

شناسایی آفت‌های پروانه برگ‌خوار و پسیل برگ‌پسته با استفاده از تکنیک پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی

مهدی شمسی گوشکی^۱، مجید دولتی^{۲*}، موسی رسولی^۳ و ابراهیم احمدی^۴

چکیده

در این پژوهش با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی، آفت‌های پروانه برگ‌خوار و پسیل برگ‌پسته شناسایی شد. بدین‌منظور، تصاویر دیجیتالی از برگ‌های آفت‌زده درخت پسته رقم اوحدی تهیه و ویژگی‌های رنگ، بافت، مورفولوژیکی و ترکیبی (بافت-رنگ) از تصاویر استخراج شد و در تشخیص و طبقه‌بندی آفت‌ها استفاده گردید. برای دستیابی به بهترین مدل، حالت‌های مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی و ویژگی‌های مختلف استخراج‌شده از تصاویر، مورد ارزیابی قرار گرفت که بهترین حالت‌ها عبارت بودند از: الف) با استفاده از شش ویژگی رنگی (واریانس، میان، انحراف معیار، فشردگی، کشیدگی و صافی)، شبکه پس‌انتشار با تابع انتقال لگاریتم سیگموئید با دو لایه پنهان و لایه خروجی با تابع انتقال تانژانت سیگموئید با دقت ۹۳/۳٪ (ب) با استفاده از پنج ویژگی بافتی (آنتروپی، کنتراست، همبستگی، انرژی و همگنی)، شبکه پس‌انتشار با تابع انتقال تانژانت سیگموئید با دو لایه پنهان و لایه خروجی با تابع خطی با دقت ۹۵٪ (ج) با استفاده از پنج ویژگی مورفولوژیکی (سطح، محیط، سطح چندضلعی محیطی، وسعت، استحکام) و ۱۱ ویژگی ترکیبی (۶ ویژگی رنگی و ۵ ویژگی بافتی) با شبکه پس‌انتشار، با تعداد دو لایه پنهان و تابع انتقال تانژانت سیگموئید و لایه خروجی خطی به ترتیب با دقت ۸۶/۷٪ و ۹۸/۳٪. نتایج این پژوهش نشان داد که تکنیک پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی، توانایی تشخیص و طبقه‌بندی آفت‌های برگ‌پسته را با دقت بسیار خوبی دارد.

واژه‌های کلیدی: آفت‌ها، برگ درخت پسته، پردازش تصویر، شبکه‌های عصبی مصنوعی، نسبت خسارت.

ارجاع: شمسی م. دولتی م. رسولی م. احمدی ا. ۱۳۹۷. شناسایی آفت‌های پروانه برگ‌خوار و پسیل برگ‌پسته با استفاده از تکنیک پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۷(۱): ۱-۱۲.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت.

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت و استادیار دانشکده فنی و منابع طبیعی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۳- استادیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر.

۴- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

* نویسنده مسئول: m.dowlati@basu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵

مقدمه

درخت پسته اهلی (*Pistacia Vera L.*) متعلق به تیره سماق (*Anacardiaceae*) است. جنس *Pistacia* دارای یازده گونه است که همگی آن‌ها از خود، تربانتین^۱ یا سقز ترشح می‌کنند. گیاهان این تیره به صورت درخت یا درختچه هستند. درخت پسته، دو پایه است و مرحله نونهالی درخت پسته طولانی است. درخت پسته تا قبل از پنج سالگی، میوه کمی تولید می‌کند و از ۱۰ تا ۱۲ سالگی باردهی کامل و اقتصادی آن آغاز می‌شود (Abrishami, 1994). آفت‌ها و بیماری‌های درخت پسته می‌توانند بر روی تنه، ریشه، شاخه، برگ، گل یا میوه ظاهر شوند. پروانه برگ‌خوار پسته^۲، یکی از آفت‌های مهم باغ‌های پسته در ایران محسوب می‌شود که در طول زمستان به صورت شفیره در پناهگاه‌های مختلف به سر می‌برد و اوایل اردیبهشت شروع به فعالیت می‌کند. در هر مرحله‌ای از رشد، گیاه می‌تواند در معرض خطر آفت‌ها قرار گیرد؛ ولی از اواخر خردادماه که رشد رویشی پایان می‌یابد و میوه شروع به مغز بستن می‌کند، خسارت آفت‌ها در این مرحله باعث پوکی و ریزش برگ و جوانه‌ها می‌شود. در مردادماه نیز باعث افزایش مقدار دهان‌بستگی (خندان‌شدن) دانه‌های پسته می‌گردد. شیوه خسارت آفت به این نحو است که لاروهای پروانه پس از خروج از تخم، بلافاصله از پارانشیم برگ و اپیدرم فوقانی تغذیه می‌کنند و لاروهای سنین بعد قسمت اعظم پهنک برگ‌ها را می‌خورند و فقط رگبرگ‌های اصلی را باقی می‌گذارند و برگ‌ها به حالت توری درمی‌آیند. به همین جهت، از نظر شناسایی عوامل خسارت، چون رگبرگ‌ها عمدتاً روی برگ باقی می‌مانند، با زردی حاصل از آفتاب سوختگی و سرمازدگی، که به صورت یکنواخت‌تر بر روی کل سطح برگ انجام می‌شود، به راحتی قابل تمایز است. زمان مبارزه با این آفت، هنگامی است که روی برگ‌ها حداقل یک لارو دیده شود.

آفت پسیل برگ پسته^۳، یکی دیگر از آفت‌های درخت پسته است که کنترل آن دشوار است؛ زیرا در طیف وسیعی از تغییرات درجه حرارت، پتانسیل بالایی برای رشد و نمو و تولیدمثل دارد و مرگومیر ذاتی آن کم است. پوره‌ها و حشرات کامل پسیل با فروبردن لوله دهانی درون

برگ‌ها از شیر گیاهی تغذیه می‌کنند، دستگاه گوارش مواد پروتئینی شیر گیاهی را جذب کرده و اضافه آن را که بیشتر مواد قندی است، به صورت عسلک دفع می‌کند. این ماده چسبنده سبب ناتوانی درختان پسته، ریزش برگ‌ها، جوانه‌ها، دانه‌های کوچک و افزایش درصد پوکی و دهان‌بستگی میوه می‌شود. سم‌پاشی در زمان گلدهی، سمپاشی‌های مکرر و اختلاط سموم علیه آفت‌های دیگر که باعث حذف کامل دشمنان طبیعی می‌شوند، در صورتی که تأثیری روی آفت پسیل نداشته باشند، باعث افزایش مقاومت و رشد جمعیت پسیل می‌گردند. استفاده زیاد از کودهای مرغی و استفاده از کودهای شیمیایی از ته در ماه‌های گرم سال، شرایط را برای ازدیاد جمعیت فراهم می‌کند. خاک‌های شنی و خاک‌های رسی و سخت به دلیل جذب نکردن و نگه‌نداشتن رطوبت به اندازه کافی (به علت طولانی‌بودن دوره آبیاری) سریع‌تر به آفت آلوده می‌گردند. به طور کلی، آفت پروانه برگ‌خوار پسته، ابتدا بر روی برگ ظاهر می‌شود و از قسمت‌های نرم‌برگ درخت تغذیه می‌کند و رگبرگ‌ها را باقی می‌گذارد؛ ولی آفت پسیل، علاوه بر برگ، بر روی میوه (پوسته سبز رنگ روی پسته) نیز دیده می‌شود و از آن تغذیه می‌کند.

