG = G / (R+G+B) \quad (20)$$

$$NB = B / (R+G+B) \quad (21)$$

از هر کانال از تصاویر نمونه‌های انار تعداد ۱۴ ویژگی مختلف رنگی و بافت شامل: حداکثر، میانگین، نما، انحراف معیار، چولگی، میانه، کواریانس (آذر، ۱۳۹۳)، کشیدگی، ضریب تغییرات (طورانی، ۱۳۸۷)، انرژي، آنتروپی، تباین، همبستگی، همگنی (لطفی زاد، ۱۳۹۰) استخراج گردید. همچنین یک ویژگی به نام سهم مساحت سیاهه با تقسیم مساحت قسمت لکه سیاه بر مساحت کل انار بدست آمد (شکل ۳). در کل تعداد ۲۶۷ ویژگی استخراج گردید.



ب



الف

شکل ۳. مساحت لکه سیاه در تصویر سمت چپ با رنگ سفید مشخص شده است.

تحلیل تصویر

پس از استخراج ویژگی‌های مربوطه فرآیند تحلیل تصویر آغاز گردید. تحلیل تصویر شامل انتخاب ویژگی‌های کارا و طبقه‌بندی آن‌ها به دو طبقه سالم و آفتاب سوخته می‌باشد. در این پژوهش پس از انتخاب ویژگی‌های کارا، یک الوریتم برای طبقه‌بندی ویژگی‌های کارا بر اساس روش شبکه عصبی مصنوعی (منهاج، ۱۳۸۱) در نرم افزار متلب ۲۰۱۰ طراحی گردید. ویژگی‌های کارا به عنوان ماتریس ورودی برای الگوریتم طبقه‌بند مورد استفاده قرار گرفت. ماتریس خروجی شامل نوع طبقه یعنی انار سالم و انار آفتاب سوخته بود. از آن جا که خروجی‌ها برای آموزش شبکه موجود بوده و از طرفی به دلیل عمومیت بیشتر، از مدل پرسپترون چندلایه برای طبقه‌بندی استفاده شد. جهت آموزش شبکه از مدل آموزش لونیبرگ-مارکوات استفاده شد، زیرا این روش آموزش دارای سرعت و دقت بالاتری از الگوریتم پس انتشار استاندارد می‌باشد و داده‌های ورودی کمتری نیز برای آموزش نیاز دارد. داده‌های بدست آمده به سه گروه تقسیم شدند، ۷۰ درصد آن‌ها برای آموزش شبکه استفاده گردید. شبکه طراحی شده باید توانایی تعمیم به کل مجموعه و آن‌هایی که در آموزش شرکت نداشته‌اند را داشته باشد، لذا پس از آموزش شبکه، داده‌های قسمت دوم (۱۵ درصد) برای اعتبارسنجی شبکه به کار رفت تا توانایی آن ارزیابی شود. بدین شکل که هر چه اختلاف بین خروجی واقعی مطلوب در سری اعتبارسنجی کمتر باشد، شبکه از توانایی تعمیم بالاتری برخوردار است. مزیت دیگر مجموعه اعتبارسنجی این است که در تعیین زمان توقف آموزش شبکه مفید می‌باشد و از بیش آموزش دیدن شبکه ممانعت می‌کند. در پایان برای ارزیابی شبکه از گروه سوم داده‌ها (۱۵ درصد باقی‌مانده)، یعنی گروه آزمون، استفاده شد. برای طراحی مدل طبقه‌بند بهینه، ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی شامل تعداد نرون‌های لایه میانی و تابع فعال‌سازی‌های مختلفی مورد استفاده و بر اساس نرخ طبقه‌بندی صحیح و میانگین مربعات خطا مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

از بین ۲۶۷ ویژگی استخراج شده تعداد نه ویژگی به عنوان ویژگی‌های کارا انتخاب گردید. میانگین این ویژگی‌های برای انارهای سالم و آفتاب‌سوخته به ترتیب در جدول (۱) و (۲) آمده است.

جدول ۱. ویژگی‌های کارای انار سالم.

