

بررسی امکان تشخیص بیماری‌های فیزیولوژیک درختان پسته با استفاده از پردازش تصویر

فاطمه سعادت جو^{۱*}، محمدجواد رضایی بیداخویدی^۲ و سمانه دهقان بهابادی^۳

چکیده

یکی از انواع بیماری‌های فیزیولوژیکی درختان، کمبود مواد مغذی است که شناسایی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. روش معمول برای این کار، بررسی چشمی برگ، تجزیه‌ی خاک و استفاده از روش‌های آزمایشگاهی است که به افراد خبره، وقت و هزینه‌های زیادی نیاز دارد و مقرون‌به‌صرفه نیست. از این‌رو در این پژوهش با استفاده از پردازش تصویر و بر اساس ویژگی‌های برگ، روشی برای تشخیص کمبود انواع مواد مغذی در درختان پسته ارائه شده‌است. بدین منظور، در دوره‌ی زمانی مشخصی از سال، تصاویر دیجیتالی از برگ‌های دارای انواع کمبود و برگ‌های سالم تهیه شده‌است؛ پس از پردازش تصاویر حاصل، ویژگی‌های اصلی برگ، شامل رگ‌برگ و لبه از سطح برگ استخراج می‌شوند؛ در گام بعد با توجه به ویژگی رنگی انواع کمبودها، خواص رنگی هر کمبود در دو مدل رنگی RGB و CMYK محاسبه شده و با توجه به این خواص و مکان ظهور علائم، نوع کمبود شناسایی می‌شود. برای ارزیابی روش پیشنهادی از دو معیار حساسیت و ویژگی استفاده شده‌است. آزمایش‌ها نشان می‌دهد این روش قادر به تشخیص کمبودهای موجود با حساسیت ۹۷٪ در معیار ویژگی با دقت ۹۵٪ است.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، کمبود مواد مغذی، تشخیص لبه، برگ، ویژگی رنگی.

ارجاع: سعادت جو ف. رضایی بیداخویدی م. ج. و دهقان بهابادی س. ۱۳۹۹. بررسی امکان تشخیص بیماری‌های فیزیولوژیک درختان پسته با استفاده از پردازش تصویر. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۱۱-۱۹.

۱- استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و هنر، یزد.

۲- دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و هنر، یزد.

۳- کارشناس ارشد گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و هنر، یزد.

* نویسنده مسئول fatemehsaadatjoo@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲

مقدمه

اختلالات فیزیولوژیک یا بیماری‌های غیرمسمری در گیاهان عواملی هستند که توسط عامل‌های غیرانگلی یا غیر پارازیت ایجاد می‌شوند. خسارت این بیماری‌ها بسته به شدت آنها در بعضی موارد بیشتر از بیماری‌های ایجادشده توسط عوامل میکروبی است و شدت آن به نوع عامل بستگی دارد که مرگ گیاه را نیز ممکن است به دنبال داشته باشد. از عوامل بروز اختلالات فیزیولوژیک به نور، دما، رطوبت، بستر رویش، اقلیم و موقعیت جغرافیایی، عناصر ریز مغذی، ابزار و ماشین‌آلات کاشت می‌توان اشاره کرد. کمبود مواد مغذی یکی از عوامل مهم در بروز این نوع بیماری است.

پسته بخش قابل توجهی از صادرات محصولات کشاورزی را در کشور به خود اختصاص داده است، که متأسفانه کشت آن به دلایلی نظیر کم‌آبی و استفاده‌ی از کودهای نامرغوب به شدت افت کرده است. از راه‌های بهبود این وضعیت، به شناسایی کمبودهای موجود در درخت می‌توان اشاره کرد. شناسایی درست کمبودها تشخیص بهتر روش درمان را به دنبال دارد و در نتیجه باعث استفاده درست و به موقع از کود خواهد شد. برای این منظور راه‌های مختلفی وجود دارد، که از آن جمله روش‌های بررسی چشمی برگ، تجزیه خاک و روش‌های آزمایشگاهی مخصوص را می‌توان نام برد. در بین این روش‌ها، بررسی برگ درخت از مرسوم‌ترین روش‌هاست ولی در عین حال با خطای بیشتری همراه است، چرا که برخی از کمبودها علامت ویژه‌ای در برگ ایجاد نمی‌کنند و یا بعضی از آنها علائم مشترکی دارند که احتمال خطا در تشخیص را افزایش می‌دهد. برای تشخیص چنین کمبودهایی به افراد خبره نیاز است تا علائم آن‌ها را از یکدیگر بتواند تمیز دهد. از آن‌جاکه این روش علاوه بر امکان تشخیص سریع، هزینه‌ی چندانی هم ندارد، در این مقاله با جایگزین کردن روش پردازش تصویر و استفاده از یک نرم‌افزار مناسب، به جای فرد خبره که مطمئناً همیشه در دسترس نیست و یا ممکن است به خاطر خطای دید تشخیص اشتباهی داشته باشد، به کشاورز در جهت تشخیص دقیق، به‌موقع، سریع و کم‌هزینه‌ی کمبودها کمک می‌شود.

ماشین بینایی در حوزه‌ی کشاورزی کاربردهای فراوانی دارد که به درجه‌بندی میوه‌ها بر اساس رنگ و درصد رسیدگی آن‌ها، انتخاب زمین‌های حاصل‌خیز و شناسایی

ارقام و واریته‌ها و مانند آن می‌توان اشاره کرد (Omrani *et al.*, 2015).

