اندازه‌گیری برخی از خواص فیزیکی برگ سه نوع گیاه عشقه، ماگنولیا و گل رز به روش پردازش تصویر

حافظ جعفری[1*]، محمدهادی خوش تقاضا[2]، محمدعلی ابراهیمی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

* ایمیل نویسنده مسئول: hafezjafari@modares.ac.ir

چکیده

در کشاورزی مدرن امروزه، از ماشین‌های هوشمند به‌جای انسان استفاده شده است و پردازش تصویر یکی از مهم‌ترین روش‌های اتوماسیون است. شناسایی گیاهان مختلف از طریق برگ آن‌ها یکی از این موارد است. روش معمول برای این کار بازدید چشمی برگ‌ها و میوه‌هاست که این عمل وقت‌گیر بوده و به‌صرفه نیست. بنابراین استفاده از یک روش غیر مخرب که بتواند از طریق خواص فیزیکی گیاهان مختلف را شناسایی کند ضروری است. استفاده از ماشین بینایی می‌تواند در این مورد کارساز باشد. در این تحقیق سه نوع برگ از گیاه عشقه، ماگنولیا و گل رز موردمطالعه قرار گرفت. نمونه‌های برگ از باغ گیاه‌شناسی ملی ایران تهیه گردیده و تصویربرداری و وزن شدند. پس از پردازش تصاویر با متلب، مقادیر قطر بزرگ (طول)، قطر متوسط (عرض)، قطر کوچک (ضخامت) و مساحت به دست آمدند. داده‌ها به نرم‌افزار اکسل انتقال یافت و معنی‌داری آن‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد که با توجه به مقادیر R^2 ، می‌توان از پردازش تصویر برای اندازه‌گیری ابعاد برگ با دقت بالا استفاده کرد. همچنین رابطه معنی‌داری بین سطح پردازش‌شده و وزن برگ وجود داشت. بنابراین نتیجه گرفته شد که وزن برگ‌ها را نیز با توجه به مساحت حاصل از پردازش تصویر می‌توان محاسبه نمود.

واژگان کلیدی: بینایی ماشین، برگ، پردازش تصویر، خواص فیزیکی

مقدمه

سطح برگ محصولات کشاورزی یکی از فاکتورهای مهم به لحاظ بررسی‌های مختلف در گیاه به شمار می‌رود. در موضوعات مختلفی از قبیل اثر دوره‌های کنترل علف‌های هرز بر ساختار و توزیع سطح برگ در لایه‌های مختلف، اثر نسبت‌های مختلف سه

کود P، N و K بر میزان وزن تر و وزن خشک گیاه و ارزیابی شاخص‌های رشد، محاسبه میزان سطح برگ لازم و ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی این عامل در طراحی برخی ماشین‌های کشاورزی نظیر سم‌پاش‌ها اهمیت به سزایی دارد. برای اندازه‌گیری سطح خارجی انواع محصولات کشاورزی و فراورده‌های غذایی روش‌های مختلفی وجود دارد که از بین این روش‌ها استفاده از پردازش تصویر به‌عنوان دقیق‌ترین روش توصیه‌شده است. پیشرفت فنّاوری در حیطه‌ی پردازش تصویر، گستره وسیعی از کاربردهای ماشین بینایی را در کشاورزی دقیق بازنموده و از طرفی توسعه نرم‌افزارهای حرفه‌ای، باعث افزایش قابلیت تکنیک پردازش تصویر برای بازرسی کیفیت میوه‌ها و محصولات کشاورزی به‌ویژه در زمینه کنترل کیفیت و دسته‌بندی آن‌ها شده است.

عشقه با نام علمی (*Hedera helix*) گیاهی است گل‌دار و دولپه‌ای از سرده هدرا و از تیره عشقه‌یان که در صورت نزدیک بودن به یک درخت، دیوار، داربست یا صخره از آن بالا می‌رود و در غیر این صورت روی زمین می‌خزد. طول بزرگ‌ترین ساقه بالارونده یا خزنده این پیچک به پنجاه متر هم می‌رسد. گل‌های این گیاه به رنگ زرد مایل به سبز است که ۸ تا ۱۰ سال بعد از کاشت آن ظاهر می‌شوند (هاشمی،۱۳۸۰). ماگنولیا (*Magnolia*) به خانواده *Magnoliaceae* و راسته *Magnoliales* تعلق دارد. برگ درخت این گیاه دراز و باریک بوده و به‌عنوان گیاه زینتی استفاده می‌شود.

