

امکان‌سنجی استفاده از جذب اشعه ایکس به عنوان یک روش غیر مخرب برای تعیین برخی از شاخص‌های کیفی میوه انار

فرهاد سلمانی‌زاده^{۱*} - سید مهدی نصیری^۲ - مجید راحمی^۳ - عبدالعباس جعفری^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۴

چکیده

در این پژوهش عکس‌برداری مقطعی به وسیله جذب اشعه ایکس به عنوان یک روش غیر مخرب برای تخمین برخی شاخص‌های کیفی میوه انار بررسی شد. بدین منظور از سه رقم میوه انار محلی استان فارس شامل: رباب ملس، رباب ترش و خانی کازرون استفاده شد. تصاویر مقطعی حاصل از اشعه ایکس میوه‌های انار با استفاده از دستگاه اسکن توموگرافی کامپیوتری تهیه گردید. عدد سی‌تی تصاویر که بیانگر مقدار جذب اشعه ایکس است با استفاده از نرم افزار K-PACS استخراج گردید. شاخص‌های کیفی نظیر میزان آنتوسیانین‌ها، مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و میزان pH ارقام مختلف انار اندازه‌گیری شد. رابطه‌ی شاخص‌های کیفی و عدد سی‌تی بدست آمده از تصاویر توموگرافی میوه‌های انار در قالب مدل‌های رگرسیون خطی بررسی گردید. مطابق نتایج همبستگی بین عدد سی‌تی و شاخص‌های کیفی در تمامی مدل‌ها بیش از ۰/۹۰۰ به دست آمد. برای ارقام مختلف عدد سی‌تی همبستگی مثبتی با اسیدیته قابل تیتراسیون و همبستگی منفی با میزان آنتوسیانین‌ها، pH و مواد جامد محلول داشت. روابط برآورد شاخص‌های کیفی مربوط به رقم رباب ملس دارای بیشترین دقت بود (با ضرایب تبیین ۰/۹۷۱، ۰/۹۴۷، ۰/۹۶۳، ۰/۹۴۶ به ترتیب برای میزان آنتوسیانین‌ها، قند کل، اسیدیته و pH). برای همه ارقام بیشترین همبستگی بین مقدار آنتوسیانین‌ها و عدد سی‌تی مشاهده شد (با ضرایب تبیین ۰/۹۷۱، ۰/۹۴۳ و ۰/۹۶۰ به ترتیب برای ارقام رباب ملس، رباب ترش و خانی کازرون). نتایج کلی این پژوهش نشان داد که عدد سی‌تی حاصل از پرتو نگاری اشعه ایکس می‌تواند به عنوان یک شاخص مفید برای تخمین شاخص‌های کیفی میوه انار در سنجش‌های بلادرنگ به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: انار، توموگرافی، جذب اشعه ایکس، عدد سی‌تی، کیفیت میوه

مقدمه

می‌باشد که حدود ۸۵-۷۵ درصد آب و ۲۵-۱۵ درصد بذر را شامل می‌شود (۱). آب میوه به علت داشتن مقادیر قابل توجهی از مواد جامد محلول، قندهای احیا، قند کل، آنتوسیانین‌ها^۶، ترکیبات فنولی^۷، اسید اسکوربیک^۸ و پروتئین‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است (۱۲). پژوهش‌های جدید پزشکی نشان می‌دهد که میوه انار طیف وسیعی از ویژگی‌های دارویی مانند اثر ممانعت‌کنندگی از سرطان، بیماری‌های قلبی و عروقی و ضد تورمی، ضد ویروسی و ضد باکتری در ممانعت از تورم لته دارد. این تاثیر سودمند مربوط به خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالای انار می‌باشد (۱۵). فاکتورهای پایه و عمده که به طور معمول برای ویژگی‌های کیفیت میوه استفاده می‌شوند عبارتند از: اندازه، شکل، رنگ، مزه، بافت، طعم و عاری بودن از عیب و مواد خارجی. از

انار (*Punica granatum L.*) یکی از مهمترین محصولات تجاری می‌باشد که به طور گسترده در مناطقی از آسیا، شمال آفریقا، مدیترانه و خاورمیانه کشت می‌شود (۱۷). ایران با تولید ۶۷۰۰۰۰ تن انار در سال ۲۰۰۵ یکی از تولیدکنندگان و صادرکنندگان عمده آن در جهان می‌باشد (۷). میوه انار غالباً به صورت تازه یا فرآوری شده در قالب آب، مربا، شربت و سس مصرف می‌شود. قسمت خوراکی میوه که آرپل^۵ نام دارد در حدود ۶۰-۵۵ درصد از وزن کل میوه را دارا

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

(*)- نویسنده مسئول: (Email: fsalmani@ymail.com)

۳- استاد بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

6- Anthocyanin
7- Phenolic compounds
8- Ascorbic acid

5- Aril

باشند مورد وثوق کارخانه‌ها خواهد بود. بر همین اساس پژوهش حاضر برای بررسی امکان جایگزینی روش غیر مخرب پرتو نگاری به کمک اشعه ایکس به عنوان بدیل آزمون‌های مخرب تعیین کیفیت میوه انار انجام شد. هدف این پژوهش تعیین رابطه جذب اشعه ایکس با بعضی از خواص کیفی میوه انار بود.

