

دهمین کنگره ملی

مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی)

و مکانیزاسیون ایران

مشهد مقدس
۹ الی ۱۰ شهریور ماه ۱۳۹۵
دانشگاه فردوسی مشهد

نویسندگان محترم: امید دوستی ایرانی، محمود رضا گلزاریان

مقاله شما با عنوان

<< مروری بر کاربردهای هوش مصنوعی در فرآیندهای کشاورزی >>

در دهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران به صورت پوستر پذیرفته و

موجب غنای علمی هرچه بیشتر این کنگره گردید. بدین وسیله از فعالیت و تلاش علمی شما تقدیر و تشکر نموده و موفقیت

روز افزونتان را در تمامی عرصه‌ها از درگاه خداوند متعال خواستاریم.



دکتر محمد طبعی زاده
دبیر کنگره

دکتر محمود رضا گلزاریان
دبیر علمی کنگره



مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی
دانشگاه فردوسی مشهد



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی
و مکانیزاسیون ایران



مروری بر کاربردهای هوش مصنوعی در فرآیندهای کشاورزی

امید دوستی ایرانی^۱، محمود رضا گلزاریان^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

با توجه به گسترش صنعت و رشد سریع آن همواره بشر به دنبال سرعت بخشیدن به کارها با دقت بالاتری بوده است. استفاده از روش‌های هوش مصنوعی به جای تصمیم‌گیری‌های دستی و انسانی علاوه بر این که سبب افزایش بهره‌وری می‌گردد از دقت بالایی نیز برخوردار است. صنعت کشاورزی یکی از شاخه‌هایی است که امروزه به شدت نیازمند محاسبات و انجام عملیات خودکار با استفاده از هوش مصنوعی است. به طوری که در مراحل مختلف کشت محصول از جمله کاشت، داشت و برداشت، در مراحل مختلف انبار و فراوری محصولات کشاورزی از جمله کیفیت‌سنجی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. علاوه بر این موارد در تصمیم‌گیری‌های کلان کشاورزی از جمله مدیریت در زمینه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات، کشاورزی دقیق، تخمین عملکرد و غیره نیز کاربردهای گوناگونی یافته است. در این مقاله سعی بر آن داریم برخی از جدیدترین کاربردهای هوش مصنوعی از جمله پردازش تصویر را مورد مطالعه و بررسی قرار دهیم. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و بینایی ماشین قادر به برطرف کردن بسیاری از نیازهای صنعت کشاورزی می‌باشد. اگر چه تاکنون بسیاری از این مطالعات به صورت کاربردی درآمده‌اند ولی روز به روز نیازها و خواسته‌های جدیدی مطرح می‌گردد که بر اهمیت استفاده بیشتر از تکنیک پردازش تصویر و سایر شاخه‌های هوش مصنوعی تأکید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: هوش مصنوعی، فناوری‌های پس از برداشت، کشاورزی

مقدمه

واژه هوش مصنوعی به معنای امروزی آن، نخستین بار در سال ۱۹۵۶ میلادی توسط جان مک کارتی^۱، ماروین مینسکی^۲ و سایر همکارانشان در کنفرانس دارموس^۳ مطرح گردید. هربرت سیمون^۴ در سال ۱۹۵۸ پیش‌بینی کرد که در ده سال آینده، رایانه‌ها قادر خواهند بود که قهرمان شطرنج باشند، این پیش‌بینی البته تا حدود زیادی به وقوع پیوست (حسنی آهنگر، ۱۳۸۸). پیش‌بینی از آینده درخشان هوش مصنوعی در آن سال‌ها، ناشی از دستاوردهای اولیه بود (رهنمون، ۱۳۸۴). برای هوش مصنوعی تعریف‌های متعددی ذکر شده است که همگی آن‌ها را می‌توان در قالب دو رویکرد عمده هوش مصنوعی ضعیف و هوش مصنوعی قوی قرار داد.

¹ -John McCarthy

² -marvin Minsky

³ -Darmoth Confermce

⁴ -Herbert Simon

رویکرد قوی به مساله هوش مصنوعی، در پی آن است ماشینی بسازد که تمام قابلیت‌هایی که تداعی‌گر هوش در انسان است (از قبیل آگاهی، اراده، تفکر، فهم معنا و زبان، یادگیری و غیره) را از خود بروز دهد (عباس‌زاده چهرمی، ۱۳۹۰). بیان شده است که امکان محقق شدن هوش مصنوعی قوی با استفاده از رویکرد نشانه‌گرایی وجود دارد (کریکندی و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه به دلیل گسترش دانش و پیچیده‌تر شدن تصمیم‌گیری، استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی به خصوص سیستم‌های هوش مصنوعی^۱ در حمایت از تصمیم‌گیری اهمیت بیشتری یافته است. بنابراین هوش مصنوعی به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که می‌توانند رفتارهایی مشابه رفتارهای هوشمند انسانی (از جمله درک شرایط پیچیده، شبیه‌سازی فرایندهای تفکری و شیوه‌های استدلالی انسان و پاسخ موفق به آن، یادگیری و توانایی کسب دانش و استدلال رای حل مسائل) داشته باشند (توربان، ۲۰۰۵).

شاخه‌های هوش مصنوعی

سیستم‌های خبره

سیستم‌های خبره زمینه‌ای پرکاربرد در هوش مصنوعی و مهندسی دانش است که با توجه به نیاز روز افزون جوامع بر اتخاذ راه‌حل‌ها و تصمیمات سریع در مواردی که دانش‌های پیچیده و چندگانه انسانی مورد نیاز است، بر اهمیت نقش آن‌ها هم افزوده می‌شود. سیستم‌های خبره به حل مسائلی می‌پردازند که به طور معمول نیازمند تخصص‌های کاردانان و متخصصان انسانی است. یک ماشین تنها در صورتی به عنوان یک سیستم خبره شناخته می‌شود که از یک سری قابلیت‌های خاص مانند داشتن شناخت از وجود خود برخوردار باشد، بدین معنی که ماشین از وجود خود آگاه باشد (Negnevitsky, 2002).

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک الگوریتمی مبتنی بر تکرار و اصول اولیه است. این الگوریتم با تقلید از علم ژنتیک طبیعی اختراع شده است و در مسائل متنوعی نظیر بهینه‌سازی، شناسایی و کنترل سیستم، پردازش تصویر و مسائل ترکیبی، آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی و تعیین توپولوژی و الگوریتم سیستم‌های مبتنی بر تصمیم به کار می‌رود. الگوریتم ژنتیک چندین نقطه از فضای جستجو را به صورت همزمان در نظر می‌گیرد و بنابراین شانس اینکه به یک بیشینه محلی همگرا شود، کاهش می‌یابد. در بیشتر روش‌های جستجو مرسوم، قاعده تصمیم حاکم به این صورت عمل می‌کند که از یک نقطه به یک نقطه دیگر حرکت می‌کند. این روش‌ها می‌توانند در مسئله‌های جستجو دارای چند بیشینه خطرناک باشند. زیرا ممکن است به یک بیشینه محلی همگرا شوند. لیکن الگوریتم ژنتیک جمعیت‌های کاملی از نقاط را تولید و با ترکیب کیفیت‌های نقاط موجود، یک جمعیت جدید را که شامل نقاط بهبود یافته است تشکیل می‌دهد (Bodenhofer, 2004).