گل رز یا گل سرخ گیاهی چندساله از جنس رزا (*Rosa*) و خانواده *Rosaceae* هست که دارای بیش از ۱۰۰ گونه از گیاهان گل‌دار است. گل‌های رز در اندازه‌های مینیاتوری و بسیار کوچک و گل‌ها تا ارتفاع ۷ متر هم می‌رسند. منشأ اصلی این گل آسیای جنوب شرقی و ایران گزارش‌شده است. برگ‌های این گل کوتاه و ظریف بوده و رگه‌های آن قابل‌مشاهده می‌باشد. از این گل در عطرسازی، فرآوری چای، مربا، لیکور و مواد خوراکی دیگر استفاده می‌شود.

باگذشت زمان سیستم‌های غیر مخرب و کنترل خودکار برای تعیین کیفیت محصولات غذایی، جایگزین ارزیابی‌های انسانی شدند. سیستم‌های ماشین بینایی از این دسته از سیستم‌ها هستند. پیدایش این سیستم‌ها به سال ۱۹۶۰ بازمی‌گردد (Brosnsn, 2004). از سوی دیگر، پیشرفت فنّاوری در بخش پردازش تصویر، گستره وسیعی از کاربردهای ماشین بینایی را در کشاورزی دقیق ایجاد نموده و از طرف دیگر توسعه نرم‌افزارهای حرفه‌ای، باعث افزایش قابلیت تکنیک پردازش تصویر برای بازرسی کیفیت میوه‌ها و محصولات کشاورزی شده است. کاربردهای متعددی از بینایی ماشین در طبقه‌بندی انواع محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر مشاهده‌شده است.

در تحقیقی به محاسبه حجم سیب‌زمینی با استفاده از پردازش تصویر پرداخته شد. با استفاده از یک دوربین و یک آینه، از هر نمونه یک تصویر تهیه گردید. ابتدا تصاویر پردازش شد و سپس ابعاد سیب‌زمینی حسب موقعیت لبه‌ها در ماتریس محاسبه شد. در این تحقیق حجم سیب‌زمینی‌ها به دو روش تعیین گردید: روش اول به‌وسیله اقطار اصلی که با استفاده پردازش تصویر به دست

آمدند و روش دوم قطاع بندی میوه و محاسبه مجموع حجم قطاع‌ها؛ و با محاسبه حجم واقعی به روش تغییر مکان مایع میزان خطای دو روش به‌دست‌آمده و باهم مقایسه گردید (امیری پریان، ۱۳۸۶).

مندوزا و همکاران (۲۰۰۷) تحقیقی را بر روی طبقه‌بندی چیپس‌های سیب‌زمینی بر اساس سلیقه گروهی از مصرف‌کنندگان با روش رنگ و بافت انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که از دید مشتری بافت چیپس به رنگ آن ارجحیت دارد. حسنخانی (۱۳۸۷) به مطالعه خواص فیزیکی سیب‌زمینی با استفاده از فن پردازش تصویر پرداخت. در این تحقیق وی خصوصیاتی نظیر سطح، حجم، شکل و نقایص خارجی را موردبررسی قرار داد. تحقیقی درزمینه تعیین مشخصات فیزیکی ۳ رقم زیتون به نام ارقام ماری، گرد گلوله، روغنی انجام داده شد. برای هر نمونه از زیتون‌ها طول، عرض، ضخامت اندازه‌گیری شد؛ و بر اساس آن‌ها مشخصات فیزیکی مانند قطر هندسی و کرویت برای ۳ رقم فوق‌الذکر تعیین گردید. فرهادی (۱۳۹۰) ابعاد، جرم، حجم، چگالی، تخلخل و زاویه شیب طبیعی و قرارگیری مغز گردو را به‌منظور شناسایی دانه‌های معیوب به روش ماشین بینایی در یک رقم ایرانی موردمطالعه قرارداد.

