

مطالعه اولیه در زمینه امکان سنجی استفاده از تصویربرداری نور تک فام متمرکز جهت اندازه گیری غیرمخرب رنگ گوشت میوه سیب

آرزو بیژنی^۱، کاوه ملازاده^{۲*}، محمود کوشش صبا^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

^۲استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

^۳استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

*k.mollazade@uok.ac.ir

چکیده

رنگ گوشت به عنوان یکی از معیارهای مهم مربوط به رسیدگی و کیفیت میوه به شمار می آید. اندازه گیری رنگ گوشت میوه با روش های متداول نیازمند برداشتن پوست میوه است که این امر منجر به تخریب آن می گردد. بنابراین پایش میزان رنگ گوشت میوه به صورت غیرمخرب در فرآیندهای برداشت و پس از برداشت نیازمند استفاده از روش های غیرتماسی است. تصویربرداری نور تک فام متمرکز، به عنوان یک ابزار غیرتماسی با هزینه پیاپی سازی پایین، روشی است که قابلیت آن برای اندازه گیری شاخص های مکانیکی میوه به اثبات رسیده است. در این پژوهش امکان پذیری استفاده از این روش جهت پایش بینی شاخص مرتبط با رنگ گوشت میوه سیب، ارقام رد دلشس و فوجی، بررسی گردید. تصاویر در طول موج ۶۵۰ نانومتر از سطح میوه ها تحصیل گردید. پس از آن شاخص های رنگی (L^* , a^* , b^*) مربوط به پوست و گوشت میوه توسط دستگاه رنگ سنج اندازه گیری شد. جهت ایجاد مدل های کالیبراسیون، در ابتدا پس از انجام عملیات پایش پردازش، یک سری ویژگی از تصاویر استخراج گردید. سپس از این ویژگی ها به عنوان ورودی و از داده های مربوط به رنگ گوشت میوه، که با روش مخرب بدست آمده بود، به عنوان خروجی مدل های کالیبراسیون استفاده گردید. نتایج پژوهش بیانگر امکان پذیری استفاده از تصویربرداری نور تک فام متمرکز جهت پایش بینی رنگ گوشت میوه سیب به صورت غیرمخرب و سریع است.

واژه های کلیدی: پایش نوری، پس از برداشت، آزمون غیرتماسی، رنگ سنجی.

۱- مقدمه

خواص فیزیکی (میزان تردی، سفتی بافت، چگالی)، خواص ظاهری (رنگ پوست، رنگ گوشت، اندازه و شکل) خواص فیزیولوژیکی (مقدار تنفس و اتیلن) و خواص کاربردی (ویتامین و مواد معدنی) آن تغییر ایجاد می شود. در مجموع، این خواص کیفیت محصول را تشکیل می دهند. معیارهای کیفیت بسته به سطح مورد انتظار استفاده کنندگان از میوه متفاوت می باشد [۱]. استفاده کنندگان با استفاده از ارزیابی حسی، کیفیت میوه را بررسی می کنند. این روش وابسته به داور و سلیقه شخصی است و نمی تواند دقیق باشد [۲]. همچنین جهت پذیرش میوه توسط استفاده کنندگان، علاوه بر ارزیابی های حسی، اطلاعات و اندازه گیری های کمی که وابسته به سلیقه شخصی نمی باشند، به شدت تأثیرگذار است [۳]. اکثر روش های متداول جهت اندازه گیری کمی کیفیت میوه، مخرب، وقت گیر، نیازمند کار آزمایشگاهی پیچیده و

مواد غذایی شامل محصولات کشاورزی تازه (گوشت، میوه، سبزی و لبنیات) و مواد فرآوری شده می باشد. میوه به دلیل داشتن ترکیباتی همچون قندها، اسیدهای آلی، ویتامین ها، عناصر معدنی و فیبرها از نظر تجاری، تغذیه ای و سلامت جزو محصولات غذایی مهم و ضروری به شمار می آیند. زندگی میوه پس از جوانه زدن به سه مرحله اصلی رشد، بلوغ و پیری تقسیم می شود. رسیدن در اواخر مرحله بلوغ صورت می گیرد که در آن میوه دارای بالاترین سطح کیفیت می باشد. مرحله رشد و بلوغ میوه فقط زمانی که به گیاه مادر متصل است کامل می شود اما مرحله رسیدن و پیری می تواند قبل و بعد از برداشت هم انجام گیرد. میوه موجودی زنده و بسیار فسادپذیر است و طی دوران قبل و بعد از برداشت در خواص شیمیایی (مقدار مواد جامد محلول، اسیدیته، مقدار اسیدی بودن، تانن،

حاکی از وجود همبستگی مناسب مابین تغییر رنگ گوشت با تغییرات شیمیایی و فیزیکی در طی مرحله رسیدن و بلوغ میوه است [۱۲].

