

Detecting the Honeydew of Common Pistachio Psylla Pest by Using Image Processing Technique

MOHAMMD GHORBANI¹, MOHAMMADMEHDI MAHARLOOEI^{1*}, KAMAL AHMADI²

1-Biosystems Engineering Dept., School of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

2-Plant Pathology Department, School of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

(Received: Feb. 18, 2020- Revised: Dec. 21, 2020- Accepted: Dec. 26, 2020)

ABSTRACT

Pests and disease control have always been one of the main concerns and challenges of farmers and growers. The use of machine vision and image processing has greatly helped growers in pest management. The purpose of this study was to use image processing technique to detect honeydew produces by pistachio psylla and find the relation between the percent of leaf coverage by honeydew and pistachio psylla infestation. The leaves were collected from the research orchard with various infestation rates. Leaf samples were imaged by three cameras with 7, 13 and 20.7 MP resolutions at the same exposure conditions in imaging chamber with controlled lighting conditions. Images were processed in the Matlab R2019a using Watershed and Otsu segmentation algorithms to find the percentage of leaf surface covered by honeydew. The covered area was calculated using predefined functions in the image processing toolbox. A graphical user interface (GUI) was also designed to make the program more user friendly. Considering TPR mean value of 0.95 and total accuracy of 0.88 for watershed segmentation method showed its acceptable performance in discriminating honeydew out of other objects in images. Coefficient of determination and regression equation between pest population (obtained from manual count by expert) and percentage of leaf area covered by honeydew were obtained for different cameras. Camera with 20.7 MP resolution achieved the best performance with coefficient of determination 0.93 and regression equation $y=1.03 x$. The results from other cameras were also satisfactory.

Keywords: Honeydew, Image processing, Lighting condition, Segmentation, Watershed

شناسایی شرکک ناشی از آفت پسیل پسته با استفاده از تکنیک پردازش تصویر

محمد قربانی^۱، محمد مهدی مهارلوئی^{۱*}، کمال احمدی^۲

۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲. گروه مهندسی گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۶)

چکیده

مبارزه با آفات و بیماری‌ها همواره جز دغدغه‌های اصلی کشاورزان بوده است. تشخیص به موقع آفت می‌تواند در روش مبارزه، حفظ محیط زیست و سلامت انسان بسیار موثر باشد. استفاده از ماشین بینایی و پردازش تصویر با ورود به عرصه کشاورزی کمک قابل توجهی در مبارزه با آفات داشته است. هدف پژوهش حاضر استفاده از این تکنیک برای تشخیص شرکک ناشی از آفت پسیل پسته بوده است. برگ‌ها با سطوح متفاوتی از شرکک از باغ جمع‌آوری شدند و تصویربرداری بوسیله دوربین‌هایی با وضوح‌های ۷، ۱۳ و ۲۰/۷ مگاپیکسل و در شرایط نوردهی یکسان در جعبه تصویربرداری انجام شده است. تصاویر در جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب ویرایش ۲۰۱۹الف با استفاده از الگوریتم‌های قطعه‌بندی حوضه آبریز و آتسو برای شناسایی شرکک‌ها پردازش و درصد مساحت شرکک‌دار برگ محاسبه شد. برای سهولت کار کاربران یک رابط گرافیکی کاربر نیز برای پردازش تصاویر و محاسبه مساحت شرکک‌دار طراحی گردید. میانگین نرخ طبقه‌بندی درست در ماتریس آشفتگی برای قطعه‌بند حوضه آبریز برای تشخیص شرکک‌ها ۰/۹۵ و صحت کلی میانگین ۰/۸۸ بدست آمد. ضریب تبیین و معادله رگرسیونی بین جمعیت آفات و سطوح شرکک‌دار نمونه‌ها برای دوربین‌های مختلف بدست آمد. دوربین با وضوح ۲۰/۷ مگاپیکسل با ضریب تبیین $R^2 = 0/93$ و معادله رگرسیونی $y = 1/03x$ توانست بهترین عملکرد را به خود اختصاص دهد. نتایج حاصل از سایر دوربین‌ها نیز قابل قبول بوده و در شرایط متفاوت می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، حوضه آبریز، شرایط نوردهی، شرکک، قطعه‌بندی

مقدمه

آفت پسیل پسته باعث تاثیر منفی بر عملکرد محصول می‌شود. عسلک (مواد زاید) دفع شده از انتهای بدن پوره‌های این آفت در مقابل هوا خشک شده و تبدیل به دانه‌های مدور شکرمانندی بنام شرکک می‌شود که روی برگ‌ها و در حالت شدیدتر بیماری، در زیر درختان نیز مشاهده می‌شود. این مواد چسبنده باعث جذب گردوغبار شده و شاخ و برگ‌های درختان را بدمنظره می‌کند؛ از سویی دیگر شرکک ناشی از آفت پسیل پسته روزه‌های سطح برگ را پوشانده و باعث کاهش تبخیر و تعرق گیاه می‌شود که در نتیجه، عمل فتوسنتز و رشد درخت را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Mehrnezhad, 2014).

علائم اولیه خسارت شرکک در درختان پسته به صورت ایجاد پوشش در سطح برگ‌ها و در مراحل پیشرفته‌تر زرد شدن، خشک شدن، پیچیدگی برگ‌ها و برگ‌ریزان پیش از موعد مقرر در درختان پسته می‌باشد. در هنگام طغیان شدید آفت در فصل تابستان، در صورتی که مبارزه موثر انجام نگیرد خسارت شدیدتر خواهد بود و جوانه‌های زایشی سال آینده را تحت تاثیر قرار داده

و موجب ریزش آن‌ها خواهد شد. از منظر کارشناسان در صورتی که جمعیت آفت پسیل پسته به آستانه اقتصادی رسیده باشد باید مبارزه با آن را شروع کرد و از آفت کش‌ها استفاده نمود. میزان و مقدار استفاده از آفت کش‌ها معمولاً توسط متخصصان و مشاوران به باغ‌دارها توصیه می‌شود (Mehrnezhad, 2014). شناسایی شرکک و تخمین میزان خسارت ناشی از آن در داخل باغ معمولاً به صورت بصری انجام می‌گیرد که امکان بروز خطا در آن خیلی زیاد است. شمارش آفت در محیط‌های آزمایشگاهی نیز نیازمند وقت زیاد، صرف هزینه و وجود امکانات آزمایشگاهی می‌باشد. بنابراین توسعه یک روش سریع، آسان و ارزان برای شناسایی شرکک ناشی از آفت پسیل ضروری به نظر می‌رسد. بکارگیری این روش‌ها با توجه به پیشرفت‌های سریع در فناوری رایانه‌ها، بینایی ماشین و پردازش تصویر این امکان را برای ما فراهم کرده است (Omran et al., 2014).

پیشینه تحقیق

محققان و پژوهشگران حوزه‌ی کشاورزی در سال‌های اخیر در زمینه مبارزه با آفات و شناسایی بیماری‌ها بیشتر توجه خود را

کشاورزان و محققین را برطرف نماید. هدف از پژوهش حاضر، ارائه الگوریتم مناسب برای شناسایی شکرک ناشی از آفت پسیل پسته در شرایط آزمایشگاهی و بررسی ارتباط سطح شکرک با جمعیت آفت روی برگ درخت پسته در شرایط متفاوت شیوع آفت و استفاده از دوربین‌های متداول بازار می باشد.