آفت‌ها و بیماری‌ها، ابتدا برگ و سپس گل و در پایان میوه را درگیر می‌کنند و با کنترل آفت‌های و بیماری در مراحل اولیه به محض ظاهرشدن بر روی برگ می‌توان خسارات وارد شده به درخت را تا حد ممکن کاهش داد. بنابراین، با تشخیص مناطق آلوده به آفت‌ها، قبل از مرحله تکثیر و آسیب گسترده به گیاهان به کمک پردازش تصویر، بخش عمده‌ای از اهداف نهایی پژوهش حاضر محقق خواهد شد. پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی کشاورزی، تقاضای ابداع روش‌های غیرمخرب را برای تشخیص آفت‌ها و بیماری‌ها افزایش داده‌است. تکنیک‌های طیف‌سنجی و تصویربرداری از روش‌های نظارت هستند که برای تشخیص بیماری و تنش در درختان و گیاهان استفاده می‌شوند (Omrani et al., 2012). شبکه عصبی مصنوعی، یکی از روش‌های محاسباتی است که به کمک فرایند یادگیری و با استفاده از پردازشگرهایی به نام «نرون»^۴ تلاش می‌کند با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها، نگاشتی میان لایه ورودی و لایه خروجی ارائه دهد. لایه یا لایه‌های پنهان، اطلاعات دریافت‌شده از لایه ورودی را پردازش می‌کنند و در اختیار

1- Turpentine

2- Ocneria terebinthina Stgr

3- Agonoscena Pistaciae

4- Neuron

باشد تا بلافاصله پس از نمایان شدن نشانی از آفت‌ها و بیماری‌ها در محصول، بتواند آن‌ها را تشخیص دهد و جلوی پیشرفت آفت‌ها و آسیب بیشتر را بگیرد.

مواد و روش‌ها

در راستای انجام این پژوهش، نمونه برگ‌های آفت‌زده درختان پسته رقم اوحدی (شکل ۱) از باغ‌های پسته حومه شهر کرمان (واقع در ۲ کیلومتری خروجی شهر کرمان به سمت شهرستان زرنند) جمع‌آوری و سپس، در کیسه‌های کاغذی قرار داده شدند و این کیسه‌ها درون جعبه‌هایی قرار گرفتند تا شکل آن‌ها حفظ شود و تغییر رنگ ندهند. جمع‌آوری برگ‌ها هنگامی انجام شد که درختان به مرحله میوه‌دهی رسیده بودند. در این پژوهش، طی یک روز، تعداد ۳۰۰ نمونه مختلف برگ پسته (۱۵۰ عدد آلوده به آفت پسپل پسته و ۱۵۰ عدد آلوده به آفت پروانه برگ‌خوار پسته) به صورت تصادفی از قسمت‌های مختلف باغ و هم‌چنین از قسمت‌های مختلف درختان آلوده تهیه شدند. نمونه‌ها پس از بررسی و تأیید بیماری برگ‌ها توسط کارشناسان و متخصصین بیماری‌های گیاهی مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان، به دانشگاه جیرفت انتقال داده شدند و بلافاصله تصاویر دیجیتالی برگ‌ها تحت شرایط نور کنترل‌شده تهیه شد و با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر، ویژگی‌های مورد نظر استخراج شد و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به تشخیص و طبقه‌بندی آفت‌ها پرداخته شد.

برای تهیه تصاویر برگ‌ها، از چیدمان استاندارد شده موجود در کارگاه مکانیک بیوسیستم دانشگاه جیرفت (شکل ۲) استفاده گردید (Dowlati et al., 2013). در این چیدمان، از دوربین رنگی CCD کانن EOS X4، ساخت ژاپن، وضوح ۱۸ مگاپیکسل و با قابلیت تصویربرداری از راه دور برای گرفتن تصاویر استفاده شد. پس‌زمینه سیاه و نور تک رنگ سفید در تهیه تصاویر استفاده گردید تا بهترین تصویر با کمترین نویز و کمترین زمان پردازش آماده شود (Dowlati et al., 2012). تصاویر گرفته‌شده به رایانه شخصی منتقل گردید.

در چیدمان مورد استفاده، منبع نور شامل دو عدد لامپ فلورسنت مونوکروم (مهتابی سفید) با توان ۲۱ وات بود که در محفظه تصویربرداری تعبیه شد تا بهترین تصویر با کمترین نویز آماده شود. برای جلوگیری از تابش مستقیم

لایه خروجی قرار می‌دهند. هر شبکه با دریافت مثال‌هایی آموزش می‌بیند. آموزش، فرایندی است که در نهایت منجر به یادگیری می‌شود. یادگیری شبکه، زمانی انجام می‌شود که وزن‌های ارتباطی بین لایه چنان تغییر کند که اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و محاسبه‌شده در حالت قابل قبولی باشد. این وزن‌ها، حافظه و دانش شبکه را بیان می‌کنند. شبکه عصبی آموزش‌دیده می‌تواند برای پیش‌بینی خروجی‌های متناسب با مجموعه جدید داده‌ها به‌کار رود (Dowlati et al., 2012).

تاکنون، از تکنیک پردازش تصویر در درجه‌بندی دانه‌های غلات، ذرت، پسته، بازرسی کیفی محصولات پخته‌شده، بازرسی سیب، شناسایی بادام‌های صدمه‌دیده و تعیین ابعاد دانه‌ها استفاده شده‌است (Razavi et al., 2010). پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که رنگ، معیار مناسبی برای بسیاری از محصولات کشاورزی مانند میوه، غلات، گوشت و سبزیجات است. (Leemans et al., 1998). به منظور قطعه‌بندی خرابی یک رقم سیب از پردازش تصویر رنگی استفاده کردند. (Pydipati et al., 2006). بیماری‌های برگ درخت گریپ‌فروت را با استفاده از خوشه‌بندی K-Means در فضای رنگی HSI با استفاده از شبکه عصبی پس‌انتشار، تشخیص دادند و تفکیک کردند. این پژوهشگران برای تفکیک، از ویژگی‌های ماتریس هم‌اتفاق استفاده کردند و در آن خواص ساختاری رنگ برگ مرکبات در فضای رنگ HSI استخراج شد و بیماری‌ها با دقت ۹۸/۷۵٪ طبقه‌بندی گردیدند. برناردس و همکاران (۲۰۱۳)، روشی را برای تشخیص خودکار بیماری‌های گیاه پنبه ارائه دادند و از تبدیل موجک برای استخراج ویژگی‌ها و از ماشین بردار پشتیبان برای دسته‌بندی تصاویر استفاده کردند و در بهترین مدل، دقت ۹۰٪ به‌دست آمد. به‌طور کلی، تشخیص نواحی آلوده به آفت‌ها در برگ درختان پسته قبل از مرحله تکثیر و آسیب گسترده به گیاه، شناسایی نوع آفت‌ها به کمک پردازش تصویر و طبقه‌بندی آفت‌های برگ به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی و در نهایت، تعیین نسبت خسارت، از مهم‌ترین اهداف پژوهش حاضر بودند.