در پژوهش‌های مرتبط با محصولات باغی، اندازه‌گیری رنگ گوشت میوه به صورت متداول با استفاده از دستگاه‌های رنگ سنج و با حذف پوست میوه و به صورت مخرب انجام می‌پذیرد. در تلاشی به منظور اندازه‌گیری این شاخص به صورت غیرمخرب، از روش طیف سنجی در محدوده طول موجی بینایی و مادون قرمز جهت تعیین رسیدگی میوه هلو در فرآیند کنسروسازی استفاده گردید. نتایج نشان داد که برای مقادیر زاویه فام رنگ کمتر از ۷۰ درجه بین مقادیر مربوط به این شاخص در پوست و گوشت میوه همبستگی وجود ندارد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های کالیبراسیون نشان داد که صرفاً با استفاده از اطلاعات طیفی در طول موج‌های ۵۴۵ و ۵۷۵ نانومتر برای رقم لودال و طول موج‌های ۵۴۵ و ۵۶۰ نانومتر برای رقم روسا می‌توان میزان زاویه فام رنگ گوشت را با دقت مناسب پیش‌بینی نمود (مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۲ و ریشه میانگین مربعات خطا نزدیک به یک). نتایج این پژوهش امکان‌پذیر بودن استفاده از روش‌های نوری به منظور اندازه‌گیری رنگ گوشت میوه به صورت برخط و غیرمخرب را نشان می‌دهد [۴].

تصوربرداری نور متمرکز یکی از روش‌های نوری است که در چند سال اخیر جهت ارزیابی کیفیت مواد غذایی و محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش از اصول حاکم بر پراکنش نور و پردازش تصویر در محدوده بینایی و مادون قرمز نزدیک از طیف الکترومغناطیس بهره می‌گیرد. بارانیای و همکاران نشان دادند که استفاده از این روش در طول موج ۷۸۵ نانومتر جهت اندازه‌گیری پاره‌ای خواص نوری مرتبط با بافت نمونه همچون ضریب جذب، ضریب پراکنش و فاکتور ناهمسانگردی در دو رقم میوه سیب به منظور پیش‌بینی میزان رسیدگی محصول در مدت انباری نتایج مناسبی را به دنبال دارد [۱۳]. از دیگر شاخص‌های مرتبط با کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی که توسط این روش با موفقیت مورد ارزیابی قرار گرفته است می‌توان به پیش‌بینی میزان چربی شیر [۱۴]، ارزیابی میزان تردی گوشت [۱۵] و پایش تغییرات محتوای رطوبتی و رنگ فلفل دلمه‌ای طی فرآیند خشک شدن [۱۶]، اشاره نمود.

هزینه‌بر هستند. در نتیجه نیاز به روش‌های سریع، آسان و کم هزینه که باعث تغییرات مکانیکی، گرمایی، شیمیایی و فتوشیمیایی در میوه نگردد، ضروری است [۴]. برای نمونه بینایی‌ماشین جهت تعیین رنگ، شکل و اندازه میوه [۳]، طیف‌سنجی در محدوده نور مرئی و مادون قرمز به منظور اندازه‌گیری سفتی بافت، مواد جامد محلول و اسیدیته میوه [۵]، فراصوت جهت اندازه‌گیری سفتی بافت [۶] و بینی الکترونیک به منظور تشخیص سطح رسیدگی میوه [۷] مورد استفاده قرار گرفته است.