منطق فازی

¹ - Artificial Intelligence



ریاضیات فازی یک فرامجموعه از منطق بولی است که بر مفهوم درستی نسبی، دلالت می‌کند. منطق کلاسیک هر چیزی را بر اساس یک سیستم دوتائی نشان می‌دهد. ولی منطق فازی درستی هر چیزی را با یک عدد که مقدار آن بین صفر و یک تغییر می‌کند نشان می‌دهد. از منطق فازی برای ساخت کنترل‌کننده‌های لوازم خانگی از قبیل ماشین رختشویی (حداکثر ظرفیت، مقدار مواد شوینده، تنظیم چرخ‌های شوینده) و یخچال استفاده می‌شود. کاربرد اساسی آن تشخیص حوزه متغیرهای پیوسته است. برای مثال یک وسیله اندازه‌گیری دما برای جلوگیری از قفل شدن یک عایق ممکن است چندین عضو مجزا تابعی داشته باشد تا بتواند حوزه دماهایی را که نیاز به کنترل دارد به طور صحیح تعریف نماید (Dernoncourt, 2013).

یک انسان در نور کافی قادر به درک میلیون‌ها رنگ می‌باشد. ولی یک روبات چگونه می‌تواند این تعداد رنگ را تشخیص دهد، حال اگر بخواهیم روباتی طراحی کنیم که قادر به تشخیص رنگ‌ها باشد از منطق فازی کمک می‌گیریم و با اختصاص اعدادی به هر رنگ آن را برای روبات طراحی شده تعریف می‌کنیم از کاربردهای دیگر منطق فازی می‌توان به کاربرد این علم در صنعت اتومبیل‌سازی (در طراحی سیستم ترمز ABS، کنترل موتور برای به‌دست آوردن بالاترین راندمان قدرت)، در طراحی بعضی از ریزپردازنده‌ها و طراحی دوربین‌های دیجیتال، سیستم‌های کنترل و مدیریت در کشاورزی اشاره کرد (Dernoncourt, 2013).

شبکه‌های عصبی

در شبکه ارتباطی مغز انسان، سیگنال‌های ارتباطی به صورت پالس‌های الکتریکی هستند. جزء اصلی مغز نرون است که از یک ساختمان سلولی و مجموعه‌ای از شیارها و خطوط تشکیل شده است و شیارها محل ورود اطلاعات به نرون‌ها و خطوط محل خروج اطلاعات از نرون‌ها هستند. نقطه اتصال یک نرون به نرون دیگر را سیناپس می‌نامند که مانند دروازه یا کلید عمل می‌کند. اگر واکنش‌هایی که میلیون‌ها نرون مختلف به پالس‌های متفاوت نشان می‌دهند، با یکدیگر هماهنگ باشند، ممکن است پدیده‌های مهمی در مغز رخ دهد. هدف عمده شبکه عصبی این است که مکانیسمی طراحی کند که همانند مغز انسان، یاد بگیرد و بفهمد پاسخ‌های درست و نادرست کدامند (Friedenberg and Silverman, 2006).

ربات‌ها

کلمه ربات بعد از به‌صحنه در آمدن یک نمایش در سال ۱۹۲۰ میلادی در فرانسه متداول و مشهور گردید. در حال حاضر ربات‌ها در شاخه‌های مختلف صنایع مورد استفاده می‌باشند، که می‌توان آنها را به عنوان ماشین‌های مدرن، خودکار، قابل هدایت و برنامه‌ریزی تعریف کرد. این ربات‌ها قادرند در موقعیت‌های مختلف، به طور خودکار، وظایف گوناگون تولیدی را تحت یک برنامه از پیش نوشته شده انجام دهند (Friedenberg and Silverman, 2006).

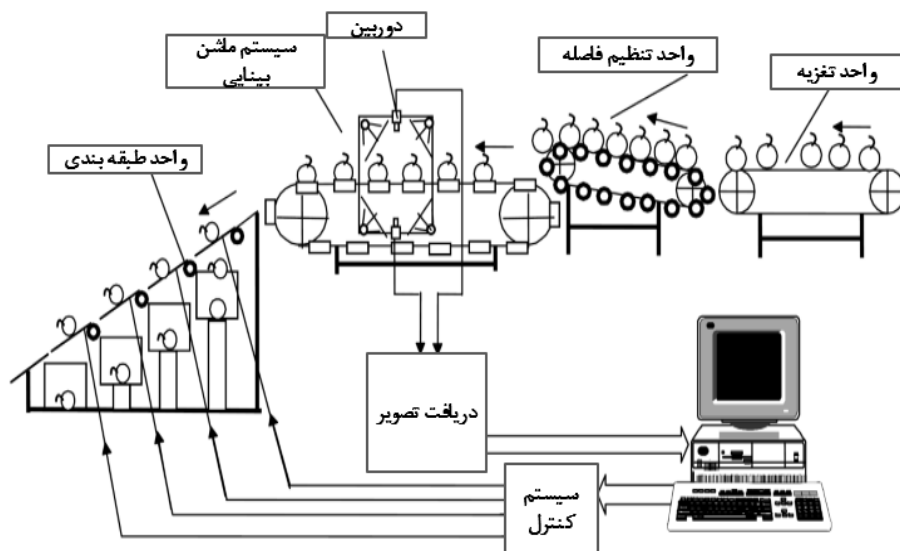
کاربرد هوش مصنوعی در کشاورزی

هوش مصنوعی به روش‌های مختلفی در صنعت کشاورزی می‌تواند کاربردی باشد. یکی از زیرمجموعه‌های آن پردازش تصویر می‌باشد که کاربرد گسترده‌ای در کشاورزی دارد. پردازش تصویر در معنای خاص آن عبارت است از هر نوع پردازش علامت که

ورودی آن، یک تصویر و خروجی آن یک تصویر یا یک مجموعه از نشانه‌ها یا علامت‌های مربوط به تصویر است. در واقع به مجموعه عملیات و پردازش‌هایی که در راستای آنالیز تصویر در زمینه‌های مختلف انجام می‌شود، پردازش تصویر می‌گویند (گلزاربان و همکاران، ۱۳۹۳). از میان همه شاخه‌های هوش مصنوعی شاید کاربردی‌ترین آن‌ها کامپیوتری و مکانیزه کردن سیستم‌های بینایی باشد. دامنه کاربرد این شاخه از فناوری در حال رشد، بسیار وسیع است و از کاربردهای عادی و معمولی مثل کنترل کیفیت خط تولید و نظارت ویدیویی گرفته تا تکنولوژی‌های جدید مثل اتومبیل‌های بدون راننده را در بر گرفته است. دامنه کاربردهای این تکنولوژی بر اساس تکنیک‌های مورد استفاده در آن‌ها تغییر می‌کند.

کنترل ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی یکی از وظایف مهم در فرآیندهای تولیدی است. به‌کارگیری کنترل خودکار و خودکار سازی روزبه‌روز گسترده‌تر شده و رویکردهای جدید با بهره‌گیری از فناوری‌های نو امکان رقابت در تولید را فراهم می‌سازد. عدم اطلاع کافی مهندسین از فناوری ماشین بینایی و عدم آشنایی با توجیه اقتصادی به‌کارگیری آن موجب شده است که در استفاده از این فناوری تردید و در بعضی مواقع واکنش منفی وجود داشته باشد. علی‌رغم این موضوع، ماشین بینایی روزبه‌روز کاربرد بیشتری پیدا کرده و روند رشد آن چشمگیر بوده است.