در پژوهشی از پردازش تصویر و شبکه عصبی برای شناسایی و طبقه‌بندی برنج ازنظر شکل و اندازه استفاده شد. برای این کار از چندین شبکه عصبی استفاده شد و ۱۳ ویژگی از تصویر دانه‌ها ازجمله اقطار و مساحت و غیره استخراج گردید که مقادیر دقت برای اندازه، شکل و واریته به ترتیب ۷۶/۹۸، ۶۷/۹۶، ۵۸/۹۴ درصد بدست آمدند (لواسانی،۱۳۸۷). در تحقیقی از پردازش تصویر برای پیگیری تغییرات رنگی سطح شکلات شیری در طول نگهداری استفاده کردند. شکلات شیری در شرایطی تشدید شده برای انتقال چربی به سطح شکلات در بازه‌های زمانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. این محققان تصاویر RGB گرفته‌شده را ابتدا به مدل CIE XYZ و سپس به مدل CIE L*a*b با استفاده از نرم‌افزار MATLAB تبدیل کردند. آن‌ها همچنین همبستگی بین مقادیر رنگی حاصل از پردازش تصویر را با مقادیر اندازه‌گیری شده با دستگاه هانتر لب بررسی کردند (Briones et al., 2005).

امید و همکاران (۲۰۱۰) تحقیقی به‌منظور تخمین حجم و جرم مرکبات با استفاده از روش پردازش تصویر انجام دادند. در این روش از دو دوربین برای دستیابی به تصاویر قائم استفاده گردید. آن‌ها برای اندازه‌گیری حجم، تصویر میوه را به تعدادی قطاع بیضی‌شکل تقسیم کردند. مجموع حجم این قطاع‌ها حجم میوه را تشکیل می‌دادند.

هدف از انجام این تحقیق بررسی توانایی تشخیص برگ‌ها بر اساس خواص فیزیکی آن‌ها، با روش پردازش تصویر می‌باشد. تا بتوان از این ویژگی برای تشخیص گیاهان مختلف استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور محاسبه سطح برگ درختان به روش‌های مختلف انجام شد. برای این کار از سه نوع برگ ماگنولیا، رز و عشقه استفاده شد. از هر نمونه به تعداد ۱۰ عدد به‌طور تصادفی از باغ گیاه‌شناسی ملی ایران انتخاب و به آزمایشگاه خواص بیولوژیکی محصولات کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد. ابتدا قطر اصلی و فرعی برای هر نمونه توسط کولیس الکتریکی با دقت ۰/۰۵ اندازه‌گیری شد. جرم تک‌تک نمونه‌ها توسط ترازوی AND مدل GF-6000 با دقت توزین معادل ۰/۰۱ گرم محاسبه گردید (شکل ۱). برای محاسبه مساحت واقعی برگ‌ها از دستگاه مساحت سنج (شکل ۲) موجود در آزمایشگاه گروه زراعت با دقت ۱cm^2 استفاده شد. این دستگاه از طریق پورت USB به رایانه وصل بود و نور موردنیاز توسط یک منبع نور بر روی دستگاه تنظیم گردید. برگ‌ها داخل دستگاه قرارگرفته و از بالا توسط یک سطح شیشه‌ای تحت‌فشار قرار گرفتند تا خطای آزمایش به حداقل برسد.