محمودی و همکاران با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و به کمک خواص رنگی و مورفولوژیکی برگ درخت گردو، به شناخت ژنوتیپ‌ها جهت تشخیص بیماری‌های درخت گردو پرداختند (Mahmoudi *et al.*, 2010). طبق نتایج حاصل دقت شبکه پس انتشار خطا ۱۰۰٪ بود در حالیکه دقت در شبکه رقابتی ۹۰٪ به دست آمد. عمرانی و همکاران برای شناسایی ارقام سبب از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در طبقه‌بندی تصاویر استفاده کرده‌اند. در این تحقیق چهار رقم گرانی اسمیت، گلاب کهنز، گالا و دلبار استیوال مورد مطالعه قرار گرفتند. در ابتدا نمونه‌های برگ جمع‌آوری و سپس تصویربرداری شد، و پس از پردازش تصاویر، ویژگی‌های مورفولوژیک، رنگ و بافت هر یک از تصاویر محاسبه شده و سپس از سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی برای طبقه‌بندی نمونه‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد بهترین سیستم استنتاجی با توابع عضویت ورودی به‌صورت خطی و توابع عضویت خروجی به شکل مثلثی است و با روش آموزش مرکب در حالت دسته‌بندی شبکه‌ای سیستم استنتاج فازی، بالاترین دقت را به دست آورده و دقت، در این روش برای داده‌های طبقه‌بندی آزمایشی ۹۵/۸۳٪ گزارش شده است (Omrani *et al.*, 2015). بررسی مقدار محتوای عناصر غذایی موجود در گیاه، یکی دیگر از کاربردهای تکنیک ماشین بینایی است. این تکنیک به‌عنوان یک روش جهت نشان دادن کمبودهای غذایی گیاه برای تنظیم کردن مقدار کوددهی به محصولات مزرعه‌ای و یا گلخانه‌ای در زمانی که واقعا نیاز به مواد آلی دارند، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد؛ در این حالت می‌توان به‌طور قابل ملاحظه‌ای باعث صرفه‌جویی در میزان مصرف کود شد. (Mehrvan & Dadvar, 2014) از شبکه عصبی و خوشه‌بندی در تشخیص آفات گیاهان استفاده کرده‌اند؛ از روش خوشه‌بندی برای تعیین حد آستانه و برای استخراج ویژگی‌های برگ که شامل شکل، بافت و رنگ برگ است از طبقه‌بندی و شبکه‌ی آموزشی نظارتی بهره برده‌اند. با افزایش زمان این روش نسبت به روش k-means جواب بهتری می‌دهد. صادقی‌فر و همکاران به کمک روش k-means اشیا آلوده را شناسایی کرده و از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای

صورت می‌گیرد (Lee et al., 2015). (al., 2010 Story et) یک رویکرد یادگیری عمیق را به منظور یادگیری ویژگی‌های افتراقی تصاویر برای شناسایی و طبقه‌بندی گیاه، مورد بررسی قرار داده‌اند. از شبکه عصبی مصنوعی کانولوشن^۲ برای آموزش بدون نظارت ویژگی‌های ۴۴ گونه‌ی گیاهان مختلف استفاده شده و به منظور به دست آوردن ویژگی‌های انتخاب شده‌ی این شبکه عصبی از تکنیک تجسمی مبتنی بر شبکه‌های غیرکانولوشن (آنالیز داخلی شبکه) بهره‌گیری شده است. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده‌ی این است که یادگیری و آموزش ویژگی‌ها از طریق شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با روش‌های دستی، ویژگی‌های بهتری برای دسته‌بندی تصاویر برگ می‌تواند فراهم کند. علاوه بر این مشخص می‌کند که ساختار رگ‌ها یک ویژگی مهم برای شناسایی گونه‌های مختلف گیاهی می‌باشد.

همانطور که مشاهده می‌شود برای مکانیزه کردن صنعت کشاورزی، تلاش‌های زیادی صورت گرفته اما در این میان، به تشخیص و شناسایی انواع کمبودهای مواد مغذی در گیاه توجه چندانی نشده است.

در این مقاله روشی برای تشخیص کمبود مواد مغذی درختان پسته ارائه شده است. در روش معرفی شده، بر روی مشخصه‌های اصلی برگ و ویژگی‌های رنگی برگ بررسی‌هایی صورت پذیرفته و با توجه به اینکه هر کمبود، ویژگی رنگی و مکانی خاصی دارد و شخص خبره با توجه به این ویژگی‌ها کمبود را شناسایی می‌کند، در اینجا نیز از این ویژگی‌های رنگی و محل بروز آن در برگ استفاده کرده و انواع کمبودها را شناسایی می‌کنیم.

ادامه مقاله بدین ترتیب سازماندهی شده است: در بخش دوم روش پیشنهادی بیان شده است. نحوه‌ی جمع‌آوری داده در بخش سوم آورده شده است. در بخش چهارم، نحوه‌ی استخراج ویژگی‌های اصلی برگ بیان شده است. خواص رنگی هر یک از کمبودها در بخش پنجم نشان داده شده است. در بخش ششم، نحوه‌ی تشخیص کمبودها و شاخص‌های آماری بیان شده است و در آخر نتیجه‌گیری بحث آورده شده است.