شایان ذکر است، یکی از قابلیت‌ها و اهداف آتی پژوهش حاضر، پردازش ویدئویی است، که به‌صورت لحظه به لحظه و برخط^۱، درختان و محصولات کشاورزی را زیر نظر داشته

شکل pvc در بالای لامپ‌ها استفاده شد و بدین ترتیب هرگونه تابش مستقیم نور به نمونه حذف شد (Dowlati *et al.*, 2013).

نور، دو عدد صفحه از جنس pvc سفید رنگ به موازات هر یک از لامپ‌ها نصب شد و به منظور بازتاب نور به طور یکنواخت و کاملاً متقارن به نمونه، از یک صفحه قوسی



شکل ۱- نمونه برگ‌های آفت‌زده پسته رقم اوحدی



شکل ۲- نمایی از چیدمان تصویربرداری

خاکستری، تبدیل تصاویر از فضای رنگی RGB به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ است. هدف از تبدیل فضای رنگی، دستیابی به الگوریتمی است که علایم بیماری را در تصاویر با دقت بالایی تقویت کند. دقت نهایی الگوریتم در تشخیص و طبقه‌بندی بیماری تا حد زیادی به فضای رنگی انتخاب‌شده بستگی دارد. در این تحقیق، علاوه بر فضای رنگی RGB که تصاویر اولیه تهیه‌شده از سطح برگ در این فضای رنگی بودند، از فضای $L^*a^*b^*$ نیز استفاده شد. از آنجایی که فضای $L^*a^*b^*$ بهتر از فضای RGB توانست قسمت‌های بیمار گیاه را برجسته نماید به همین جهت، از فضای رنگی $L^*a^*b^*$ استفاده شد. در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ ، مؤلفه L^* معرف روشنایی است و بین سفید تا سیاه متغیر است. تصاویر گرفته‌شده به همراه این مؤلفه و بدون آن مورد پردازش قرار گرفتند و مشاهده شد که وجود مؤلفه L^* درصد خطای تفکیک بین قسمت سالم و آلوده را افزایش می‌دهد. به همین جهت، برای افزایش دقت کار و از بین بردن اثر درخشندگی مؤلفه L^* ، تصاویر در فضای $L^*a^*b^*$ حذف شد و دستورهای خوشه‌بندی فقط به مؤلفه‌های a^* ، b^* تصاویر اعمال شدند. در این پژوهش، از روش خوشه‌بندی K-means برای بخش‌بندی تصاویر استفاده شد. برای استفاده از این روش

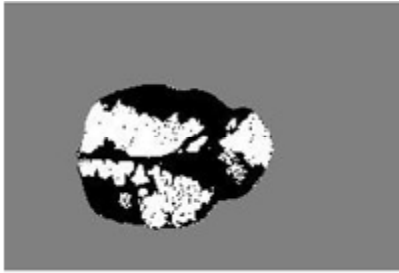
مراحل مختلف انجام پردازش تصویر

به‌طور خلاصه، مراحل مختلف اجرای مرحله ماشین بینایی یا پردازش تصویر و در نهایت تشخیص آفت‌ها از روی تصاویر را می‌توان در شش مرحله زیر خلاصه کرد:

- Ø اکتساب تصویر RGB،
- Ø تبدیل از فضای رنگی RGB به فضای رنگی $L^*a^*b^*$
- Ø اجرای خوشه‌بندی K-means،
- Ø تحت پوشش قراردادن پیکسل‌های سبز تصاویر^۱،
- Ø استخراج ویژگی‌ها و محاسبه بافت آماری، و
- Ø پیکربندی شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تشخیص و طبقه‌بندی آفت‌ها.

در اجرای مراحل بالا، از نرم‌افزار متلب استفاده شد. در (شکل ۳) نمونه‌ای از تصویر فراخوانی‌شده توسط این نرم‌افزار نشان داده شده‌است. پس از گرفتن تصاویر، گام بعدی پیش‌پردازش تصویر است. مرحله پیش‌پردازش شامل عملیاتی است که قبل از مرحله بخش‌بندی و به منظور حذف اثرهای ناخواسته در تصویر انجام شد و شامل عملیاتی همچون انتقال تصویر از فضای رنگی به فضای

۱- با استفاده از ماسک‌گذاری ناحیه سبز برگ (ناحیه سالم) پوشانده می‌شود تا سایر قسمت‌های آفت‌زده استخراج شود.



شکل ۴- تصویر برچسب‌گذاری شده در فضای متلب

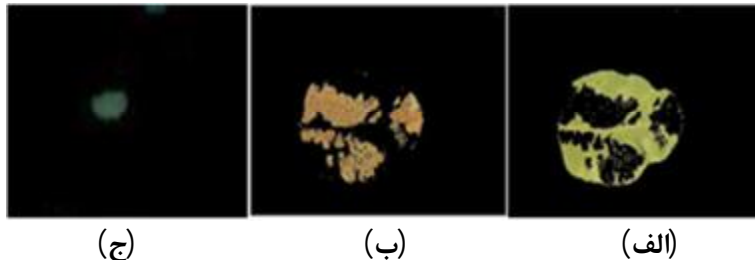
به‌دست آوردن تصاویر خوشه‌بندی شده

در این مرحله تصویر قسمت سالم و قسمت آفت‌زده برگ، که هر کدام یک خوشه از تصویر اصلی می‌باشند، به‌دست آمد (شکل ۵). در تصاویر پردازش‌شده برای برخی از تصاویر ناحیه مربوط به خوشه خیلی سبز، کاملاً سیاه‌رنگ بود و نشان از نبود این خوشه در تصویر بود. در اثر کمبود برخی عناصر، مثل فسفر گاهی رنگ برگ‌ها مایل به سبز تیره می‌شود و برگ‌های جوان که معمولاً رنگ سبز روشنی دارند، با پیرشدن سبز تیره می‌شوند؛ به همین جهت، با توجه به شرایط و هدف پژوهش حاضر، نیازی به پردازش پیکسل‌های خیلی سبز نبود.