شکل ۱. وسایل اندازه‌گیری جرم و اندازه برگ‌ها

شکل ۲. مساحت سنج

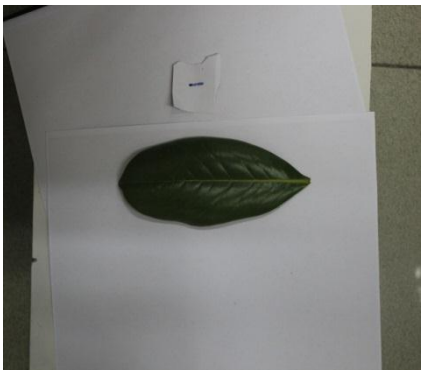
مساحت هر نمونه در رایانه ثبت و اطلاعات موردنیاز ذخیره شد (شکل ۲). عملیات تصویربرداری از نمونه‌ها پس از محاسبه مساحت واقعه آن‌ها توسط دستگاه مساحت سنج انجام شد. برای تصویربرداری از اتاقکی که دیواره‌های آن با پارچه مشکی پوشیده بود، استفاده شد تا بازتاب نور در فضا ایجاد نشود و از ایجاد نویز در تصاویر جلوگیری گردد. برای ایجاد نور از لامپ فلوئورسنت استفاده شد. تصویربرداری با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon eos 700D) با رزولوشن ۹.۵ مگاپیکسل و لنز CCD انجام شد؛ که با پورت USB به رایانه وصل بود. دوربین در فاصله ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌ها و روی یک‌پایه ثابت قرار گرفت و تصاویر موردنظر گرفته شد. عملیات پردازش تصویر توسط نرم‌افزار MATLAB 2013 و در چهار مرحله انجام گردید. به این منظور ابتدا تصویر گرفته‌شده فراخوانی شد. در مرحله دوم تصویر فراخوانی شده از زمینه خود جدا گشت. در مرحله سوم قالب تصویر به‌صورت دودویی تغییر یافت. برای این کار، به زمینه تصویر عدد صفر و به نمونه اصلی عدد یک داده شد. درنهایت رنگ نمونه به‌صورت سفید و رنگ زمینه به‌صورت سیاه نمایش داده شد (شکل ۲). در مرحله چهارم به کمک دستورات موجود در نرم‌افزار متلب مقدار مساحت، قطر اصلی و فرعی به‌صورت تعداد پیکسل نمایش داده شد. برای تبدیل ابعاد پیکسل به واحد متریک، ضریب موردنظر با توجه به دوربین

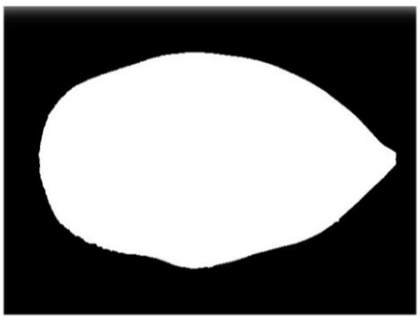
استفاده‌شده در این تحقیق به دست آمد. به این منظور تصویر دایره سیاهی به قطر ۵۹/۷ میلی‌متر در داخل مربعی بـه ابعـاد ۱۰×۱۰ گرفته شد. سپس طبق روش گفته‌شده مساحت آن به‌صورت پیکسل مشخص گردید. اندازه هر پیکسل به‌صورت متریـک از تقسـیم مساحت واقعی دایره (رابطه ۱) به مساحت تعیین‌شده توسط نرم‌افزار به دست می‌آید.

$$S=\pi D^2/4 \quad (۱)$$

مساحت، قطر اصلی و فرعی برگ‌ها که توسط پردازش تصویر به دست آمد بود، با روش ذکرشـده بـه واحـد متریـک تبـدیل و بـا داده‌های واقعی مقایسه شد. درنهایت رابطه بین جرم و مساحت واقعی برگ‌ها توسط نرم‌افزار Microsoft Excel 2013 بـه دسـت آمد.