به عنوان نمونه در شکل یک یک سیستم ساده از سورتینگ میوه‌ها مبتنی بر یادگیری ماشینی به عنوان یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اجزای اصلی یک سامانه بینایی ماشین عبارتند از واحد دریافت تصویر، واحد پردازش تصویر و واحد کنترل. در واحد دریافت تصویر توسط دوربین بسته به نوع کاربری تصویر مورد نظر دریافت می‌شود. تصاویر دریافتی در سیستم پردازش مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. خروجی این قسمت به واحد کنترل ارسال می‌شود که تصمیم‌گیری نهایی را بر روی خط کنترل اعمال می‌کند.



شکل ۱. شماتیک سیستم سورتینگ سیب (ایمنس و همکاران، ۲۰۰۲).

بسیاری از کاربردهای تکنولوژی ماشین‌بینایی در بخش کشاورزی توسعه‌ی زیادی یافته است که از جمله آن‌ها می‌توان به نقش برداری زمینی و هوایی برای ارزیابی منابع طبیعی، نظارت بر محصول، کشاورزی دقیق، هدایت خودکار، بازرسی غیرمخرب محصولات کشاورزی، کنترل کیفیت محصولات پس از برداشت و طبقه‌بندی و جداسازی اشاره نمود.

برخی از سیستم‌های ماشین‌بینایی علاوه بر تصویربرداری در محدوده‌ی مرئی، قادر به بازرسی اشیاء در محدوده‌ی نامرئی نیز می‌باشند. اطلاعات دریافتی از اشیاء در محدوده نور رنگی می‌تواند در تعیین رسیدگی گیاهان پیش از برداشت، بیماری و تنش و تعیین وارسته‌ها، رسیدگی، کیفیت پس از برداشت، ترکیبات خواص عملکردی و آلودگی و بیماری گیاهان، دانه‌ها و مغزها و سبزیجات و میوه‌ها مفید باشد.

مروری بر تحقیقات انجام شده

از علم پردازش تصویر استفاده‌ی گوناگونی شده است که در ادامه به بررسی این موارد پرداخته ایم. از ماشین‌بینایی می‌توان برای درجه‌بندی میوه‌های مختلف با استفاده از ویژگی‌های رنگی، بافتی و شکلی تصویر دریافت شده استفاده نمود.

در پژوهشی یک الگوریتم خودکار قابل تنظیم برای بخش‌بندی تصاویر رنگی توسعه یافته است. با استفاده از ماشین بردار پشتیبان خطی^۱ (SVM) و روش آستانه‌یابی دو کلاس اتسو^۲ برای جداسازی و درجه‌بندی سیب مورد استفاده قرار گرفت. این روش با تعداد ۳۰۰ عدد سیب با سه نمونه آموزش داده‌شده با ویژگی‌های رنگی متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. خطای ارزیابی برای (SVM) ثابت در دامنه ۳ تا ۲۵ درصد متغیر بود در حالی که برای (SVM) قابل تنظیم نتایج ثابت و دقیق برای هر نمونه آموزش داده‌شده به دست آمد به طوری که خطای بخش‌بندی کمتر از ۲ درصد به دست آمد (میزوشیما و لو، ۲۰۱۳).

در پژوهشی به شناسایی میوه سیب بر روی درخت به منظور برداشت رباتیک سیب تحت شرایط نور طبیعی پرداختند. در این تحقیق دو الگوریتم برای شناسایی میوه سیب تدوین و ارزیابی شد که عبارت بودند از الگوریتم لبه‌یاب و الگوریتم پردازش رنگ و شکل. نتایج این پژوهش نشان داد که الگوریتم لبه‌یاب برای این منظور کارآمد نیست ولی الگوریتم پردازش رنگ در ۲۵ درصد تصویر توانست میوه را تشخیص داده و با دقت ۸۵/۱۷٪ محل‌یابی کند (لک و همکاران، ۱۳۹۲).

عمرانی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی با استفاده از تکنیک آنالیز تصاویر به تشخیص بیماری‌های برگ درخت سیب پرداختند. در این تحقیق ابتدا نواحی بیماری روی برگ‌ها با استفاده از روش خوشه‌بندی K-means کلاسیک تشخیص و جداسازی شدند و سپس ویژگی‌های مربوط به رنگ و بافت تصویر نواحی بیماری استخراج شدند. در ادامه چهار مدل توسعه داده شد که مدل اول شامل ویژگی‌های حاصل از ماتریس هم‌رویدادی، مدل دوم شامل ویژگی‌های رنگی، مدل سوم شامل ویژگی‌های استخراج‌شده از تبدیل‌های موجک و فوریه و مدل چهارم شامل همه‌ی ویژگی‌ها بود و سپس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بیماری‌های گیاه

¹ -Support Vector Machin

² - Otsu

طبقه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی به‌طور موفقیت‌آمیزی توانست لکه‌های بیماری مشخص شده با روش خوشه‌بند K میانگین کلاسیک را با دقت ۱۰۰٪ طبقه‌بندی کند.

در تحقیق انجام‌گرفته توسط جعفرلو و تیمورلو (۱۳۹۲)، حجم سیب و تورفتگی‌های آن به کمک پردازش تصویر و شبکه عصبی در پژوهشی برآورد شد. تحلیل نتایج با استفاده از دو آزمون t و بلاند آلمن نشان داد که بین حجم واقعی سیب و حجم پردازش تصویر در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری نیست و اختلاف میانگین بین آن‌ها ۱/۵۲ سانتی‌متر مکعب بوده و دارای دقت ۹۲٪ است. استفاده از شبکه عصبی با پارامترهای ورودی ابعاد و جرم سیب دقت اندازه‌گیری حجم را تا ۹۷٪ بالا برده و اختلاف میانگین بین حجم‌ها را تا ۰/۷ کاهش می‌دهد. این تحقیق نشان داد که پردازش تصویر و شبکه عصبی می‌توانند به‌عنوان روش‌های ساده و کارآمد در تخمین حجم محصولات کشاورزی استفاده گردند (جعفرلو و تیمورلو، ۱۳۹۲).

کنترل و شناسایی آفات و تشخیص گیاهان و میوه‌های آلوده از جمله مسائل مهم در این شاخه است. روش‌های فراوانی تا به امروز در این رابطه بیان و اثبات گردیده است. در زیر نمونه‌ای از این تحقیقات بیان شده است. پژوهشگران در تحقیقی از فناوری گرما نگاری برای طبقه‌بندی مغز پسته سالم و آلوده به قارچ آسپرژیلوس فلاووس^۱ استفاده کردند. بهترین تیمار به دست آمده شامل ضریب گسیلندگی ۹۵٪، دمای گرم‌کن 90°C ، زمان گرم کردن پسته برابر ۹۰ ثانیه و زمان خنک شدن پسته در دمای اتاق برابر با ۱۰ ثانیه بود. در این تحقیق یک الگوریتم طبقه‌بندی بر اساس مقدار آستانه (TBC^2) برای آنالیز تصاویر گرمایی و کلاسه‌بندی پسته‌های سالم و آلوده در نرم‌افزار متلب تو سعه یافت که دارای بالاترین دقت طبقه‌بندی نسبت به روش‌های اعتبار سنجی کا-بخشی^۳ (KFCV)، تحلیل تفکیک خطی^۴ (LDA)، تحلیل تفکیک درجه دوم^۵ (QDA)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و شبکه عصبی مصنوعی^۶ (ANN) یعنی ۱۰۰٪ برای طبقه‌بندی پسته سالم و آلوده و ۹۲/۲۳٪ برای طبقه‌بندی پسته سالم، آلوده یک‌روزه و آلوده بیشتر از یک روز بود (خیرعلیپور، ۲۰۱۳).