باید تعداد خوشه‌ها و میزان فاصله هر خوشه از دیگری مشخص شود؛ بنابراین، تعداد خوشه‌ها ۳ در نظر گرفته شد که برگ به ۳ خوشه خیلی سبز یا سبز تیره، سبز (ناحیه سالم) و ناحیه آفت‌زده تقسیم شد و تعداد تکرار خوشه‌ها و فاصله بین خوشه‌ها با استفاده از فاصله اقلیدسی در سیستم متریک ۲ در نظر گرفته شد. هر قسمت از تصویر وارد شده الگوریتم k -means، یک شاخص مربوط به خوشه را نتیجه می‌دهد. در این مرحله، هر قسمت از تصویر با شاخص مربوط به خودش برچسب‌گذاری شد. شکل ۴، تصویر خروجی حاصل از این مرحله را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمونه‌ای از تصویر فراخوانی شده در فضای متلب



شکل ۵- (الف) خوشه مربوط به ناحیه سالم برگ، (ب) خوشه مربوط به ناحیه آفت‌زده برگ و (ج) خوشه مربوط به ناحیه خیلی سبز برگ

هم‌اتفاق سطح خاکستری^۱ استفاده شد (Neelamma et al., 2011).

مؤلفه‌هایی چون واریانس، میانگین، انحراف معیار، فشردگی، کشیدگی و صافی برای هر یک از مؤلفه‌های رنگی a^* و b^* در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ برای نمونه‌ها، از روابط مربوطه محاسبه شدند (Neelamma et al., 2011) (جدول ۳).

استخراج ویژگی‌ها (به‌دست آوردن خواص

مورفولوژیکی، بافتی و رنگی)

جهت محاسبه ویژگی‌های مورفولوژیکی برگ‌ها، ابتدا تصاویر به تصاویر باینری تبدیل شدند. برای تبدیل تصاویر به تصاویر باینری، یک مقدار حد‌آستانه فرضی (۰/۵) استفاده شد. مؤلفه‌های مورفولوژیکی محاسبه‌شده عبارت بودند از: سطح، محیط، سطح چندضلعی محیطی، وسعت و استحکام (Neelamma et al., 2011) (جدول ۱).

برای استخراج ویژگی‌های بافتی چون آنتروپی، کنتراست، همبستگی، انرژی و همگنی (جدول ۲) از ماتریس‌های

جدول ۱- ویژگی‌های مورفولوژیکی تصاویر برگ

Area: Total number of pixels in the leaf image (Binary image)	سطح: تعداد کل پیکسل‌های تصویر داخل برگ (در تصویر باینری).
Perimeter: Total number of pixels on the periphery of the leaf image	محیط: تعداد کل پیکسل‌های پیرامون برگ
Convex Hull Area: The smallest polynomial inscribed leaf	سطح چندضلعی محیطی: سطح کوچک‌ترین چندضلعی محاط‌کننده برگ
Extent: Ratio between pixels in the inscribed box to leaf pixels	وسعت: تناسب بین پیکسل‌های واقع در باکس محاط‌کننده برگ به پیکسل‌های واقع در برگ
Solidity: Ratio between pixels in the inscribed area to leaf pixels	استحکام: تناسب بین پیکسل‌های واقع در سطح محاطی به پیکسل‌های واقع در برگ

جدول ۲- ویژگی‌های بافتی استفاده شده و روابط آن‌ها

رابطه	ویژگی
Entropy = $-\sum_{i,j} p(i,j) \log(p(i,j))$	آنتروپی: مقیاسی برای اندازه‌گیری مقدار نظم در یک تصویر است. ساختار پیچیده‌تر دارای آنتروپی بالاتری می‌باشند.
Contrast = $\sum_{i,j} i-j ^2 p(i,j)$	کنتراست: میزان تغییرات محلی رنگ در تصویر را نشان می‌دهد. کنتراست یک تصویر را می‌توان توسط تفاوت لحظه‌ای معکوس، اندازه‌گیری کرد.
Correlation = $\sum_{i,j} \frac{1}{1+(i+j)^2} p(i,j)$	همبستگی: اندازه‌گیری وابستگی شدت خطی در تصویر است. تصاویری که ساختار خطی دارند، همبستگی بالایی دارند.
Energy = $\sum_{i,j} p(i,j)^2$	انرژی: مقابل آنتروپی قرار دارد و نشان‌دهنده هم‌جنسی در یک تصویر است. یک مؤلفه مناسب جهت اندازه‌گیری بی‌نظمی در ساختار تصویر است.
Homogeneity = $\sum_{i,j} \frac{1}{1+(i-j)^2} p(i,j)$	همگنی: اندازه‌گیری یکنواختی در یک تصویر است و شباهت پیکسل‌ها را اندازه‌گیری می‌کند.

i و j مختصات افقی و عمودی پیکسل‌های تصویر و p مقدار پیکسل است که یک وابستگی خطی به سطوح خاکستری پیکسل‌های مجاور دارد.

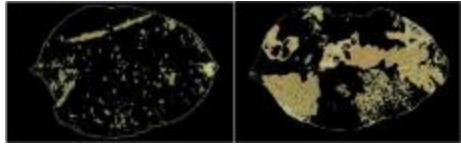
جدول ۳- ویژگی‌های رنگی استفاده شده در فضای $L^*a^*b^*$

رابطه	ویژگی
Variance = $\frac{\sum_{x=0}^{z-1} (h(x) - \mu)^2}{z}$	واریانس: مجموع تفاوت بین شدت پیکسل مرکزی را با پیکسل همسایه‌اش نشان می‌دهد.
Mean = $\frac{\sum_{x=0}^{z-1} h(x)}{z}$	میانگین: برابر میانگین شدت پیکسل‌ها است.
Standard deviation = $\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$	انحراف معیار: بیانگر میانگین کانتراست رنگ در پیکسل‌های مختلف است.
Skewness = $\frac{\sum_{x=0}^{z-1} (h(x) - \mu)^3}{z\sigma^3}$	فشرده‌گی: برابر است با گشتاور سوم معمول‌شده و معیاری از وجود یا عدم تقارن تابع توزیع است.
Kurtosis = $\frac{\sum_{x=0}^{z-1} (h(x) - \mu)^4}{z\sigma^4} - 3$	کشیدگی: برابر است با گشتاور چهارم معمول‌شده و معیاری از تیزی منحنی در نقطه ماکزیمم است.
Smoothness	صافی: میزان زبری و نرمی سطح برگ را نشان می‌دهد.

* $h(x)$ تابع پیکسل‌های سطح خاکستری در تصویر است. x : موقعیت پیکسل‌ها را در تصویر نشان می‌دهد و X می‌تواند هر مقداری بین ۱ و $z = m*n$ را بپذیرد که m و n به ترتیب شماره سطرها و ستون‌های ماتریس تصویر هستند.