مواد و روش‌ها

انتخاب ارقام

برای انجام این پژوهش ارقام رباب ملس، رباب ترش (زارچ) و خانی کارزون متعلق به استان فارس در مرحله رسیدگی چیده و به آزمایشگاه منتقل شد. رقم رباب معروف‌ترین و گسترده‌ترین رقم تجاری مورد کشت در استان فارس می‌باشد. طرح آزمایشی مورد استفاده، طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار بود. برای انجام آزمایش ۴ درخت همسن از هر رقم در نظر گرفته شد و از هر پایه هشت میوه از جهات مختلف تاج درخت برداشت شد و در مجموع سی و دو میوه از هر رقم در چهار تکرار مورد آنالیز قرار گرفت.

آزمون غیر مخرب اشعه ایکس

به منظور تهیه تصاویر سی‌تی‌اسکن از نمونه‌های انار در حالی که به پهلو و پشت سر هم قرار داشتند، با استفاده از دستگاه سی‌تی‌اسکن (مدل GE VCT 64, Milwaukee, USA) در مرکز تصویربرداری تابا واقع در شهر شیراز تصویربرداری انجام شد. در این روش تصویر برداری بر اساس شدت و ضعف اشعه ایکس ارسالی به داخل جسم، وضعیت آن به صورت ناحیه‌های روشن و تیره به تصویر کشیده خواهد شد. اجزای اصلی این دستگاه شامل تیوب اشعه ایکس، آشکارسازها و سیستم جمع‌آوری داده‌ها می‌باشد. تیوب اشعه ایکس و آشکارسازها روبروی هم هستند و در داخل محفظه‌ای قرار دارند که به آن گانتری می‌گویند. گانتری در یک مسیر دایره‌ای می‌تواند ۳۶۰ درجه چرخش کند. پس از انجام اسکن و جمع‌آوری داده‌ها ضریب تضعیف خطی در هر واکسل (معادل چند میلیمتر مکعب از نمونه) بدست می‌آید. ضرایب تضعیف بدست آمده یک سری اعداد نزدیک بهم بوده که در کسری از اعشار با هم تفاوت دارند. از آنجایی که این اعداد قابل استفاده نمی‌باشند باید این اعداد به اعداد ساده‌ای تبدیل شوند تا بتوان تصویر در مقیاس خاکستری بوجود آورد. برای تبدیل این اعداد اعشاری به اعداد ساده از یک مقیاس استاندارد شده استفاده می‌شود. واحد استاندارد برای اندازه‌گیری شدت جذب اشعه ایکس در سیستم‌های سی‌تی‌اسکن واحد هانسفیلد یا عدد سی‌تی می‌باشد. عدد سی‌تی با معادله زیر تعریف می‌شود:

