

مروری بر ارزیابی کیفیت سنجی میوه و سبزیجات با استفاده از محاسبات نرم

محمد ابونجمی^{۱*}، دانشیار، زهره مصطفائی^۲، دانشجوی دکتری

۱،۲- گروه مهندسی فنی کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران

چکیده: تقاضا برای محصولات باکیفیت از دهه‌های گذشته در حال افزایش بوده و هم اکنون نیز روند آن به صورت تصاعدی ادامه دارد. ارزیابی کیفیت، افزایش تولید محصولات را با استفاده از روش‌های خودکار، مقرون به صرفه و غیرمخرب تضمین می‌کند. در چند سال گذشته نتایج قابل توجهی در ارزیابی کیفیت در بخش‌های مختلف کشاورزی و غذایی به دست آمده است. این دستاوردها با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین و تحلیل تصاویر، بصورت یکپارچه‌ای یکسان شده‌اند. علاوه بر این، با وجود برنامه‌های مختلف یادگیری ماشین، این پژوهش بر روی ترکیب تکنولوژی‌های آماری ماشین‌های یادگیری و سیستم‌های بینایی ماشین در کشاورزی متمرکز کرده است. در این پژوهش، دو نوع تکنیک یادگیری ماشین، یادگیری نظارت شده و بدون نظارت، در کشاورزی استفاده شده‌اند. راه حل‌های نرم‌افزاری متنوعی مبتنی بر تکنیک‌های پردازش تصاویر مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، یادگیری عمیق و منطق فازی برای تشخیص خودکار و طبقه‌بندی میوه‌ها درجات مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این تکنیک‌ها به تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارائه راه حل‌های بهینه برای بهبود عملکرد فرآیندها کمک می‌کنند. با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی، می‌توان تا حد زیادی میزان مواد اولیه تلف شده و هزینه‌های تولید را کاهش داد. همچنین می‌توان الگوریتم‌هایی برای ارزیابی کیفیت محصولات غذایی ایجاد کرد و از اختلال در کیفیت جلوگیری کرد. در نهایت، جزئیات روش‌های مختلف درجه‌بندی محصول با استفاده از الگوریتم‌های ذکر شده و با در نظر گرفتن مزایا و معایب هر کدام در ارزیابی کیفیت محصولات باغی و کشاورزی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: محاسبات نرم، محصولات غذایی و کشاورزی، کیفیت سنجی، یادگیری ماشین

Overview of fruit and vegetables quality assessment surveys using soft computing

Mohammad Aboonajmi¹, Zohre Mostafaei;²

¹, Dept of Agrotechnology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran, abonajmi@ut.ac.ir

², Dept of Agrotechnology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran, zohremostafaei@ut.ac.ir

Abstract: Demand for quality products has been increasing for decades and is now increasing. Quality control ensures increased product production using an automated, cost-effective and non-destructive method. In the last few years, significant results have been achieved in various agricultural and food sectors. These achievements are integrated with machine learning techniques in a landscape approach that contrasts with color, texture, shape, spectral analysis of the image of objects. Despite having different programs and many different machine learning techniques, this study only explains the statistical technologies of machine learning with machine vision systems in agriculture due to the wide range of machine learning programs. Two types of machine learning techniques, such as supervised and unsupervised learning, have been used for agriculture. In this research, software solutions rely on image processing techniques such as: artificial neural networks, genetic algorithm, deep learning and fuzzy logic for automatic detection as well as classification of different degrees of fruit. According to the investigations, it was shown that fuzzy logic with 80 to 93%, 96.22% and 91.2% accuracy respectively for grading raisins based on qualitative characteristics, calculating the mass of almond kernels without breaking, grade Apple classification, also neural network has been used with 90%, 99% and 90.4% accuracy respectively to detect apple leaf disease, modeling drying kinetics of strawberry slices and detecting the severity of tomato disease using deep learning. There is also more reference to the study and

description of product classification methods that using the mentioned algorithms and their relationship with the software can be a big step in quality classification of products.

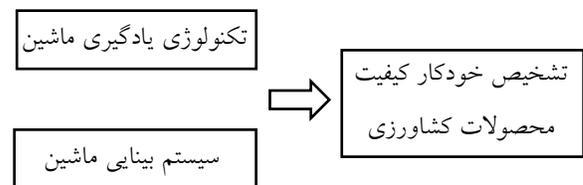
Keywords: *Soft computing; food and agriculture products; quality measurement; machine learning*