هدف هر شرکت زراعی، رسیدن به بیشترین سود می‌باشد. یکی از عوامل مؤثر در دستیابی به این هدف، مدیریت جایگزینی ماشین‌های مختلف به ویژه تراکتور است. بنابراین باید بتوان هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتور را با دقت بسیار بالای پیش‌بینی کرد. در پژوهشی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و روش رگرسیون و مقایسه عملکرد این دو تکنیک مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از داده‌های واقعی ۶۰ تراکتور دو چرخ محرک موجود در کشت و صنعت آستان قدس رضوی استفاده شده است. عملکرد شبکه عصبی و مدل رگرسیونی توسط مجموعه داده‌ها در فاز تست ارزیابی شدند. مدل بهینه شبکه عصبی قادر به پیش‌بینی مقادیر هزینه‌های تراکتور در فاز تست به ترتیب با متوسط قدرمطلق خطا و ریشه

¹- Aspergillus Flavus

²- Threshold Based Classification

³- K-fold Cross-validation

⁴- Linear Discriminants Analysis

⁵- Qualitative Data Analysis

⁶- Artificial Neural Network

متوسط مربعات خطای کمتر از $2/82$ در صد و $0/52$ و در مقابل $9/5$ در صد و $1/39$ برای مدل رگر سیونی بود (روحانی و همکاران، ۱۳۸۸).

روحانی و همکاران ۱۳۹۰، در پژوهشی دیگر به تهیه نقشه‌های مدیریتی علف هرز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با هدف کاربرد در کشاورزی دقیق پرداختند. این پژوهش به منظور پیش بینی و ترسیم نقشه توزیع جمعیت علف هرز تلخه با استفاده از شبکه‌های عصبی چندی ساز بردار یادگیر (LVQ) و پرسپترون چند لایه (MLP) در سطح مزرعه انجام شد. نتایج نشان داد که در فازهای آموزش و آزمایش بین مقادیر ویژگی‌های آماری میانگین، واریانس، توزیع اماری مجموعه داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده مکانی علف هرز توسط شبکه LVQ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. ولی برای شبکه عصبی MLP این مقایسات بجز توزیع آماری معنی‌دار شدند. همچنین نتایج نشان داد که شبکه عصبی آموزش دیده LVQ، دارای قابلیت بالایی در پیش‌بینی مکانی علف هرز در نقاط نمونه‌برداری نشده با خطای تشخیص کمتر از $0/64$ در صد بود. در حالی که شبکه عصبی مصنوعی MLP دارای خطای تشخیص کمتر از $14/6$ درصد بود. نقشه‌های ترسیم شده نشان داد که توزیع لکه‌ای علف هرز امکان کنترل متناسب با مکان را در مزرعه مورد مطالعه امکان‌پذیر می‌سازد.

کاترینا و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از هوش مصنوعی به کلاسه‌بندی تصاویر باینری برگ گیاهان مختلف پرداختند. هدف از انجام این کار این است که بتوان الگوریتمی را توسعه داد که با استفاده از آن کامپیوتر بتواند از روی برگ گیاهان نوع گیاه را تشخیص دهد. شکل (۲) نمونه‌ای از این تصاویر باینری را نشان می‌دهد. در این پژوهش با استفاده از ویژگی‌های شکلی استخراج شده شبکه مصنوعی آموزش داده می‌شود که می‌تواند نوع گیاه را تشخیص دهد. این کار در علم گیاه شناسی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که نرخ کلاسه‌بندی $97/14$ درصد و حساسیت کلی الگوریتم برابر با 90% می‌باشد.



شکل ۲. نمونه‌ای از تصاویر باینری برگ گیاهان مختلف

ساین و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی به تشخیص وجود حشرات و آفات در داخل میوه آلبالو^۱ با استفاده از روش‌های فرایندی عبوری^۲ پرداختند پس از جمع‌آوری نمونه‌های مورد آزمایش از باغ‌های میشیگان^۳ طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ مورد آزمایش

¹ Tart Cherry

² Transmittance Spectroscopy

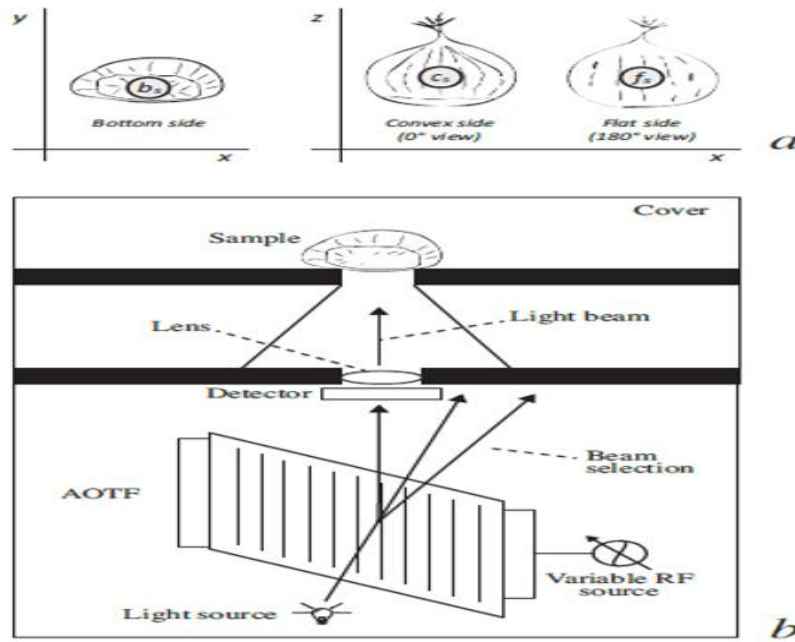
³ Michigan



قرار گرفته‌اند. روش کار به این صورت می‌باشد که در هر روز تعدادی نمونه از سطح مزرعه انتخاب و پس از تصویربرداری طیفی به دو نیمه به منظور درجه‌بندی چشمی به ۶ گروه (عدد صفر برای نمونه‌های بدون آ سیب و عدد ۵ برای نمونه‌های با آ سیب دیدگی شدید) بر اساس حضور حشره، تغییر رنگ و شرایط پوست میوه تقسیم‌بندی شده‌اند.

به منظور تصویربرداری از نمونه‌ها یک رادیومتر فراطیفی (model: FSFR FieldSpec, Analytical Spectral Devices, Boulder, CO) برای اندازه‌گیری ویژگی‌های طیفی مورد استفاده قرار گرفت. منبع نوری مورد استفاده یک نور هالوژن تنگستن قابل تنظیم (model: FO-150, Fostec Inc., Auburn, NY) می‌باشد. رادیومتر فراطیفی در محدوده طول موج مرئی مادون قرمز در محدوده ۱۰۵۰-۳۰۵۰ نانومتر با افزایش گام ۱ نانومتر مورد استفاده قرار گرفته است. با در نظر نگرفتن محدوده نوین دار طول موج‌های دریافتی محدوده بین ۹۸۰-۵۵۰ در آنالیزهای بعدی مورد استفاده قرار گرفته است. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که دقت طبقه‌بندی طول موج‌های دریافتی از نمونه‌های مورد آزمایش در حالت زمان برداشت نرمال برابر با ۸۷/۲۰ می‌باشد که نسبت به حالت ترکیبی یعنی برداشت با تاخیر و برداشت نرمال دقت تشخیص بیشتر است (Xing et al., 2008).