مواد و روش‌ها

برداشت نمونه برگ‌ها

با توجه به این که رشد جمعیتی آفت پسیل پسته در فصل تابستان نسبت به سایر فصول سال بیشتر است و بر روی سطوح برگ‌ها مقادیر بیشتری از شکرک قابل مشاهده است لذا با توصیه متخصصین گیاه‌پزشکی، این فصل از سال برای تهیه نمونه‌ها انتخاب شد. برگ‌های نمونه برای ایجاد تنوع در میزان آلودگی طبیعی به آفت، در سه بازه زمانی برای انجام آزمایش در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور از باغ‌های تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان جمع‌آوری شدند. در اواخر فصل تابستان به دلیل رشد جمعیتی زیاد آفت، شاهد مقادیر بیشتری از شکرک بر روی برگ‌ها هستیم. برگ‌های نمونه تحت شرایط کنترل شده (در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار در داخل محفظه کائوچویی) برای شمارش آفت به آزمایشگاه بخش گیاه‌پزشکی و عکس‌برداری به داخل آزمایشگاه بخش بیوسیستم منتقل می‌شدند. تعداد سه درخت به عنوان نمونه در باغ انتخاب شد و از هر کدام تعداد ۱۰ برگ به صورت تصادفی انتخاب و جدا شد.

برداشت تصاویر و شمارش آفت

شمارش آفات به وسیله دستگاه بینوکولار (مدل SZH Olympus ساخت شرکت المپوس، آلمان) انجام می‌گرفت و آفات در هر مرحله‌ای از رشد که قرار داشتند مورد شمارش قرار می‌گرفتند. نمایی از دستگاه بینوکولار در شکل (۱) نشان داده شده است. پس از شمارش، نمونه‌ها به منظور تصویربرداری به جعبه (اتاقک) تصویربرداری در آزمایشگاه بخش مکانیک بیوسیستم انتقال داده می‌شدند. برای نورپردازی اتاقک از دو عدد لامپ رشته‌ای ۴۰ وات و دو عدد لامپ ال ای دی مهتابی ۱۰ وات استفاده شد. استفاده از این ترکیب نوری در اتاقک به منظور شبیه‌سازی نور طبیعی محیط باغ انجام شد. نمایی از اتاقک تصویر برداری در شکل (۲) نشان داده شده است. نمونه‌ها بر روی یک جسم مکعبی شکل که سطح آن با یک ورق کاغذی سیاه رنگ پوشانده شده بود قرار داده می‌شدند. دلیل انتخاب این سطح سیاه رنگ ایجاد تضاد رنگی بهتر در زمان تصویر برداری بود. تصاویر از بالای جعبه تصویر برداری و از یک فاصله ۳۰ سانتی‌متری ثابت گرفته می‌شدند،

معطوف به استفاده از فناوری‌های نوین مانند ماشین بینایی و پردازش تصویر کرده‌اند که نشان از پتانسیل عملی و واقعی استفاده از این فناوری در کشاورزی می‌باشد. کاربرد بینایی ماشین و پردازش تصویر برای شناسایی بیماری‌های گیاهی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Maharlooei *et al.*, 2017; Cho *et al.*, 2007).

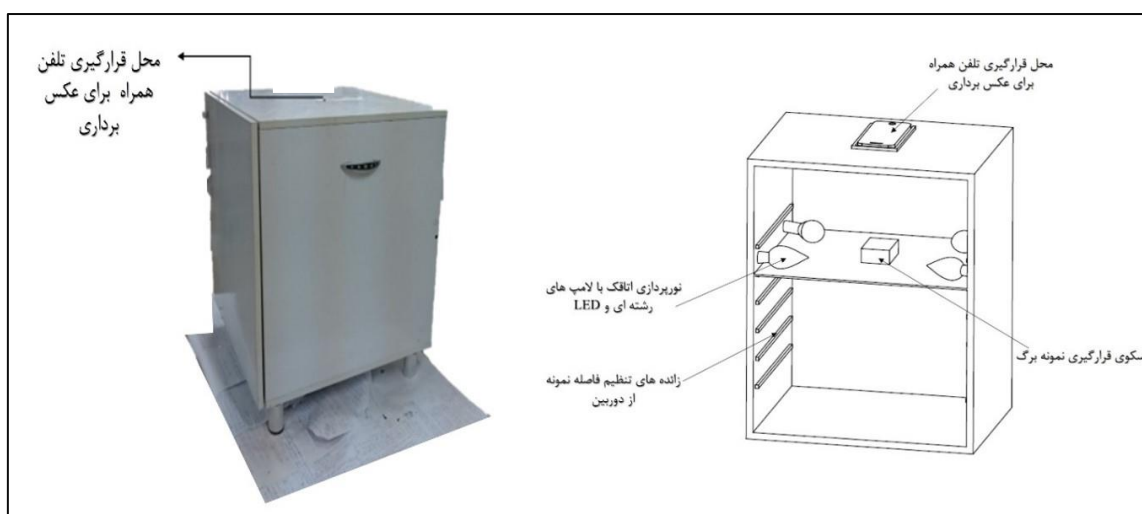
بینایی ماشین، تصاویر گرفته شده را دیجیتال سازی، پردازش و آنالیز می‌کند و اطلاعات ضروری را از تصاویر استخراج و در اختیار کاربر قرار می‌دهد (Brosnan & Sun, 2004).

در پژوهشی (Qing *et al.* (2014) با توسعه الگوریتمی به شناسایی تراکم جمعیت شپشه برنج (*Sitophilus oryzae*) که در بین محصولات در شالیزارهای برنج مشاهده می‌شد، پرداختند و در نتایج خود دقت شناسایی ۸۵/۲٪ را گزارش کردند. الگوریتم پردازش تصویری که توسط Cho *et al.* (2007) توسعه داده شده بود به شناسایی نوعی مگس سفید و آفت تریپس بر مبنای شکل و ابعاد آن‌ها می‌پرداخت. این محققین موفق شده بودند در تحقیقات خود به دقت ۱۰۰٪ برسند. در سال ۲۰۱۴ محققان موفق به طراحی الگوریتمی سریع و قابل اعتماد برای شناسایی مگس سفید (*Whiteflies*) بر روی برگ‌های گیاه سویا شدند آن‌ها توانستند این نوع از آفت را در مراحل مختلف رشدی آن با دقت بالا شناسایی و تشخیص دهند (Barbedo, 2014). در تحقیقی (Mongkolchart & Ketch (2014) با استفاده از تکنیک پردازش تصویر موفق به توسعه الگوریتمی شدند که با استفاده از آن می‌توانستند شپشه برنج را که در میان محصول برنج مشاهده می‌شد شناسایی کنند و برای نتایج خود دقت ۶۹/۷٪ را گزارش کنند. در پژوهشی دیگر پژوهش‌گران توانستند بر مبنای تکنیک پردازش تصویر به شناسایی و شمارش آفت شته سویا در شرایط آزمایشگاهی بپردازند (Maharlooei *et al.*, 2017). آنان در تحقیقات خود، شناسایی مواردی مانند لکه‌های برگ و اشیاء دیگر را بر روی برگ گیاه سویا نیز در نظر گرفته بودند و توانستند دقت ۹۶٪ را برای نتایج تحقیقات خود گزارش کنند. در یک مطالعه دیگر (Omrami *et al.* (2014) موفق به تشخیص بیماری‌های برگ درخت سیب با استفاده از پردازش تصویر شدند، نتایج تحقیقات آن‌ها نشان از دقت بالای این روش در شناسایی بیماری داشت. مرور نتایج محققان و پژوهشگران گذشته نشان می‌دهد که مدل‌ها و الگوهای ارائه شده در شناسایی بیماری‌ها و آفات موفق عمل کرده و توانسته‌اند دقتی بین ۶۹/۷٪ تا ۱۰۰ درصد را از خود نشان بدهند، با این حال بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که مدل‌های ارائه شده وقت‌گیر، خسته‌کننده است، بنابراین استفاده از روشی سریع، قابل اعتماد و خودکار می‌تواند نیاز