رنگ میوه، که جزو اولین و مهم‌ترین پارامترها در ارزیابی حسی از زمان خرید توسط مصرف‌کننده تا قبل از قرارگیری در دهان به شمار می‌آید، به دلیل تجزیه کلروفیل و تولید رنگیزه‌های خاص مانند آنتوسیانین یا کارتوتنوئیدها تغییر می‌کند [۱]. از عوامل موثر در تشکیل رنگ پوست میوه می‌توان به عوامل محیطی (همچون نور، دما، شرایط تغذیه‌ای خاک)، عوامل فیزیولوژیکی و عوامل مدیریتی (همچون تراکم کاشت، سیستم تربیت و هرس باغ) اشاره نمود. نامساعد بودن هریک از عوامل ذکر شده منجر به ایجاد رنگ نامطلوب در پوست میوه می‌گردد. ممکن است رنگ پوست میوه سبز باشد اما گوشت آن به مرحله رسیدگی وارد شده باشد [۸]. در نتیجه باغبانان جهت دستیابی به رنگ مطلوب پوست، برداشت میوه را به تاخیر می‌اندازند که این امر باعث رسیدگی بیش از حد میوه می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که تعیین رسیدگی میوه با استفاده از رنگ پوست نمی‌تواند به طور کامل قابل اعتماد باشد [۹]. در پژوهشی که روی تشخیص سرمازدگی در میوه سیب با استفاده از تصویربرداری ابرطیفی در محدوده طول موجی ۴۰۰ الی ۱۰۰۰ نانومتر صورت گرفت، نتایج حاصل از استخراج مشخصه‌های طیفی از تصاویر ابرطیفی پوست نمونه‌های سالم و آسیب‌دیده نشان داد که بین مشخصه‌های طیفی نمونه‌ها در محدوده ۴۰۰ الی ۷۰۰ نانومتر (محدوده بینایی انسان) امکان ایجاد تمایز بین میوه سالم و آسیب‌دیده امکان‌پذیر نیست. این درحالی است که در همین محدوده طول موجی، مشخصه طیفی مربوط به گوشت نمونه‌های سالم و آسیب‌دیده با هم تفاوت داشتند [۱۰]. در مطالعه‌ای دیگر، پژوهشگران گزارش نمودند که به طور قابل اطمینان نمی‌توان رنگ گوشت یا رسیدگی میوه هلو را با استفاده از رنگ پوست و بافت میوه تعیین کرد [۱۱]. گزارش‌ها

نور لیزر در تصویر تنظیم گردید. جهت کاهش نویز و جلوگیری از بازتابش نور محیط، تصویربرداری در یک اتاقک تاریک انجام گرفت.

پس از تحویل تصاویر، رنگ پوست میوه در سه نقطه مختلف روی ناحیه استوایی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رنگ سنج اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری رنگ گوشت میوه در همان سه نقطه بعد از جدا سازی پوست، با ضخامت حدود ۲ میلی‌متر، انجام گرفت. مقادیر حاصل از دستگاه رنگ سنج در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ ثبت گردید. سپس این داده‌ها به منظور تطبیق پذیری بیشتر با فهم انسان از رنگ، با استفاده از روابط زیر به فضای رنگی lch انتقال داده شد.

$$l = L^* \quad (1)$$

$$c = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

$$h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (3)$$

در مرحله پیش‌پردازش، بعد از ثبت تصاویر رنگی اولیه توسط دوربین، این تصاویر با استفاده از رابطه زیر به تصاویر سطح خاکستری تبدیل گردید:

$$I = 0.30 \times I_r + 0.59 \times I_g + 0.11 \times I_b$$

با توجه به در نظر گرفتن عمق بیت ۸ برای تفکیک پذیری سطح شدت، مقادیر مربوط به شدت روشنایی سطح خاکستری اعداد صحیح در بازه ۰ الی ۲۵۵ می‌باشد؛ که مقدار صفر رنگ سفید خالص و مقدار ۲۵۵ رنگ سیاه خالص را نشان می‌دهد. جهت جدا سازی ناحیه مورد نظر از تصاویر، که حاوی اطلاعات مربوط به فوتون‌های پراکنش یافته است، در ابتدا محل برخورد پرتو لیزر به نمونه (ناحیه اشباع تصویر) با استفاده از عملیات مورفولوژیکی باز کردن و تعریف یک سازه دایره‌ای با شعاع ۱۰ پیکسل، حذف گردید. سپس ناحیه شامل فوتون‌های پراکنش یافته توسط قطعه‌بندی به روش اوتسو از پس‌زمینه جدا گردید. در نهایت به منظور افزایش نسبت سیگنال به نویز، تصاویر قطعه‌بندی شده با استفاده از فیلتر میانه با اندازه ۳×۳ هموار گردید (شکل ۱).

آماره‌های توصیفی میانگین، میانه، مد، دامنه تغییرات، انحراف معیار، ضریب تغییرات، ضریب کشیدگی و ضریب چولگی به عنوان ویژگی از مقادیر سطح شدت غیر صفر از تصاویر قطعه‌بندی شده استخراج گردید. به منظور بررسی درجه اهمیت و انتخاب ویژگی‌های مناسب از بین این ۸

هدف کلی از انجام پژوهش حاضر عبارتست از امکان‌سنجی استفاده از روش غیرمخرب و غیرتماسی تصویربرداری نور تک‌فام متمرکز به منظور اندازه‌گیری رنگ گوشت میوه سیب، به عنوان یک شاخص‌های مرتبط با رسیدگی محصول، که توانایی جایگزینی روش‌های مخرب متداول را دارا باشد. موارد زیر جهت نیل به هدف اصلی پژوهش مدنظر قرار گرفت:

(الف) بررسی میزان همبستگی مابین شاخص زاویه فام رنگ پوست با رنگ گوشت میوه.