ردیف	ویژگی	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۱	میانگین کانال R	۰/۶۹۱	۰/۴۸۶	۰/۵۷۹	۰/۰۴۳	۰/۰۷۵
۳	میانه کانال R	۰/۶۹۰	۰/۴۹۰	۰/۵۸۵	۰/۰۴۴	۰/۰۷۵
۲	مد کانال R	۰/۷۴۱	۰/۴۱۹	۰/۵۹۹	۰/۰۵۸	۰/۰۹۸
۴	میانگین کانال a*	۳۴/۳۱	۱۳/۷۶	۲۶/۰۹	۴/۶۵	۰/۱۷۸
۵	میانه کانال a*	۳۶/۹۰	۱۳/۲۹	۲۸/۰۲	۵/۳۳	۰/۱۹
۶	مد کانال a*	۴۲/۶۲	۷/۷۶	۳۱/۴۰	۷/۰۲	۰/۲۲۳
۷	میانگین کانال b*	۲۳/۰۴	۱۳/۴۵	۱۶/۹۴	۱/۷۵	۰/۱۰۳
۸	میانگین کانال cg	۰/۰۴۴	۰/۱۱۱	۰/۰۸۲	۰/۰۱۶	۰/۱۹۶
۹	سهم مساحت لکه سیاه	۰/۱۱۵	۰/۰۰۶	۰/۰۴۴	۰/۰۲۵	۰/۵۶۵

جدول ۲. ویژگی‌های کارای انار آفتاب‌سوخته.

ردیف	ویژگی	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۱	میانگین کانال R	۰/۵۳۲	۰/۳۳۶	۰/۴۳۵	۰/۰۴۴	۰/۱۰۱
۳	میانه کانال R	۰/۵۴۵	۰/۳۴	۰/۴۲۴	۰/۰۴۸	۰/۱۱۳
۲	مد کانال R	۰/۶۲۷	۰/۲۹	۰/۳۹۷	۰/۰۷	۰/۱۷۶
۴	میانگین کانال a*	۲۲/۸۸	۸/۰۶	۱۴/۷۲	۳/۴۸	۰/۲۳۷
۵	میانه کانال a*	۲۴/۲۰	۶/۰۰۴	۱۴/۲۱	۳/۹۶	۰/۲۷۹
۶	مد کانال a*	۴۰/۱۰	۱/۶۵	۱۲/۱۴۸	۸/۵۰	۰/۶۸۱
۷	میانگین کانال b*	۱۶/۶۶	۷/۰۷۹	۱۲/۰۵	۲/۰۸	۰/۱۷۳
۸	میانگین کانال cg	۰/۰۲۱	۰/۰۶۸	۰/۰۴۱	۰/۰۱۱	۰/۲۷۸
۹	سهم مساحت لکه سیاه	۰/۷۹۸	۰/۰۸۵	۰/۴۳۶	۰/۱۶۸	۰/۳۸۶



میانگین ویژگی‌های مختلف به ترتیب برای انارهای سالم و آفتاب‌سوخته شامل میانگین کانال قرمز برابر ۰/۵۷ و ۰/۴۳، میانه کانال قرمز به ترتیب برابر ۰/۵۸ و ۰/۴۲، مد کانال قرمز به ترتیب برابر ۰/۵۹ و ۰/۳۹، میانگین کانال a^* برابر ۲۶/۰۹ و ۱۴/۷۱، میانه کانال a^* ، ۲۸/۰۲ و ۱۴/۲۱، مد کانال a^* ، ۳۱/۴ و ۱۲/۴۸، میانگین کانال b^* ، ۱۶/۹۴ و ۱۲/۰۵، میانگین کانال c ، ۰/۰۸۲ و ۰/۰۴۱ و میانگین سهم مساحت سیاهه به ترتیب برابر ۰/۰۴۴ و ۰/۴۴ به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده میزان رنگ قرمز و آبی برای انارهای سالم بیشتر از آفتاب سوخته بود. همان طور که نتایج نشان می‌دهد میانگین تمامی ویژگی‌های انار سالم با میانگین ویژگی‌های انار آفتاب‌سوخته متفاوت است. هر چه این تفاوت بیشتر باشد نشان می‌دهد که ویژگی‌ها کاراتر و در طبقه‌بندی دو گروه انار سالم و آفتاب‌سوخته موثرتر هستند.

نتایج طبقه‌بندی ساختارهای مختلف مدل طبقه‌بند به روش شبکه عصبی مصنوعی در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. نتایج به دست آمده از روش شبکه عصبی مصنوعی.