شکل ۱- دستگاه بینوکولار جهت شمارش آفات

فاصله ثابت بر مبنای آزمون و خطا بدست آمده است، به طوری که در این فاصله کمترین میزان نویز و تارشدگی در تصاویر وجود داشت. در این پژوهش از دوربین‌هایی استفاده شد که دارای کمترین تنظیمات برای کاربر باشد و با قیمت پایین در دسترس همه افراد باشد. تصاویر گرفته شده بدون هیچ گونه تغییر نرم-افزاری با فرمت JPEG به عنوان ورودی به الگوریتم وارد می‌شدند. مشخصات دوربین‌های مورد استفاده در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۲- نمایی از اجزای جعبه تصویر برداری و موقعیت لامپ‌های نور برداری

جدول ۱- مشخصات دوربین‌های مورد استفاده

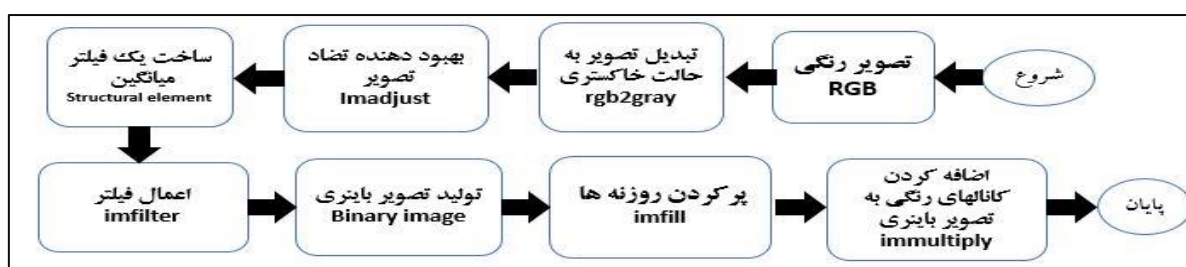
فاصله کانونی	ISO	رزولوشن (مگاپیکسل)	مدل	نوع دوربین
f/ ۱/۲	۱۰۰	۲۰/۷	Xperia Z3	سونی
f/ ۱/۹	۵۰	۱۳	Galaxy J7	سامسونگ
f/ ۱/۸	۵۰	۷	Galaxy Note 2	سامسونگ

است وجود آن‌ها بر روی عملکرد الگوریتم تاثیر بگذارد و همچنین کاهش زمان پردازش، می‌تواند از جمله دلایل این کار باشد (Maharlooei et al., 2017; Cho et al., 2007). شکل (۳) مراحل حذف پس زمینه را به وسیله الگوریتم در پژوهش حاضر نشان می‌دهد.

پیش پردازش تصاویر

حذف پس زمینه

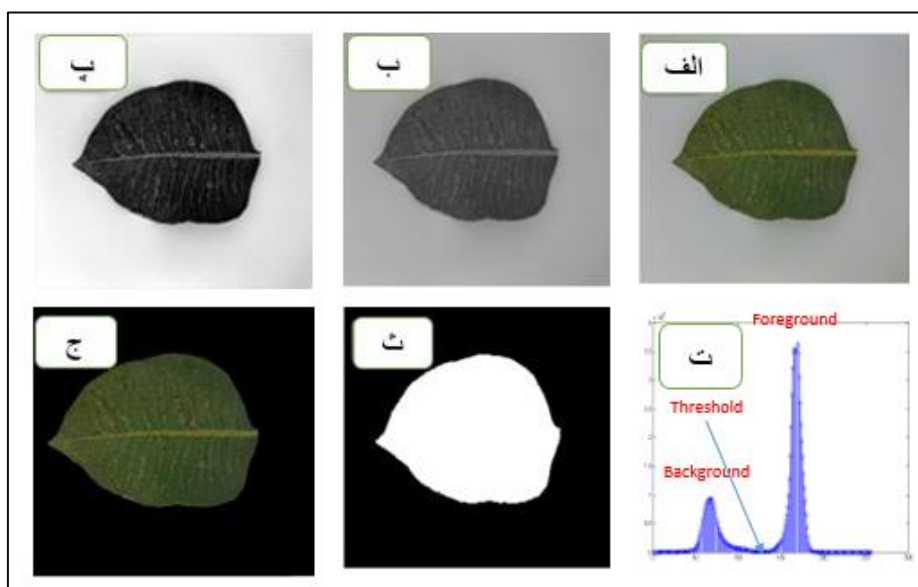
حذف پس زمینه تصاویر معمولاً اولین قدمی است که در پردازش تصویر مربوط به کاربردهای کشاورزی انجام می‌گیرد. حذف اشیا اضافی مانند گردوغبار و سایه‌های بوجود آمده در لبه‌ها که ممکن



شکل ۳- مراحل حذف پس‌زمینه تصویر

ریزی که بر روی سطح برگ وجود دارد و بر روی پردازش تاثیرگذار هستند از دستور imfill برای پر کردن این روزنه‌ها استفاده شده است. در نهایت تصویر باینری حاصل به هر یک از کانال‌های رنگی تصویر RGB با استفاده از دستور immultiply ضرب شده و تصویر نهایی به صورت تصویری رنگی که پس زمینه آن حذف شده بدست می‌آید. مراحل مختلف عملکرد الگوریتم در شکل (۴) نشان داده شده است.