نتایج و بحث





شکل ۳. الف) تصویر اصلی ب) تصویر پردازش‌شده

جدول ۱. ابعاد، جرم، مساحت واقعی و تصویر برگ ماگنولیا

شماره	قطر بزرگ (cm)	قطر متوسط (cm)	قطر کوچک (cm)	مساحت برگ (cm^2)	مساحت تصویر (cm^2)
۱	۱۵۶/۵۶	۵۶/۸۲	۳/۱۴	۷۵	۷۳/۰۲
۲	۱۵۸/۶	۶۱/۹۳	۲/۹	۸۰	۷۸/۲۷
۳	۱۶۰/۶	۶۰/۲۹	۳/۷۱۸	۸۸	۸۵/۲۰
۴	۱۵۷/۴۳	۶۵/۵۵	۲/۷۶۷	۶۶	۶۵/۱۵
۵	۱۵۸/۷	۵۹/۳۹	۲/۵۴۴	۷۷	۷۶/۶۶
۶	۱۴۵/۸۲	۵۸/۱۵	۲/۵۴۶	۶۵	۶۴/۲۸
۷	۱۶۱/۵۱	۶۷/۶۶	۳/۳۱۵	۸۷	۸۶/۷۰
۸	۱۵۷/۴۱	۵۹/۲۷	۲/۹۶۳	۸۸	۸۶/۲۰
۹	۱۵۶/۳۷	۵۹/۲	۲/۷۲۸	۵۲	۵۱/۵۷
۱۰	۱۴۰/۳۶	۴۸/۴۸	۲/۰۴۵	۷۰	۶۹/۱۷

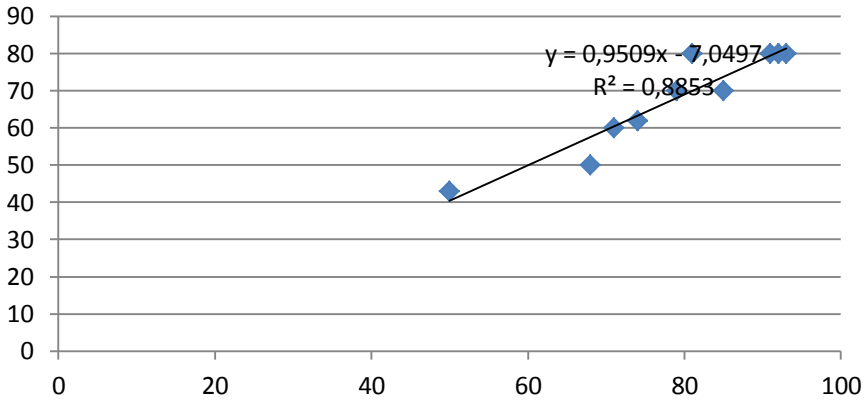
جدول ۲. ابعاد، جرم و مساحت واقعی و تصویر برگ گل رز

شماره	(cm) قطر بزرگ	(cm) قطر متوسط	(cm) قطر کوچک	(cm^2) مساحت برگ	(cm^2) مساحت تصویر
۱	۷۴/۴۹	۴۸/۴۵	۰/۵۰۸	۲۵	۲۴/۵۲
۲	۶۶/۴	۵۴/۴۱	۰/۵۱۵	۱۸	۱۹/۲
۳	۸۲/۳۳	۶۴/۳۵	۰/۹۶۵	۴۱	۳۹/۶۳
۴	۴۸/۸۹	۳۶/۴۸	۰/۲۵	۱۳	۱۲/۹۱
۵	۶۱/۴۸	۴۹/۹۱	۰/۵۴۱	۲۵	۲۴/۴۳
۶	۷۶/۴۲	۶۸/۲۸	۰/۸۵۶	۳۹	۳۸/۶۹
۷	۵۷/۲۸	۴۶/۲۲	۰/۴۴۸	۲۰	۱۹/۳۴
۸	۵۹/۸۸	۵۳/۵۳	۰/۵۵۸	۲۵	۲۴/۴۲
۹	۷۱/۵۴	۶۰/۸۶	۰/۷۴۷	۳۷	۳۶/۰۳
۱۰	۶۲/۱۸	۴۴/۴۹	۰/۵۱	۲۳	۲۱/۹۹