موسکتی و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی به تشخیص حشرات تغذیه کننده از میوه شاه بلوط با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک پرداختند. شاه بلوط یکی از میوه‌های فصلی است که اکثر تولیدات تجاری آن در اروپا و آسیا یافت می‌شود. بیشتر موارد کاهش دهنده عمر مفید این میوه مرتبط با بیماری‌های قارچی، باکتریایی، و آسیب حشرات می‌باشد (Paparatti and Speranza, 2005). در این پژوهش ۶۰ کیلوگرم میوه شاه بلوط از باغات محلی ایتالیا تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. میوه‌ها به صورت تصادفی در چهار گروه تقسیم‌بندی شدند که در هر گروه ۱۵ کیلوگرم قرار گرفت. یکی از این گروه‌ها برای آزمایش‌های طیف‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. و سه گروه دیگر برای درجه‌بندی با استفاده از سیستم شناسایی به یک کارخانه محلی انتقال داده شدند. پس از درجه‌بندی به روش شناسایی میوه‌ها به منظور تعیین دقت درجه‌بندی و تعیین خطای مثبت کاذب (محصول سالم که به جای محصول خراب دسته‌بندی شده است) و خطای کاذب منفی (محصول خراب را به جای محصول سالم در نظر بگیریم) نمونه‌ها مورد جداسازی قرار گرفتند. طیف‌های به دست آمده حاصل از بررسی ۹۵۲ عدد شاه بلوط بودند که به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۶ درجه سانتیگراد به منظور برقراری تعادل دمایی قرار گرفته بودند، می‌باشد. در شکل (۳) شماتیک تصویربرداری فراطیفی نمایش داده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که این روش نسبت به روش شناسایی ۵۵/۳٪ از دقت و عملکرد بالاتری برخوردار می‌باشد (Moscetti et al., 2014).

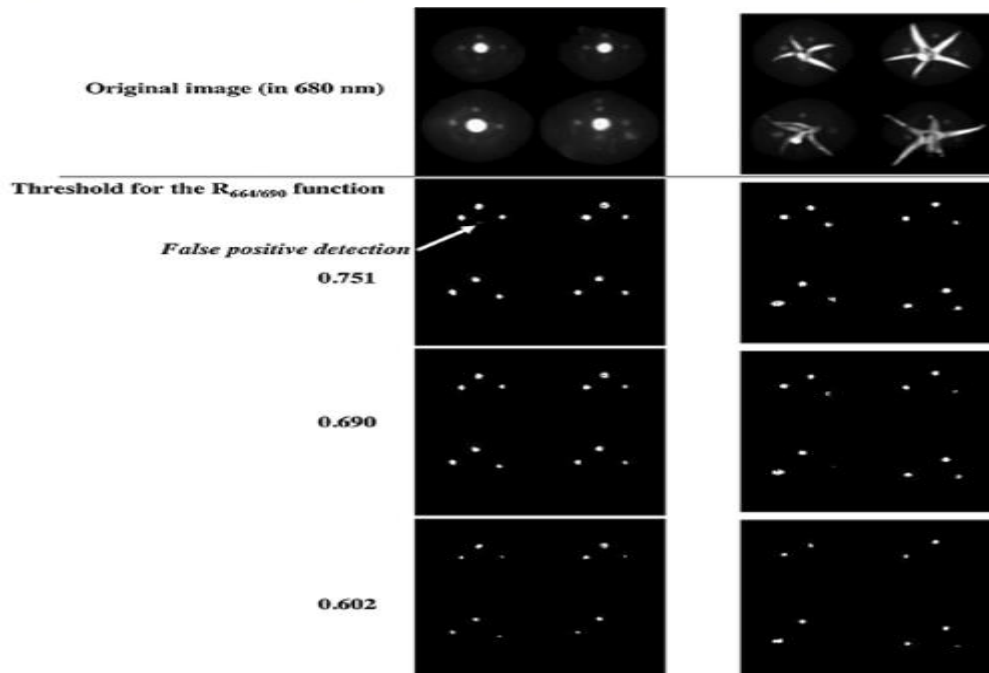


شکل ۳ شماتیک تصویر برداری فراطیفی. (a) سه نمای میوه شاه بلوط. (b) شماتیک تصویر برداری فراطیفی از میوه شاه بلوط (Moscetti et al., 2014).

یانگ و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی به تشخیص کرم نوزاد در گوجه‌فرنگی قرمز بالغ با استفاده از پردازش تصاویر چند طیفی پرداختند. اجزای اصلی سیستم تصویربرداری فراطیفی عبارتند از دوربین طیف‌سنج، یک عدد لنز و یک جفت منبع نور LED و یک تخته مجهز به موتور با قابلیت حرکت کردن. در مجموع در این تحقیق ۱۱۲ عدد گوجه‌فرنگی بالغ مورد تصویربرداری قرار گرفت. تصویری از نمونه‌های مورد آزمایش در شکل (۴) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نمونه‌ها در سه گروه تقسیم‌بندی شده‌اند. یک گروه نمونه‌هایی آلوده به کرم نوزاد و دارای ساقه، یک گروه نمونه‌های آلوده به کرم نوزاد و فاقد ساقه و گروه سوم شامل نمونه‌های سالم می‌باشد.



شکل ۴. تصویری از نمونه‌های مورد آزمایش. سمت راست (گوجه حامل کرم بدون ساقه)، وسط (گوجه حامل کرم با ساقه)، سکن چپ (گوجه سالم بدون کرم) (Yang et al., 2014)
به منظور تشخیص کرم نوزاد و اثرات آن از الگوریتم‌های پردازش تصویر مشابه شکل (۵) استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که دقت تشخیص نمونه‌های آلوده ۹۵٪ می‌باشد که نشان‌دهنده کارایی بودن این روش در تشخیص کرم نوزاد می‌باشد (Yang et al., 2014).



شکل ۵ تصاویر باینری شده از محل آسیب‌دیدگی گوجه‌فرنگی در آستانه‌های مختلف (Yang et al., 2014). آلودگی میوه زیتون توسط حشرات یکی از مشکلات بزرگ برای فرآیند پودر کردن می‌باشد. در اغلب موارد آسیب ناشی از حشرات به صورت مخفی است و در سطح میوه آشکارا قابل مشاهده نمی‌باشد.

موسکتی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با استفاده از روش فراطیفی NIR به تشخیص میوه‌های زیتون که توسط حشرات آلوده شده بودند پرداختند. با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ترکیب آن با روش‌های LDA^۱، QDA^۲ و KNN^۳ به تشخیص و دسته‌بندی ویژگی‌های حاصل شده از تصاویر پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که خطای کاذب منفی برابر با صفر، خطای کاذب مثبت برابر با ۱۲/۵ و خطای کل برابر با ۶/۲۵ می‌باشد. طول موج‌های بهینه برابر با 1108 nm 1232 nm 1416 nm 1486nm 2148nm به دست آمدند. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که روش مادون قرمز نزدیک در طول موج‌های بین (۲۳۰۰-۱۱۰۰) nm می‌تواند به عنوان یک روش اتوماتیک، غیر مخرب و سریع برای جای تشخیص لاروهای موجود در زیتون به کار رود. دقت طبقه‌بندی در این پژوهش برابر با ۹۴٪ به دست آمد. همچنین بیشترین دقت طبقه‌بندی در روش QAD و کمترین آن در روش KNN به دست آمد.