(ب) ارزیابی آماری نتایج حاصل از روش تصویربرداری نور تک‌فام متمرکز در تعیین میزان زاویه فام رنگ گوشت میوه سیب ارقام رد دلشس و فوجی.

۲- مواد و روش‌ها

۱۵۰ عدد سیب رقم رد دلشس و ۱۵۰ عدد سیب رقم فوجی به صورت کاملاً سالم و بدون هیچ‌گونه عیب و بیماری از درختان یکی از باغات اطراف سنندج در اواخر شهریورماه ۱۳۹۴ به صورت دستی برداشت گردید. عملیات برداشت و انتقال نمونه‌های سیب طوری انجام گرفت که هیچ‌گونه آسیب دیدگی مکانیکی در نمونه‌ها ایجاد نگردد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه پایش نوری و تصویربرداری مواد بیولوژیک گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه کردستان جهت تحویل تصاویر انتقال داده شدند.

سیستم تصویربرداری نور تک‌فام برای این پژوهش شامل یک عدد دوربین CCD مجهز به لنز بزرگنمایی، که دارای حساسیت مناسب در ناحیه مرئی و مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس است، می‌باشد. منبع نور تک‌فام مورد استفاده، یک عدد دیود لیزری با طول موج کاری ۶۵۰ نانومتر بود. برای هر نمونه سیب یک تصویر در طول موج ۶۵۰ نانومتر تحصیل شد. بعد از ساطع شدن نور لیزر بر روی سطح نمونه‌ها، فوتون‌های نور به داخل بافت میوه نفوذ کرده و بخشی از این نور دوباره به طرف سطح میوه بازتاب می‌شود. فوتون‌های پراکنش یافته توسط دوربین به صورت تصاویر سه کاناله RGB با تفکیک‌پذیری مکانی ۷۲۰×۴۸۰ پیکسل و تفکیک‌پذیری سطح شدت ۲۴ بیت و با فرمت tif ثبت گردید. هنگام تحصیل تصاویر، نمونه‌ها به صورت افقی و در ست زیر دوربین قرار داده شد. زاویه تابش نور لیزر با محور عمود بر سطح افق در بازه ۱۵ الی ۲۵ درجه و فاصله بین لنز و نمونه بر اساس وضوح‌پذیری

نتایج حاصل از آزمون همبستگی مابین زاویه فام رنگ گوشت میوه و ویژگی‌های آماری مستخرج از ناحیه شامل فوتون‌های پراکنش یافته در تصاویر نشان داد که برای سبب رقم رد دلشس ویژگی‌های میانگین، میانه، مد، ضریب کشیدگی و ضریب چولگی و در سبب رقم فوجی ویژگی‌های میانگین، میانه، ضریب کشیدگی و ضریب چولگی در سطح اطمینان یک درصد با رنگ گوشت میوه همبسته می‌باشند. بنابراین از این ویژگی‌ها به عنوان ویژگی‌های منتخب به منظور ایجاد مدل رگرسیون پیش‌بینی کننده نهایی استفاده گردید (جدول ۱).

روابط ۵ و ۶ به ترتیب مدل‌های رگرسیون چند متغیره پیش‌بینی میزان زاویه فام رنگ گوشت در میوه سبب ارقام رد دلشس و فوجی را با استفاده از ویژگی‌های منتخب نشان می‌دهد. میزان ضریب همبستگی مابین مقدار واقعی زاویه فام رنگ گوشت و مقدار پیش‌بینی شده بر اساس ویژگی‌های مستخرج از تصویر برای رقم رد دلشس و در مراحل کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۶۹۵ و ۰/۶۴۳ حاصل گشت. در مورد رقم فوجی نیز مقادیر ضریب همبستگی به دست آمده، به ترتیب ۰/۴۹۶ و ۰/۳۴۴ برای مراحل کالیبراسیون و اعتبارسنجی، بیانگر رابطه مثبت و معنی‌دار در سطح اطمینان یک درصد است (شکل ۴ و ۵). میزان میانگین خطای مطلق نیز در مراحل کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۲/۳۸۳ و ۲/۶۱۷ برای رقم رد دلشس و ۲/۳۱۴ و ۲/۶۷۸ برای رقم فوجی حاصل گشت. مقادیر کم میانگین خطای مطلق نشان‌دهنده دقت نسبتاً مناسب مدل خطی ایجاد شده با استفاده از ویژگی‌های آماری مستخرج از ناحیه شامل فوتون‌های پس‌پراکنش یافته در پیش‌بینی میزان رنگ گوشت میوه سبب است. نتایج نشان می‌دهد که روش تصویربرداری نور تک فام متمرکز قابلیت استفاده به منظور اندازه‌گیری میزان رنگ گوشت میوه را دارا می‌باشد. هرچند که برای دستیابی به نتایج با دقت بالا و قابل اعتماد نیاز به انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه است.