استخراج ویژگی برگ‌های آلوده و طبقه‌بندی آن‌ها بر اساس نوع بیماری‌شان استفاده کرده‌اند. این روش نسبت به روش‌های قبلی، بیش از ۹۱٪ دقت و به‌طور متوسط ۲۰٪ سرعت بیشتر دارد (Sadeghifar et al., 2014). بنگ و هینگلیوالا یک ابزار مبتنی بر وب طراحی کرده‌اند که با بارگزاری تصویر میوه‌ی انار، برای شناسایی نوع بیماری میوه به کشاورز کمک می‌کند. این سیستم یک مجموعه داده‌ی آموزش‌دیده از تصاویر میوه انار دارد. به منظور شناسایی شدت بیماری در تصویر ورودی داده شده توسط کاربر در مقایسه با تصاویر مجموعه داده‌ی آموزش دیده، چندین مرحله پردازش انجام می‌شود. ابتدا اندازه‌ی تصویر تغییر داده شده، سپس ویژگی‌های آن بر اساس پارامترهایی مثل رنگ و مورفولوژی استخراج شده و خوشه‌بندی به وسیله‌ی روش k-means انجام می‌شود و از ماشین بردار پشتیبان^۱ برای کلاس‌بندی تصاویر آلوده و غیرآلوده استفاده شده است. ارزیابی تجربی روش پیشنهادی قابل اجرا بوده و ۸۲٪ دقت برای شناسایی بیماری انار دارد (Bhange & Hingoliwala, 2015). از پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یک ابزار برای نظارت بر بیماری میوه‌ها استفاده کرده‌اند. آنها نیز همانند پژوهش‌های قبلی، طبقه‌بندی تصاویر را بر اساس سه ویژگی رنگ، بافت و مورفولوژی انجام داده‌اند. بر اساس ویژگی مورفولوژی در ۹۰٪ موارد جواب درست برگردانده می‌شود (Jhuria & Kumar, 2013). استوری و همکاران یک سیستم بر پایه ماشین بینایی برای تشخیص زود هنگام کمبود کلسیم در محیط کنترل شده برای کاهو طراحی کرده‌اند، این سیستم بینایی ماشین شامل دو قسمت اصلی است: یک سیستم موقعیت‌یاب دوربین خودکار و یک ماژول پردازش تصویر. سیستم بینایی ماشین خصوصیات گیاه را برای تعیین رشد عمومی و وضعیت سلامت گیاه استخراج کرده و همچنین ویژگی‌های مربوط به رنگ، مورفولوژی، آنتروپی، انرژی، کنتراست و همگونی را به‌عنوان ویژگی‌های بافتی به دست می‌آورد. از میان ویژگی‌های استخراج شده، انرژی، آنتروپی و همگونی برای تشخیص به موقع کمبود کلسیم در محصول کاهو مناسب‌تر بودند. نتایج نشان داده‌است که با استفاده از این سیستم، تشخیص کمبود کلسیم در گیاه یک روز سریع‌تر از تکنیک مشاهده توسط کشاورز

نظر گرفته‌شد. بدین‌صورت که کاربر یک نقطه‌ای از رگبرگ را انتخاب نموده و با در نظر گرفتن یک محدوده رنگی و شعاع مشخص در تمام جهات آن پیکسل، برنامه ادامه رگبرگ را می‌یابد.

محاسبه خواص رنگی

به‌طور عمده، در بسیاری از تکنیک‌های پردازش تصویر، برای نظارت بر سلامت گیاه، از فضای مدل رنگی RGB استفاده می‌شود. بر اساس تحقیقات کاواشیما و ناکاتانی، معادله‌ی نرمال شده‌ی (۱)، بیشترین همبستگی را با میزان کرومیل داخل برگ و در نتیجه رنگ دانه‌های برگ دارد (Kawashima & Nakatani, 1998).

$$(R-B)/(R+B) \quad (1)$$

اما این معادله تنها برای برخی از کمبودها قابل استفاده بود و به‌دلیل اینکه علائم ظاهری برخی از انواع کمبودها تشابه زیادی با یکدیگر داشته و مقادیری که از این رابطه حاصل می‌شود برای این نوع از کمبودها نزدیک به هم است بنابراین از این معادله برای تفکیک و تشخیص انواع کمبودها نمی‌توان استفاده کرد. از این رو، در این‌جا از تفاوت رنگی G و R استفاده نمودیم که در پیکسل‌های برگ سالم، شدت رنگ سبز بیشتر از رنگ قرمز بوده ($G < R$) و در بقیه حالات، شدت رنگ قرمز بیشتر از رنگ سبز ($G > R$) است و میزان تفاوت رنگی ($R-G$)، کمبودهای مختلف را مشخص می‌کند. به‌دلیل شباهت علائم رنگی کمبودهای مس و فسفر و همچنین وجود اشتراکات گسترده در دامنه رنگی RGB برای کمبودهای مختلف، تفاوت رنگی R-G به تنهایی جوابگو نیست. به همین منظور از مدل رنگی CMYK^۱ استفاده شده، و برای تفکیک این دو نوع کمبود از تفاوت دامنه‌ی رنگی K بهره بردیم.

تشخیص کمبود

علائم ظهور کمبود بسته به نوع ماده مغذی می‌تواند متفاوت باشد. به‌عنوان مثال کمبود نیتروژن با رنگ‌پریدگی برگ‌ها شروع می‌شود. علائم کمبود فسفر بسیار شبیه به کمبود ازت است، با این تفاوت که در هنگام کمبود فسفر رنگ برگ‌ها سبز تیره، کدر مایل به آبی با ته رنگ برنزی یا بنفش است. کمبود پتاسیم فوراً به نشانه‌های قابل دیدن

الگوریتم پیشنهادی

برای انجام این پژوهش برگ‌های مختلفی با انواع کمبودهای موجود جمع‌آوری شده، سپس تصاویر برگ‌ها توسط اسکنر تهیه شده‌است. با تشخیص ویژگی‌های کلیدی برگ شامل لبه، رگبرگ و سطح برگ و بررسی ویژگی‌های رنگی آن‌ها، کمبودهای مختلف از قبیل کمبود پتاسیم، مس، فسفر، آهن و ازت شناسایی می‌شوند. مراحل اصلی الگوریتم پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده‌است که شرح هر کدام در بخش‌های بعد بیان خواهد شد.



