

پیش‌بینی برخی ویژگی‌های کیفی میوه انار با استفاده از روش غیرزیانبار پردازش تصویر

علی میرحسینی^۱، حسین صادقی^{۲*} و حسین مرادی^۲

۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۶/۳۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۲۶)

چکیده

روش‌های غیرزیانبار پایدار اهمیت زیادی دارند، چراکه محصول مورد بررسی به چرخه عرضه و مصرف برگشته و نیز مشکلات روش‌های زیانبار مانند وقت‌گیری و پرهزینه بودن را ندارند. از سوی دیگر تنوع و فراوانی ویژگی‌های کیفی محصولات کشاورزی، از دیگر دلایل توسعه روش‌های غیرزیانبار به‌شمار می‌آید. بنابراین در این پژوهش توانایی روش‌های پردازش تصویر به‌منظور پیش‌بینی ویژگی‌های کیفی مانند حجم، وزن، مواد جامد محلول کل، اسید قابل عیارسنجی (تیتراسیون)، فنل کل و فعالیت پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) میوه سه رقم انار شامل زاغ یزدی، ملس یزدی و ملس اصفهان در طول فصل رشدی سال ۱۳۹۲ ارزیابی شد. میوه‌ها در چهار مرحله ۵۰، ۸۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ روز پس از گلدهی گردآوری شده و از لحاظ ویژگی‌های رنگی و شیمیایی ارزیابی شدند. در نهایت مدل‌های واسنجی (کالیبراسیون) مربوط به داده‌های رنگی و اندازه‌گیری‌های شیمیایی تدوین شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان از اعتبارسنجی مدل‌ها داشت، نسبت انحراف معیار در رقم ملس اصفهان برای وزن ۲/۳، حجم ۲/۵۲، مواد جامد محلول ۱/۸ و فعالیت پاداکسندگی ۲/۹۵ بود. همچنین مشخص شد که روند تغییرپذیری اسید قابل عیارسنجی و فنل کل با رنگ میوه انار در هیچ‌کدام از رقم‌های مورد بررسی ضریب همبستگی معنی‌داری نداشت و توسط روش پردازش تصویر قابل پیش‌بینی نبود. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که روش پردازش تصویر، روشی کارا و قابلیت بسیار قوی در تشخیص همزمان و سریع مرحله‌های بلوغ و همچنین وضعیت ویژگی‌های کیفی میوه انار رقم ملس اصفهان دارد.

واژه‌های کلیدی: انحراف معیار، تغییرپذیری رنگ، رسیدگی، فعالیت پاداکسندگی، ملس اصفهان.

Prediction of some pomegranate fruit quality characteristics by non-destructive image processing technique

Ali Mirhosseini^{1*}, Hossein Sadeghi² and Hossein Moradi²

1, 2. Former M.Sc. Student and Assistant Professor, Department of Horticulture, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

(Received: Sep. 22, 2015 - Accepted: Jul. 17, 2017)

ABSTRACT

Non-destructive methods are very important in agriculture because the tested product can return to the market process, and also they don't have the problems of destructive methods such as time-consuming and cost. On the other hand, diversity and abundance of quality characteristics of agricultural products are considered as the other reasons for the development of non-destructive methods. Therefore, in this study the ability of the image processing method in order to predict the quality characteristics such as volume, weight, total soluble solids, titrable acid, total phenolic and antioxidant activity of three Zaghe Yazdi, Malase Yazdi and Malase Esfahan cultivars of pomegranate fruit during 2013 growth season, was investigated. Samples were collected at four stages of 50, 80, 110 and 140 days after full bloom and then the color and chemical characteristics were evaluated. Finally, the calibration models related to colorimetric data and chemical measurements were prepared. Results of validation of models showed that in Malase Esfahan cultivar, the standard deviation ratio was 2.3, 2.52, 1.8 and 2.95 for weight, volume, total soluble solids and antioxidant activity, respectively. Moreover, it was found that the changes of titrable acid and total phenolic had no significant correlation coefficient with the color of pomegranate fruit and there were not predictable by image processing technique. Overall, it can be concluded that the image processing technique is an efficient method and has a very strong potential for simultaneous and rapid detection of maturity stages and also to detect the status of qualitative characteristics in pomegranate fruit cv. Malase Esfahan.

Keywords: Antioxidant activity, color changes, Malase Esfahan, ripening, standard deviation.

* Corresponding author E-mail: sadeghiah@yahoo.com

مقدمه

در طول دهه‌های اخیر تقاضای مصرف‌کنندگان برای میوه و سبزی‌ها با کیفیت بالا در حال افزایش بوده است. با توجه به این امر و همچنین از بین رفتن مرزهای تجاری بین کشورها و قاره‌های مختلف، ضرورت توسعه کشاورزی مکانیزه و پیشرفته بیش‌ازپیش نمایان می‌شود. در این میان، ارزیابی و درجه‌بندی محصولات باغبانی یکی از فعالیت‌های پس از برداشت به‌شمار می‌آید که با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات سالم و دارای کیفیت بالا، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین به‌منظور افزایش دقت و قابلیت اعتماد در بخش عملیات پس از برداشت، ارزیابی کیفی باید برای همه میوه‌ها انجام شود. بدیهی است که این امر باید به‌صورت سریع و غیرزیانبار صورت گیرد تا در وقت و هزینه صرفه‌جویی شده و دقت نیز افزایش یابد (Khodabakhshian, 2015). آزمایش‌های غیرزیانبار به روش‌هایی گفته می‌شود که در آن‌ها محصول مورد نظر هیچ‌گونه آسیبی ندیده، قابلیت برگشت دوباره به چرخه مصرف را داشته باشد و نیز اثر زیانبار روش‌های زیانبار فتوفیزیکی، گرمایی، شیمیایی، مکانیکی و فتوشیمیایی را نداشته باشند (Nikbakht *et al.*, 2010).