$$\text{عدد سی تی} = \frac{(k \times (\mu_p - \mu_w))}{\mu_w} \quad (1)$$

که μ_p ضریب جذب خطی اشعه ایکس نمونه (m^{-1})، μ_w ضریب

آنجایی که تعداد زیادی از فاکتورهای کیفیت محصولات کشاورزی به خواص بیوفیزیکی آنها مرتبط هستند، روش‌های غیر مخرب برای ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی بر اساس خواص بیوفیزیکی گسترش یافته‌اند (۵). ارزیابی کیفیت داخلی میوه معمولاً با بریدن و آزمون آن همراه است. دستگاهی غیر مخرب که بتواند به صورت بلادرنگ پارامترهایی از کیفیت میوه مانند: قند، اسیدیته، pH، محتوای رطوبتی و میزان آب را تخمین بزند می‌تواند ارزش قابل توجهی برای صنعت غذا داشته باشد. محققان روش‌های متنوعی برای ارزیابی کیفیت داخلی میوه مانند: پاسخ تشدید مغناطیسی، نوری، صوتی، تابش مادون قرمز و اشعه ایکس را بررسی کرده‌اند (۶). برخی از این روشها در صنعت غذا با موفقیت گسترش پیدا کرده‌اند. جذب اشعه یکی از خواص محصولات غذایی می‌باشد که می‌تواند به عنوان یک روش پایه برای تجزیه و تحلیل غیر مخرب کیفیت محصولات غذایی استفاده شود (۶). این روش‌ها در بررسی کیفیت میوه‌ها نیز مورد استفاده قرار گرفته است. توماس و همکاران (۱۹) توانستند با اشعه ایکس انبه‌هایی را که توسط حشرات از داخل آسیب دیده بودند از انبه‌های سالم جدا کنند. افومیو و همکاران (۶) در تحقیقی که روی انبه انجام دادند، گزارش نمودند عدد سی‌تی به جرم حجمی آب میوه و خواص وابسته به آن مانند اسیدیته، قند کل و pH وابسته است. بارسلون و همکاران (۳) در تحقیقی که در مورد میوه هلو انجام دادند با استفاده از تکنولوژی سی‌تی‌اسکن^۱ تغییرات کیفیت داخلی هلو را در زمان‌های مختلف رسیدگی اندازه‌گیری کردند. آنها توانستند رابطه‌ای خطی بین ضریب جذب^۲ با چگالی، رطوبت، مواد جامد محلول و مقدار pH به دست آورند. کاروناکاران و همکاران (۸) در پژوهشی روی دانه گندم توانستند با استفاده از اشعه ایکس جرم دانه را تعیین کنند. رابطه بین مقدار پیکسل‌های خاکستری در آنالیز عکس‌ها به صورت نگاتیو و جرم دانه دارای ضریب تبیین ۰/۷۷ بود. کومار و بال (۱۳) برای پیدا کردن ترک در دانه برنج از اشعه ایکس استفاده کردند. الگوریتم بکار گرفته شده در این مطالعه قادر بود تعداد ترک‌های افقی، عمودی، و کل ترک‌ها را به ترتیب با دقت ۹۷٪، ۹۸٪ و ۹۷٪ محاسبه و نمایش دهد. کوتوالیویل و همکاران (۱۱) برای تعیین کیفیت گردو از اشعه ایکس استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که متوسط شدت پیکسل یک پارامتر مناسب برای تعیین کیفیت مغز گردو می‌باشد.

از آنجا که کیفیت محصولات فرآوری شده نسبت مستقیمی با کیفیت ماده اولیه آن دارد، کارخانه‌های فرآوری نمونه‌هایی از محصول را قبل از خریداری مورد آزمون قرار می‌دهند. این آزمون‌ها دقیق و در عین حال زمان بر هستند. بنابراین روش‌های غیر مخربی که توانایی تشخیص کیفیت مواد اولیه را به صورت بلادرنگ داشته

1- CT Scane
2- CT number

روابط رگرسیون بدست آمده از فرض صفر و آزمون t استفاده شد. فرض صفر برای شیب $\beta_1 = \beta_{10}$ و $H_0: \beta_1 = \beta_{10}$ و برای عرض از مبدا $\beta_0 = \beta_{00}$ در نظر گرفته می شود و مقدار t برای شیب و عرض از مبدا به ترتیب از روابط زیر بدست می آید.

$$t = (b_1 - \beta_{10}) / S.E. (b_1)$$

$$t = (b_0 - \beta_{00}) / S.E. (b_0)$$

در روابط بالا S.E خطای استاندارد، β_1 و β_0 به ترتیب شیب و عرض از مبدا رابطه رگرسیون مربوطه و b_1 و b_0 برآورد پارامترهای β_1 و β_0 می باشند. β_{10} و β_{00} مقادیر ثابتی هستند که می تواند صفر در نظر گرفته شوند. قدرمطلق t با $t_{(n-2, \mu/2)}$ از جدول t با $n-2$ درجه آزادی مقایسه می شود. اگر t محاسبه شده بیشتر از t جدول باشد فرض صفر رد می شود. در این تحقیق μ (سطح احتمال) 0.05 در نظر گرفته شد. دامنه 95% تخمین برای شیب و عرض از مبدا به ترتیب از روابط زیر بدست آمد.

$$P[b_1 \pm (t_{(n-2, \mu/2)} \times S.E. (b_1))] = 0.95$$

$$P[b_0 \pm (t_{(n-2, \mu/2)} \times S.E. (b_0))] = 0.95$$

نتایج و بحث

شاخص های کیفی میوه انار

طبق جدول ۱ نتایج نشان داد که بین ارقام از نظر میزان آنتوسیانین ها، اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، شاخص طعم، pH و عدد سی تی تفاوت معنادار وجود دارد ($P < 0.05$). بیشترین و کمترین مقدار آنتوسیانین ها مربوط به ارقام رباب ملس و رباب ترش بود ($22/3$ و $2/4$ میلی گرم در 100 میلی لیتر آب میوه). پژوهشی که علیقورچی و همکاران (۲) انجام دادند نیز نتایج مشابهی را بدنبال داشت. میزان آنتوسیانین ها با افزایش رسیدگی میوه در آریل افزایش می یابد (۱۲). بیشترین و کمترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون مربوط به ارقام رباب ترش و رباب ملس بود (0.99 و 0.33 گرم در 100 میلی لیتر در آب میوه).