تصویر اصلی



تصویر برجسب‌گذاری شده

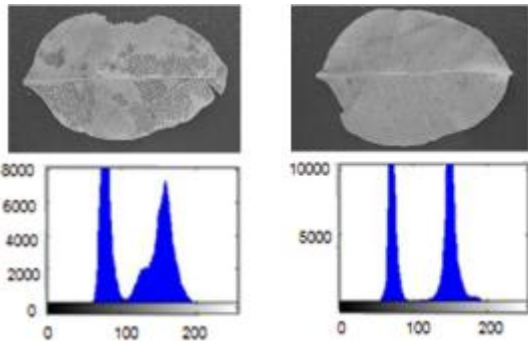


تصویر سطح آفت‌زده (سطح آفت‌زده برابر با سطوح سفید در این تصویر است)



تصویر باینری برای محاسبه مساحت کل برگ

شکل ۶- آفت پسیل و آفت پروانه برگ‌خوار



شکل ۷- هیستوگرام مربوط به آفت پروانه برگ‌خوار (سمت راست) و پسیل برگ‌پسته (سمت چپ)

درجه‌بندی بر اساس درصد ناحیه آفت‌زده

با توجه به درصدهایی که به‌دست آمد، برگ‌ها به چهار درجه تقسیم‌بندی شدند: (۱) معمولی؛ (۲) تا حدودی تحت تأثیر؛ (۳) متوسط؛ و (۴) ناسالم، که برای حالت "معمولی"، درصد ناحیه آفت‌زده کمتر از ۱٪، برای تا "حدودی تحت تأثیر"، آفت کمتر از ۲۵٪، برای "متوسط" تحت تأثیر، آفت تقریباً کمتر از ۵۰٪ و بیشتر از ۵۰٪، برگ ناسالم و شدت خسارت زیاد است.

تفکیک و طبقه‌بندی تصاویر برگ‌های آفت‌زده

در این پژوهش برای تفکیک و طبقه‌بندی تصاویر آفت‌ها، از جعبه ابزار شبکه عصبی مصنوعی نرم‌افزار متلب (2009a) (MATLAB) استفاده شد. ویژگی‌های استخراج‌شده از پردازش تصاویر به عنوان ورودی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۱ (MLP) با روش یادگیری پس انتشار با تابع آموزشی لونیبرگ-مارکوارت^۲ برای آموزش شبکه استفاده شد. الگوریتم‌های آموزش لونیبرگ-مارکوارت که برای بهنگام‌سازی وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد، از الگوریتم‌های پرکاربردند؛ زیرا آموزش شبکه را بسیار سریع انجام می‌دهند و سطح خطای موجود را حداقل می‌سازند (Kurtulmus et al., 2016). در شبکه پس انتشار، مدل‌های مختلفی بررسی شدند. در هر مدل، حالت‌های مختلفی بررسی شدند و مؤلفه‌های شبکه تغییر داده شدند تا بهترین حالت به‌دست آمد (Golpour et al., 2014).

محاسبه نسبت خسارت آفت‌ها

بنا به تعریف، درصد ناحیه تحت تأثیر آفت‌ها برابر است با:

$$100 \times (\text{کل ناحیه برگ} / \text{ناحیه تحت تأثیر آفت‌ها})$$

که در آن، ناحیه تحت تأثیر آفت، برابر است با مساحت قسمت آفت‌زده و ناحیه کل، برابر با کل مساحت برگ است (Pujari et al., 2013).

هیستوگرام تصویر، نموداری است که توسط آن تعداد پیکسل‌های هر سطح روشنایی در تصویر ورودی مشخص می‌شود. بنابراین در تصویر سطح خاکستری هر یک از پیکسل‌های تصویر می‌تواند مقداری بین [۰-۲۵۵] داشته باشد. برای به‌دست‌آوردن هیستوگرام تصویر، کافی است با پیمایش کل پیکسل‌های تصویر، تعداد پیکسل‌های هر سطح روشنایی را محاسبه کنیم. برای به‌دست آوردن کنتراست (اختلاف بین کمترین و بیشترین شدت روشنایی) تصاویر گرفته‌شده، نیاز به استفاده از هیستوگرام بود و در شرایطی که کنتراست بعضی تصاویر کم بود، از تعدیل هیستوگرام استفاده شد.

1- Multilayer Perceptron

2- Levenberg-Marquardt

نتایج و بحث

طبقه‌بندی آفت‌ها بر اساس ویژگی‌های رنگی برگ با استفاده از مدل پس انتشار شبکه‌های عصبی مصنوعی

برای طبقه‌بندی آفت‌ها بر اساس شش ویژگی رنگی با استفاده از مدل پس انتشار^۱ (BP) در شبکه‌های عصبی مصنوعی از شبکه سه لایه با دولایه مخفی استفاده شد (جدول ۴). در فاز یادگیری از ۱۳۰۰۰ بار تکرار و ضریب مومنتوم تابع آموزش ۰/۴ و سرعت یادگیری ۰/۰۴ استفاده شد. پس از ارزیابی شبکه، بیشترین دقت کلی طبقه‌بندی ۹۳/۳٪ با استفاده از تابع تانژانت سیگموئید در خروجی و تابع لگاریتم سیگموئید در لایه مخفی اول و دوم با ساختار^۲ ۶-۷-۷-۲ با تعداد چرخه آموزش^۳ ۶۴، ضریب رگرسیون کلی ۰/۸۸۳۹۳ و MSE برابر ۰/۱۱۸ به دست آمد، که بهترین ساختار را الگوریتم یادگیری لوبنرگ مارکوارت داشت. همچنین، کمترین مقدار دقت طبقه‌بندی ۹۰٪ در مدلی که تابع‌های مخفی اول و دوم تانژانت سیگموئید با تعداد ۲۰ نرون در هر لایه مخفی و تابع خروجی لگاریتم سیگموئید بود، حاصل شد که این نتایج با نتایج به دست آمده توسط Golpour et al., (2014) برای شناسایی و طبقه‌بندی پنج رقم شلتوک با شبکه یک لایه با استفاده از ویژگی‌های رنگی هم‌خوانی دارد.

یکی از معیارهای ارزیابی شبکه و توقف آموزش، خطای میانگین مربعات است. با توجه به این معیار زمانی که خطا در داده‌های اعتبارسنجی، در تعداد چرخه آموزش مشخص شده، به صورت نزولی نباشد، آموزش شبکه متوقف می‌شود. نمودار میانگین مربعات خطا در سری داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و ارزیابی برای شناسایی و طبقه‌بندی آفت‌های پروانه برگ‌خوار و پسیل در مدلی که بیشترین دقت را داشت، در شکل ۸-الف، نشان داده شده است. نمودار نشان می‌دهد که خطا در سری داده‌های آموزش، با افزایش چرخه آموزش، کاهش یافته است. کمترین مقدار خطا در چرخه‌های آموزش برای پروانه برگ‌خوار و پسیل پسته در سری اعتبارسنجی، در ۵۲

چرخه آموزش مشاهده شد و پس از آن سیر صعودی داشت.