روش‌های پرشماری برای ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی به‌صورت غیرزیانبار ابداع شده‌اند که تنها برخی از آن‌ها توانسته‌اند شرایط مطلوب را برآورده کرده و از لحاظ فنی و صنعتی قابلیت توجیه داشته باشند. روش‌های چشمی (اپتیکی)، مکانیکی، شیمیایی و امواج الکترومغناطیسی و صوتی در توسعه آزمون‌های غیرزیانبار نقش اساسی داشته‌اند اما درعین حال این روش‌ها می‌توانند ویژگی‌های محدودی را در محصولات باغبانی به‌ویژه در میوه‌ها بررسی کنند. بنابراین لازم است شرایط حاکم بر این روش‌ها به‌دقت بررسی و در گزارش یا ثبت نتایج آزمایش لحاظ شوند (Khodabakhshian *et al.*, 2015). در میان روش‌های نام برده، استفاده از روش پردازش تصویر در حال گسترش بوده و ارزش قابل توجهی برای صنعت غذا داشته است (Brosnan & Sun, 2003).

در مورد استفاده از روش رنگ‌سنجی برای

پیش‌بینی ترکیب‌های محصولات کشاورزی تحقیقات چندی روی میوه‌های مختلف مانند هلو (Ying *et al.*, 2005)، زردآلو (Carlini *et al.*, 2000)، سیب (Lu *et al.*, 2009; Fan *et al.*, 2000)، آووکادو (Clark *et al.*, 2003)، موز (Tarkosova *et al.*, 2000)، پرتقال (Shao *et al.*, 2009) و گوجه‌فرنگی (Shao *et al.*, 2007) صورت گرفته است و نتایج امیدوارکننده‌ای در این مورد گزارش نشده است. در بررسی دیگری، قابلیت استفاده از تصاویر دیجیتال و نرم‌افزار فتوشاپ برای اندازه‌گیری تغییرپذیری رنگ میوه خرمای مضافتی در طول دوره رسیدگی ارزیابی شده است (Afshari-Jouybari & Farahnaky, 2011).

انار با نام علمی *Punica granatum* L. یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران است به‌طوری‌که با تولید سالیانه بیش از ۶۷۰ هزار تن، کشورمان از جمله بزرگ‌ترین تولیدکنندگان انار در جهان به‌شمار می‌آید (Salahvarzi & Tehranifar, 2013). تنوع رنگ پوست میوه انار سبز، قرمز تا بنفش و در برخی رقم‌ها مایل به سیاه است و امروزه در بین محصولات کشاورزی به دلیل مصرف تازه‌خوری و ارزش غذایی و همچنین کاربرد فراوان در صنعت تولید رنگ‌های سنتی، لوازم‌آرایشی و بهداشتی و همچنین پزشکی اهمیت بالایی دارد (Amos *et al.*, 2013). شاخص‌های رسیدگی و کیفیت درونی در درجه‌بندی انار نقش مهمی دارند، اما درعین حال تعیین این ویژگی‌ها به‌صورت دستی و توسط نیروی انسانی امکان‌پذیر نیست (Fadavi *et al.*, 2005).

از جمله ویژگی‌های مهم در سامانه‌های درجه‌بندی محصولات مختلف کشاورزی به‌ویژه میوه‌ها می‌توان به جرم، حجم و مساحت میوه اشاره کرد. میوه‌هایی با وزن یکسان و شکل یکنواخت، از نظر بازاریابی مطلوب هستند. در این راستا با استفاده از روش پردازش تصویر از میوه انار با هدف استفاده از رگرسیون چند متغیره و برآورد حجم انار از این مدل، آزمایشی توسط Khoshnam *et al.* (2007) انجام شد که شدت ارتباط بین تصاویر و جرم انار ۰/۹۱ به‌دست آمد و مدل جرم = ۰/۶ قطر + ۴/۱۱ قطر^۲ - ۱۴۳/۵۶ ارائه شد. در بررسی دیگری Salmanizadeh *et al.* (2013) با استفاده از

ارزیابی ویژگی‌های رنگی میوه

سامانه ماشین بینایی استفاده شده در این پروژه شامل دوربین (CCD (Model PS1234 made by Japan)، دو لامپ فلوروسنت در دو طرف دوربین به عنوان سامانه نوردهی که نور یکنواختی به وجود می‌آورد و تصاویر سایه‌های میوه را از بین می‌برد و رایانه شخصی بود. دوربین به فاصله ۲۰ سانتی‌متری بالای پس‌زمینه سفیدرنگ (رنگ سفید کانتراست خوب و قابل قبولی با انارها نشان داد) قرار داشت که به منبع تأمین ولتاژ ۲۴ ولتی وصل بود. دوربین و لامپ‌ها روی فریم متصل به میز اندازه‌گیری، سوار شده بودند. کل سامانه با یک کاور برزنتی به منظور حذف نورهای محیط پوشانده شدند. تصویر میوه با استفاده از سامانه یادشده گرفته و در نرم‌افزار فتوشاپ مؤلفه‌های RGB که R نشان‌دهنده رنگ قرمز، G نشان‌دهنده رنگ سبز و B نشان‌دهنده رنگ آبی است، از تصاویر استخراج شد (Taghadomi-Saberi *et al.*, 2015).