شکل ۱- مراحل اصلی الگوریتم پیشنهادی

جمع‌آوری داده

نمونه‌های استفاده شده در این پژوهش در خرداد، تیر و مرداد سال ۱۳۹۵ از درختان پسته‌ی شهرستان بهاباد جمع‌آوری شده‌اند. این نمونه‌ها شامل مجموعه‌ای از برگ‌های سالم و ناسالم هستند. نوع کمبود مواد مغذی در برگ‌های ناسالم براساس ویژگی‌های رنگی، قابل تشخیص هستند. این برگ‌ها در ابتدا توسط فرد خبره مورد بررسی قرار گرفته و کمبودهای موجود که در ظاهر برگ نمود پیدا کرده‌است شناسایی شده‌است. سپس این مجموعه روی صفحات سفید قرار داده شده و از آن‌ها تصویربرداری شده است. بدین‌ترتیب از هر نوع کمبود، ۳۰ نمونه تصویر تهیه شد. جدول ۱ انواع کمبود مواد مغذی را با توجه به تغییر رنگ برگ‌های درخت پسته نشان می‌دهد.

استخراج ویژگی

تفکیک ویژگی‌های اصلی برگ شامل لبه و رگبرگ از سطح، از مهم‌ترین بخش‌های کار محسوب می‌شود. برای لبه‌یابی از روش‌های کنی، سوبل و اتوماتای یادگیر سلولی استفاده شد که به‌دلیل نزدیک بودن شدت رنگ پیکسل‌ها به یکدیگر، برای تمام برگ‌های کمبوددار قابل استفاده نبودند. بنابراین راه جدیدی برای یافتن لبه و رگبرگ در

1- C:Cyan, M:Magenta, Y:Yellow, K: Black

مشابه دارند کمک می‌کند. برای تفکیک بهتر، آن را در جدول ۲ شرح می‌دهیم.

برای تشخیص کمبودهایی مثل پتاسیم، مس و فسفر که علائم مشابه دارند ابتدا با توجه به نوع کمبود به محل ظهور علائم توجه می‌شود. از این رو ابتدا لبه را یافته و بر اساس ویژگی R-G، پیکسل‌های دارای کمبود ماده‌ی مغذی پتاسیم را شناسایی نموده و سپس در سطح برگ، با توجه به مقدار K به شناسایی و تفکیک دو کمبود مس و فسفر پرداخته می‌شود.

شرط اولیه برای تشخیص کمبود ازت و آهن $R-G < 30$ در سطح برگ است به علاوه‌ی اینکه در کمبود ازت رنگ پریدگی در رگبرگ هم مشاهده می‌شود، یعنی علاوه بر شرط بالا تفاوت رنگی در رگبرگ آن هم باید بیش از ۲۰ باشد. اما در کمبود آهن این رنگ پریدگی را تنها در سطح برگ مشاهده می‌کنیم.

جدول ۱- انواع کمبود مواد مغذی

پتاسیم	
مس	
فسفر	
آهن	
ازت	

منجر نمی‌شود، و ابتدا فقط کاهشی در میزان رشد به وجود می‌آید، اما با ادامه‌ی کمبود یا شدیدتر شدن آن، زردی و سوختگی رخ می‌دهد. در اغلب گونه‌های گیاهی، زردی و سوختگی از حاشیه و نوک برگ‌ها شروع می‌شود. در کمبود آهن برگ‌ها رنگ پریده به نظر می‌رسند و رنگ برگ به زرد متمایل می‌شود. در کمبود مس در درختان پسته، نوک برگ‌های نابالغ در انتهای شاخه دچار حالت سوختگی شده و برگ‌های سوخته ریزش می‌کنند. از آنجا که هر کمبود در بخش خاصی از برگ و با علائم خاصی نمود پیدا می‌کند، به منظور تفکیک کمبودها، در ابتدا باید لبه و رگبرگ را از سطح برگ شناسایی کنیم.

شناسایی رگبرگ: برای تشخیص رگبرگ با انتخاب نقطه‌ای از آن، مکان آن پیکسل و رنگ آن را به تفکیک رنگی‌های اصلی RGB در نظر گرفته و با توجه به محدوده‌ی رنگی که مشخص شده، در شعاعی مشخص که هر دو توسط کاربر و با توجه به شدت تفاوت رنگی سطح برگ و رگبرگ تعیین می‌شود، پیکسل‌ها را دنبال کرده و آن پیکسل‌هایی که در محدوده رنگی و شعاع تعیین شده باشند را به‌عنوان رگبرگ شناسایی می‌کند.

شناسایی لبه: با توجه به اینکه زمینه‌ی تصویر، سفید می‌باشد، نقاطی از تصویر که مجاور پیکسل‌های سفید هستند را به‌عنوان لبه برگ در نظر می‌گیرد. و از آن‌جا که برخی از کمبودها در لبه ظاهر می‌شود، با توجه به گسترش آن کمبود در برگ، شعاع لبه را تعیین می‌کنیم. شناسایی سطح برگ: نقاطی از برگ که به‌عنوان رگبرگ و لبه شناسایی نشده باشد، سطح برگ در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به مکان نمود کمبود، آن‌ها را به سه دسته تقسیم می‌کنیم. (۱) کمبودهایی که در لبه رخ می‌دهد، (۲) کمبودهایی که در سطح برگ دیده می‌شود و (۳) کمبودهایی که علائم آن در رگبرگ ظاهر می‌شود. به طور مثال کمبود پتاسیم در دسته اول قرار می‌گیرد و کمبود مس در سطح برگ ظاهر می‌شود و برای شناسایی کمبود ازت از رگبرگ و زمینه برگ استفاده می‌شود (Salim & Zahmatkesh, 2008).