ماتریس اغتشاش برای نمایش نتایج دقت‌های طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در این پژوهش نیز از ماتریس اغتشاش برای طبقه‌بندی آفت‌های پروانه برگ‌خوار و پسیل برگ پسته و همچنین، تعیین دقت طبقه‌بندی استفاده شد. ماتریس اغتشاش (شکل ۸-ب) درصد دقت طبقه‌بندی هر نمونه از برگ‌های آفت‌زده را به صورت مجزا نشان می‌دهد. اعداد درون سلول‌های هر ردیف از ماتریس، نشان‌دهنده نمونه‌هایی است که به عنوان یک آفت شناسایی شده‌اند (ردیف اول ماتریس مربوط به آفت پروانه برگ‌خوار و ردیف دوم مربوط به پسیل برگ پسته است). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در ۲۷ عدد از نمونه‌ها به درستی، آفت پروانه برگ‌خوار تشخیص داده شده است و سه عدد از نمونه‌ها به اشتباه در دسته دوم، یعنی پسیل قرار گرفته‌اند و در ردیف دوم، ۲۹ عدد از نمونه‌ها به درستی به عنوان پسیل تشخیص داده شده‌اند و یکی از نمونه‌ها به اشتباه در دسته اول قرار داده شده است. ستون آخر در هر ماتریس نشان‌دهنده درصد دسته‌بندی صحیح (به رنگ سبز) و درصد دسته‌بندی غلط (به رنگ قرمز) در هر نوع از آفت‌ها است. در شکل ۸-ب، آخرین سلول در سمت راست و پایین هر ماتریس (سلول آبی) نمایانگر درصد کل نمونه برگ‌هایی است که به طور صحیح دسته‌بندی شده‌اند.

طبقه‌بندی آفت‌ها بر اساس ویژگی‌های بافتی با استفاده از مدل پس انتشار در شبکه‌های عصبی مصنوعی

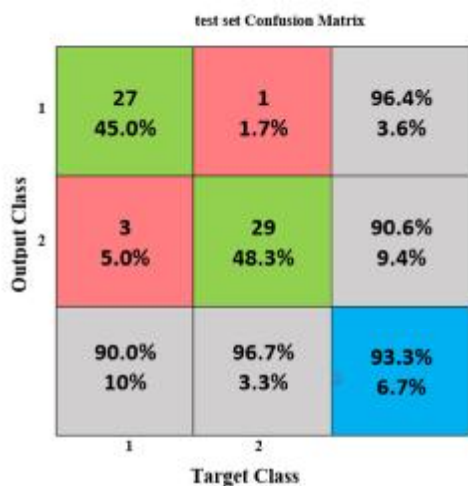
برای طبقه‌بندی آفت‌ها بر اساس پنج ویژگی بافتی با استفاده از مدل پس انتشار از شبکه سه لایه با دو لایه مخفی استفاده شد (جدول ۵). در فاز یادگیری از ۱۵۰۰۰ تکرار و مومنتوم ۰/۴ و سرعت یادگیری ۰/۰۴ استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده شبکه با تعداد ۲۰ نرون در هر لایه مخفی، بیشترین دقت طبقه‌بندی کل برابر ۹۵٪ را دارا بود و همچنین، ضریب رگرسیون برای آموزش، اعتبارسنجی، ارزیابی و کل به ترتیب ۰/۹۵۲۰۶، ۰/۸۹۴۲۲، ۰/۸۷۱۸۴، ۰/۹۲۴۴ و MSE برابر ۰/۰۹۳۴ به دست آمد و به عنوان مطلوب‌ترین شبکه انتخاب شد. دقت کل تقریباً برابر دقتی بود که (Omrani et al., 2015)

1- Back Propagation
2- Topology
3- Epoch

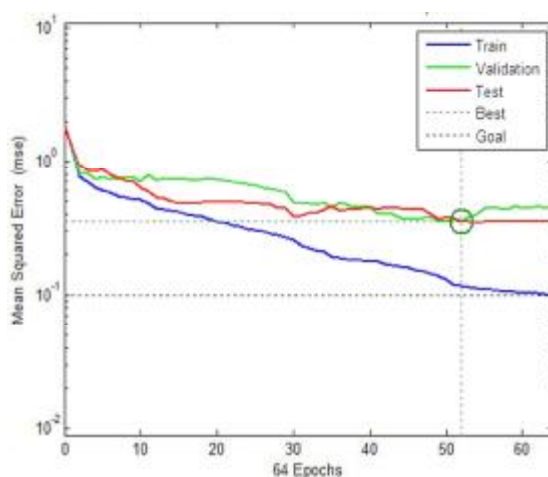
برای شناسایی برگ ارقام سیب به دست آوردند (۹۵/۸۳٪). هم‌چنین نتایج مربوط به ویژگی‌های بافتی با نتایج Pujari *et al.*, (2013) مطابقت دارد. نتایج حاصل از شبکه‌های عصبی با ورودی‌های مربوط به ویژگی‌های بافتی، نسبت به شبکه‌های عصبی با ورودی‌های رنگی دارای میزان دقت طبقه‌بندی بالاتری بود (Golpour *et al.*, 2014).

جدول ۴- تغییر تابع انتقال در لایه‌های پنهان و خروجی با شش ویژگی رنگی و تأثیر آن بر دقت شناسایی برای طبقه‌بندی آفت‌های پروانه برگ‌خوار و پسیل برگ‌پسته

توابع انتقال (لایه پنهان - لایه خروجی)	ساختار	تعداد چرخه آموزش	دقت کلی طبقه‌بندی (%)
تانزانٹ سیگموئید، تانزانٹ سیگموئید- خطی	۲-۲۰-۲۰-۶	۶۸	۹۱/۷
لگاریتم سیگموئید، تانزانٹ سیگموئید- خطی	۲-۱۰-۱۰-۶	۱۴۹	۹۱/۷
تانزانٹ سیگموئید، تانزانٹ سیگموئید- لگاریتم سیگموئید	۲-۲۰-۲۰-۶	۳۳۱	۹۰
لگاریتم سیگموئید، لگاریتم سیگموئید- تانزانٹ سیگموئید	۲-۷-۷-۶	۶۴	۹۳/۳



(ب)



(الف)

شکل ۸- الف) نمودار خطای میانگین مربعات در داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و ارزیابی و ب) ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی آفت پروانه برگ‌خوار و پسیل برگ‌پسته

جدول ۵- تغییر تابع انتقال در لایه‌های پنهان و خروجی با پنج ویژگی بافتی و تأثیر آن بر دقت شناسایی برای طبقه‌بندی آفت‌های پروانه برگ‌خوار و پسیل برگ‌پسته

توابع انتقال (لایه پنهان - لایه خروجی)	ساختار	تعداد چرخه آموزش	دقت کلی طبقه‌بندی (%)
تانزانٹ سیگموئید، تانزانٹ سیگموئید- خطی	۲-۲۰-۲۰-۵	۲۵	۹۵
لگاریتم سیگموئید، تانزانٹ سیگموئید- خطی	۲-۱۰-۱۰-۵	۲۱	۹۳/۳
تانزانٹ سیگموئید، تانزانٹ سیگموئید- لگاریتم سیگموئید	۲-۲۰-۲۰-۵	۱۱۴	۹۱/۷
لگاریتم سیگموئید، لگاریتم سیگموئید- تانزانٹ سیگموئید	۲-۷-۷-۵	۱۷	۹۳/۳