ورس و همکاران (۲۱) در تحقیق خود نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. بیشترین و کمترین مقدار مواد جامد محلول مربوط به ارقام رباب ملس و رباب ترش بود ($19/1$ و $16/9$ درصد). میزان مواد جامد محلول در آب میوه یکی از ویژگی های کیفی بسیار مهم است که بر طعم و مزه و بازار پسندهای میوه تاثیر می گذارد. در واقع این خصوصیت نشان دهنده میزان قندهای محلول میوه است. نتایج مارتینز و همکاران (۱۵) و کام و همکاران (۴) روند مشابه به این پژوهش را نشان می دهد. شاخص طعم یا نسبت کل قند به اسید به عنوان یک فاکتور اساسی در تعیین مرغوبیت ارقام صادراتی استفاده می شود. این شاخص برای سه رقم میوه انار محاسبه شد و بیشترین و کمترین مقدار شاخص طعم برای ارقام رباب ملس و رباب ترش به ترتیب مقادیر $64/8$ و $17/6$ بدست آمد.

جذب خطی اشعه ایکس آب (m^{-1}) و k عدد ثابت با مقدار 1000 می باشد. در این رابطه ضریب جذب خطی اشعه ایکس آب به عنوان مرجع و عدد سی تی آن صفر در نظر گرفته می شود. زمانی که مقدار k برابر 1000 باشد به عدد سی تی یک واحد هانسفیلد گفته می شود. عدد سی تی بر اساس ضرایب جذب خطی اشعه ایکس استوار است (۱۶). طبق قانون لامبرت-بیر (رابطه ی ۲) ضریب تضعیف خطی (μ) تحت تاثیر جرم حجمی، عدد اتمی و شدت اشعه ایکس می باشد (۱۶).

$$I = I_0 e^{(-\mu P)} \quad (2)$$

I_0 = شدت اولیه اشعه ایکس

I = شدت اشعه ایکس بعد از عبور از جسم

μ = ضریب تضعیف خطی

P = جرم حجمی

کامپیوتر اعداد بدست آمده از آشکارسازها را گرفته و از فرمول (۱) آنها را تبدیل به عدد سی تی می کند. سپس بر اساس همین اعداد تصویری در مقیاس خاکستری تشکیل می شود به نحوی که اعداد سی تی با مقدار بیشتر به رنگ سفید و اعداد سی تی با مقدار کمتر به رنگ سیاه نزدیکتر می شود. در این تحقیق اسکن های مختلف از قسمت های مختلف میوه های انار (قسمت های ابتدایی، میانی و انتهایی) تهیه شد. سپس اعداد سی تی مربوط به گوشت آریل میوه توسط نرم افزار K-PACS (نرم افزار ضمیمه سیستم جمع آوری داده ها) استخراج گردید. برای تهیه تصاویر 18 عدد میوه برای هر رقم استفاده شد.

اندازه گیری شاخص های کیفی میوه انار

پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه، مواد جامد محلول در آب میوه یا مقدار قند کل آب میوه بر اساس درجه بریکس با رفراکتومتر دیجیتالی (مدل ATAGO, Japan) اندازه گیری شد. از روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم 0.1 نرمال و معرف فنل فتالین برای اندازه گیری اسیدیته قابل تیتراسیون آب انار بر اساس اسید غالب (اسید سیتریک) استفاده گردید. درجه اسیدی (pH) توسط pH متر ثبت شد. میزان آنتوسیانین ها به روش اسپکتوفتومتری (مدل D20) با استفاده از روش اختلاف pH در طول موج 520 و 700 نانومتر تعیین گردید (۱۴). شاخص طعم نیز از تقسیم قند کل به اسیدیته بدست آمد.

کلیه داده ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه $16/1$ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال 5 درصد صورت گرفت. برای تعیین رابطه بین عدد سی تی و شاخص های کیفی بیان شده، مدل رگرسیون خطی مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین مدل ها از نرم افزار Graph Pad نسخه $5/1$ استفاده شد. برای ارزیابی