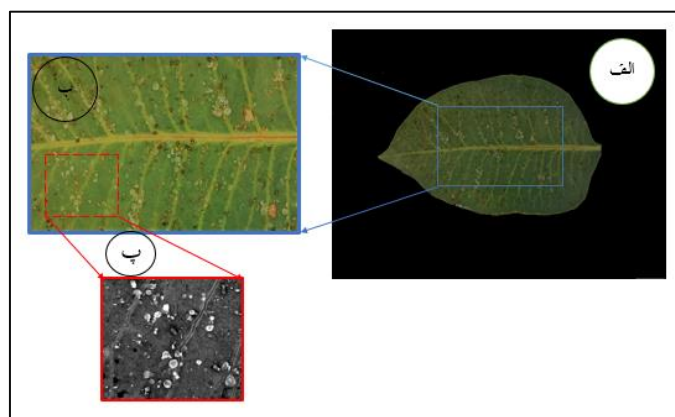
ابتدا تصویر رنگی ذخیره شده در حافظه دوربین وارد الگوریتم شده، سپس به تصویر سطح خاکستری تبدیل می‌شود و با استفاده از دستور imadjust که یک بهبود دهنده تضاد^۱ تصویر است، تضاد تصویر به صورت خودکار بهبود می‌یابد. در مرحله بعد، تصویر با استفاده از دستور im2bw و دستور graythresh به یک تصویر دودویی (باینری) مطلوب تبدیل می‌شود. مقدار آستانه روشنایی مورد نیاز برای این تبدیل از هیستوگرام تصویر خاکستری بدست می‌آید (شکل ۴-ت). به دلیل روزنه‌های بسیار



شکل ۴- مراحل حذف پس‌زمینه: الف) تصویر رنگی RGB ب) تصویر خاکستری پ) تصویر پس از اعمال بهبوددهنده‌ها ت) تصویر هیستوگرام ث) تصویر دودویی پس از حذف حفره‌ها ج) تصویر اصلی با پس‌زمینه حذف شده

نهایی بر روی بخش کوچکی از تصویر انجام می‌شود و بعد نتایج پردازش را به کل تصویر تعمیم می‌دهند (Qing et al., 2014). این روش از بروز خطا در پردازش جلوگیری می‌نماید. ناحیه انتخاب شده برای پردازش در شکل (۵) نشان داده شده است.

انتخاب یک ناحیه از برگ برای شناسایی شکرک در پردازش‌هایی که محققان با اشیا خیلی کوچک مانند آفات و یا حشرات روبرو هستند، معمولاً آنالیزهایی مانند تبدیل فضای رنگی، بهبود بخشیدن تضاد، حذف نویزها و بدست آوردن تصویر دودویی

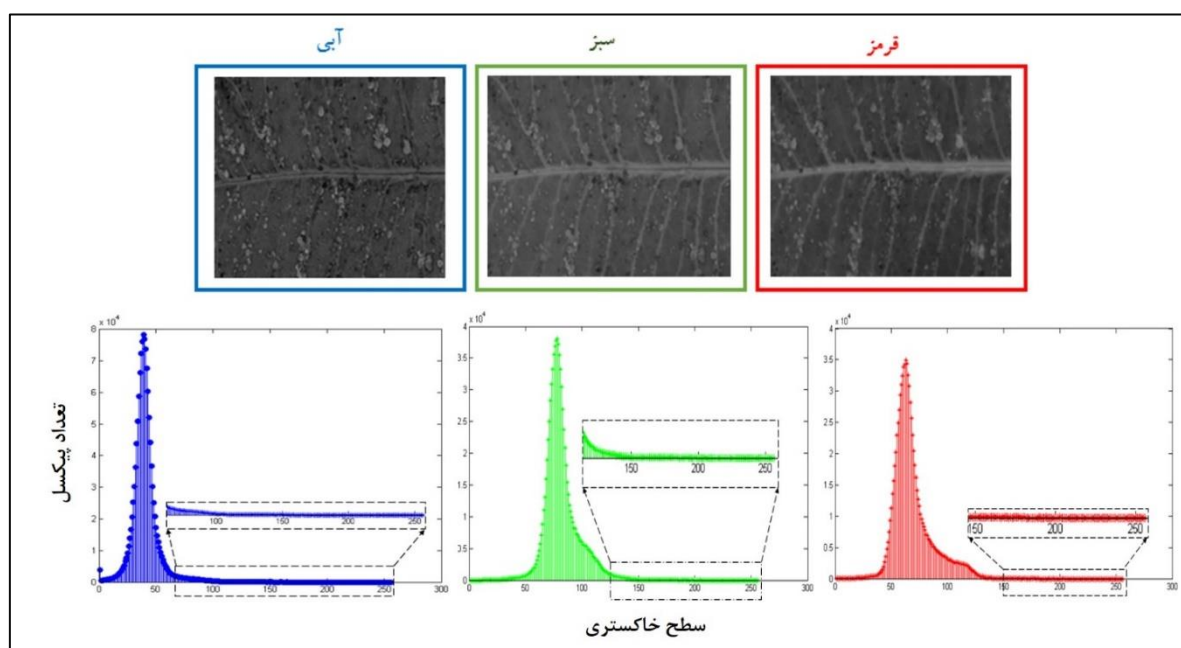


شکل ۵- الف) تصویر اصلی ب) ناحیه انتخاب شده (بزرگنمایی ۲:۱ نسبت به تصویر اصلی) پ) شکرک (بزرگنمایی ۴:۱ نسبت به تصویر اصلی)

انتخاب کانال رنگی و رسم هیستوگرام

با توجه به مطالعه تحقیقات گذشته مشخص شده است که استفاده از فضای رنگی RGB در مطالعات مربوط به شناسایی آفات، بیماری‌های گیاهی و تشخیص محصول موثرتر از سایر فضاهای رنگی دیگر عمل کرده است (Barbedo, 2014; Senthilnath et al., 2016; Maharlooei et al., 2017). اگرچه در این تحقیق سایر فضاهای رنگی مانند HSI و YCbCr، CIELAB به همراه جداسازی هریک از کانال‌های آن‌ها و همچنین ترکیب

این کانال‌ها با یکدیگر نیز مورد بررسی قرار گرفت، اما در پیش آزمایش‌ها مشخص شد که این فضاهای رنگی در شناسایی هدف مورد نظر مانند فضای رنگی RGB موثر عمل نمی‌کنند. به منظور شناسایی شکرک‌ها در ناحیه انتخاب شده، از نمودار هیستوگرام هریک از کانال‌های رنگی استفاده شد. بدین منظور هر یک از کانال‌های رنگی تصویر برش خورده، جدا و سپس نمودار هیستوگرام آن‌ها رسم شد. کانال‌های رنگی و هیستوگرام آن‌ها در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶- تصویر برگ دارای شکرک در کانال‌های رنگی مختلف (بالا) و نمودار هیستوگرام مربوط به هر کانال رنگی (پایین). قسمت بزرگنمایی شده در محور افقی هیستوگرام‌ها مربوط به بازه سطح خاکستری شکرک‌ها می‌باشد.

دارای هم‌پوشانی قابل توجهی باشند مورد استفاده قرار می‌گیرد. سه نوع قطعه‌بندی بر مبنای حوضه آبریز مورد استفاده قرار می‌گیرد که عبارتند از: ۱. قطعه‌بندی بر مبنای گرادیان‌ها ۲. قطعه‌بندی با استفاده از نشانه‌ها ۳. قطعه‌بندی بر مبنای فاصله. یک نشانه یک جزء متصل به تصویر است که به منظور جلوگیری از قطعه‌بندی بیش از حد مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور باید دو دسته نشانه تحت عنوان نشانه‌های داخلی و خارجی در قطعه‌بندی حوضه آبریز ایجاد شوند نشانه‌های داخلی در داخل هر یک از اجزای مورد نظر (شکرک) و نشانه‌های خارجی در پس زمینه تصویر (سایر بخش‌های برگ) قرار می‌گیرند. روش‌های متفاوتی برای مشخص کردن این نشانه‌ها وجود دارد. از جمله این روش‌ها روش فیلترینگ خطی، فیلترینگ غیرخطی و پردازش‌های مورفولوژیکی می‌باشد (Gonzalez & Woods, 2017).