برای تشخیص کمبود به دو فاکتور مهم نیاز است. اول علائم کمبود که با توجه به تفاوت رنگی مشخص می‌شود، دوم محل ظهور علائم که به تفکیک کمبودهایی که علائم

برای درک بهتر روند تشخیص، یک تصویر ۵*۵ پیکسل استخراج شده از هر کمبود به تفکیک رنگ، در جدول‌های ۳ تا ۸ آمده است.

جدول ۲- تشخیص کمبود مواد مغذی بر اساس خواص

رنگی و محل رخداد		نسبت G و R	K
کمبود	محل بروز	G > R	
سالم	لبه	R-G > 30	
پتاسیم		R-G < 20	
سالم	رگبرگ	R-G > 20	
ازت		G > R	
سالم		R-G < 30	
ازت		R-G < 30	
سالم	سطح برگ	R-G > 30	K < 40
مس		R-G > 30	K > 40
فسفر			

جدول ۳- میزان شدت رنگ در پیکسل‌های سطح برگ دارای کمبود ازت یا آهن

R: ۱۷۰, G: ۱۶۷, B: ۱۲۴	R: ۱۷۲, G: ۱۷۰, B: ۱۲۲	R: ۱۷۵, G: ۱۷۱, B: ۱۲۳	R: ۱۷۷, G: ۱۷۳, B: ۱۲۶	R: ۱۷۸, G: ۱۷۴, B: ۱۲۹
R-G=۳	R-G=۲	R-G=۴	R-G=۴	R-G=۴
R: ۱۷۰, G: ۱۶۹, B: ۱۲۵	R: ۱۶۹, G: ۱۶۸, B: ۱۲۲	R: ۱۷۰, G: ۱۶۷, B: ۱۲۲	R: ۱۷۰, G: ۱۶۷, B: ۱۲۰	R: ۱۷۰, G: ۱۶۷, B: ۱۲۲
R-G=۱	R-G=۱	R-G=۳	R-G=۳	R-G=۳
R: ۱۷۰, G: ۱۷۱, B: ۱۲۹	R: ۱۶۷, G: ۱۶۸, B: ۱۲۴	R: ۱۶۷, G: ۱۶۸, B: ۱۲۴	R: ۱۷۰, G: ۱۶۹, B: ۱۲۵	R: ۱۶۸, G: ۱۶۷, B: ۱۲۱
R < G	R < G	R < G	R-G=۱	R-G=۱
R: ۱۷۲, G: ۱۶۸, B: ۱۲۱	R: ۱۷۵, G: ۱۷۴, B: ۱۲۸	R: ۱۷۵, G: ۱۷۳, B: ۱۲۵	R: ۱۷۱, G: ۱۶۸, B: ۱۲۷	R: ۱۷۴, G: ۱۷۱, B: ۱۲۸
R-G=۲	R-G=۱	R-G=۲	R-G=۳	R-G=۳
R: ۱۷۲, G: ۱۷۱, B: ۱۲۳	R: ۱۶۸, G: ۱۶۷, B: ۱۱۹	R: ۱۶۸, G: ۱۶۷, B: ۱۲۱	R: ۱۷۱, G: ۱۷۴, B: ۱۲۷	R: ۱۷۰, G: ۱۷۱, B: ۱۲۷
R-G=۱	R-G=۱	R-G=۱	R < G	R < G

جدول ۴- میزان شدت رنگ در پیکسل‌های رگبرگ دارای کمبود ازت

R: ۱۷۷, G: ۱۴۳, B: ۱۱۶	R: ۱۷۸, G: ۱۴۴, B: ۱۱۷	R: ۱۸۰, G: ۱۴۶, B: ۱۱۹	R: ۱۸۲, G: ۱۴۸, B: ۱۲۳	R: ۱۸۱, G: ۱۵۱, B: ۱۲۵
R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۰
R: ۱۷۷, G: ۱۴۳, B: ۱۱۶	R: ۱۷۷, G: ۱۴۳, B: ۱۱۶	R: ۱۸۲, G: ۱۴۸, B: ۱۲۳	R: ۱۸۶, G: ۱۵۲, B: ۱۲۷	R: ۱۸۵, G: ۱۵۵, B: ۱۲۹
R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۰
R: ۱۷۶, G: ۱۴۲, B: ۱۱۵	R: ۱۷۷, G: ۱۴۳, B: ۱۱۶	R: ۱۷۹, G: ۱۴۵, B: ۱۲۰	R: ۱۸۲, G: ۱۴۷, B: ۱۲۵	R: ۱۸۳, G: ۱۵۱, B: ۱۲۸
R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۵	R-G=۳۲
R: ۱۷۴, G: ۱۴۰, B: ۱۱۳	R: ۱۷۵, G: ۱۴۱, B: ۱۱۴	R: ۱۷۹, G: ۱۴۵, B: ۱۲۰	R: ۱۸۴, G: ۱۴۹, B: ۱۲۷	R: ۱۸۶, G: ۱۵۴, B: ۱۳۱
R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۵	R-G=۳۲
R: ۱۷۴, G: ۱۴۰, B: ۱۱۳	R: ۱۷۵, G: ۱۴۱, B: ۱۱۴	R: ۱۷۹, G: ۱۴۵, B: ۱۲۰	R: ۱۸۴, G: ۱۴۹, B: ۱۲۷	R: ۱۸۶, G: ۱۵۴, B: ۱۳۱
R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۴	R-G=۳۵	R-G=۳۲