اندازه‌گیری شاخص‌های کمی و کیفی

بررسی شاخص‌های ویژگی مانند اندازه‌گیری وزن و حجم میوه در مرحله‌های مختلف بلوغ انجام گرفت. میزان مواد جامد محلول کل در آب میوه‌ها با دستگاه شکست‌سنج (رفرکتومتر) دیجیتالی چشمی (Model PZO RL) در دمای ۲۲ درجه سلسیوس اندازه‌گیری و به صورت درجه بریکس بیان شد. برای اندازه‌گیری میزان اسید قابل عیارسنجی، ۵ میلی‌لیتر از عصاره میوه با ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲ قطره فنل فتالین به عنوان شناساگر مخلوط شد، سپس با استفاده از هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH محلول به ۸/۱ تا ۸/۳ عیارسنجی شد. برای عیارسنجی از بورت دیجیتالی مدل Rudolf BRAND استفاده شد. حجم سود مصرفی برای محاسبه اسیدیته قابل عیارسنجی برحسب اسید غالب (سیتریک اسید) بیان شد (Khodabakhshian *et al.*, 2015).

مقدار فنل کل با استفاده از روش فولین سیکالچو اندازه‌گیری شد (Singleton & Rossi, 1965). برای این منظور ۳۰۰ میکرولیتر آب انار رقیق شده با استفاده از متانول: آب (۴:۶) با ۱/۵ میلی‌لیتر فولین ۱۰ بار

توموگرافی رایانه‌ای اشعه ایکس به بررسی امکان‌سنجی استفاده از جذب اشعه ایکس به عنوان یک روش غیرزیانبار برای تعیین برخی از شاخص‌های کیفی میوه انار پرداختند. آنان در نتایج پژوهش‌های خود نشان دادند، عدد سیتی به دست آمده از پرتونگاری اشعه ایکس می‌تواند به عنوان یک شاخص سودمند برای برآورد شاخص‌های کیفی میوه انار در سنجش‌های سریع به کار گرفته شود.

با وجود اینکه تحقیقات گسترده‌ای روی کاربرد روش‌های رنگ‌سنجی در ارزیابی کیفی محصولات مختلف کشاورزی در سراسر جهان انجام شده است، اما بررسی‌های کمی در زمینه کاربرد این روش در تعیین ویژگی‌های کیفی رقم‌های مهم ایرانی میوه انار وجود دارد. بنابراین هدف از انجام این پژوهش امکان جایگزینی روش غیرزیانبار پردازش تصویر برای تعیین برخی از ویژگی‌های کیفی (وزن، حجم، اسید قابل عیارسنجی یا تیتراسیون، مواد جامد محلول، فنل کل و فعالیت پاداکسندگی یا آنتی‌اکسیدانی) میوه انار رقم‌های زاغ یزدی، ملس یزدی و ملس اصفهان در طول دوره رسیدگی است.

مواد و روش‌ها

گردآوری نمونه‌ها

برای انجام این پژوهش در سال ۱۳۹۲ از مجموعه انار مرکز تحقیقات کشاورزی استان یزد، شمارش عدد درخت هم‌سن رقم‌های زاغ یزدی، ملس یزدی و ملس اصفهان که نظام تربیت و هدایت (با فاصله بین ردیف ۷ متر و روی ردیف ۴ متر) یکسانی داشته و عملیات داشت نیز روی آن‌ها به‌طور همسانی صورت می‌گرفت، انتخاب شدند. سپس میوه این رقم‌ها در چهار مرحله بلوغ ۵۰، ۸۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ روز پس از گلدهی به صورت تصادفی و از جهات مختلف تاج درخت برداشت شدند. نمونه‌های برداشت شده در هر مرحله بی‌درنگ پس از بررسی از حیث نداشتن هرگونه آسیب و آفتاب‌سوختگی به آزمایشگاه منتقل شدند. در هر یک از رقم‌ها و در هر یک از مرحله‌های بلوغ میوه، ۱۸ نمونه و در مجموع ۷۲ نمونه برای تدوین مدل‌ها و ۱۵ نمونه برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

۴ و ۵ محاسبه و ارزیابی شدند (Nicolai et al., 2007).

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}} \quad (2)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (3)$$

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$SDR = \frac{SD}{RSME} \quad (5)$$

که در این رابطه‌ها: R ضریب همبستگی، R^2 ضریب تبیین، RMSEP ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی، SD انحراف معیار صفت مورد نظر در دسته آزمون، SDR نسبت انحراف معیار، O داده‌های مشاهده‌ای و P داده محاسباتی یا پیش‌بینی شده هستند.

لازم به یادآوری است که ضریب تبیین بین ۰ و ۱ است که مقدار پراکنش داده‌های مشاهده‌شده با پیش‌بینی‌شده را توصیف می‌کند. صفر یعنی هیچ همبستگی نداریم درحالی‌که مقدار ۱ یعنی پراکنندگی داده پیش‌بینی برابر با مشاهده‌شده است. SDR بین ۱/۵ و ۲ بیانگر این است که مدل توانایی تمییز دادن مقادیر پایین صفت مورد نظر را از مقادیر بالا دارد. مقادیر بین ۲ و ۲/۵ برای این شاخص بیانگر آن است که صفت مورد نظر با دقت کمی پیش‌بینی می‌شود و در صورتی‌که این شاخص بالای ۲/۵ باشد، بیان‌کننده دقت بالای مدل در پیش‌بینی صفت مورد نظر است (Nicolai et al., 2007). همه عملیات مربوط به تجزیه و تحلیل‌ها و تدوین مدل در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

همان‌طوری‌که در شکل ۱ دیده می‌شود، اثر متقابل رقم در زمان بر تغییرپذیری رنگ میوه انار رقم‌های زاغ یزدی، ملس یزدی و ملس اصفهان در طول فصل رشد

رقیق‌شده مخلوط شد و پس از یک دقیقه ۱/۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵٪ به محلول افزوده شد. پس از ۹۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق و شرایط تاریکی میزان جذب عصاره در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفوتومتر، Model JENWAY 6102) خوانده شد. در نهایت پس از تهیه نمونه‌های استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف گالیک اسید، میزان فنل کل برحسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت تازه محاسبه شد.