ویژگی، از آزمون ضریب همبستگی استفاده گردید. در نهایت، مدل‌های کالیبراسیون رگرسیونی خطی چند متغیره با استفاده از ویژگی‌های انتخاب شده از تصاویر به عنوان ورودی و مقادیر زاویه فام رنگ گوشت میوه به عنوان خروجی ایجاد گردید. برای هرکدام از ارقام سبب، از دو سوم داده‌ها در مرحله کالیبراسیون و ایجاد مدل و از مابقی داده‌ها در مرحله اعتبارسنجی استفاده شد. عملیات مربوط به تحصیل و پردازش تصاویر با استفاده از نرم افزار MATLAB نسخه R2015a صورت پذیرفت. همچنین از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ به منظور انجام تحلیل‌های آماری و ایجاد مدل‌های کالیبراسیون استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

شکل ۲ و ۳ دیاگرام پراکنش داده‌های مربوط به شاخص زاویه فام رنگ پوست و زاویه فام رنگ گوشت سبب را به ترتیب برای ارقام رد دلشس (با ضریب همبستگی $r=0/008$) و فوجی (با ضریب همبستگی $r=0/262$) نشان می‌دهد. آزمون ضریب همبستگی برای داده‌های مربوط به زاویه فام رنگ پوست و زاویه فام رنگ گوشت سبب رقم رد دلشس نشان داد که هیچگونه ارتباط معنی‌داری بین این دو متغیر در سطح اطمینان ۵٪ وجود ندارد ($p\text{-value}=0/923$). اما برای سبب رقم فوجی نتایج آزمون همبستگی بیانگر وجود رابطه معنی‌دار در سطح اطمینان ۵٪ بین شاخص فام رنگ پوست و فام رنگ گوشت میوه بود ($p\text{-value}=0/001$). نتایج نشانگر این واقعیت است که در مورد سبب رقم رد دلشس تغییرات رنگ پوست میوه با تغییر در رنگ گوشت آن همبسته نیست. همچنین در میوه سبب رقم فوجی نیز با وصف معنی‌دار بودن ارتباط خطی مابین شاخص‌های زاویه فام رنگ پوست و زاویه فام رنگ گوشت، به دلیل پایین بودن مقدار ضریب همبستگی، ارتباط ضعیفی مابین این دو شاخص وجود دارد. پس به طور کلی اینگونه نتیجه‌گیری می‌شود که نمی‌توان از روی اطلاعات رنگ پوست میزان رنگ گوشت میوه را پیش‌بینی نمود.

$$\text{Flesh Hue} = 65.548 + 0.4773 \times \text{Average} - 0.351 \times \text{Median} + 0.025 \times \text{Mode} + 19.043 \times \text{Kurtosis} - 63.599 \times \text{Skewness} \quad (5)$$

$$\text{Flesh Hue} = 94.744 + 0.936 \times \text{Average} - 0.849 \times \text{Median} + 0.425 \times \text{Kurtosis} - 22.884 \times \text{Skewness} \quad (6)$$

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مطالعه اولیه و امکان‌سنجی استفاده از روش غیرمخرب تصویربرداری نور تک فام متمرکز به منظور اندازه‌گیری رنگ گوشت میوه به صورت غیرمخرب انجام پذیرفت. نتایج بیانگر عدم امکان پیش‌بینی میزان رنگ گوشت میوه از روی مقادیر مربوط به رنگ پوست نمونه‌ها بود. از آزمون همبستگی به عنوان یک روش پایه به منظور تشخیص میزان همبستگی مابین تغییر در میزان زاویه فام رنگ گوشت میوه و ویژگی‌های مستخرج از تصاویر تک‌فام استفاده گردید. هرچند که مقادیر مربوط به ضرایب همبستگی حاصل از مدل‌های چند متغیره خطی مابین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده زاویه فام رنگ توسط روش پیشنهادی، برای دو رقم سیب مورد آزمایش، در حد قابل قبول نیست؛ اما نتایج نسبتاً مناسب بدست آمده برای شاخص خطای پیش‌بینی نوید بخش امکان پذیری توسعه این روش در آینده می‌باشد. به نظر می‌رسد که این روش این توانایی را داشته باشد که تغییر در میزان رنگ گوشت ناشی از تغییرات فیزیولوژیکی در میوه که در اثر شرایط نامناسب محیطی و تغذیه‌ای روی می‌دهد را تشخیص دهد. هرچند که برای صحت این امر نیاز به انجام پژوهش‌های بیشتر و مطالعه بر روی میوه‌های مختلف است.