جدول ۵- میزان شدت رنگ در پیکسل‌های رگبرگ سالم

R: ۲۱۸, G: ۲۰۵, B: ۱۶۳ R-G=۱۳	R: ۲۲۰, G: ۲۰۵, B: ۱۶۲ R-G=۱۵	R: ۲۱۸, G: ۲۰۳, B: ۱۶۰ R-G=۱۵	R: ۲۱۵, G: ۲۰۱, B: ۱۵۶ R-G=۱۴	R: ۲۰۷, G: ۱۹۶, B: ۱۵۱ R-G=۱۱
R: ۲۱۵, G: ۲۰۱, B: ۱۶۲ R-G=۱۴	R: ۲۱۴, G: ۲۰۱, B: ۱۵۹ R-G=۱۳	R: ۲۱۸, G: ۲۰۳, B: ۱۶۰ R-G=۱۵	R: ۲۱۵, G: ۲۰۱, B: ۱۵۶ R-G=۱۴	R: ۲۰۶, G: ۱۹۵, B: ۱۴۹ R-G=۱۱
R: ۲۱۴, G: ۲۰۲, B: ۱۶۲ R-G=۱۲	R: ۲۱۵, G: ۲۰۲, B: ۱۶۰ R-G=۱۳	R: ۲۱۷, G: ۲۰۲, B: ۱۵۹ R-G=۱۵	R: ۲۱۷, G: ۲۰۳, B: ۱۵۸ R-G=۱۴	R: ۲۰۶, G: ۱۹۳, B: ۱۴۸ R-G=۱۳
R: ۲۰۷, G: ۱۹۵, B: ۱۵۳ R-G=۱۲	R: ۲۱۲, G: ۲۰۱, B: ۱۵۶ R-G=۱۱	R: ۲۱۴, G: ۱۹۹, B: ۱۵۶ R-G=۱۵	R: ۲۱۱, G: ۱۹۷, B: ۱۵۲ R-G=۱۴	R: ۲۰۶, G: ۱۹۳, B: ۱۴۹ R-G=۱۳
R: ۲۰۸, G: ۱۹۶, B: ۱۵۴ R-G=۱۲	R: ۲۱۴, G: ۲۰۳, B: ۱۵۸ R-G=۱۱	R: ۲۱۶, G: ۲۰۱, B: ۱۵۸ R-G=۱۵	R: ۲۱۲, G: ۱۹۸, B: ۱۵۳ R-G=۱۴	R: ۲۰۷, G: ۱۹۴, B: ۱۵۰ R-G=۱۳

جدول ۶- میزان شدت رنگ در پیکسل‌های سطح برگ دارای کمبود پتاسیم

R: ۱۶۹, G: ۱۱۸, B: ۱۰۱ R-G=۵۱	R: ۱۷۷, G: ۱۲۶, B: ۱۰۹ R-G=۵۱	R: ۱۸۱, G: ۱۳۰, B: ۱۱۱ R-G=۵۱	R: ۱۷۷, G: ۱۲۸, B: ۱۱۱ R-G=۴۹	R: ۱۶۶, G: ۱۱۷, B: ۱۰۲ R-G=۴۹
R: ۱۶۷, G: ۱۱۸, B: ۱۰۳ R-G=۴۹	R: ۱۷۲, G: ۱۲۳, B: ۱۰۸ R-G=۴۹	R: ۱۷۵, G: ۱۲۴, B: ۱۰۲ R-G=۵۱	R: ۱۷۲, G: ۱۲۰, B: ۱۰۶ R-G=۵۲	R: ۱۶۵, G: ۱۱۶, B: ۱۰۱ R-G=۴۹
R: ۱۷۰, G: ۱۲۴, B: ۱۰۹ R-G=۴۶	R: ۱۷۳, G: ۱۲۷, B: ۱۱۲ R-G=۴۶	R: ۱۷۳, G: ۱۲۵, B: ۱۰۵ R-G=۴۸	R: ۱۷۱, G: ۱۲۲, B: ۱۰۷ R-G=۴۹	R: ۱۸۶, G: ۱۳۹, B: ۱۲۳ R-G=۴۷
R: ۱۷۲, G: ۱۳۰, B: ۱۱۴ R-G=۴۲	R: ۱۷۲, G: ۱۳۰, B: ۱۱۴ R-G=۴۲	R: ۱۷۸, G: ۱۳۱, B: ۱۱۳ R-G=۴۷	R: ۱۷۹, G: ۱۳۲, B: ۱۱۴ R-G=۴۷	R: ۱۷۷, G: ۱۳۱, B: ۱۱۵ R-G=۴۶
R: ۱۷۱, G: ۱۲۹, B: ۱۱۳ R-G=۴۲	R: ۱۷۱, G: ۱۲۹, B: ۱۱۳ R-G=۴۲	R: ۱۷۷, G: ۱۳۰, B: ۱۱۲ R-G=۴۷	R: ۱۸۴, G: ۱۳۷, B: ۱۱۹ R-G=۴۷	R: ۱۷۳, G: ۱۲۷, B: ۱۱۱ R-G=۴۶