فعالیت پاداکسندگی عصاره‌ها از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد ۲ و ۲ دی‌فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) با روش Brand-Williams et al. (1995) اندازه‌گیری شد. آب انار رقیق‌شده به نسبت ۱:۱۰۰ با متانول: آب (۴:۶) مخلوط و با ۲ میلی‌لیتر از DPPH میلی‌مولار حل‌شده در متانول حل شد. محلول به‌دست‌آمده به‌سرعت به هم زده شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در شرایط تاریکی نگهداری شد. میزان جذب استاندارد و نمونه با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری در طول موج ۵۱۵ نانومتر خوانده شد. در نهایت فعالیت پاداکسندگی عصاره‌ها به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH با رابطه زیر محاسبه شد:

$$\% DPPH_{sc} = (A_{cont} - A_{samp}) / A_{cont} \times 100 \quad (1)$$

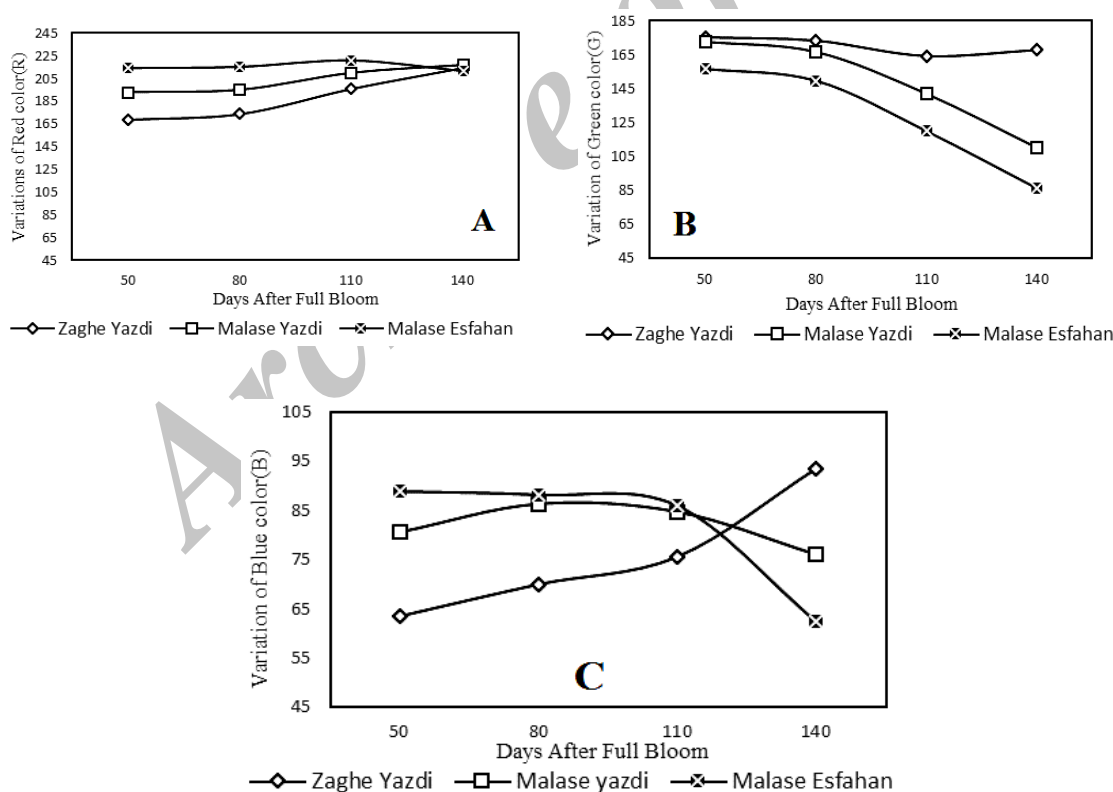
که در آن: %DPPH_{sc} = درصد بازدارندگی، A_{cont} = میزان جذب DPPH و A_{samp} = میزان جذب (نمونه + DPPH) هستند.

برآورد مدل

پس از پایان آزمون غیرزیانبار سنجش رنگ و اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی نمونه‌ها با روش‌های شیمیایی و زیانبار، تدوین مدل‌های چند متغیره برای استفاده از مؤلفه‌های رنگی به‌دست‌آمده انجام شد. برای ارزیابی مدل‌ها، واسنجی (کالیبراسیون) تدوین‌شده استفاده شد و مدل‌های واسنجی توسط ضریب همبستگی (R)، ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطای اعتبارسنجی متقاطع نمونه‌های واسنجی (RMSE) و نسبت انحراف معیار به این خطا (SDR) که به ترتیب بر پایه رابطه‌های ۲، ۳،