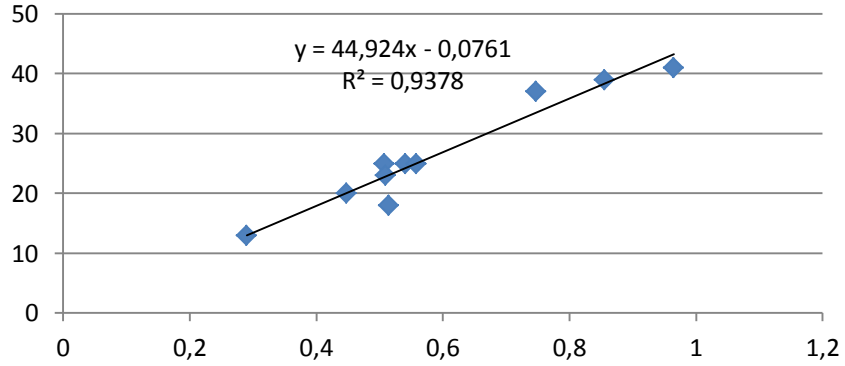
جدول ۳. ابعاد، جرم و مساحت واقعی و تصویر برگ عشقه

شماره	(cm) قطر بزرگ	(cm) قطر متوسط	(cm) قطر کوچک	(cm^2) مساحت برگ	(cm^2) مساحت تصویر
۱	۹۹/۶۳	۶۱/۸۷	۰/۸۴۲	۴۵	۴۳/۱۹
۲	۸۱/۱۵	۹۸/۴۱	۱/۰۶۳	۵۵	۵۶
۳	۶۳/۱۲	۹۲/۳۸	۱/۱۱۱	۴۹	۴۸/۸۲
۴	۱۰۱/۵۴	۱۰۹/۰۴	۱/۷۴۸	۸۵	۸۳/۸۰
۵	۹۰/۴۳	۷۹/۸	۰/۹۲۹	۴۵	۴۶/۳۰
۶	۷۱/۶۳	۱۱۹/۵	۱/۷۳۸	۸۰	۷۸/۸۰
۷	۷۳/۴۵	۸۸/۷۹	۰/۹۰۴	۵۰	۵۰/۶
۸	۱۰۶/۶	۱۲۱/۵۱	۲/۰۲۵	۸۷	۸۶/۲۷
۹	۹۲/۰۱	۸۰/۷۵	۱/۰۵	۵۳	۵۱/۶۰
۱۰	۱۲۱/۴۴	۸۱/۱۱	۱/۴۶۶	۷۰	۶۹/۱۷

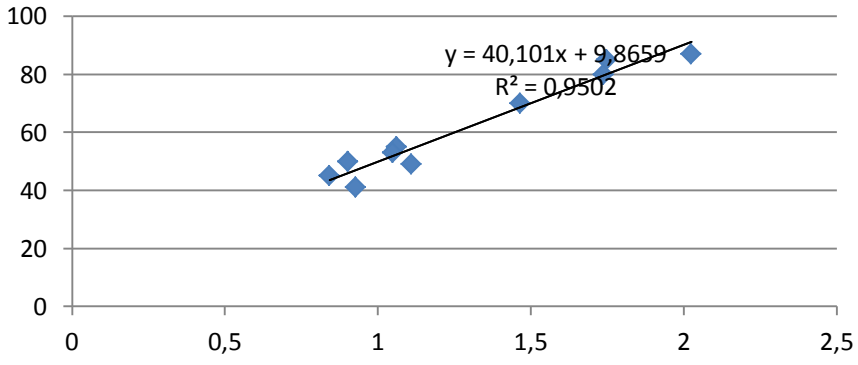
رابطه بین وزن با مساحت واقعی نمونه‌ها به‌طور جداگانه در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ گزارش‌شده‌اند. هر سه گروه برگ‌ها توسط مدل خطی دارای ضریب رگرسیون قابل‌اطمینانی می‌باشند.