جدول ۱- مقایسه میانگین شاخص‌های کیفی ارقام مختلف میوه انار

صفات						
ارقام	مواد جامد محلول (%)	pH	اسیدیته قابل تیتراسیون (g/100ml juice)	آنتوسیانین‌ها (mg/100ml juice)	شاخص طعم	عدد سی تی
رباب ملس	۱۹/۱±۰/۱ ^a	۳/۸±۰/۰۳ ^a	۰/۳۳±۰/۰۲ ^c	۲۲/۳±۰/۸ ^a	۶۴/۸±۶/۵ ^a	۶۰/۴±۱/۱ ^c
رباب ترش	۱۶/۹±۰/۲ ^b	۳/۷±۰/۰۵ ^b	۰/۹۹±۰/۰۵ ^a	۲/۳±۰/۴ ^b	۱۷/۶±۱/۱ ^c	۷۸/۷±۰/۶ ^a
خانی کازرون	۱۷/۱±۰/۱ ^b	۳/۷±۰/۰۴ ^{ab}	۰/۵۳±۰/۰۳ ^b	۲۲/۱±۱/۶ ^a	۳۴/۰±۲/۳ ^b	۷۱/۶±۰/۶ ^b

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف لاتین مشابه مشخص شده‌اند در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

ترتیب ۰/۹۷۱، ۰/۹۴۷، ۰/۹۶۳ و ۰/۹۴۶ بدست آمد. نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون (جدول ۲) نشان داد که روابط برقرار شده برای تخمین شاخص‌های کیفی رقم رباب ملس دارای دقت مناسبی می باشند.

مطابق جدول ۳ ضرایب تبیین روابط بین عدد سی تی و میزان آنتوسیانین‌ها، قند کل، اسیدیته و pH برای رقم رباب ترش به ترتیب ۰/۹۴۳، ۰/۹۰۱، ۰/۹۲۵ و ۰/۹۱۴ بدست آمد. نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون (جدول ۳) نشان داد که روابط برقرار شده برای تخمین شاخص‌های کیفی رقم رباب ترش دارای دقت مناسبی می باشند. طبق نتایج مندرج در جدول ۴ ضرایب تبیین روابط بین عدد سی تی و میزان آنتوسیانین‌ها، قند کل، اسیدیته و pH برای رقم خانی کازرون به ترتیب ۰/۹۶۰، ۰/۹۲۴، ۰/۹۳۴ و ۰/۹۰۲ بدست آمد.

المیمان و احمد (۱) بیان کردند که با افزایش رسیدگی میوه انار شاخص طعم آن افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار pH مربوط به رقم رباب ملس بود (۳/۸). درجه pH نشان‌دهنده‌ی میزان غلظت یون H⁺ در آب انار بوده و طعم اسیدی آب میوه را تعیین می‌کند. المیمان و احمد (۱) بیان کردند که مقدار درجه pH با نزدیک شدن به دوره رسیدگی افزایش می‌یابد.

بررسی رابطه بین شاخص‌های کیفی و عدد سی تی میوه انار
معادلات رگرسیون خطی برای تعیین رابطه بین شاخص‌های کیفی و عدد سی تی برای ارقام مختلف میوه انار در جداول ۲، ۳ و ۴ ارائه شده‌اند. مطابق جدول ۲ ضرایب تبیین روابط بین عدد سی تی و میزان آنتوسیانین‌ها، قند کل، اسیدیته و pH برای رقم رباب ملس به

جدول ۲- رابطه بین شاخص‌های کیفی میوه انار رقم رباب ملس و عدد سی تی

pH	اسیدیته	قند کل	آنتوسیانین‌ها	معادله
$y = -0.28x + 5.5$	$y = 0.21x - 0.9$	$y = -0.12x + 26.3$	$y = -0.74x + 66.8$	آماره t عرض از مبدا
۵۴/۴ ^{**}	-۱۵/۱ ^{**}	۶۰/۸ ^{**}	۳۳/۷ ^{**}	آماره t ضریب زاویه
-۱۶/۷ ^{**}	۲۰/۴ ^{**}	-۱۶/۹ ^{**}	-۲۲/۴ ^{**}	R ²
۰/۹۴۶	۰/۹۶۳	۰/۹۴۷	۰/۹۷۱	دامنه ۹۵٪ تخمین عرض از مبدا
۵/۷ تا ۵/۳	-۱/۰ تا -۰/۸	۲۷/۲ تا ۲۵/۴	۷۱/۱ تا ۶۲/۶	دامنه ۹۵٪ تخمین ضریب زاویه
-۰/۰۲۴ تا -۰/۰۳۱	۰/۰۲۳ تا ۰/۰۱۸	-۰/۱ تا -۰/۱۳	-۰/۶۷ تا -۰/۸	