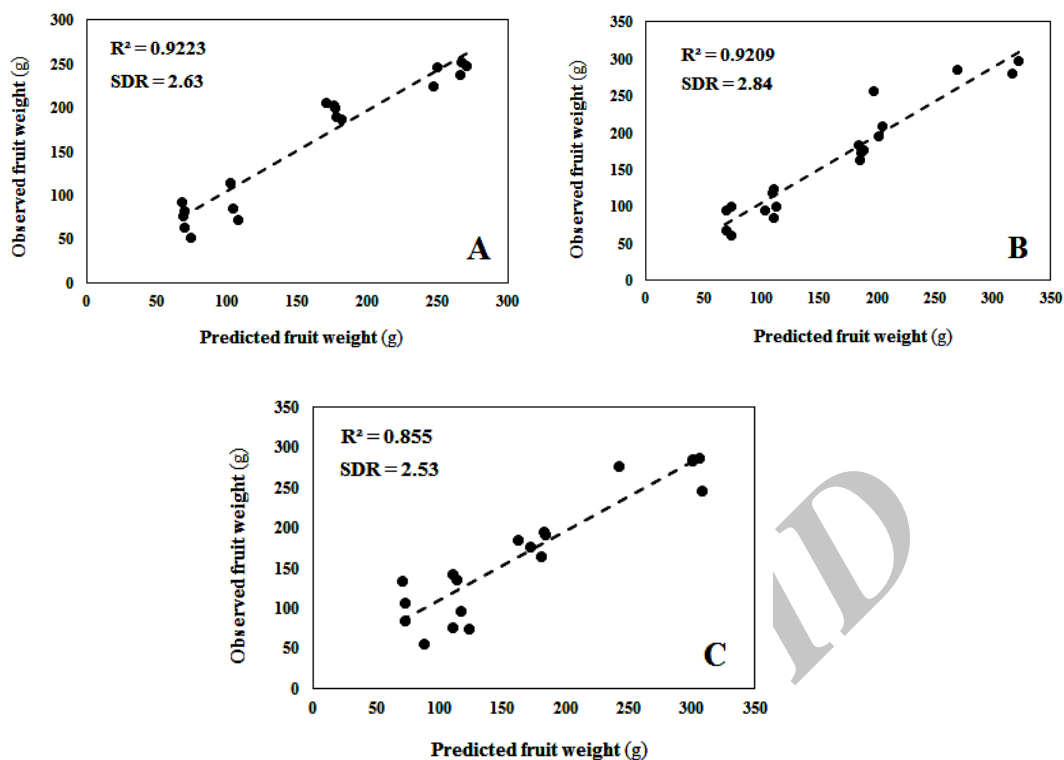
رنگ قرمز پوست و دانه (آریل) انار مربوط به رنگدانه آنتوسیانین است که تشکیل آن تحت تأثیر عمل‌های مختلف محیطی مانند دما، نور، عملیات باغی (مانند آبیاری و تغذیه) و عمل‌های درونی مانند نوع رقم، مرحله رشدی، هورمون‌های گیاهی، متابولیت‌های ثانویه و مواد غذایی قرار دارد. در طول فصل رشد و همزمان با بلوغ میوه انار در بیشتر رقم‌های انارهای رنگین میزان تولید آنتوسیانین در میوه انار افزایش می‌یابد که باعث کاهش رنگ سبز پس‌زمینه میوه شده و رنگ پوست میوه به قرمز در می‌آید (Zhao *et al.*, 2015). نتایج یافته‌های محققان روی گیلاس و آلبالو (Taghadomi-Saberi *et al.*, 2015) گویای این مطلب است که تغییرپذیری رنگ سبز تا آبی تیره در میوه‌ها را می‌توان با فضای رنگی RGB محاسبه و روند تغییرپذیری را در طول زمان مشاهده کرد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

معنی‌دار است. در رقم‌های زاغ یزدی و ملس یزدی رنگ قرمز پس از روز ۸۰ افزایش معنی‌داری را نشان داد، درحالی‌که در رقم ملس اصفهان میزان رنگ قرمز تا روز ۱۱۰ تا حدودی ثابت بوده و در مرحله آخر کاهش اندکی را نشان داد (شکل ۱- A). تغییرپذیری رنگ سبز میوه انار در رقم زاغ یزدی در طول فصل رشد تا حدودی ثابت بود، اما در رقم‌های ملس یزدی و ملس اصفهان رنگ سبز میوه انار به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱- B). در مورد رنگ آبی میوه انار، در رقم زاغ یزدی رنگ سبز در طول فصل رشد افزایش معنی‌داری داشت درحالی‌که در رقم ملس اصفهان رنگ آبی میوه انار تا روز ۱۱۰ ثابت بوده و پس از آن کاهش معنی‌داری را نشان داد (شکل ۱- C). همچنین در رقم ملس یزدی رنگ آبی میوه پس از افزایش اندک تا روز ۱۱۰، در ادامه فصل رشد کاهش معنی‌داری داشت.



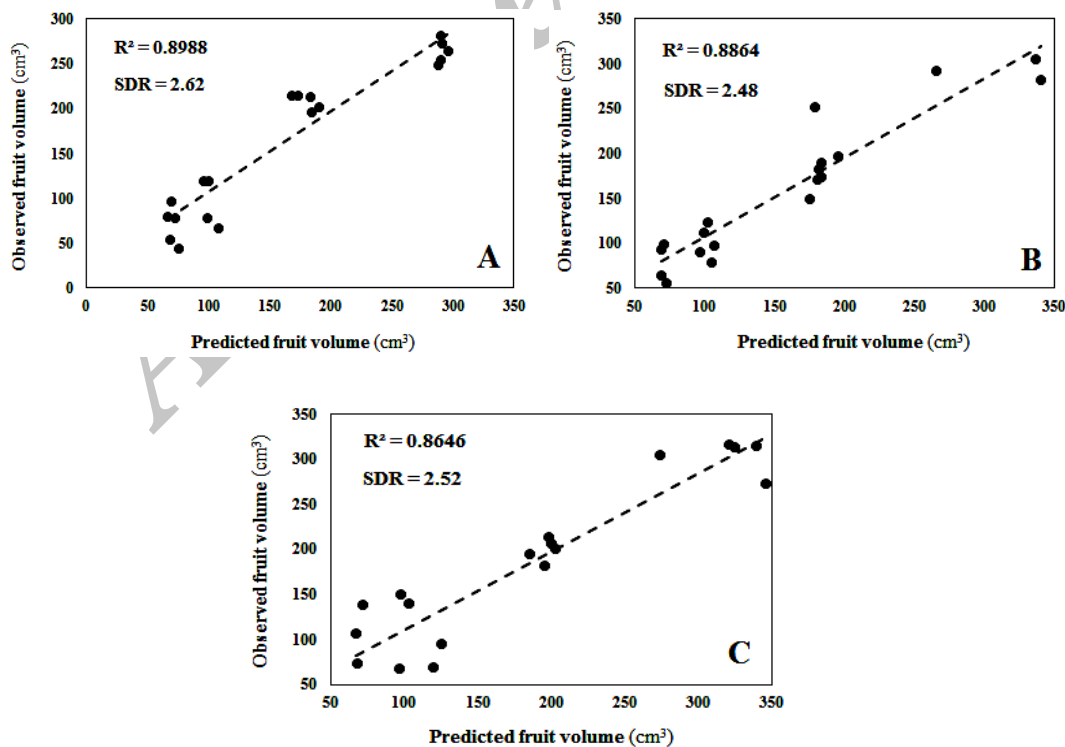
شکل ۱. اثر متقابل زمان و رقم بر تغییرپذیری رنگ قرمز (A)، سبز (B) و آبی (C) در میوه انار