طبقه‌بندی آفت‌ها بر اساس پنج ویژگی مورفولوژیکی برگ با استفاده از مدل پس انتشار شبکه‌های عصبی مصنوعی با توجه به ساختارهای متفاوت شبکه جدول ۶، کمترین و بیشترین دقت کلی طبقه‌بندی به ترتیب ۸۵٪ و ۸۶/۷٪ به‌دست آمد که نسبت به ویژگی‌های رنگ و بافت دقت

پایین‌تری را نشان داد و با تغییر توابع و تعداد نرون‌ها در لایه‌های مخفی تغییر ملموسی در دقت طبقه‌بندی مشاهده نشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مشخص شد که ویژگی‌های مورفولوژیکی برگ به تنهایی نمی‌توانند معیار مناسبی برای طبقه‌بندی آفت‌ها باشند (Neelamma *et al.*, 2011; Kurtulmus *et al.*, 2016)

جدول ۶- به‌کارگیری توابع انتقال مختلف در لایه‌های پنهان و خروجی شبکه‌های عصبی مصنوعی و تأثیر آن‌ها در دقت طبقه‌بندی آفت‌ها (پنج ویژگی مورفولوژیکی)

توابع انتقال (لایه پنهان - لایه خروجی)	ساختار	تعداد چرخه آموزش	دقت کلی طبقه‌بندی (%)
تانژانت سیگموئید، تانژانت سیگموئید-خطی	۵-۲۰-۲۰-۲	۱۰۲	۸۶/۷
لگاریتم سیگموئید، تانژانت سیگموئید-خطی	۵-۱۶-۱۶-۲	۱۰۲	۸۶/۷
تانژانت سیگموئید، تانژانت سیگموئید-لگاریتم سیگموئید	۵-۱۰-۱۰-۲	۲۹۶	۸۵
لگاریتم سیگموئید، لگاریتم سیگموئید-تانژانت سیگموئید	۵-۱-۲-۲	۲۱۹	۸۵

طبقه‌بندی آفت‌ها بر اساس ۱۱ ویژگی ترکیبی (بافت - رنگ) برگ با استفاده از مدل پس انتشار در شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این مدل‌ها، از شبکه سه لایه با دو لایه مخفی استفاده شد. در فاز یادگیری از ۱۵۰۰۰ تکرار و ضریب مومنتوم ۰/۴ و سرعت یادگیری ۰/۰۴ با تعداد نرون مختلف در لایه‌های مخفی استفاده شد تا بهترین ساختار مشخص شود. بهترین ساختار مربوط به مدل اول و چهارم (جدول ۷) با ساختار ۱۱-۲۲-۲۲-۲ و ۱۱-۷-۷-۲ با چرخه

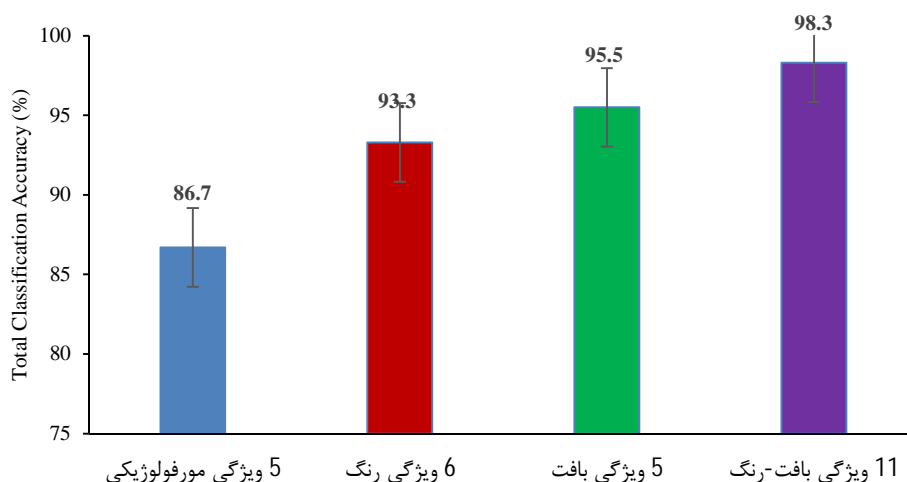
آموزش به ترتیب ۱۴ و ۲۵ با دقت کلی طبقه‌بندی ۹۸/۳٪ بود. نتیجه به‌دست آمده با نتایج پژوهشگران دیگر همخوانی داشت (Neelamma *et al.*, 2011; Pydipati *et al.*, 2016) و دقت به‌دست آمده بالاتر از دقتی بود که (Omrani *et al.*, 2015) با استفاده از تکنیک پردازش تصویر و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی برای شناسایی برگ ارقام سیب به‌دست آوردند (۹۵/۸۳٪).

جدول ۷- به‌کارگیری توابع انتقال مختلف در لایه‌های پنهان و خروجی شبکه‌های عصبی مصنوعی و تأثیر آن در دقت طبقه‌بندی آفت‌ها (۱۱ ویژگی ترکیبی)

توابع انتقال (لایه پنهان - لایه خروجی)	ساختار	تعداد چرخه آموزش	دقت کلی طبقه‌بندی (%)
تانژانت سیگموئید، تانژانت سیگموئید-خطی	۱۱-۲۲-۲۲-۲	۱۱۴	۹۸/۳
لگاریتم سیگموئید، تانژانت سیگموئید-خطی	۱۱-۱۰-۱۰-۲	۱۲	۹۶/۷
تانژانت سیگموئید، تانژانت سیگموئید-لگاریتم سیگموئید	۱۱-۱۰-۱۰-۲	۱۱۳	۹۶/۷
لگاریتم سیگموئید، لگاریتم سیگموئید-تانژانت سیگموئید	۱۱-۷-۷-۲	۲۵	۹۸/۳

در نمودار شکل ۸، نتایج ارزیابی شبکه پس انتشار برای طبقه‌بندی آفت پروانه برگ‌خوار و پسیل پسته نشان داده شده‌است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ویژگی‌های

ترکیبی (بافت- رنگ) و ویژگی‌های مورفولوژیکی به‌ترتیب با مقدار ۹۸/۳٪ و ۸۶/۷٪ بالاترین و پایین‌ترین دقت طبقه‌بندی کل را نشان دادند.



شکل ۸- مقایسه دقت طبقه‌بندی آفت پروانه برگ‌خوار و پسپیل پسته با استفاده از ویژگی‌های رنگ، بافت، ویژگی مورفولوژیکی و ترکیبی (بافت - رنگ)

پسپیل برگ پسته بود، زیرا پروانه برگ‌خوار اکثر قسمت‌های نرم (پارانسیم) برگ را می‌خورد، ولی پوره‌های پسپیل با فروبردن خرطوم خود در برگ فقط لکه‌های خیلی ریزی را در سطح برگ باقی می‌گذارند.