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱

جدول ۳- رابطه بین شاخص‌های کیفی میوه انار رقم رباب ترش و عدد سی تی

pH	اسیدیته	قند کل	آنتوسیانین‌ها	معادله
$y = -0.7x + 9.26$	$y = 0.82x - 5.5$	$y = -0.30x + 41.1$	$y = -0.39x + 33.7$	آماره t عرض از مبدا
۲۱/۹ ^{**}	-۱۱/۸ ^{**}	۲۰/۵ ^{**}	۱۷/۴ ^{**}	آماره t ضریب زاویه
-۱۳/۱ ^{**}	۱۴/۰ ^{**}	-۱۲/۱ ^{**}	-۱۶/۳ ^{**}	R ²
۰/۹۱۴	۰/۹۲۵	۰/۹۰۱	۰/۹۴۳	دامنه ۹۵٪ تخمین عرض از مبدا
۱۰/۲ تا ۸/۴	-۴/۵ تا -۶/۵	۴۵/۴ تا ۳۶/۹	۳۷/۸ تا ۲۹/۶	دامنه ۹۵٪ تخمین ضریب زاویه
-۰/۰۵۹ تا -۰/۰۸۱	۰/۰۹۵ تا ۰/۰۷	-۰/۲۵ تا -۰/۳۶	-۰/۳۴ تا -۰/۴۵	

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱

جدول ۴- رابطه بین شاخص‌های کیفی میوه انار رقم خانی کازرون و عدد سی تی

pH	اسیدیته	قند کل	آنتوسیانین‌ها	معادله
$y = -0.061x + 8.1$	$y = 0.040x - 2.4$	$y = -0.17x + 29.6$	$y = -2/3x + 190/4$	آماره t عرض از مبدا
۲۱/۷**	-۱۲/۲**	۳۲/۹**	۲۲/۲**	آماره t ضریب زاویه
-۱۱/۷**	۱۵/۰**	-۱۳/۹**	-۱۹/۷**	R ²
۰/۹۰۲	۰/۹۳۴	۰/۹۲۴	۰/۹۶۰	دامنه ۹۵٪ تخمین عرض از مبدا
۸/۹ تا ۷/۳	-۱/۹ تا -۲/۸	۳۱/۵ تا ۲۷/۷	۲۰۸/۶ تا ۱۷۲/۳	دامنه ۹۵٪ تخمین ضریب زاویه
-۰/۰۵۰ تا -۰/۰۷۲	۰/۰۴۶ تا ۰/۰۳۵	-۰/۱۴ تا -۰/۲۰	-۲/۱ تا -۲/۶	

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱

رابطه‌ی قوی با ترکیبات شیمیایی آن می‌باشد. با توجه به قانون لامبرت-بیر و رابطه (۱) میوه‌های انار با جرم حجمی آب کمتر دارای ضریب تضعیف خطی کمتر و در نتیجه عدد سی تی کمتر می‌باشند. بنابراین برای هر رقم اسیدیته دارای یک رابطه خطی مثبت، و میزان آنتوسیانین، قند کل و pH دارای رابطه خطی منفی با عدد سی تی می‌باشند.

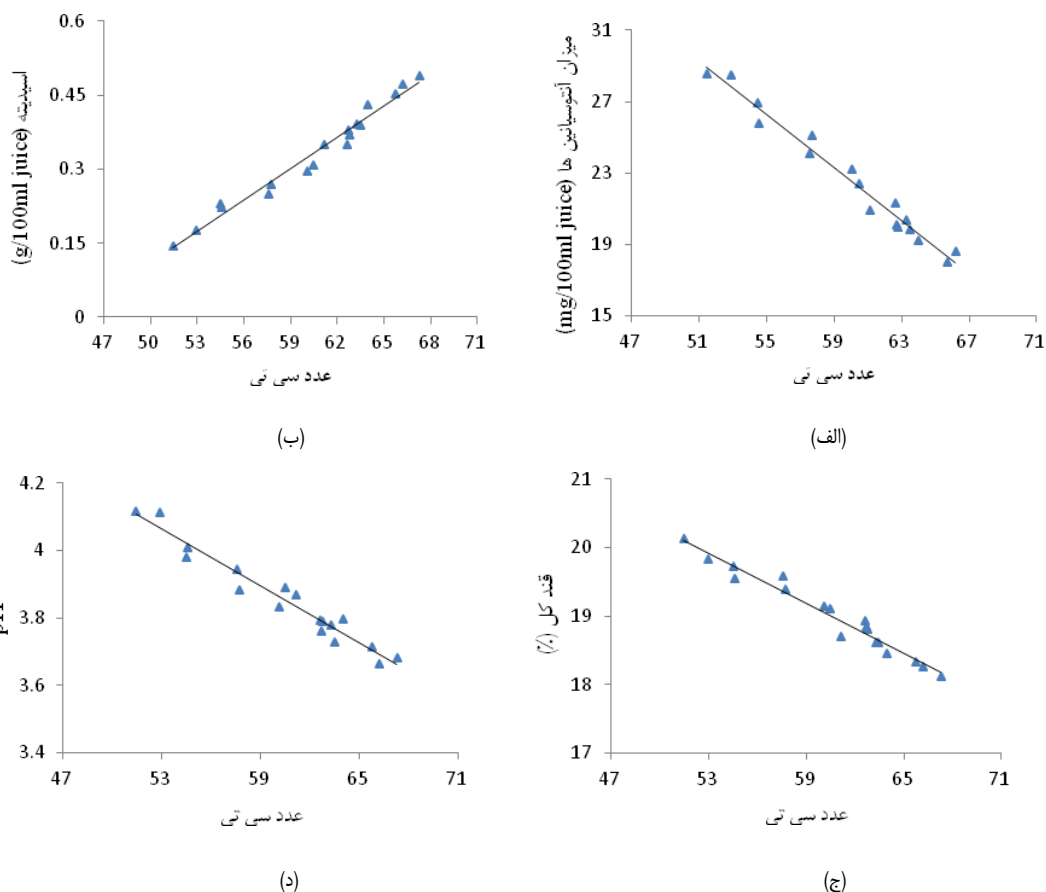
طبق نتایج آنالیز رگرسیون برای همه ارقام، روابط تخمین مربوط به میزان آنتوسیانین‌ها بیشترین دقت را دارا می‌باشد. آنتوسیانین‌ها رنگ‌رزه‌های قابل حل در آب هستند که رنگ‌های قرمز و ارغوانی در میوه‌های انار را ایجاد می‌کند (۱۸). همچنین روابط تخمین شاخص‌های کیفی مربوط به رقم رباب ملس دارای بیشترین همبستگی بود. نمودارهای رگرسیون خطی برای تخمین شاخص‌های کیفی میوه انار (رقم رباب ملس) در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