با بررسی هیستوگرام کانال‌ها مشاهده می‌کنیم که سمت راست هیستوگرام کانال رنگی آبی کشیده‌تر و بازه مقادیر بیشتری [۲۵۵-۵۵] را به خود اختصاص داده است، در حالی که این بازه برای کانال رنگی سبز [۱۲۰-۲۵۵] و برای کانال رنگی قرمز [۱۵۰-۲۵۵] می‌باشد. این محدوده‌ها میزان شدت نور اشیا درون تصویر را نشان می‌دهد که می‌تواند معیار خوبی برای جداسازی اشیا از پس زمینه باشد. در کانال رنگی آبی شکرک‌ها روشن‌تر از سایر قسمت‌های تصویر است. هیستوگرام کانال‌های رنگی قرمز و سبز تفاوت قابل ملاحظه‌ای را از لحاظ روشنایی نسبت به پس زمینه در خود نشان نمی‌دهند.

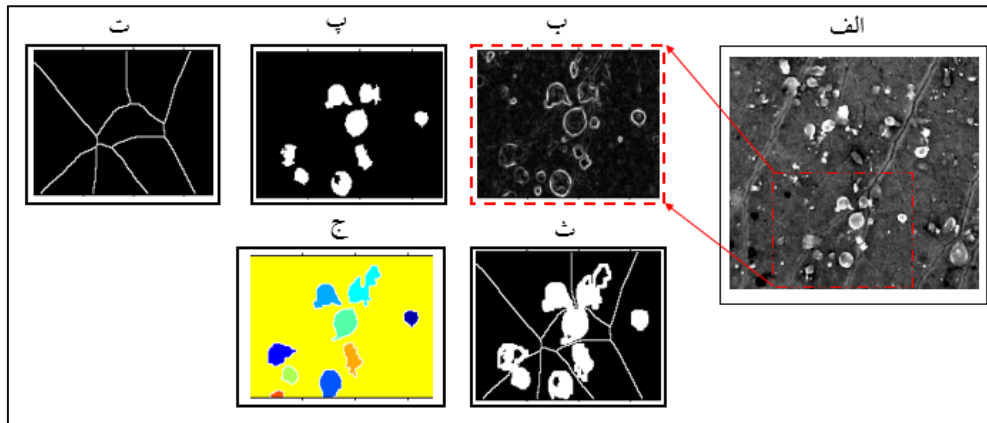
قطعه‌بندی حوضه آبریز^۱

استفاده از قطعه‌بندی حوضه آبریز در مواردی که اشیاء مورد نظر

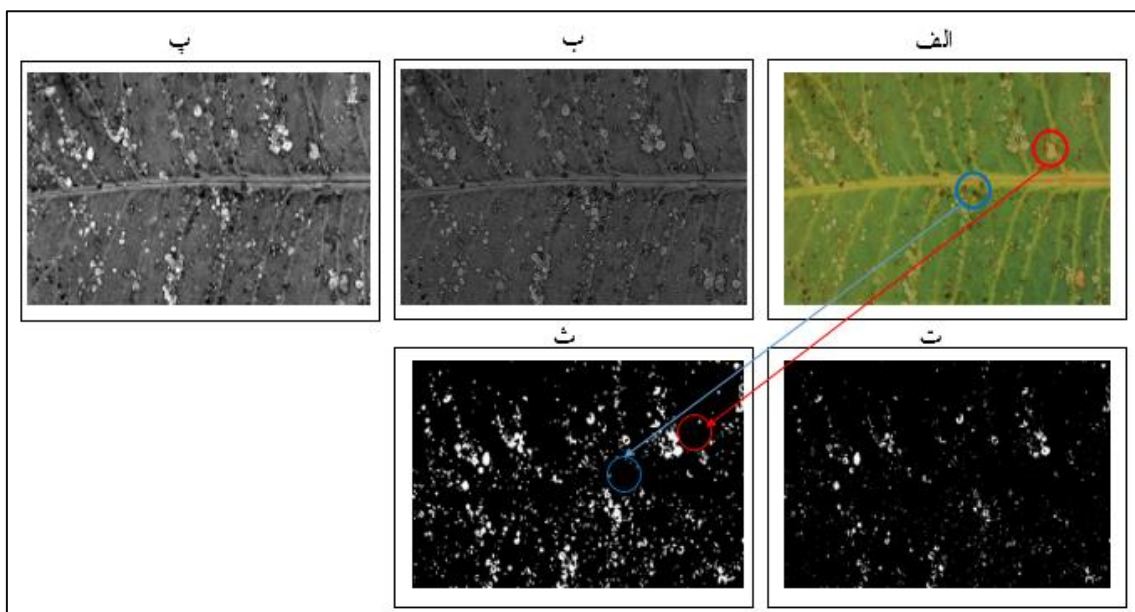
دو دویی^۱ سازی و محاسبه سطح

پس از انجام قطعه‌بندی، برای اجرای سایر مراحل پردازش مانند محاسبه سطح، تصویر باینری با استفاده از الگوریتم آتسو^۲ بدست آمد. اجرای این روند پردازشی در شکل (۸) نشان داده شده است.

تبدیل فاصله در یک تصویر، مفهوم بسیار ساده‌ای دارد و برابر با فاصله هر پیکسل تا نزدیک‌ترین پیکسل با مقدار غیر صفر می‌باشد. در شکل (۷) این تبدیل فاصله، پس از تبدیل گرادیان بر روی تصویر نشانه‌های داخلی اعمال شده است. در این پژوهش از هر سه نوع این قطعه‌بندی برای تشخیص شکرک‌ها استفاده شده است. شکل (۷) مراحل مختلف این قطعه‌بندی را نشان می‌دهد.



شکل ۷- الف) تصویر سطح خاکستری (بزرگنمایی در زمان تصویربرداری ۸:۱) ب) تصویر گرادیان پ) نشانه‌های داخلی به همراه اعمال تبدیل فاصله ت) نشانه‌های خارجی ث) ترکیب نشانه‌های داخلی و خارجی ج) تصویر قطعه بندی شده با استفاده از حوضه آبریز



شکل ۸- الف) تصویر RGB اولیه (بزرگنمایی در زمان تصویربرداری ۴:۱) ب) تصویر نوع خاکستری در کانال رنگی آبی پ) تصویر بهبود یافته تضاد ت) تصویر دو دویی، آتسو ث) تصویر دو دویی، اعمال قطعه‌بندی حوضه آبریز

همان‌طور که در شکل (۸) نشان داده شده است الگوریتم آتسو و قطعه‌بندی حوضه آبریز توانستند به خوبی سطوح شکرک- دار را شناسایی کنند. در (شکل ۸- ث) نشان داده شده است که همه‌ی پیکسل‌هایی که به رنگ سفید هستند متعلق به شکرک‌ها بوده و پیکسل‌های مربوط به آفت پسیل و لکه برگ‌ها با دقت