سپاسگزاری

از پرسنل محترم آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت گروه باغبانی و آزمایشگاه پایش نوری و تصویربرداری مواد بیولوژیک گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه کردستان که زمینه انجام آزمایش‌های این پژوهش را فراهم آوردند، کمال تشکر را می‌نماید.

فهرست علائم

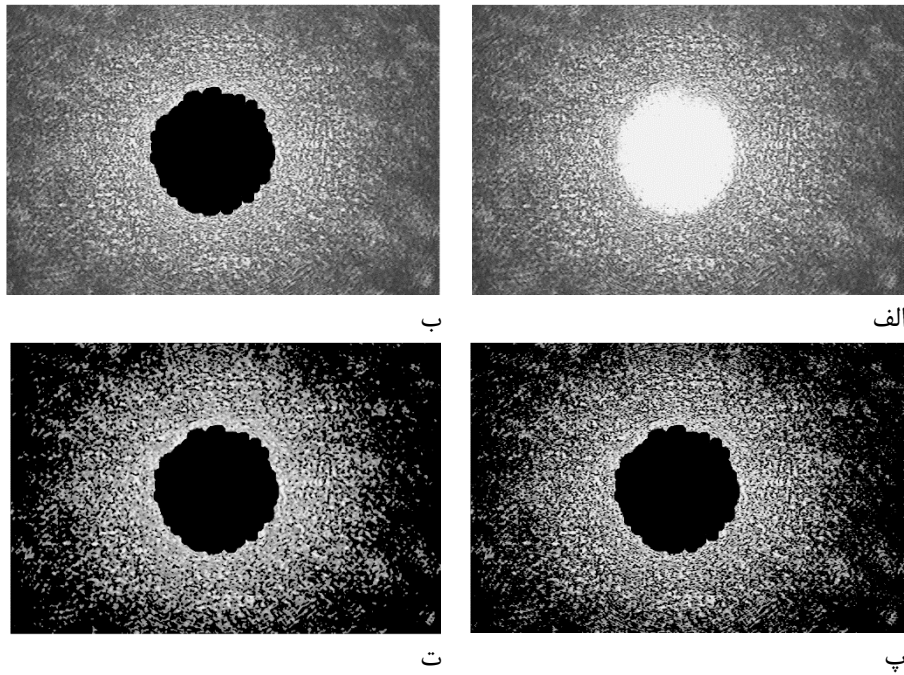
I	شدت روشنایی پیکسل‌های تصاویر سطح خاکستری
I _r	شدت روشنایی پیکسل‌های مولفه قرمز تصویر رنگی
I _g	شدت روشنایی پیکسل‌های مولفه سبز تصویر رنگی
I _b	شدت روشنایی پیکسل‌های مولفه آبی تصویر رنگی

I, L*	شدت روشنایی رنگ
a*	شاخص رنگینگی در موقعیت بین سبز و قرمز
b*	شاخص رنگینگی در موقعیت بین آبی و زرد
c	رنگینگی
h	زاویه فام رنگ