جدول ۷- میزان شدت رنگ در پیکسل‌های سطح برگ دارای کمبود مس

R: ۱۹۳, G: ۱۵۶, B: ۱۵۰ R-G=۴۸, K=۲۷	R: ۲۱۸, G: ۱۷۰, B: ۱۶۸ R-G=۴۸, K=۲۰	R: ۲۱۹, G: ۱۸۳, B: ۱۷۰ R-G=۳۶, K=۱۸	R: ۲۰۴, G: ۱۷۱, B: ۱۵۶ R-G=۳۳, K=۱۵	R: ۱۸۵, G: ۱۴۸, B: ۱۲۹ R-G=۳۷, K=۲۴
R: ۱۵۲, G: ۱۱۳, B: ۱۰۶ R-G=۳۹, K=۲۵	R: ۱۳۷, G: ۸۴, B: ۷۶ R-G=۵۲, K=۴۰	R: ۱۶۷, G: ۱۳۴, B: ۱۲۸ R-G=۳۳, K=۳۸	R: ۱۵۳, G: ۱۱۹, B: ۱۰۹ R-G=۳۴, K=۳۹	R: ۱۹۲, G: ۱۵۲, B: ۱۴۲ R-G=۴۰, K=۳۷
R: ۱۸۷, G: ۱۵۱, B: ۱۳۵ R-G=۳۶, K=۱۷	R: ۲۰۲, G: ۱۷۱, B: ۱۵۳ R-G=۳۱, K=۲۶	R: ۱۹۳, G: ۱۵۷, B: ۱۴۱ R-G=۳۶, K=۲۴	R: ۱۸۸, G: ۱۵۵, B: ۱۳۸ R-G=۳۳, K=۲۱	R: ۲۱۱, G: ۱۷۴, B: ۱۶۵ R-G=۳۷, K=۲۷
R: ۱۷۳, G: ۱۲۹, B: ۱۳۰ R-G=۳۴, K=۲۶	R: ۱۴۴, G: ۱۱۱, B: ۹۴ R-G=۳۳, K=۲۸	R: ۱۸۶, G: ۱۵۵, B: ۱۳۸ R-G=۳۱, K=۲۹	R: ۱۸۳, G: ۱۵۱, B: ۱۳۶ R-G=۳۲, K=۳۴	R: ۱۸۹, G: ۱۵۵, B: ۱۴۵ R-G=۳۴, K=۳۲
R: ۱۸۰, G: ۱۴۳, B: ۱۵۰ R-G=۳۷, K=۳۹	R: ۱۷۷, G: ۱۴۵, B: ۱۲۴ R-G=۳۲, K=۲۹	R: ۲۰۶, G: ۱۷۴, B: ۱۶۶ R-G=۳۲, K=۲۰	R: ۱۸۰, G: ۱۴۷, B: ۱۴۰ R-G=۳۳, K=۳۱	R: ۱۵۲, G: ۱۱۷, B: ۱۱۱ R-G=۳۵, K=۲۹

جدول ۸- میزان شدت رنگ در پیکسل‌های سطح برگ دارای کمبود فسفر

R: ۱۴۱, G: ۹۴, B: ۷۸	R: ۱۴۰, G: ۹۳, B: ۷۷	R: ۱۳۹, G: ۹۳, B: ۷۷	R: ۱۴۱, G: ۹۵, B: ۷۹	R: ۱۴۳, G: ۹۷, B: ۸۲
R-G=۴۷, K=۴۴	R-G=۴۷, K=۴۵	R-G=۴۶, K=۴۵	R-G=۴۶, K=۴۵	R-G=۴۶, K=۴۵
R: ۱۴۵, G: ۹۸, B: ۸۲	R: ۱۴۵, G: ۹۸, B: ۸۲	R: ۱۴۲, G: ۹۶, B: ۸۰	R: ۱۴۴, G: ۹۷, B: ۸۱	R: ۱۴۳, G: ۹۷, B: ۸۲
R-G=۴۷, K=۴۴	R-G=۴۷, K=۴۴	R-G=۴۶, K=۴۴	R-G=۴۷, K=۴۳	R-G=۴۶, K=۴۳
R: ۱۴۸, G: ۱۰۱, B: ۸۵	R: ۱۴۹, G: ۱۰۲, B: ۸۶	R: ۱۴۷, G: ۱۰۱, B: ۸۶	R: ۱۴۹, G: ۱۰۳, B: ۸۸	R: ۱۴۸, G: ۱۰۵, B: ۸۹
R-G=۴۹, K=۴۲	R-G=۴۷, K=۴۲	R-G=۴۶, K=۴۲	R-G=۵۲, K=۴۲	R-G=۵۳, K=۴۲
R: ۱۴۶, G: ۱۰۰, B: ۸۴	R: ۱۴۸, G: ۱۰۲, B: ۸۶	R: ۱۵۰, G: ۱۰۷, B: ۹۱	R: ۱۵۲, G: ۱۰۹, B: ۹۳	R: ۱۵۳, G: ۱۱۱, B: ۹۵
R-G=۴۶, K=۴۰	R-G=۴۷, K=۴۰	R-G=۴۳, K=۴۱	R-G=۴۱, K=۴۲	R-G=۴۲, K=۴۳
R: ۱۴۸, G: ۱۰۲, B: ۸۶	R: ۱۵۰, G: ۱۰۴, B: ۸۸	R: ۱۵۱, G: ۱۰۸, B: ۹۲	R: ۱۵۱, G: ۱۰۸, B: ۹۱	R: ۱۵۰, G: ۱۰۸, B: ۹۲
R-G=۴۶, K=۴۱	R-G=۴۶, K=۴۱	R-G=۴۳, K=۴۱	R-G=۴۳, K=۴۱	R-G=۴۲, K=۴۲

نتایج و بحث

در این پژوهش روشی برای تشخیص انواع کمبود مواد مغذی در درختان پسته ارائه شده است که در آن با توجه به تفاوت رنگی پیکسل‌های کمبودهای مختلف و با استفاده از پردازش تصویر تشخیص انجام می‌شود. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی از مجموع داده‌های موجود ۸۰٪ از آن برای آزمایش و پیاده‌سازی و ۲۰٪ باقیمانده از داده‌ها برای تست روش استفاده شد.