مناسبی از تصویر حذف شده‌اند. برای محاسبه این که چه مقدار از سطح دارای شکرک است لازم است تا ابتدا تصویر (شکل ۸- ث) را با ماتریس برچسب^۳ برچسب زنی نماییم. در این ماتریس به هر کدام از پیکسل‌های سفید یک برچسب شماره‌گذاری تعلق می‌گیرد که برای محاسباتی مانند تعداد و مساحت مورد استفاده

را بین کاربر و برنامه برقرار بسازد. بدین منظور رابط گرافیکی در نرم افزار متلب با استفاده از جعبه ابزار طراحی محیط رابط گرافیکی کاربر ایجاد شد. در این محیط دکمه‌هایی در سمت راست صفحه قرار داده شد که کاربر با زدن بر روی هر دکمه از بالا به پایین مراحل اجرای برنامه شامل فراخوانی تصویر از حافظه، برش قسمت‌های اضافی تصویر، بهبود تصویر، دو دویی سازی تصویر و در نهایت محاسبه سطح را کنترل نماید. همچنین کاربر می‌تواند با فشردن دکمه ریست کل مراحل پردازش را برای عکس جدید از نو انجام دهد. نتیجه کارهایی که کاربر انجام می‌دهد در پنجره گرافیکی سمت چپ که ویژه نمایش تصویر است نشان داده می‌شود و در نهایت درصد سطح پوشیده شده برگ از شکرک در پایین صفحه نمایش داده می‌شود. نمایی از رابط گرافیکی طراحی شده و محاسبه سطحی که توسط آن انجام گرفته، در شکل (۹) آورده شده است.

قرار می‌گیرد. برای استخراج این اطلاعات از ماتریس مورد نظر از دستور regionprops استفاده می‌شود (Heidari, 2013). این دستور امکان محاسبه سطح را فراهم می‌کند. درصد سطح شکرک دار با استفاده از رابطه (۱) حساب می‌شود:

(رابطه ۱)

$$100 \times \frac{\text{سطح دارای شکرک بر حسب پیکسل}}{\text{سطح کل برگ بر حسب پیکسل}} = \text{درصد سطح دارای شکرک}$$

رابط گرافیکی کاربر (GUI)

رابط گرافیکی کاربر به منظور استفاده آسان کاربران مختلف از برنامه‌های نوشته شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربران ممکن است نسبت به برنامه نوشته شده هیچ گونه اطلاعاتی نداشته باشند، بنابراین استفاده از یک رابط گرافیکی می‌تواند تعامل خوبی



شکل ۹- رابط گرافیکی کاربر پسند طراحی شده به منظور تشخیص و تعیین درصد آلودگی برگ توسط شکرک (بزرگنمایی در زمان تصویربرداری ۴:۱)

تبیین درصد آلودگی سطح برگ به شکرک با شمارش دستی آفت پسپیل در آزمایشگاه با استفاده از نرم افزار میکروسافت اکسل ۲۰۱۶ تعیین شد.

ارزیابی عملکرد قطعه‌بند حوضه آبریز

هدف از به کار بردن قطعه‌بندی حوضه آبریز تشخیص درست شکرک‌ها از سایر اشیاء موجود بر روی برگ‌ها مانند آفت پسپیل و لکه برگ‌ها بود. به منظور ارزیابی عملکرد قطعه‌بندی در تشخیص درست شکرک‌ها نسبت به سایر اشیاء از ماتریس آشفتگی^۲

تجزیه و تحلیل آماری

براساس اطلاعات جمع‌آوری شده، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری (Minitab ۱۶,۲,۴) انجام گرفته است. در این مطالعه بررسی اثر عامل نوع دوربین در سه سطح (مشخصات سه دوربین در جدول (۱) آورده شده است). بر عملکرد الگوریتم شناسایی شکرک در غالب طرح کاملا تصادفی انجام گرفته است. میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در نرم افزار SPSS 26 با هم مقایسه شدند. همچنین رابطه رگرسیونی و ضریب

نتایج و بحث

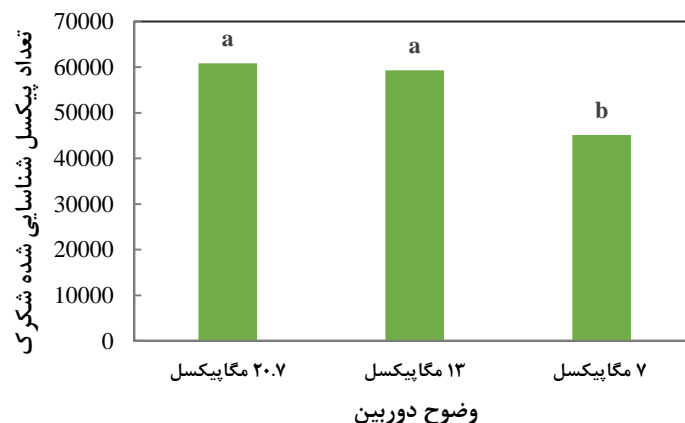
تحلیل‌های آماری

نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری بر طبق آزمون تجزیه واریانس یک طرفه نشان می‌دهد که میانگین‌ها در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر داشته‌اند (جدول-۲). مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بین شناسایی پیکسل‌های شکرک در دوربین‌های با وضوح ۲۰/۷ و ۱۳ مگاپیکسل که دارای وضوح بالاتری هستند اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، اما بین دوربین‌های ۲۰/۷ و ۷ مگاپیکسل و دوربین‌های ۱۳ و ۷ مگاپیکسل که دارای تصویری با رزولوشن پایین‌تر هستند یک اختلاف معنی‌دار در شناسایی پیکسل‌ها مشاهده می‌شود. این اختلاف می‌تواند ناشی از وضوح پایین‌تر در نتیجه قدرت شناسایی ضعیف‌تر شکرک‌ها باشد. در پژوهش *Maharlooei et al. (2017)* هم نتایج مشابهی در شناسایی شته سویا با دوربین با وضوح کمتر گزارش شد. نتایج تحلیل‌ها در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۲- اثر عامل نوع دوربین بر تعداد پیکسل‌های شناسایی شده شکرک

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
۵۴۳/۹۴**	۷۴۸۹۴۲۲۱۸	۲	نوع دوربین
	۱۳۷۶۸۹۴	۲۷	خطا
		۲۹	کل

** - معنی دار در سطح ۱٪



وضوح دوربین

شکل ۱۰- نتایج حاصل از مقایسه میانگین تعداد پیکسل‌های شکرک شناسایی شده با دوربین‌های مختلف در تصاویر برگ‌های جمع‌آوری شده
a, b: حروف مختلف بر روی نمودارها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد (سطح احتمال کمتر از یک صدم)

یک ارتباط مناسب بین جمعیت آفت و سطوح شکرک‌دار دارد. به طوری که با دانستن میزان سطح دارای شکرک می‌توان یک تخمین مناسب از جمعیت آفات را بدست آورد و اقدامات بعدی مانند استفاده از سموم و آفت‌کش‌ها را در شرایط بهینه آن انجام