شکل ٤. رابطه بین جرم برگ ماگنولیا با مساحت تصویر

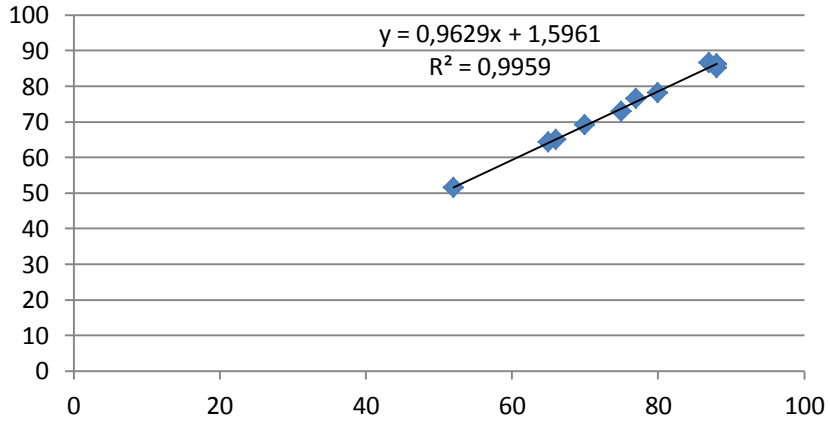


شکل ٥. رابطه بین جرم برگ گل رز با مساحت تصویر

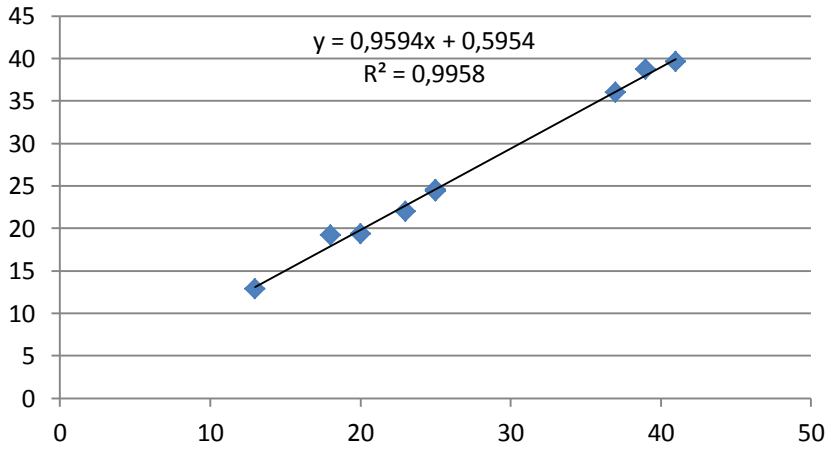


شکل ٦. رابطه بین جرم برگ عشقه با مساحت تصویر

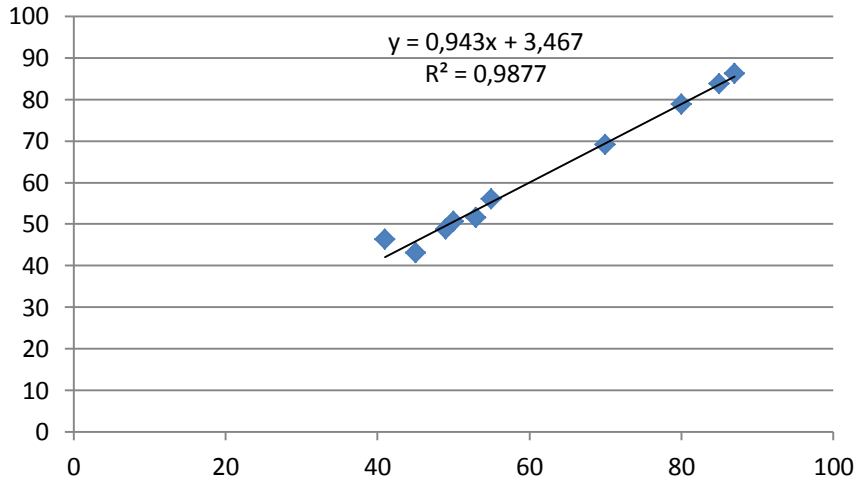
رابطه بین مساحت اندازه‌گیری شده توسط دستگاه مساحت سنج و روش پردازش تصویر در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ آمده است. هر سه گروه برگ‌ها توسط مدل خطی مدل‌سازی شده و ضریب رگرسیونی بالایی دارند. این نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین داده‌های به‌دست‌آمده از دستگاه مساحت‌سنج با روش پردازش تصویر می‌باشد. از مزایای این روش، علاوه بر دقت کافی انجام آزمایش‌ها، کاهش زمان محاسبات و کاهش هزینه‌ها هست.