نتایج محاسبه نسبت خسارت آفت‌ها

مساحت مربوط به ناحیه آفت‌زده برگ‌ها و مساحت کل برگ‌ها تعیین و نسبت خسارت بنا به تعریف محاسبه گردید (جدول ۸). به طور کلی میانگین نسبت خسارت در پروانه برگ‌خوار پسته روی سطح برگ خیلی بیشتر از

جدول ۸- محاسبه میانگین نسبت خسارت در فضای رنگی $L^*a^*b^*$

پروانه برگ‌خوار پسته	پسپیل برگ پسته	نوع آفت
%۲۹/۹۱	%۷/۰۶	میانگین نسبت خسارت

برگ‌خوار، بیشترین تعداد برگ (۶۱ برگ) دارای خسارتی بیش از ۵۰ درصد بودند و در درجه ناسالم (شدت خسارت زیاد) قرار داشتند که نتایج بالا با پیش‌بینی، آمار و اطلاعات کارشناسان مجرب مرکز تحقیقات کشاورزی همخوانی داشت.

در مجموع، نتایج حاصل از این پژوهش علاوه بر تأیید یافته‌های پژوهشگران پیشین، دقت بالاتری در مقایسه با پژوهش‌های مشابه نیز نشان داد (Pujari et al., 2013; Bernardes et al., 2013; Leemans et al., 1998).

نتایج

درجه‌بندی آفت‌ها براساس درصد ناحیه آفت‌زده برگ

درجه‌بندی برگ‌ها براساس درصد ناحیه آفت‌زده بنا به تعاریفی که در قسمت مواد و روش‌ها ارائه شد، در جدول ۹ خلاصه شده است. در مورد آفت پسپیل برگ پسته، بیشترین تعداد برگ (۵۸ برگ از مجموع ۱۵۰ برگ) دارای خسارتی بین ۱ تا ۲۵ درصد در درجه تاحدودی تحت تأثیر آفت قرار داشتند. همچنین، در مورد آفت پروانه

جدول ۹- درجه‌بندی برگ‌ها بر اساس درصد ناحیه آفت‌زده

نوع آفت	برگ نرمال (خسارت کمتر از ۱%)	برگ تا حدودی تحت تأثیر آفت (خسارت بین ۱ تا ۲۵%)	متوسط تحت تأثیر (خسارت بین ۲۵ تا ۵۰%)	ناسالم (خسارت بیشتر از ۵۰%)
پسپیل برگ پسته	۱۴	۵۸	۲۸	۴۰
پروانه برگ‌خوار	۱۹	۲۷	۳۳	۶۱

- white rice cultivars with colour features extraction using image analysis and neural network. *Czech Journal Food Science*, 32 (3): 20-28.
6. Kurtulmus, F. Alibas, I. and Kavdir, I. 2016. Classification of pepper seeds using machine vision based on neural network. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(1): 51-62.
 7. Leemans, V. Magein, H. and Destain, M. F. 1998. Defects segmentation on Golden Delicious' apples by using colour machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 20: 117-130.
 8. Neelamma, K. P. Virendra, S. M. and Ravi, M. Y. 2011. Color and texture based identification and classification of food Grains using different Color Models and Haralick features. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 3(12): 3669-3680.
 9. Omrani, E. Mohtasebi, S. S. Rafiee, Sh. and Hosseinpour, S. 2015. Identification of apple leaf varieties using image processing and adaptive neuro- fuzzy inference system. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 46(1): 67-75 (in Farsi).
 10. Omrani, E. Mohtasebi, S. S. Rafiee, Sh. Hosseinpour, S. and Aghili Nategh, N. 2012. Apple leaf diseases detection using image analysis techniques. In the 8th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization of Iran. Ferdowsi University, Mshhad, Iran. pp. 2222-2232 (in Farsi).
 11. Pujari, J. D. Rajesh, Y. and Abdulmunaf, S. B. 2013. Grading and classification of anthracnose fungal disease of fruits based on statistical texture features. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 52.1: 121-132.
 12. Pydipati, R. Burks, T. F. and Lee, W. S. 2006. Identification of citrus disease using color texture features and discriminant analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 52(1-2): 49-59.
 13. Razavi, S. M. A. Bostan, A. and Rahbari, R. 2010. Computer image analysis and physico-mechanical properties of wild sage seed (*Salvia macrosiphon*). *International Journal of Food Properties*, 13(2): 308-316.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بیشترین درصد خسارت برگ مربوط به آفت پروانه برگ‌خوار پسته با میانگین ۲۹/۹۱٪ بود که از مجموع ۱۵۰ برگ آفت پروانه برگ‌خوار، ۶۱ برگ دارای شدت خسارت بالاتر از ۵۰٪ بودند. همچنین، کمترین نسبت خسارت برگ مربوط به آفت پسیل برگ پسته با میانگین ۷/۰۶٪ بود که از مجموع ۱۵۰ برگ، ۱۴ برگ دارای شدت خسارت کمتر از ۱٪ بودند. از بررسی مدل‌های مختلف شبکه‌های عصبی پس انتشار می‌توان نتیجه گرفت در صورتی که تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون مناسب در این لایه‌ها انتخاب شود، این مدل‌ها با دقت بسیار خوبی توانایی تشخیص و طبقه‌بندی آفت‌ها را دارند. با وجود اینکه گاهی در نتایج دسته‌بندی آفت‌ها خطاهایی وجود داشت (که اغلب مربوط به آفت‌های پروانه برگ‌خوار پسته بود و به اشتباه در دسته پسیل پسته قرار می‌گرفتند)؛ اما در مجموع، بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت فناوری‌های پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی در تشخیص آفت‌های پسته به‌طور موفق عمل کردند. به طور کلی، تشخیص و شناسایی آفت‌های پروانه برگ‌خوار و پسیل پسته، قبل از مرحله تکثیر و آسیب گسترده به محصولات، یکی از اهداف این پژوهش است.

منابع

1. Abrishami, M. H. 1994. Persian pistachio, A comprehensive history. University Publication Center. 669 p (in Farsi).
2. Bernardes, A. Rogeri, J. Oliveira, R. Marranghello, N. Pereira, A. Araujo., A. and Tavares. J. S. 2013. Identification of Foliar Diseases in Cotton Crop. *Topics in Medical Image Processing and Computational Vision*, 8: 67-85.
3. Dowlati, M. Mohtasebi, S. S. and de la Guardia, M. 2012. Application of machine-vision techniques to fish-quality assessment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 40: 168-179.
4. Dowlati, M. Mohtasebi, S. S. Omid, M. Razavi, S. H. Jamzad, M. and de la Guardia, M. 2013. Freshness assessment of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by machine vision based on gill and eye color changes. *Journal of Food Engineering*, 119(2): 277-287.
5. Golpour, I. Amiri parian, J. and Amiri chayjan, R. 2014. Identification and classification of bulk paddy, brown, and