Figure 1. Interaction effects of time and cultivar on the variation of red (A), green (B) and blue (C) color in pomegranate fruit



شکل ۲. ضریب تبیین (R^2) و نسبت انحراف معیار (SDR)، بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده وزن میوه انار در رقم‌های زاغ یزدی (A)، ملس یزدی (B) و ملس اصفهان (C).

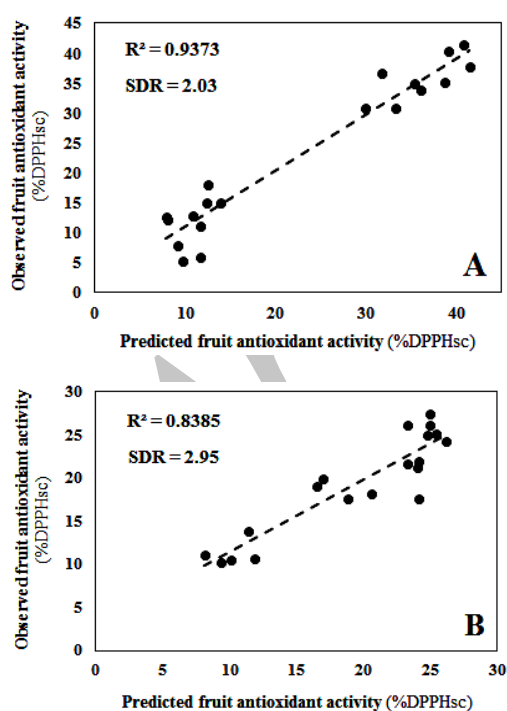
Figure 2. The coefficient of determination (R^2) and standard deviation ratio (SDR) between observed and predicted pomegranate fruit weight in Zaghe Yazdi (A), Malase Yazdi (B) and Malase Esfahan (C) cultivars



شکل ۳. ضریب تبیین (R^2) و نسبت انحراف معیار (SDR)، بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده حجم میوه انار در رقم‌های زاغ یزدی (A)، ملس یزدی (B) و ملس اصفهان (C).

Figure 3. The coefficient of determination (R^2) and standard deviation ratio (SDR) between observed and predicted pomegranate fruit volume in Zaghe Yazdi (A), Malase Yazdi (B) and Malase Esfahan (C) cultivars

به‌خوبی قابل پیش‌بینی بود (شکل ۵-۱). همچنین در رقم ملس اصفهان ضریب تبیین $0/81$ و نسبت انحراف معیار $1/8$ به دست آمد (شکل ۵-۲) اما در مورد رقم زاغ یزدی همبستگی بین رنگ و مواد جامد محلول کل وجود نداشت. در نتایج پژوهشی که توسط *Khodabakhshian et al.* (2015) در زمینه پیش‌بینی مواد جامد محلول کل با استفاده از طیف‌سنجی مرئی انجام دادند، دقت پیش‌بینی این صفت در انار رقم اشرف را با ضریب همبستگی $0/96$ گزارش کردند. Zhang & McCarthy (2013) ضریب همبستگی $0/72$ و نسبت انحراف معیار $1/73$ را بین مقادیر پیش‌بینی‌شده با استفاده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی و مقادیر مشاهده‌شده را گزارش کردند. اختلاف به‌دست‌آمده در پیش‌بینی فعالیت پاداکسندگی و مواد جامد محلول کل را می‌توان به تفاوت زیاد در رقم‌های و نوع رنگ‌گیری آن‌ها نسبت داد (*Azadshahraki et al.*, 2015).



شکل ۴. ضریب تبیین (R^2) و نسبت انحراف معیار (SDR)، بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده فعالیت پاداکسندگی میوه انار در رقم‌های زاغ یزدی (A) و ملس اصفهان (B).