ردیف	ساختار	عملکرد اعتبارسنجی (MSE)	ضریب همبستگی داده‌های آزمون (r)	درصد نرخ طبقه‌بندی صحیح (CCR)
۱	۹-۲-۲	۰/۰۰۰۱	۰/۹۲۸	۹۹/۳
۲	۹-۳-۲	$۲/۰۷۱۷ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۹۳۱	۹۹/۳
۳	۹-۴-۲	$۳/۴۱۷۹ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۶۰۲	۹۸/۶
۴	۹-۵-۲	$۲/۹۷۱۲ \times ۱۰^{-۸}$	۰/۹۳۴	۹۹/۳
۵	۹-۶-۲	$۲/۲۵۹۸ \times ۱۰^{-۶}$	۹۹/۵۴	۱۰۰
۶	۹-۷-۲	$۵/۰۳۵۴ \times ۱۰^{-۶}$	۹۹/۹۸	۱۰۰
۷	۹-۸-۲	$۱/۴۷۵۸ \times ۱۰^{-۵}$	۹۵/۸۶	۱۰۰
۸	۹-۹-۲	۰/۱۴۶	۰/۹۸۸	۹۹/۳
۹	۹-۱۰-۲	۰/۰۰۱۵	۰/۹۴۹	۱۰۰
۱۰	۹-۱۱-۲	۰/۱۴۰	۰/۹۱۱	۹۸/۶



۱۰۰	۰/۸۹۴	۰/۰۰۵۵	۹-۱۲-۲	۱۱
۹۹/۳	۰/۹۲۴	۰/۰۰۱۲	۹-۱۵-۲	۱۲
۱۰۰	۰/۹۶۸	۰/۰۱۷	۹-۲۰-۲	۱۳

در این جدول شبکه‌های عصبی مختلفی از ساختار ۹-۲۰-۲ تا ۹-۲۰-۲ ارزیابی شدند که عدد اول (۹) تعداد ورودی‌های شبکه، عدد دوم (از ۲ تا ۲۰) تعداد نرون‌های لایه پنهان و عدد آخر (۲) تعداد نرون‌های لایه خروجی مربوط به انارهای سالم و آفتاب‌سوخته است. نتایج به‌دست آمده در جدول (۳) نشان از ۱۰۰٪ بودن نرخ طبقه‌بندی برای نرون‌های لایه میانی ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۲۰ می‌باشد. اما به دلیل مربعات خطای (MSE) پایین و ضریب همبستگی داده‌های آزمون بالا، مدل شبکه عصبی مصنوعی با هفت نرون در لایه پنهان به عنوان ساختار بهینه محسوب می‌گردد. در این ساختار، بهترین عملکرد اعتبارسنجی با میانگین مربعات خطای $5/0.354 \times 10^{-6}$ در اپک ۱۰۰ به دست آمد. ضریب رگرسیون آموزش، اعتبارسنجی، آزمون و کل در شبکه بهینه برابر ۱ به‌دست آمده است. ماتریس اغتشاش مدل بهینه در جدول ۴ آورده شده است. در شبکه بهینه تمامی انارهای سالم و آفتاب‌سوخته به درستی تشخیص داده شدند و دقت طبقه‌بندی کلی این ساختار ۱۰۰٪ بود.

جدول ۴. نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی.

طبقه*	۱	۲
۱	۶۹	۰
۲	۰	۷۱
	۱۰۰٪	۱۰۰٪

* طبقه ۱ مربوط به انار سالم و طبقه ۲ مربوط به انار آفتاب‌سوخته می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از میوه‌های انار آفتاب‌سوخته و سالم تصاویر رنگی در فضای RGB تهیه و پس از پیش پردازش، ویژگی‌های مختلف رنگی و بافت استخراج گردید. برای طبقه‌بندی انارهای آفتاب‌سوخته و سالم، از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. طبقه‌بندی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی با ۱۰۰٪ موفقیت همراه بود و یک مدل با ۹ نرون در لایه ورودی، ۷ نرون در لایه میانی و ۲ نرون در لایه

خروجی به عنوان مدل بهینه انتخاب شد. نتایج این تحقیق برای جداسازی مکانیزه میوه‌های انار آفتاب‌سوخته از سالم مفید و قابل استفاده می‌باشد.

منابع

آذر، ع. ۱۳۹۳. آمار و کاربرد آن در مدیریت. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی، تهران.

آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۳. <http://dpe.agri-jahad.ir/portal/File/ShowFile.aspx?ID=d017b964-cbc7-4c70-84e6-1c928aca0b2f>

جارالمسجد، س.، ح. بهفر، ر. پودربانی، و س. بهفر. ۱۳۷۸. طراحی یک سیستم اتوماتیک کیفیت سنجی کاربردی با ماشین بینایی. هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی. پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی، مشهد.