نتیجه گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که سه رقم انار مورد آزمایش (رباب ملس، رباب ترش و خانی کازرون) از لحاظ خصوصیات مثل آنتوسیانین‌ها، اسیدیته، pH و مواد محلول جامد دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر بودند، با این حال برای هر سه رقم اسیدیته دارای رابطه خطی مثبت و میزان آنتوسیانین‌ها، قند کل و pH دارای رابطه خطی منفی با عدد سی تی بود. رابطه بین عدد سی تی و میزان آنتوسیانین‌ها برای هر سه رقم بیشترین ضریب تبیین را دارا بود. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که عدد سی تی می‌تواند به عنوان یک شاخص مفید برای تخمین برخی شاخص‌های کیفی میوه انار در سنجش‌های بلادرنگ به کار گرفته شود.

همچنین نتایج آنالیز آماری رگرسیون (جدول ۴) نشان داد که معادلات ارائه شده جهت تخمین شاخص‌های کیفی رقم خانی کازرون دارای دقت مناسبی می‌باشند.

بر اساس نتایج مندرج در جداول ۲، ۳ و ۴، اسیدیته دارای یک رابطه خطی مثبت، و میزان آنتوسیانین‌ها، قند کل و pH دارای رابطه خطی منفی با عدد سی تی برای تمامی ارقام می‌باشند. بارسلون و همکاران (۳) و افومیو و همکاران (۶) نیز در پژوهش‌های خود روند‌های مشابهی را گزارش نمودند. این روابط قوی بین ترکیبات شیمیایی آب میوه و عدد سی تی می‌تواند به علت تاثیر بسیار زیاد جرم حجمی آب میوه باشد. کیتو (۹) توانست میزان مواد جامد محلول آب میوه هندوانه را از طریق اندازه‌گیری جرم حجمی آب آن تخمین بزند. زالتمن و همکاران (۲۲) گزارش کردند تغییر در جرم حجمی برخی میوه‌ها در اثر ضربه می‌تواند به علت تغییرات ترکیبات شیمیایی و میزان مواد جامد محلول یا پارگی دیواره سلولی باشد. کاراتاناسیس و هاجک (۸) گزارش کردند که هنگام جذب اشعه ایکس توسط نمونه یک سری برهم کنش‌های پیچیده بین اتم‌های تشکیل دهنده‌ی آن بوجود می‌آید و مقدار جذب اشعه تابعی از ترکیبات شیمیایی و فیزیکی نمونه مورد نظر می‌باشد. با توجه به رابطه (۱) عدد سی تی به ضریب تضعیف خطی ماده وابسته است. از طرفی طبق رابطه (۲) اگر شدت اولیه اشعه ایکس ثابت باشد، شدت اشعه ایکس بعد از عبور از جسم بطور نمایی کاهش پیدا می‌کند. با افزایش جرم حجمی این کاهش بیشتر می‌شود و در نتیجه باعث افزایش ضریب تضعیف خطی می‌شود. میوه‌های انار چیده شده از یک درخت بالغ ممکن است به علت عوامل مختلف مانند عوامل ژنتیکی و شوری خاک از لحاظ جرم حجمی و ترکیبات شیمیایی آب میوه با یکدیگر متفاوت باشند و از طرفی میوه‌های با جرم حجمی آب کمتر دارای میزان آنتوسیانین‌ها، مواد جامد محلول و pH بیشتر و اسیدیته قابل تیتراسیون کمتر می‌باشند (۱۲، ۴، ۱). همانطور که قبلاً اشاره شد جرم حجمی آب نیز دارای