Figure 4. The coefficient of determination (R^2) and standard deviation ratio (SDR) between observed and predicted pomegranate fruit antioxidant activity in Zaghe Yazdi (A) and Malase Esfahan (B) cultivars

همان‌طور که پیش‌ازاین بیان شد، مدل‌ها به‌صورتی اعتبارسنجی شدند که بیشترین ضریب تبیین و نسبت انحراف معیار را دارند. روش پردازش تصویر به‌خوبی قادر به پیش‌بینی وزن میوه در رقم‌های مورد بررسی بود به‌گونه‌ای که نتایج در رقم زاغ یزدی: $SDR=2/63$ و $R^2=0/92$ (شکل ۲-۱)؛ ملس یزدی: $SDR=2/84$ و $R^2=0/92$ (شکل ۲-۲) و رقم ملس اصفهان: $SDR=2/53$ و $R^2=0/85$ (شکل ۲-۳) بودند. نتایج یافته‌های تحقیقات اغلب پژوهشگران گویای این مطلب است که وزن در میوه‌های گوناگون توسط رنگ‌سنجی با ضریب تبیین $0/91$ در انار (Khodabakhshian et al., 2015) و $0/98$ در سیب (Tabatabaeefar & Rajabipour, 2005) قابل پیش‌بینی است. در مورد صفت حجم میوه نیز تحقیقات پیشین، پیش‌بینی حجم میوه انار با ضریب تبیین $0/99$ (Khoshnam et al., 2007) و یا پیش‌بینی حجم با استفاده از همبستگی با وزن سیب‌زمینی با ضریب همبستگی $0/99$ گزارش شده است (Tabatabaeefar, 2002) که با نتایج این تحقیق، در مورد رقم زاغ یزدی با ضریب تبیین $0/89$ و نسبت انحراف معیار $2/62$ (شکل ۳-۱)؛ در رقم ملس یزدی با ضریب تبیین $0/88$ و نسبت انحراف معیار $2/48$ (شکل ۳-۲) و همچنین در رقم ملس اصفهان با ضریب تبیین $0/86$ و نسبت انحراف معیار $2/52$ (شکل ۳-۳)، همخوانی دارد.

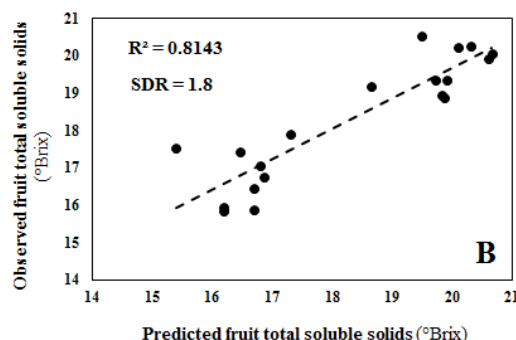
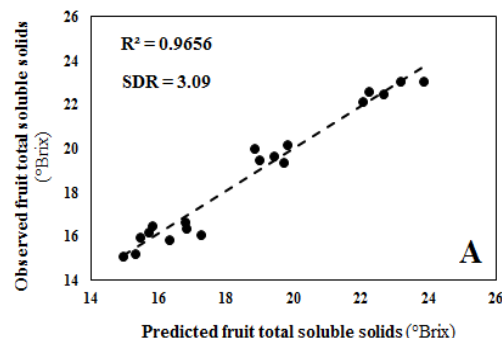
نتایج نشان دادند، در رقم‌های زاغ یزدی و ملس اصفهان صفت فعالیت پاداکسندگی با ضریب تبیین به ترتیب $0/93$ و $0/83$ و نیز نسبت انحراف معیار $2/03$ و $2/95$ قابل پیش‌بینی بودند (شکل ۴). این درحالی بود که در مورد رقم ملس یزدی با ضریب همبستگی پایین قابل پیش‌بینی نبود. نتایج این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهشگران در مورد میزان فعالیت پاداکسندگی در انگور با ضریب همبستگی $0/744$ و نسبت انحراف معیار $1/45$ (Fadock, 2011)، و ضریب همبستگی $0/83$ (*Giovenzana et al.*, 2013) همخوانی دارد.

صفت مواد جامد محلول کل در رقم ملس یزدی با ضریب تبیین $0/96$ و نسبت انحراف معیار $3/09$

در طول فصل رشد و میزان تغییرپذیری فنل کل و اسید قابل عیارسنجی ضریب همبستگی معنی‌دار و شایان‌پذیری وجود نداشت. این نتایج با یافته‌های Fadock (2011) همخوانی دارد که گزارش کرد، در بررسی‌های انجام شده با استفاده از روش‌های غیرزیانبار، با توجه به ماهیت ویژگی‌های مورد بررسی این امکان وجود دارد که بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده ارتباط معنی‌داری وجود نداشته باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد، روش غیرزیانبار پردازش تصویر قابلیت بسیار بالا در ارزیابی وزن و حجم میوه در همه رقم‌ها و همچنین فعالیت پاداکسندگی (ضریب تبیین ۰/۹۳، ۰/۸۳ و نسبت انحراف معیار ۲/۰۳، ۲/۹۵ به ترتیب رقم‌های زاغ یزدی و ملس اصفهان) و مواد جامد محلول کل (ضریب تبیین ۰/۹۶ و نسبت انحراف معیار ۳/۰۹ در رقم ملس یزدی) دارد. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد، بین تغییر رنگ میوه و تغییر فنل کل و اسید قابل عیارسنجی در مرحله‌های مختلف ضریب همبستگی شایان‌پذیری وجود نداشت. بنابراین می‌توان گفت که صفات فنل کل و اسید قابل عیارسنجی با استفاده از روش پردازش تصویر قابل پیش‌بینی نیستند.