پژوهشگران در تحقیقی از فناوری گرمانگاری برای طبقه‌بندی مغز پسته سالم و آلوده به قارچ آسپرژیلوس فلاووس^۴ استفاده کردند. بهترین تیمار به دست آمده شامل ضریب گسیلندگی ۹۵٪، دمای گرمکن ۹۰°C، زمان گرم کردن پسته برابر ۹۰ ثانیه و زمان خشک شدن پسته در دمای اتاق برابر با ۱۰ ثانیه بود. در این تحقیق یک الگوریتم طبقه‌بندی بر اساس مقدار آستانه (TBC^۵) برای

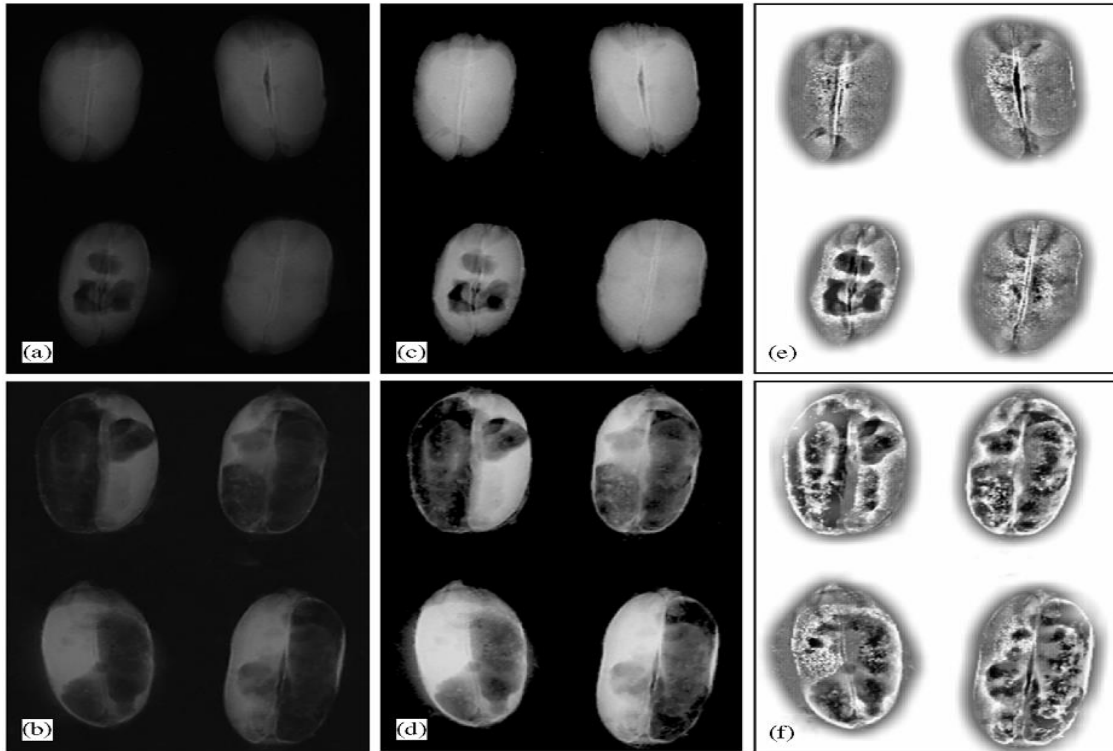
¹ - Linear Discriminant Analysis
² - Quadratic Discriminant Analysis
³ - k-nearest neighbors
⁴ - Aspergillus flavus
⁵ - Threshold based classification

آنالیز تصاویر گرمایی و کلاسه بندی پسته های سالم و آلوده در نرم افزار متلب تو سعه یافت که دارای بالاترین دقت طبقه بندی نسبت به روش های اعتبار سنجی کا-بخشی (KFCV)، تحلیل تفکیک خطی (LDA)، تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) یعنی ۱۰۰٪ برای طبقه بندی پسته سالم و آلوده و ۹۲/۳۳٪ برای طبقه بندی پسته سالم، آلوده یک روزه و آلوده بیشتر از یک روز بود (خیرعلیپور، ۲۰۱۳).

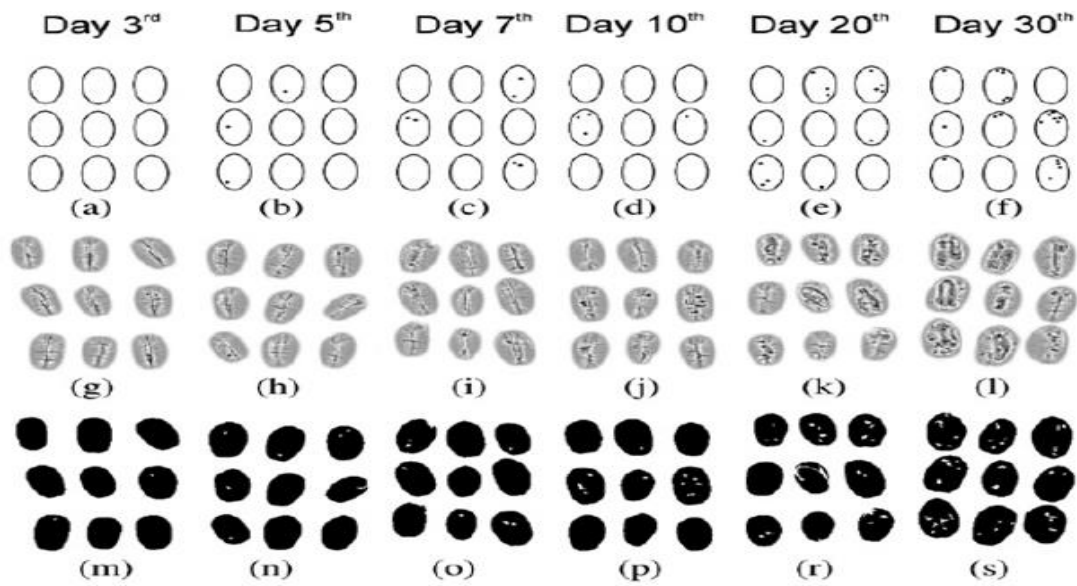
چیرل و همکاران (۲۰۰۲) از فلورو سانس آبی سبز برای تعیین میزان رشد ویروس موزاییک تنباکو استفاده کردند. تصویر گرفته شده در طول موج های ۲۲۰ و ۸۰۰ نانومتر به عنوان تصویر مرجع در نظر گرفته شد. نویسندگان گزارش کردند که ۲۲ ۲۰ سرعت پس از تلقیح ویروس TMV افزایش فلوروسانس آبی سبز و کلروفیل اتفاق می افتد. تصویربرداری فلوروسانس اختلاف بین برگ های سالم و بیمار را در دوره ی کوتاه ۲۰ ساعت در مقایسه با تصاویر مرجع نشان داد.

کیم و همکاران (۲۰۰۱) برای تشخیص بیماری های سطحی گریپ فروت (شانکر، کاپربرن، گریسی اسپات، ملانوس و وینداسکار) از ویژگی های بافت رنگی استفاده کردند. در این تحقیق ۳۹ ویژگی بافتی از هر کدام از مولفه های S, H, I ناحیه بیماری با استفاده از ماتریس هم رویدادی استخراج شدند. در این تحقیق برای دسته بندی تصاویر از نرم افزار SAS استفاده شد (Kim et al., 2001).