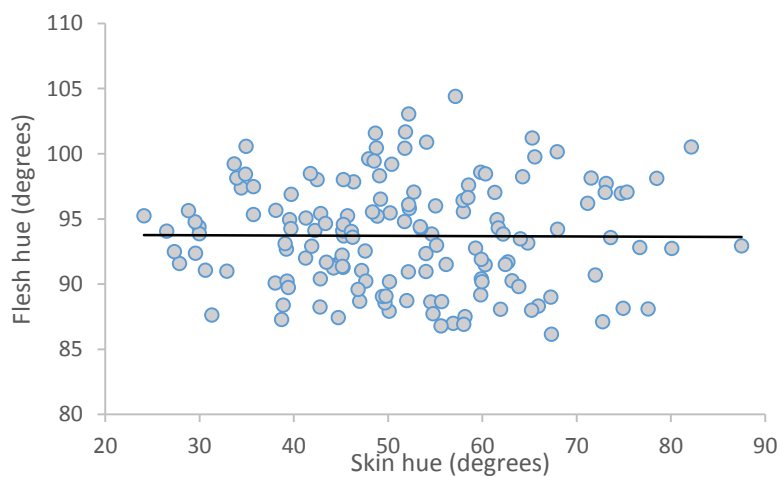
مراجع

- 1- کوشش صبا، م. و رمضانیان، ا. (۱۳۹۴). زیست‌شناسی و فناوری پس از برداشت برای حفظ کیفیت میوه‌ها (ترجمه)، انتشارات دانشگاه کردستان.
- 2- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 207–225.
- 3- Cho, Y. J., Kang, S. (2011). *Emerging Technologies for Food Quality and Food Safety Evaluation*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- 4- Slaughter, D. C., Crisosto, C. H., Tiwari, G. (2013). Nondestructive determination of flesh color in clingstone peaches. *Journal of Food Engineering*, 116(4), 920–925.
- 5- Gomez, A. H., He, Y., Pereira, A. G. (2006). Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering*, 77(2), 313–319.
- 6- Kim, K. B., Lee, S., Kim, M. S., Cho, B. K. (2009). Determination of apple firmness by nondestructive ultrasonic measurement. *Postharvest Biology and Technology*, 52(1), 44–48.
- 7- Pathange, L. P., Mallikarjunan, P., Marini, R. P., O'Keefe, S., Vaughan, D. (2006). Non-destructive evaluation of apple maturity using an electronic nose system. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 1018–1023.

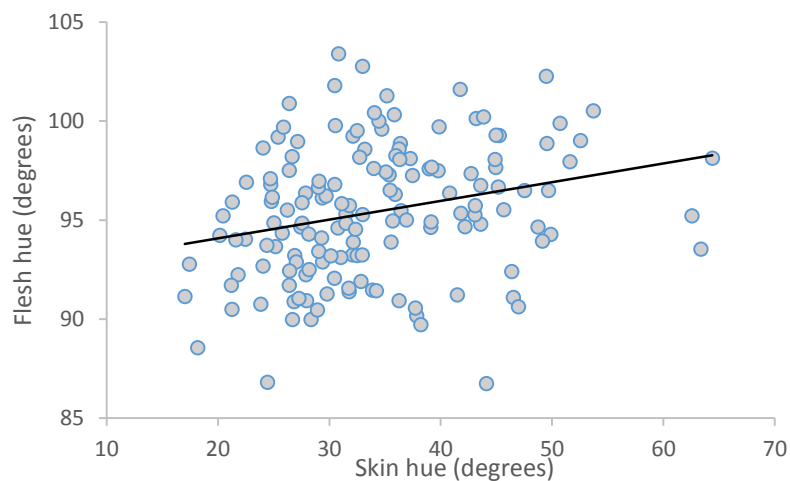
- Horticulturae*, International Society for Horticultural Science, Wageningen, 597-600.
- 13- Baranyai, L., Regen, C., Zude, M. (2009). Monitoring optical properties of apple tissue during cool storage. *Bornimer Agrartechnische Berichte*, 69, 112-119.
- 14- Qin, J., Lu, R. (2007). Measurement of the absorption and scattering properties of turbid liquid foods using hyperspectral imaging. *Applied Spectroscopy*, 61(4), 338-396.
- 15- Cluff, K., Naganathan, G. K., Subbiah, J., Lu, R., Calkins, C. R., Samal, A., 2008. Optical scattering in beef steak to predict tenderness using hyperspectral imaging in the VIS-NIR region. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 2, 189-196.
- 16- Romano, G., Nagel, M., Argyropoulos, D., Muller, J. (2011). An innovative laser-based optical technology to predict moisture content and color of Bell pepper (*Capsicum annum*, L) during drying. *Proceedings of the ASABE Annual International Meeting S. 1-9, ASABE paper no 1111059, St. Joseph, ASABE*.
- ۸- قرقانی، ع. و صلح‌جو، س. (۱۳۹۳). شناخت عوامل موثر در تشکیل و راه‌کارهای افزایش رنگ قرمز میوه سیب، فصل‌نامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۵، ص ۱۳-۸.
- ۹- راحمی، م. (۱۳۸۴). فیزیولوژی پس از برداشت: مقدمه‌ای بر فیزیولوژی و جابجایی میوه، سبزی‌ها و گیاهان زینتی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه شیراز.
- 10- ElMasry, G., Wang, N. Vigneault, C. (2009). Detecting chilling injury in red delicious apple using hyperspectral imaging and neural networks. *Postharvest Biology and Technology*, 52(1), 1-8.
- 11- Fuleki, T., Cook, F. I., (1976). Relationship of maturity as indicated by flesh color to quality of canned clingstone peaches. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 9(1), 43-46.
- 12- Valero, C., Crisosto, C., Garner, D., Bowerman, E., Slaughter, D. (2003). Introducing nondestructive flesh color and firmness sensors to the tree fruit industry. In International Conference on Quality in Chains. An Integrated View on Fruit and Vegetable Quality, L. M. M., H. M., Tijssens. eds., Vol. 604 of *Acta*