برای گزارش میزان صحت و دقت نتایج به دست آمده توسط سیستم تشخیص کمبود مواد مغذی، از معیارهای مختلفی می‌توان استفاده نمود، در پژوهش پیش‌رو برای نشان دادن میزان دقت و حساسیت روش پیشنهادی به منظور تشخیص کمبودهای مختلف از معیارهای حساسیت^۱ و ویژگی^۲ استفاده شده است. معادله (۲) میزان حساسیت روش را نشان می‌دهد، و نمایانگر تعداد برگ‌های دارای کمبود است که نوع کمبود آن شناسایی نشده و به اشتباه برگ سالم تشخیص داده شده است.

$$\text{Sensitivity} : TP / (TP + FN) \quad (2)$$

که در آن: ^۳TP برگ‌هایی است که کمبود دارند و کمبود آن‌ها به درستی تشخیص داده شده است و ^۴FN برگ‌های دارای کمبود است که به‌عنوان برگ سالم شناسایی شده است.

معادله (۳)، مشخص می‌کند چه نسبتی از برگ‌های سالم به‌عنوان برگ‌های دارای کمبود شناسایی می‌شوند.

$$\text{Specificity} : TN / (TN + FP) \quad (3)$$

که در آن: ^۵TN برگ‌های سالم است که بدرستی شناخته شده است و ^۶FP برگ‌های سالمی است که به‌عنوان برگ‌های دارای کمبود شناسایی شده است.

طبق آزمون‌های صورت گرفته، میزان حساسیت ۹۷٪ به دست آمد، و این به آن معناست که الگوریتم کوچک‌ترین علامت ظاهر شده از هر نوع کمبود را تشخیص و آن کمبود را شناسایی می‌کند. در مورد معیار ویژگی، جدول ۹ نتایج به دست آمده را به تفکیک نوع کمبود، نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد، الگوریتم پیشنهادی از دقت رضایت‌بخشی برخوردار است.

جدول ۹- درصد معیار ویژگی هر نوع کمبود

کمبود	ویژگی
آهن	%۸۷/۵
ازت	%۹۵
پتاسیم	%۱۰۰
مس	%۸۲/۵
فسفر	%۱۰۰

- 1- Sensitivity
- 2- Specificity
- 3- True Positive
- 4- False Negative

- 5- True Negative
- 6- False Positive

Agricultural Machinery And Mechanization. (In Farsi)

6. Mehravar, E. and Dadvar, M. 2014. The application of neural networks and clustering in the diagnosis of plant pests. Congress of New Technologies in Iran. (In Farsi)
7. Omrani, E. Mohtasebi, S. S. Rafiei, Sh. and Hosseinpour, S. 2015. Identification of apple cultivars using image processing and adaptive neuro-fuzzy inference system. Iran Biosystems Engineering, 67-75. (In Farsi)
8. Sadeghifar, S. Rahimi, M. and Sadeghi, A. 2014. K-MEANS clustering method for image processing and neural networks for clustering and classification of plant pests. Global Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources. (In Farsi)
9. Salim, N. and Zahmatkesh, Z. 2008. Symptoms of nutrient deficiency in fruit trees. Yazd extension and exploitation system.
10. Story, D. Kacira, M. Kubota, C. Akoglu, A. and An, L. 2010. Lettuce calcium deficiency detection with machine vision computed plant features in controlled environments. Computers and Electronics in Agriculture, 238-243.

نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی مبتنی بر پردازش تصویر برای تشخیص انواع کمبود مواد مغذی در درختان پسته براساس ویژگی‌های برگی ارائه شده است. در الگوریتم پیشنهادی از پردازش تصاویر و استخراج ویژگی‌های برگ و بر اساس تفاوت شدت رنگ برای تفکیک انواع کمبودها از یکدیگر استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که میزان حساسیت این سیستم ۹۷٪ و ویژگی آن برای هر نوع کمبود به تفکیک محاسبه شد. که به‌طور متوسط می‌توان گفت این سیستم با دقت ۹۵٪ توانست انواع کمبودها را تشخیص دهد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی از لحاظ سرعت، دقت و هزینه برای شناسایی کمبودهای مواد مغذی که از طریق تغییر رنگ برگ قابل تشخیص هستند مناسب است.

در پژوهش پیش‌رو سعی شده روشی جایگزین انسان برای تشخیص انواع کمبود مواد مغذی درختان پسته ارائه شود. در این روش کاربر بدون داشتن تخصص لازم تنها با تهیه عکس از برگ با سرعت و دقتی قابل قبول می‌تواند نوع کمبود گیاه را تشخیص دهد و نسبت به رفع مشکل اقدام نماید. همچنین از آنجا که در این روش امکان تشخیص در مراحل اولیه بروز کمبود وجود دارد، می‌توان قبل از وقوع خسارات جبران ناپذیر از پیش‌روی بیماری جلوگیری کرد.

منابع

1. Bhange, M. and Hingoliwala, H. A. 2015. Smart farming: Pomegranate disease detection using image processing. Procedia Computer Science, 280-288.
2. Jhuria, M. and Kumar, A. 2013. Image processing for smart farming: Detection of disease and fruit grading. Image Information Processing (ICIIP), IEEE Second International Conference, 521-526.
3. Kawashima, S. and Nakatani, M. 1998. An algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera. Annals of Botany, 49-54.
4. Lee, S. H. Chan, C. H. Wilkin, P. and Remagnino, P. 2015. Deep-Plant: Plant identification with convolutional neural networks. Image Processing (ICIP), IEEE International Conference, 452-456.
5. Mahmoudi, M. Khazaei, J. and Vahdati, K. 2010. Walnut genotype detection using image processing and artificial neural networks. the 5th National Congress of