شکل ۵. ضریب تبیین (R^2) و نسبت انحراف معیار (SDR)، بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده مواد جامد محلول کل میوه انار در رقم‌های ملس یزدی (A) و ملس اصفهان (B) Figure 5. The coefficient of determination (R^2) and standard deviation ratio (SDR) between observed and predicted pomegranate fruit total soluble solids in Malase Yazdi (A) and Malase Esfahan (B) cultivars

نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی نشان داد، بر پایه روش غیرزیانبار پردازش تصویر بین تغییر رنگ میوه انار هر سه رقم زاغ یزدی، ملس یزدی و ملس اصفهان

REFERENCES

1. Afshari-Jouybari, H. & Farahnaky, A. (2011). Evaluation of Photoshop software potential for food colourimetry. *Journal of Food Engineering*, 106, 170-175.
2. Amos, O. F. & Opara, U. L. (2013). Developmental changes in maturity indices of pomegranate fruit. *Scientia Horticulture*, 159, 152-161.
3. Azadshahraki, F., Kalantari, S., Mostofi, Y., Jamshidi, B., Masudi, R. & Najafi, S. (2015). Predict some fruit quality parameters of grape cv. red beans using nondestructive spectrometry near-infrared. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 46(4), 371-378. (in Farsi)
4. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate. *Food Science and Technology*, 28, 25-30.
5. Brosnan, T. & Sun, D. W. (2003). Improving quality inspection food products by computer vision: A review. *Journal of Food Engineering*, 61, 3-16.
6. Carlini, P., Massantini, R. & Mencarelli, F. (2000). Vis-NIR measurement of soluble solids in cherry and Apricot by PLS regression and wavelength selection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 236-242.
7. Clark, C. J., McGlone, V. A., Requejo, C., White, A. & Woolf, A. B. (2003). Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 29, 300-307.
8. Fadavi, A., Barzegar, M. & Azizi, M. (2005). Determination of fatty acid and total lipid content in oilseed of 25 pomegranate varieties grown in Iran. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 676-680.
9. Fadock, M. (2011). *Non-destructive vis-NIR reflectance spectrometry for red wine grape analysis*. M.Sc. thesis. Faculty of Graduate Studies, University of Guelph, Ontario, Canada.

10. Fan, G., Zha, J., Du, R. & Gao, L. (2009). Determination of soluble solids and firmness of apples by Vis/NIR transmittance. *Journal of Food Engineering*, 93, 416-420.
11. Giovenzana, V., Beghi, R., Mena, A., Civelli, R., Guidetti, R., Best, S. & Leon, G. L. F. (2013). Quick quality evaluation of Chilean grape by a portable vis/NIR device. *Acta Horticulture*, 978, 93-100.
12. Khodabakhshian, R. (2015). *Quality testing methods Non-destructive agricultural products from principles to implementation*. Tehran Agricultural Extension and Education Publications. (In Farsi).
13. Khodabakhshian, R., Emadi, B., khojastehpoor, M. R. & Sazgari, A. (2015). Quick polls quality seeds using spectroscopy visible / near-infrared. *Journal of Food technologies*, 8, 103-114. (in Farsi)
14. Khoshnam F., Tabatabaeefar A., Ghasemi Varnamkhasti M. & Borghei A. (2007). Mass modeling of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit with some physical characteristics. *Scientia Horticulturae*, 114, 21-26.
15. Lu, R., Guyer, D. & Beaudry, R. M. (2000). Determination of firmness and sugar content of apple using NIR diffuse reflectance. *Journal of Texture Studies*, 31, 615-630.
16. Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., Karen, I. T. & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 99-118.
17. Nikbakht, A. M., Tavakoli Hashjin, T., Malekfar, R. & Ghobadian, B. (2010). Application of raman spectroscopy for non-destructive determination of qualitative parameters of tomato. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 7(4), 25-33. (in Farsi)
18. Salahvarzi, Y. & Tehranifar, A. (2013). Effect of essential oil of some medicinal plants and polyethylene packaging on quality and pomegranate shelf life (cv. Shishehkap). *Journal of Horticultural Science*, 27(3), 318-325. (in Farsi)
19. Salmanizadeh, F., Nasiri, M., Rahemi, M. & Jafari, A. (2013). Feasibility of using X-ray absorption as a non-destructive method to determine some qualitative indicators pomegranate. *Journal of horticulture science*, 27, 335-341. (in Farsi)
20. Shao, Y., He, Y., Gomez, A. H., Pereir, A. G., Qiu, Z. & Zhag, Y. (2007). Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave' (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 81, 672-678.
21. Shao, Y. H., He, Y., Bao, Y. D. & Mao, J. Y. (2009). Near-infrared spectroscopy for classification of oranges and prediction of the sugar content. *International Journal of Food Properties*, 12, 644-658.
22. Singleton, V. L. & Rossi, J. L. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
23. Tabatabaeefar, A. & Rajabipour, A. (2005). Modeling the mass of apples by geometrical attributes. *Scientia Horticulturae*, 105, 373-382.
24. Tabatabaeefar, A. (2002). Size and shape of potato tubers. *International Agrophysics*, 16(4), 301-305.
25. Taghadomi-Saberi, S., Omid, M., Emam-Djomeh, Z. & Faraji-Mahyari, KH. (2015). Determination of cherry color parameters during ripening by artificial neural network assisted image processing technique. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 589-600.
26. Tarkosova, J. & Copikova, J. (2000). Determination of carbohydrate content in bananas during ripening and storage by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 8, 21-26.
27. Ying, Y. B., Liu, Y. D., Wang, J. P., Fu, X. P. & Li, Y. B. (2005). Fourier transforms near-infrared determination of total soluble solids and available acid in intact peaches. *American Society of Agricultural Engineers*, 48, 229-234.
28. Zhang, L. & McCarthy, M. J. (2013). Assessment of pomegranate postharvest quality using nuclear magnetic resonance. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 59-66.
29. Zhao, X., Yuan, Z., Yin, Y. & Feng, L. (2015). Patterns of pigment changes in pomegranate (*punica granatum* L.) peel during fruit ripening. *Acta Horticulturae*, 1089, 83-89.