استفاده شده است (Gonzalez & Woods, 2017). جدول و یا ماتریس آشفتگی نتایج حاصل از طبقه‌بندی را بر اساس اطلاعات واقعی موجود نمایش می‌دهد. پارامترهای بکاررفته در ماتریس آشفتگی عبارت‌اند از: مثبت صحیح (TP^1)، منفی صحیح (TN^2)، مثبت ناصحیح (FP^3) و منفی ناصحیح (FN^4)، اما متداول‌ترین معیار اندازه‌گیری کیفیت یک الگوریتم قطعه‌بندی، صحت (Accuracy) است و عبارت است از میزان تشخیص صحیح کلاس موردنظر، این معیار بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (\text{رابطه } 2)$$

معیارهای دیگری مانند TPR (True Positive Rate) که با نام معیار حساسیت یا نرخ طبقه‌بندی درست شناخته می‌شود. معیار FPR (False Positive Rate) که تحت عنوان نرخ طبقه‌بندی نادرست است، از جمله معیارهایی است که می‌توان آن‌ها را از ماتریس آشفتگی بدست آورد. نحوه محاسبه این معیارها با توجه به رابطه‌های ۳ و ۴ می‌باشد:

$$\text{TPR} = \frac{TP}{\text{True class}} \quad (\text{رابطه } 3)$$

$$\text{FPR} = \frac{FP}{\text{False class}} \quad (\text{رابطه } 4)$$

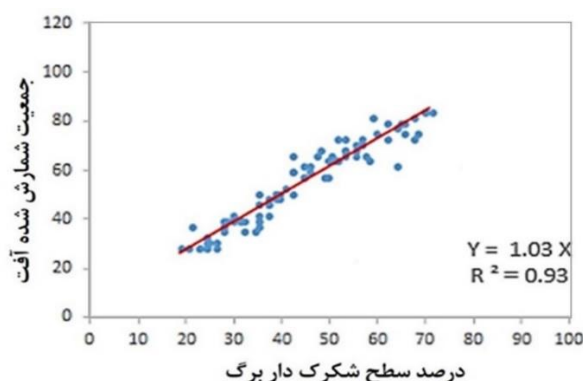
پارامتر F معیار مهم دیگری است که برای ارزیابی عملکرد یک قطعه‌بند مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندازه اشتباهات ایجاد شده توسط قطعه‌بند بوسیله این پارامتر سنجیده می‌شود. مقادیر آن بین صفر و یک می‌باشد، که مقدار صفر به معنای قطعه‌بندی ضعیف و مقدار یک به معنی قطعه‌بندی خوب است.

$$\text{F-Score} = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} \quad (\text{رابطه } 5)$$

معیارها در جدول (۴) آورده شده‌اند. اعداد ارائه شده در ماتریس آشفتگی براساس تعداد پیکسل بیان شده‌اند، به عنوان مثال در داده‌های تیرماه مشاهده می‌کنیم که قطعه‌بند به صورت درصدی ۹۷٪ از شکرک‌ها را به عنوان شکرک تشخیص داده است و در بازه‌های زمانی مربوط به مرداد و شهریور این مقادیر به ترتیب ۹۵٪ و ۹۴٪ می‌باشد.

نتیجه ملموسی را که می‌توان از ماتریس‌های آشفتگی استخراج کرد توانایی مناسب الگوریتم در شناسایی شکرک در هر کدام از بازه‌های زمانی به خصوص در تیرماه با توجه به مقادیر نرخ طبقه‌بندی درست ثبت شده از داده‌های ماتریس در جدول (۴) می‌باشد. بالاتر بودن مقدار ثبت شده در بازه زمانی تیر می‌تواند به دلیل کمتر بودن جمعیت آفت و در نتیجه عملکرد موفق‌تر قطعه‌بند حوضه آبریز باشد، همین نکته می‌تواند کمتر بودن مقدار نرخ طبقه‌بندی درست در بازه‌های زمانی شهریور را توجیه نماید. اما علیرغم این هم‌پوشانی بین لکه برگ، آفت و شکرک با یکدیگر، الگوریتم با دقت قابل قبولی توانسته است این موارد را از یکدیگر متمایز سازد. در این بازه‌های زمانی ۹۴٪ از شکرک‌ها به عنوان شکرک، ۵۸٪ از آفات به عنوان آفت و ۶۵٪ از لکه برگ‌ها به عنوان لکه برگ تشخیص داده شده‌اند که نشان از عملکرد مناسب الگوریتم در تشخیص شکرک‌ها دارد. نکته دیگر مقادیر نرخ طبقه‌بندی درست مربوط به لکه برگ‌ها می‌باشد. لکه برگ‌ها در هر کدام از بازه‌های زمانی همواره مقادیر عددی بیشتری نسبت به آفات داشته‌اند به طوری که این مقادیر برای بازه‌های زمانی تیر ۸۱٪، بازه‌های زمانی مرداد ۷۷٪ و بازه‌های زمانی شهریور ۶۵٪ می‌باشد. دلیل این تفاوت می‌تواند در شدت‌های طیفی به مراتب نزدیک‌تر لکه برگ‌ها نسبت به شکرک باشد. در تصاویر RGB برگ‌های نمونه، لکه برگ‌ها روشنایی نزدیک‌تری به شکرک‌ها دارند درحالی که آفات به رنگ‌های تیره‌تری در این تصاویر مشاهده می‌شوند. در جدول (۴) نرخ طبقه‌بندی نادرست برای بازه زمانی تیر ۸/۹٪ بدست آمده است این بدان معناست که قطعه‌بند فقط ۸/۹٪ از آفات و لکه برگ را به عنوان شکرک در نظر گرفته است. به عبارت دیگر الگوریتم در تشخیص شکرک به میزان ۸/۹ درصد دچار اشتباه شده است. پارامتر F^1 که اشتباهات ایجاد شده توسط قطعه‌بند را ارزیابی می‌کند مقدار ۰/۹۲ بدست آمده است که با توجه به نزدیک بودن آن به عدد ۱ نشان از اشتباهات کم قطعه‌بند دارد. در نهایت میزان دقت بدست آمده برای این نمونه ۹۳٪ می‌باشد که بالاترین دقت در بین سایر نمونه‌ها می‌باشد.

داد. دوربین با وضوح ۲۰/۷ مگاپیکسل با ضریب تبیین $R^2 = 0/93$ توانسته است بهترین عملکرد را به خود اختصاص بدهد (شکل ۱۱). این عملکرد مناسب با استفاده از تکنیک پردازش تصویر در شناسایی و شمارش آفات در آثار تحقیقاتی سایر محققین نیز مشاهده می‌شود، به طوری که در پژوهش (Maharlooei 2017) *et al.* که به منظور شناسایی و شمارش آفت شته سویا انجام گرفته بود، ضریب تبیین بدست آمده بین شمارش دستی و دیجیتال $R^2 = 0/96$ ثبت شده است. همچنین در مطالعه‌ی دیگری به منظور شناسایی آفت شته سویا انجام داده بودند پس از انتخاب یک پارامتر شکل مناسب ضریب تبیین $R^2 = 0/92$ را بین شمارش دستی و دیجیتال بدست آوردند (Sunoj *et al.*, 2018). اگرچه دوربین‌هایی با کیفیت تصویر برداری بالاتر می‌توانند نتایج بهتری را از خود نشان بدهند، اما در این پژوهش نتایج سایر دوربین‌ها نیز عملکرد مناسبی داشته و در تشخیص شکرک دقت بالایی را از خود نشان دادند، بنابراین از نتایج آن‌ها نیز می‌توان استفاده نمود. نتایج مربوط به کلیه دوربین‌های مورد استفاده در جدول (۳) آورده شده است.