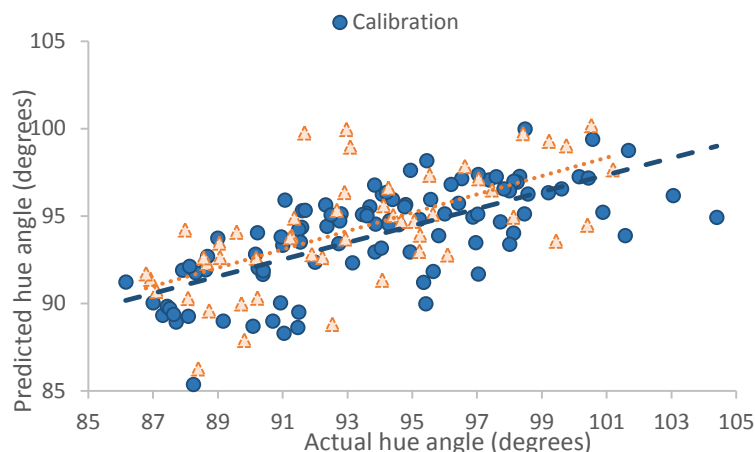
شکل (۱) تصاویر حاصل از برخورد نور متمرکز در طول موج ۶۵۰ نانومتر با بافت سیب رقم فوجی؛ الف) تصویر خام، ب) قطعه‌بندی ناحیه اشباع، پ) قطعه‌بندی ناحیه پس‌پراکنش، ت) حذف نویز با اعمال فیلتر میانه



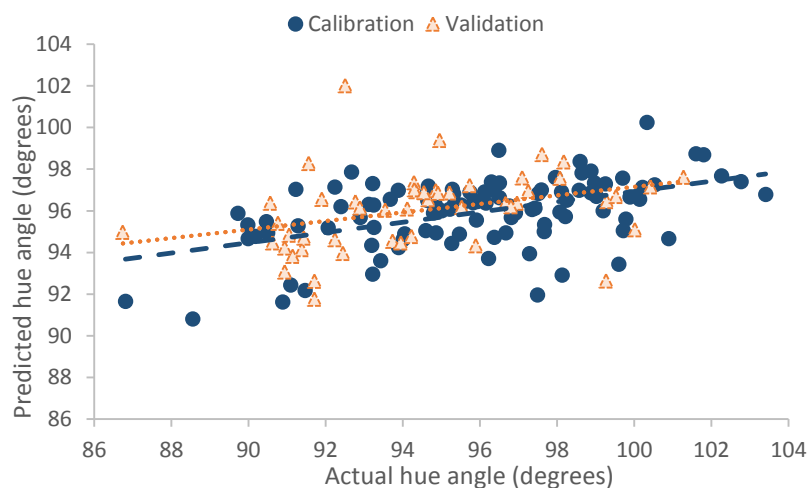
شکل (۲) دیاگرام پراکنش بین شاخص زاویه فام رنگ پوست و زاویه فام رنگ گوشت سیب رقم رد دلشس



شکل (۳) دیاگرام پراکنش بین شاخص زاویه فام رنگ پوست و زاویه فام رنگ گوشت سیب رقم فوجی



شکل (۴) ارتباط بین مقدار واقعی زاویه فام رنگ گوشت و مقدار پیش‌بینی شده این شاخص با روش تصویربرداری نور تک فام متمرکز در میوه سیب رقم رد دلشس با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره



شکل (۵) ارتباط بین مقدار واقعی زاویه فام رنگ گوشت و مقدار پیش‌بینی شده این شاخص با روش تصویربرداری نور تک فام متمرکز در میوه سیب رقم فوجی با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره

جدول (۱) نتایج حاصل از آزمون همبستگی بین زاویه فام رنگ گوشت میوه سیب و ویژگی‌های استخراج شده از ناحیه پس‌پراکنش*

ویژگی‌های آماری رقم سیب	میانگین	میانه	مد	دامنه تغییرات	انحراف معیار	ضریب تغییرات	ضریب کشیدگی	ضریب چولگی
رد دلشس	۰/۲۷۴	۰/۲۹۹	۰/۳۳۸	۰/۱۳۹	۰/۰۲۱	۰/۲۰۴	۰/۵۸۵	۰/۶۲۵
فوجی	۰/۲۲۶	۰/۲۳۰	۰/۱۶۸	۰/۱۴۷	۰/۱۵۵	۰/۰۸۴	۰/۳۶۱	۰/۳۸۴

* اعداد موجود در هر خانه جدول به ترتیب بیانگر میزان p-value (عدد خارج از پرانتز) و ضریب همبستگی (عدد داخل پرانتز) می‌باشد.