فورنال و همکاران (۲۰۰۷)، به بررسی حشره Sitophilus granaries در انبار گندم با استفاده اشعه (X-ray) و آنالیز تصاویر پرداختند. برای این منظور نمونه های گندم را به صورت تصادفی در ۱۲ ظرف قرار دادند. سپس نمونه ها درون آنکوباتور در دمای ۲۸ درجه و رطوبت نسبی ۶۵٪ به مدت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ روز نگهداری شدند. برای تصویربرداری از نمونه از دستگاه اشعه ایکس مدل (Elektronika 25, ARI St. Petersburg, Russia) استفاده شد. به منظور تجزیه و تحلیل نتایج از مدل رگرسیون خطی برای پیش بینی ارتباط بین تعداد اشیاء درون تصویر با زمان آلودگی استفاده شد. متغیرهای مستقل تحقیق (ویژگی های استخراج شده از تصاویر) شامل مساحت، ضریب رعنائی، گردی و مساحت جزء به کل می باشد. در شکل (۶) نمونه ای از تصاویر حاصله در مراحل رشد ۵ و ۳۰ روزه نمایش داده شده است. در شکل (۷) نیز نتایج حاصل از تشخیص به صورت دستی و با استفاده از روش پردازش تصویر نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود دقت تشخیص در روش استفاده از الگوریتم های پردازش تصویر بیشتر است. همچنین نتایج حاصل از مدل های رگرسیون به منظور پیش بینی رشد این افت نشان می دهد که در هر سه رقم گندم مورد بررسی دقت پیش بینی بیشتر از ۹۰٪ است.



شکل ۶. مراحل پرورش تصویر در دو حالت ۵ و ۳۰ روز پس از رشد آفت. ردیف اول ۵ و ردیف دوم ۳۰ روز پس از رشد آفت. از چپ به راست پس اعمال فیلتر گذاری تصاویر بهبود یافته اند.



شکل ۷. تصاویر حاصل از دانه های گندم در مراحل مختلف رشد. بالا نقشه تشخیص توسط کارشناسان، وسط تصاویر پرورش شده و پایین تصاویر باینری شده.

دوستی و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهشی با استفاده از پردازش تصاویر گرمایی و استخراج دما از سطح میوه سیب به تعیین عمق لهیدگی در ناحیه لهیده شده سیب پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل رگرسیون خطی حاصل شده با قابلیت اطمینان ۹۵ درصد قادر به پیش بینی عمق لهیدگی می‌باشد. دوستی و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از پردازش تصاویر مرئی و

گرمایی به برر سی تغییرات رنگ و دما در بافت لهیده سیب در طول زمان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که این تغییرات با استفاده از پردازش تصاویر قابل ثبت و تفسیر می‌باشد.

تکنیک‌های تصویربرداری و طیف‌سنجی می‌توانند در یک وسیله نقلیه کشاورزی خودکار، برای تشخیص زود هنگام بیماری‌های گیاهی ادغام شود. این تکنولوژی همچنین می‌تواند برای تعیین استرس و میزان مواد مغذی گیاهان استفاده شود (Sankaran et al., 2010).

مویبر و همکاران (۱۹۸۲) توانستند با استفاده از هشت طول موج، تعداد ۱۲ تا ۱۵ نوع اختلال سیب‌زمینی را تشخیص دهند.

تیلور و مک کیور (۱۹۸۹) از سیستم تصویربرداری چند طیفی با یک فیلتر نوری چرخان که دارای شش طیف نوری بود، به منظور تشخیص سالم یا ناسالم بودن برگ بافت و تخمین کلروفیل برگ استفاده کردند.

برهان و همکاران (۲۰۰۴) برای تعیین میزان کلروفیل و نترات برگ‌های سیب‌زمینی از تصویربرداری چند طیفی استفاده کردند. این محققین از ویژگی‌های حاصل از مولفه‌های سبز، قرمز و آبی تصویر رنگی و از تصویربرداری در طول موج‌های ۷۱۰، ۵۵۰ و ۸۱۰ برای کار خود استفاده کردند و دقت بالای ۹۰٪ را برای هر دو مورد گزارش دادند.

ساین و همکاران (۲۰۰۷) به تشخیص لهیدگی‌های سیب رقم گلدن دلشز را با استفاده از روش تصویر برداری فراطیفی انجام دادند (Xing et al., 2007).

خیرعلی پور (۱۳۹۱) یک سامانه‌ی مبتنی بر فناوری گرمانگاری و پردازش تصویر برای طبقه‌بندی پسته سالم و آلوده به قارچ اسپرژیلوس پیاده سازی کرد. در این تحقیق از تصویربرداری فراطیفی برای تشخیص الودگی قارچی مغز پسته استفاده شد. در تصویربرداری فراطیفی، طول موج‌های ۱۲۸۰، ۱۰۹۰ و ۱۷۰۰ نانومتر به عنوان طول موج‌های موثر در طبقه‌بندی طبقه‌های مختلف پسته تشخیص داده شد. به طور کلی تصویربرداری فراطیفی نتایج بهتری نسبت به گرمانگاری ارائه داد. روش گرمانگاری و تصویربرداری فراطیفی به ترتیب با بالاترین دقت ۷۷/۵ و ۷۸/۱۳٪ توانستند پسته آلوده به قارچ را طبقه‌بندی کنند (خیرعلی پور، ۱۳۹۱).

پیدی پاتی و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از تکنیک پردازش تصویر و آنالیزهای جداسازی، چهار بیماری مربوط به درخت گریپ فروت را شناسایی و طبقه‌بندی کردند. پردازش تصاویر با استفاده از ماتریس رنگی هم اتفاق انجام گرفت و در آن خصوص ساختاری رنگ برگ مرکبات در کانال رنگ HSI استخراج شد و سپس با استفاده از آنالیزهای جداسازی بوسیله نرم افزار SAS بیماری‌ها را از هم جداسازی و گزارش کردند. که در آن بالاترین دقت مربوط به مدل حاصل از هر سه مولفه رنگی محیط HSI بود برابر با ۹۸/۷۵٪ به دست آمد (Pydipati et al. 2006).

نتیجه‌گیری کلی

همانطور که در مطالعات فوق مشاهده شد امروزه هوش مصنوعی جایگاه ویژه‌ای در زندگی علم و صنعت پیدا کرده است. و جایگاه خود را در زندگی روزمره ما انسان‌ها یافته است. هوش مصنوعی از علمی است که در دهه‌های گذشته پیشرفت شگرفی را در علم به وجود آورده است.

محققین هوش مصنوعی علاقه‌مند به تولید ماشین‌ها هستند که دستورات مورد نیاز را هوشمندانه انجام دهد. به عنوان مثال، قابلیت کنترل، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی، توانایی تشخیص جواب به سوال مصرف‌کننده، دست‌نویس‌ها، زبان‌شناسی، سخنرانی و شناسایی چهره و غیره را داشته باشد. پردازش تصویر به عنوان یکی از زیرشاخه‌های هوش مصنوعی امروزه کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف از جمله کشاورزی پیدا کرده است. همانطور که تحقیقات نشان داد از جمله این موارد به طور کلی می‌توان به کیفیت سنجی محصولات کشاورزی و مواد غذایی فراوری شده، تشخیص بیماری‌های گیاهی، رباتیک در کشاورزی، کشاورزی دقیق و غیره مورد استفاده قرار گیرد. از جمله مزیت‌های استفاده از سیستم‌های هوشمند می‌توان به کاهش نیروی انسانی و افزایش دقت عملکرد اشاره نمود.