شکل ۱۱- ارتباط رگرسیونی بین درصد شکرک سطح برگ و جمعیت پسلی روی برگ با دوربین ۲۰/۷ مگاپیکسل

جدول ۳- ضریب تبیین و معادله رگرسیونی حاصل از عملکرد دوربین‌ها

وضوح (مگاپیکسل)	معادله رگرسیون	ضریب تبیین
۲۰/۷	$y = 1/03x$	$R^2 = 0/93$
۱۳	$y = 1/08x$	$R^2 = 0/88$
۷	$y = 1/13x$	$R^2 = 0/85$

ارزیابی عملکرد قطعه‌بند حوضه آبریز

ماتریس آشفتگی برای چند نمونه برگ در سه بازه زمانی در ماه-های تیر، مرداد و شهریور تصویربرداری شده توسط دوربین با وضوح ۲۰/۷ مگاپیکسل در شکل (۱۲) محاسبه شده است. سایر

پیش‌بینی شده برداشت شده پیش‌بینی شده

مجموع	لکه برگ	آفت	شکرک	مجموع	لکه برگ	آفت	شکرک	مجموع	لکه برگ	آفت	شکرک
۶۱۸۹۲	۲۶۶۸	۱۲۳۴	۵۷۹۹۰	۶۳۴۵۶	۱۲۶۹	۱۹۰۴	۶۰۲۸۳	۷۰۳۲۵	۱۴۰۶	۷۰۳	۶۸۲۱۶
۹۳۲۴	۲۰۵۱	۵۴۰۸	۱۸۶۵	۹۱۳۴	۱۵۵۳	۶۲۱۱	۱۳۷۰	۹۸۲۴	۱۸۶۶	۷۰۷۴	۸۸۴
۱۳۹۲۶	۹۰۵۲	۲۷۸۵	۲۰۸۹	۱۴۳۲۴	۱۱۰۳۰	۱۷۱۹	۱۵۷۵	۱۵۱۷۶	۱۲۲۹۲	۱۹۷۳	۹۱۱
۸۵۱۴۲	۱۳۷۷۱	۹۴۲۷	۶۱۹۴۴	۸۶۹۱۴	۱۳۸۵۲	۹۸۳۴	۶۳۲۲۸	۹۵۳۲۵	۱۵۵۶۴	۹۷۵۰	۷۰۰۱۱

مجموع

داده‌های برداشت شده در ماه تیر داده‌های برداشت شده در ماه مرداد داده‌های برداشت شده در ماه شهریور
 شکل ۱۲- ماتریس آشفتگی محاسبه شده (برحسب تعداد پیکسل) برای نمونه برگ‌ها در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور

جدول ۴- معیارهای محاسبه شده از ماتریس آشفتگی برای تشخیص شکرک

صحت	پارامتر F	نرخ طبقه‌بندی نادرست	نرخ طبقه‌بندی درست	داده‌های برداشت شده در تیرماه
۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۰۹	۰/۹۷	داده‌های برداشت شده در مرداد ماه
۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۱۵	۰/۹۵	داده‌های برداشت شده در شهریور ماه
۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۲۲	۰/۹۴	

نتیجه گیری

شرایط تصویر برداری کنترل شده آزمایشگاهی داشت. دوربین-های با وضوح بالاتر به دلیل توان تفکیکی بهتر تفاوت معنی‌داری را در تخمین سطح شکرک‌دار برگ نشان نداد. استفاده از الگوریتم حوضه آبریز در محاسبه سطح شکرک‌دار برگ باعث بهبود عملکرد نرم افزار شد. بررسی ماتریس آشفتگی و شاخص‌های صحت کلی و نرخ طبقه بندی صحیح عملکرد موثر الگوریتم را در تشخیص شکرک را نشان می دهد.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

در این پژوهش امکان بکارگیری روش پردازش تصویر در تخمین جمعیت آفت با استفاده از سطح شکرک‌دار نمونه‌های برگ درخت پسته بررسی شد. داده برداری در سه ماه تیر، مرداد و شهریور برای افزایش جمعیت طبیعی آفت و مطالعه عملکرد الگوریتم در شرایط مختلف آلودگی انجام شد. نتایج پژوهش رضایت‌بخش بود و نشان داد روش پردازش تصویر می‌تواند جایگزین روش وقت‌گیر شمارش چشمی شود. استفاده از دوربین‌های تلفن همراه با برندهای مختلف و وضوح‌های متفاوت نتایج قابل قبولی را در

REFERENCES

- Barbedo, J. G. A. (2014). Using digital image processing for counting whiteflies on soybean leaves. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(4), 685-694.
- 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.
- Cho, J., Choi, J., Qiao, M., Ji, C. W., Kim, H. Y., Uhm, K. B., & Chon, T. S. (2007). Automatic identification of whiteflies, aphids and thrips in greenhouse based on image analysis. *Red*, 346(246), 244.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E., (2017). *Digital Image Processing Global edition*. India, Pearson.
- Heidari, A. (2013). *Digital image processing using MATLAB* (5th ed). Iran, Beh avaran-kelk zarin. (In Farsi)
- Maharlooei, M., Sivarajan, S., Bajwa, S. G., Harmon, J. P., & Nowatzki, J. (2017). Detection of soybean aphids in a greenhouse using an image processing technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 132, 63-70.
- Mehrnezhad, M. (2014). *The pests of pistachio trees in Iran, natural enemies and control* (1st ed). Iran, Sepehr publication center. (In Farsi)
- Mongkolchart, N., & Ketcham, M. (2014). The measurement of brown planthopper by image processing. In *International Conference on Advanced Computational Technologies & Creative Media*. 14-15 Aug. Pattaya, Thailand. pp. 102-105.
- Omrani, A., Mohtasebi, S., Rafiee, Sh., Hosseinpur, S. & Aghili-nategh, N. (2014). Apple leaf diseases detection using image analysis techniques. In: *Proceedings of 8th National Congress of Agricultural machinery (Biosystems Engineering)*

- and mechanization*. 2-4 Feb. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. pp. 189-201. (In Farsi)
- Qing, Y., Xian, D. X., Liu, Q. J., Yang, B. J., Diao, G. Q., & Jian, T. A. N. G. (2014). Automated counting of rice plant hoppers in paddy fields based on image processing. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(8), 1736-1745.
- Senthilnath, J., Dokania, A., Kandukuri, M., Ramesh, K. N., Anand, G., & Omkar, S. N. (2016). Detection of tomatoes using spectral-spatial methods in remotely sensed RGB images captured by UAV. *Biosystems Engineering*, 146, 16-32.
- Sunoj, S., Sivarajan, S., Maharlooei, M., Bajwa, S. G., Harmon, J. P., Nowatzki, J. F., & Cannayen, I. (2017). Identification and Counting of Soybean Aphids from Digital Images Using Shape Classification. *Transactions of the ASABE*, 60(5), 1467-1477.