شکل ۱- نمودارهای رگرسیون خطی جهت تخمین شاخص‌های کیفی میوه انار رقم رباب ملس، (الف) میزان آنتوسیانین‌ها (ب) اسیددیده قابل تیتراسیون، (ج) قند کل، (د) pH

منابع

- 1- Al-Maiman S.A. and Ahmad D. 2002. Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit maturation. Food Chemistry, 76: 437-441.
- 2- Alighourchi H., Barzegar M. and Abbasi S. 2008. Anthocyanins characterization of 15 Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties and their variation after cold storage and pasteurization. European Food Research and Technology, 227: 881-887.
- 3- Barcelon E.G., Tojo S. and Watanabe K. 1999. X-ray CT imaging and quality detection of peach at different physiological maturity. Transactions of the ASAE, 42: 435-441.
- 4- Cam M., Hisil Y. and Durmaz G. 2009. Characterisation of pomegranate juices from ten cultivars grown in Turkey. International Journal of Food Properties, 12: 388-395.
- 5- Chen P. and Sun Z. 1991. A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural products. Journal of Agricultural Engineering Research, 49: 85-98.
- 6- Eufemio G., Tojo S. and Watanabe K. 1999. Relating X-ray absorption and some quality characteristics of mango fruit (*Mangifera indica* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47: 3822-3825.
- 7- Holland D., Hatib K. and Bar - Ya'akov I. 2010. Pomegranate: botany, horticulture, breeding. Horticultural Reviews, 32: 127-191.
- 8- Karathanasis A.D. and Hajek B.F. 1996. Elemental analysis by X-ray fluorescence spectroscopy. p. 161-223. In Methods of Soil Analysis; Soil Science Society of America: Madison, WI.
- 9- Kato K. 1997. Electrical density sorting and estimation of soluble solids content of watermelon. Journal of

- Agricultural Engineering Research, 67: 161-170.
- 10- Karunakaran C., Jayas D.S. and White N.D.G. 2004. Mass determination of wheat kernels from X-ray images. ASAE Annual meeting, Paper number: 043120.
 - 11- Kotwaliwale N., Weckler P.R., Brusewitz G.H., Kranzler G.A. and Maness N.O. 2007. Non-destructive quality determination of pecans using soft X-rays. *Postharvest Biology and Technology*, 45: 372-380.
 - 12- Kulkarni A.P., Aradhya S.M. and Divakar S. 2004. Isolation and identification of a radical scavenging antioxidant-punicalagin from pith and carpellary membrane of pomegranate fruit. *Food Chemistry*, 87: 551-557.
 - 13- Kumar P.A. and Bal S. 2007. Automatic unhulled rice grain crack detection by X-ray imaging. *Transactions of the ASABE*, 50: 1907-1911.
 - 14- Lee J., Durst R.W. and Wrolstad R.E. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC international*, 88: 1269-1278.
 - 15- Martinez J.J., Melgarejo P., Hernández F., Salazar D.M. and Martinez R. 2006. Seed characterisation of five new pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties. *Scientia horticulturae*, 110: 241-246.
 - 16- Ogawa Y., Morita K., Tanaka S., Setoguchi M. and Thai C.N. 1998. Application of X-ray CT for detection of physical foreign materials in foods. *Transactions of the ASAE*, 41: 157-162.
 - 17- Sarkhosh A., Zamani Z., Fatahi R. and Ranjbar H. 2009. Evaluation of genetic diversity among Iranian soft-seed pomegranate accessions by fruit characteristics and RAPD markers. *Scientia horticulturae*, 121: 313-319.
 - 18- Seeram N.P., Aviram M., Zhang Y., Henning S.M., Feng L., Dreher M. and Heber D. 2008. Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 1415-1422.
 - 19- Thomas P., Kannan A., Degwekar V.H. and Ramamurthy M.S. 1995. Non-destructive detection of seed weevil-infested mango fruits by X-ray imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 5: 161-165.
 - 20- Tollner E.W., Hung Y.C., Upchurch B.L. and Prussia S.E. 1992. Relating X-ray absorption to density and water content in apples. *Transactions of the ASAE*, Paper number: 35.
 - 21- Veres M. 1976. Study of the mechanical and chemical composition of cultivated pomegranate. *Hrana Ishrana*, 17: 426-432.
 - 22- Zaltzman A., Verma B.P. and Schmilovitch Z. 1987. Potential of quality sorting of fruits and vegetables using fluidized bed medium. *Transactions of the ASAE*, 30: 823-831.