منابع

- رهنمون، رامین (۱۳۸۴)، داستان شیرین هوش مصنوعی، چاپ اول، تهران، انتشارات ارسا.
- حسینی آهنگر، محمد رضا (۱۳۸۸)، اصول و مبانی هوش مصنوعی، چاپ اول، تهران، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه امام حسین.
- مطلبی کربکندی، ح. مینایی، ب. دیرباز، ع. ۱۳۹۳. بررسی فلسفی امکان تحقق هوش مصنوعی قوی با توجه به دیدگاه‌های مختلف در مسئله ذهن و بدن. مجله فلسفه دین. دوره ۱۱، شماره ۱.
- جعفرلو، م. تیمورلو، برآورد حجم سیب و تورفتگی‌های آن، به کمک پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی. نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۴، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۳.
- عمرانی، ا.، محتسبی س.، رفیعی ش.، حسین پور س.، عقیلی ناطق ن. ۱۳۹۲. تشخیص بیماری‌های برگ‌ی درخت سیب با استفاده از تکنیک آنالیز تصویر. هشتمین کنگره ملی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۸ تا ۱۱ بهمن ۱۳۹۲. مشهد مقدس
- لک م.، مینایی س.، امیری پریان ج.، بهشتی ب. ۱۳۹۲. بسط یک الگوریتم ماشین بینایی برای شناسایی میوه سیب تحت شرایط نور طبیعی روز. هشتمین کنگره ملی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۸ تا ۱۱ بهمن ۱۳۹۲. مشهد مقدس.
- دوستی، ا. گلزاریان، م. اق‌خانی، م. صدرنیا، ج. بررسی تغییرات رنگی و دمایی بافت لهیده شده سیب در طول زمان با استفاده از پردازش تصاویر مرئی و نقشه‌های گرمایی. مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. ۱۳۹۳، ۶۹۳-۶۷۷.

Turban E, Rainer RK, Potter RE. Introduction to information technology. New Jersey: John Wiley & Sons; 2005.

Chi CL, Street WN, Ward MM. Building a hospital referral expert system with a prediction and optimization based decision support system algorithm. J Biomed Inform 2008; 41(2): 371-86.

FRANCIS, S. V., SASIKALA, M., BHAVANI BHARATHI, G. & JAIPURKAR, S. D. 2014. Breast cancer detection in rotational thermography images using texture features. Infrared Physics & Technology, 67, 490-496.

Krishnan, M. M. R., Venkatraghavan, V., Acharya, U. R., Pal, M., Paul, R. R., Min, L. C., Ray, A. K., Chatterjee, J. & Chakraborty, C. 2012. Automated oral cancer identification using histopathological images: A hybrid feature extraction paradigm. Micron, 43, 352-364.

Collopy F, Armstrong js. Rull Based Forecasting: Development and Validation of an Expert System Approach to Combining Time Series Enterpolation, Management Science 1992; 10: 1394-1414.

Maizels M, Wolfe WJ. An expert system for headache diagnosis: the Computerized Headache Assessment tool(CHAT). Headache 2008; 48(1): 72-8.

Ertl L, Christ F. Significant improvement of the quality of bystander first aid using an expert system with a mobile multimedia device. Resuscitation 2007; 74(2): 286-95

Wells DM, Niederer J. A medical expert system approach using artificial neural networks for standardized treatment planning. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1998; 41(1): 173-82.

Exarchos TP, Tsiouras MG, Exarchos CP, Papaloukas C, Fotiadis DI, Michalis LK. A methodology for the automated creation of fuzzy expert systems for ischaemic and arrhythmic beat classification based on a set of rules obtained by a decision tree. Artif Intell Med 2007; 40(3): 187-200.

Niruii M, Abdolmaleki P, Giti M. A combine simulation model for ANN genetic algorithms for differentiating benign and malignant breast lesions. Iranian Journal of Medical Physics 2006; 3(13): 67-80.

Kheiralipour, K., Ahmadi, A., Rajabipour, S., Rafiee, M., Javan-nikkhah & Jayas, D. S. 2013. Development of a New Threshold Based Classification Model for Analyzing Thermal Imaging Data to Detect Fungal Infection of Pistachio Kernel. Agricultural Research 127-131., 2, 127-131

- Mizushima, A. and R. Lu. 2013. An image segmentation method for apple sorting and grading using support vector machine and Otsu's method. *Computers and Electronics in Agriculture* 94: 29-37.
- Friedenberg, Jay. And Silverman, Gordon. (2006). *Cognitive science: An Introduction to the Study of Mind*. London. Sage. ISBN: 1-4129-2568-1.
- DOOSTI-IRANI, O., GOLZARIAN, M. R., AGHKHANI, M. H., SADRNIYA, H. & DOOSTI-IRANI, M. 2016. Development of multiple regression model to estimate the apple's bruise depth using thermal maps. *Postharvest Biology and Technology*, 116, 75-79.
- MOSCETTI, R., HAFF, R. P., SARANWONG, S., MONARCA, D., CECCHINI, M. & MASSANTINI, R. 2014. Nondestructive detection of insect infested chestnuts based on NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 88-94.
- MOSCETTI, R., HAFF, R. P., STELLA, E., CONTINI, M., MONARCA, D., CECCHINI, M. & MASSANTINI, R. 2015. Feasibility of NIR spectroscopy to detect olive fruit infested by *Bactrocera oleae*. *Postharvest Biology and Technology*, 99, 58-62.
- XING, J. & GUYER, D. 2008. Detecting internal insect infestation in tart cherry using transmittance spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 411-416.
- HORAISOVÁ, K. & KUKAL, J. 2016. Leaf classification from binary image via artificial intelligence. *Biosystems Engineering*, 142, 83-100.
- Pydipati, R., T. F. Burks and W. S. Lee (2006). "Identification of citrus disease using color texture features and discriminant analysis." *Computers and Electronics in Agriculture* 52(1-2): 49-59.
- Muir, A. Y., R. L. Porteous and R. L. Wastie (1982). "Experiments in the detection of incipient diseases in potato tubers by optical methods." *Agricultural engineering research* 27: 131-138.
- Taylor, S. K. and W. F. McCure (1989). *NIR imaging spectroscopy: Measuring the distribution of chemical components*. Tsukuba, Japan 393- 404.
- Sankaran, S., A. Mishra, R. Ehsani and C. Davis (2010). "A review of advanced techniques for detecting plant diseases." *Computers and Electronics in Agriculture* 72(1): 1-13.

Kheiralipour, k., 2011, Implementation the system of pistachio kernel Fungal contamination based on thermography and image processing technology, Ph. D. dissertation, University of Tehran, Karaj (In Farsi).

Kim, M. S., J. E. McMurtrey, C. L. Mulchi, C. S. T. Daughtry, E. W. Chappelle and Y.-R. Chen (2001). "Steady-state multispectral fluorescence imaging system for plant leaves." *applications-centered research in optics* 40(1): 157-166.

Bravo, C., D. Moshou, R. Oberti, J. West, A. McCartney, L. Bodria and H. Ramon (2004). "Foliar disease detection in the field using optical sensor fusion." *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development* VI. December.

FORNAL, J., JELIŃSKI, T., SADOWSKA, J., GRUNDAS, S., NAWROT, J., NIEWIADA, A., WARCHALEWSKI, J. R. & BŁASZCZAK, W. 2007. Detection of granary weevil *Sitophilus granarius* (L.) eggs and internal stages in wheat grain using soft X-ray and image analysis. *Journal of Stored Products Research*, 43, 142-148.

Chaerle, L., S. Lenk, D. Hagenbeek, C. Buschmann and D. Van Der Straeten (2007). "Multicolor fluorescence imaging for early detection of the hypersensitive reaction to tobacco mosaic virus." *Journal of Plant Physiology* 164(3): 253–262.