شکل ۷. رابطه بین مساحت واقعی و مساحت به‌دست‌آمده از روش پردازش تصویر برای برگ ماگنولیا



شکل ۸. رابطه بین مساحت واقعی و مساحت به‌دست‌آمده از روش پردازش تصویر برای برگ گل رز



شکل ۹. رابطه بین مساحت واقعی و مساحت به‌دست‌آمده از روش پردازش تصویر برای برگ عشقه

نتیجه‌گیری

۱. نتایج حاصل از مقادیر قطر اصلی، قطر فرعی، جرم و مساحت واقعی برای هر سه گروه از برگ‌ها موردمطالعه نشان داد، بزرگ‌ترین ابعاد و مساحت نمونه‌ها متعلق به گیاه ماگنولیا و بعد آن به ترتیب عشقه و گل رز می‌باشد.

۲. با توجه به R^2 بالا در هر سه نوع برگ، مساحت واقعی با مساحت به‌دست‌آمده از پردازش تصویر مطابقت بالایی دارند. از سوی دیگر با توجه به R^2 بالا در هر سه نوع برگ، مساحت واقعی با وزن مطابقت بالایی دارند؛ که در این میان بیشترین همبستگی مربوط به برگ ماگنولیا هست. با مقایسه اقطار به‌دست‌آمده از روش پردازش تصویر با قطرهای واقعی برگ ها می توان نتیجه گرفت که این قطرها بسیار نزدیک هم هستند که حاکی از دقت بالای پردازش تصویر می‌باشد.

۳. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت روش پردازش تصویر، قابلیت بالایی در اندازه‌گیری سطح برگ داراست. همچنین می‌توان با استفاده از مساحت حاصل از پردازش تصویر وزن برگ‌ها را نیز تشخیص داد.

منابع

خزائی پور، ق.۱۳۸۴. زیست‌شناسی و گرده‌افشانی در کیوی، انتشارات نشر آموزش کشاورزی.

لواسانی، ث.۱۳۸۷. بررسی تأثیر اندازه میوه و مدت‌زمان پس از برداشت بر برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی میوه زیتون در ارقام متداول. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی.

امیری پریان ج.، *خوش تقاضا م.ه.*، کبیر ا. و مینایی س. ۱۳۸۶. براورد حجم سیب زمینی با استفاده از پردازش تصویر. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۸ (۴) ۱۲۶-۱۱۳.

حسنخانی، ر.۱۳۸۷. بررسی خواص فیزیکی محصول سیب‌زمینی با استفاده با استفاده از سیستم ماشین بینایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

فرهادی، ر.۱۳۹۰. تعیین خواص فیزیکی مغز گردو در یک رقم ایرانی و امکان شناسایی دانه‌های معیوب به روش ماشین بینایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی.

راهنمای کامل زنبورعسل. دکتر مسعود هاشمی. انتشارات فرهنگ جامع ۱۳۸۰.

Brosnan, T.,& Sun, D.w.2004.Improving quality inspection of food products by computer vision_a review . journal of food engineering, 61(1),3-16.

Briones, V. and J. M.Aguilera.2005.Image analysis of changes in surface color of chocolate. Food Research International ,38:87–94.

Dirr, M.A. 1990. Manual of Woody Landscape Plants. Stipes Publishing Co., Champaign, Illinois, pp. 1007.

Mendoza, F.,Dejmek, P.,Aguilera,.J.M.2007. oloure and image texture analysis in classificayion of commercial potato chips.In: Food researchinternational.40:1146-1154.

Mohseni Nik,n. Zabihi, H.R and Asgharzadeh,a.2011.Response of cut rose flower (*Rosa hybrida*) to biofertilizer applicationin hydroponic system.vol. 2, no. 8.

Omid, M., Khojastehnazhand, M., Tabatabaeefar, A. 2010. Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique, Journal of Food Engineering, 100: 315–321.

Pearson, T. schazki, T.F.1998. Machine vision system for automated detection of aflatoxin-contaminated pistachios,food chem, 46:2248-2252.