حیدری، ع. ۱۳۹۲. پردازش تصویر در متلب، چاپ پنجم، انتشارات کلک زرین، تهران.

خزائی، ی. ک. خیرعلی‌پور، ع. حسین‌پور، و ح. جوادی‌کیا. ۱۳۹۴. تشخیص سیب‌زمینی از کلوخه و سنگ به روش پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی. نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران، کرج.

خیرعلی‌پور، ک.، و ع. پرمه. ۱۳۹۴. استفاده از روش تحلیل تفکیک خطی (LDA) و درجه دوم (QDA) برای طبقه‌بندی ویژگی‌های شکلی خیار. هشتمین همایش یافته‌های پژوهشی کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج.

سلاجقه، ف.، و م.ع. شاه‌بیک. ۱۳۷۹. تعیین شرایط مناسب انبارداری سیب. وزارت کشاورزی، آموزش و ترویج کشاورزی.

شاکری، م.، م. اشکان، و ز. زکیی. ۱۳۸۵. آفتاب‌سوختگی تنه و سر شاخه درختان انار و راه‌های کنترل آن. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۷: ۹۳-۱۰۰.

صدیقی انارکی، م.، ع. خاکی صدیقی. و ب. مشیری. ۱۳۸۳. ترکیب اطلاعات شیمیایی و تصویربرداری اشعه ایکس در تعیین کیفیت میوه. دومین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

طورانی، م. ۱۳۸۷. آمار و احتمالات. چاپ پنجم، موسسه آموزش عالی آزاد پارسه، تهران.

عبدالهیان دهکردی، م.، ح. صادقی، و س.م. طاهریان قهفرخی. ۱۳۹۰. درجه‌بندی کیفیت سیب بر اساس رنگ به کمک پردازش تصویر و شبکه عصبی، چهاردهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، کرمانشاه.

لطفی زاد، م. ۱۳۹۰. پردازش دیجیتالی تصاویر (ترجمه). چاپ اول، انتشارات کتاب نیاز، تهران.

منهاج، م.ب. ۱۳۸۱. مبانی شبکه‌های عصبی (هوش محاسباتی)، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

ناصری، ل. ۱۳۸۰. بررسی اثرهای پایه و محلول پاشی درختان سیب با ترکیبات B، Mn، Cu بر کیفیت و آفتاب‌سوختگی میوه سیب رقم گلدن دلشس (کلون اسموتی). پایان‌نامه دکتری. گروه باغبانی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.



Blasco, J., S. Cubero, J. Gomez-Sanchis, P. Mira, and E. Molto. 2009. Development of a machine for the automatic sorting of pomegranate (*Punica granatum*) arils based on computer vision. *Journal of Food Engineering* 90: 27-34.

Bulanon, D.M., T. Kataoka, Y. Ota, and Hiroma, T. 2002. A segmentation algorithm for the automatic recognition of fuji apples at harvest. *Biosystems Engineering* 83: 405-412.

Cheng, H.D., X.H. Jiang, Y. Sun, and J. Wang. 2001. Color image segmentation: advances and prospects. *Pattern Recognition* 34: 2259-2281.

Gindaba, J., and S. Wand. 2007. Do fruit sunburn control measures affect leaf photosynthetic rate and stomatal conductance in Royal Gala apples. *Environmental and Experimental Botany* 59: 160-165.

Glenn, D. M. E. Prado, A. Erez, J. McFerson, and G. J. Puterka. 2002. A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 127: 188-193.

Gonzalez, R.C., and R.E. Woods. 2002. *Digital Image Processing*, Second edition. Prentice Hall Inc, New Jersey.

Jackson, D. I., and N. E. Looney. 2010. *Temperate and Subtropical Fruit Production*. CABI Publishing, Oxfordshire.

Mohammadi, V., K. Kheiralipour, and M. Ghasemi-Varnamkhasti. 2015. Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique. *Scientia Horticulturae* 184: 123-128.

Schrader, L. E., C. Kahn, and D. C. Elfving. 2009. Sunburn browning decreases at-harvest internal fruit quality of apples (*Malus domestica* Borkh.). *International Journal of Fruit Science* 9: 425-437.

Yazici, K., and L. Kaynak. 2009. Effects of kaolin and shading treatment on sunburn on fruit of Hicnazar cultivar of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicnazar). *Acta Horticulturae* 818: 167-173.