پذیرفته شده در مجله محاسبات نرم

[۵،۴]. تکنیک‌های استفاده شده در تجزیه و تحلیل تصویر شامل مراحل اصلی مانند به دست آوردن تصویر، پیش‌پردازش تصویر و تفسیر نتایج می‌شود، که اساسی‌ترین روش در تحلیل و تفسیر طبقه‌بندی مواد غذایی و کشاورزی بر اساس محاسبات نرم است [۶]. محاسبات نرم با تقبل عدم اطمینان از نتایج و همچنین با محور قراردادن ذهن انسان پیش می‌رود. اصل هدایت‌کننده محاسبات نرم، بهره‌برداری از خاصیت عدم دقیق‌بودن جهت مهارکردن مسئله و پایین‌آوردن هزینه راه‌حل است. به عنوان مهم‌ترین شاخه‌های این محاسبات، می‌توان منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق را نام برد [۷]. ترکیب شبکه‌های عصبی با منطق فازی یا الگوریتم‌های ژنتیک و شبکه‌های عصبی، امکان به‌دست‌آوردن نتایجی فراگیر و جدید را فراهم می‌کند که هیچکدام به تنهایی قادر به دست‌یافتن به آن نبوده‌اند [۳]. شبکه‌های عصبی به عنوان یک مدل کمی از ساختار مغز انسان عمل می‌کنند، در مقابل، منطق فازی یک مدل کیفی از دانش انسانی را به تصویر می‌کشد. بنابراین، به نحوی، هم شبکه‌های عصبی، هم الگوریتم‌های ژنتیک، و هم منطق فازی و یادگیری تقویتی (که ریشه آن در روانشناسی است) از تعامل مغز انسان با محیط و تجربیات آن الهام می‌گیرند [۸]. منطق فازی یک روش ساده و قابل فهم است که در مقیاس‌های صنعتی و آزمایشگاهی به کار می‌رود. در حل مسائل، مدل‌سازی سیستم‌های کیفیت‌سنجی در صنایع غذایی، طبقه‌بندی محصولات، و تحلیل داده‌ها، این روش بسیار کاربردی است [۱۰،۹،۸]. شبکه عصبی به خوبی با مسائل غیرخطی و داده‌های پیچیده سازگاری دارد و به عنوان یک ابزار قدرتمند برای ارزیابی کیفیت مواد غذایی استفاده می‌شود. [۱۴،۱۳،۱۲،۱۱،۹،۸]. الگوریتم‌های ژنتیک از نظر دیگر تکنیک‌های جستجو تفاوت دارند. این الگوریتم در میان

صنایع غذایی و کشاورزی در توسعه و رشد اقتصادی کشور نقش بسزایی دارند. ولی به دلیل عدم دانش کافی و نگهداری نامناسب، کیفیت محصولات کشاورزی و فرآورده‌های غذایی دچار مشکلاتی شده است. همچنین، صنایع این حوزه با چالش‌هایی مانند ارزیابی و حفظ کیفیت، هزینه نیروی کار، کمبود کارگران ماهر و بهبود فرآیندهای تولید روبه‌رو هستند. به همین دلیل، تولیدکنندگان و فرآوری‌کنندگان نیازمند روش‌های سریع، اقتصادی و سازگار برای بازرسی محصولات خود هستند. [۱]. ارزیابی بصری فاکتورهای تأثیرگذار بر محصولات، وظیفه‌ای دشوار و هزینه‌بر است و در صورت انجام ارزیابی نادرست و تأثیرگذاری ذهنی، نتایج تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۲]. علاوه بر این، روش‌های علمی استفاده شده در قرون گذشته، به‌طور اصلی در زمینه‌های نسبتاً ساده مانند مکانیک، فیزیک، و برخی از زمینه‌های کاربردی و مهندسی به کار گرفته شدند. مسائل پیچیده‌تری همچون سامانه‌های مرتبط با علوم کشاورزی و موارد مشابه، با استفاده از روش‌های ذکر شده قابل تحلیل نمی‌باشند [۳]. در چنین مواردی، اتوماسیون می‌تواند به ارتقا بهره‌وری در تولید و فرآوری منجر شده و هزینه‌ها را کاهش دهد. برای کیفیت‌سنجی مواد غذایی و کشاورزی، لازم است که مرتب‌سازی و درجه‌بندی خودکار میوه با استفاده از سیستم‌های ماشین بینایی و پردازش تصویر انجام شود. این فرآیند شامل ضبط، پردازش، و تجزیه و تحلیل تصاویر است، که برای تسهیل ارزیابی عینی و غیرمخرب خصوصیات کیفی در محصولات کشاورزی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد

جمعیتی از نقاط جستجو می‌کند و به جای قواعد قطعی از احتمالات استفاده می‌کند [۱۵]. این الگوریتم همچنین کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی پیدا کرده است. یادگیری ماشین روشی دقیق و پر کاربرد در ربات‌های پاسخگو مانند ربات‌های سورتینگ در صنایع غذایی و کشاورزی می‌باشد [۱۴، ۱۵]. در حال حاضر، تکنیک‌های محاسبات نرم با موفقیت در زمینه‌های مهندسی کشاورزی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۷، ۱۵]. در این پژوهش، تکنولوژی ماشین‌های یادگیری و سیستم‌های بینایی ماشین با هدف تشخیص خودکار کیفیت محصولات کشاورزی مورد بررسی قرار می‌گیرند. مزایا و معایب این روش‌ها در جدول ۱ ذکر شده است. علاوه بر این، به بررسی کاربردهای عملی روش‌های محاسبات نرم در پردازش مواد غذایی-کشاورزی و ایمنی مواد غذایی-کشاورزی پرداخته می‌شود. این بررسی به منظور تأکید بر پتانسیل‌های این روش‌ها در حل مشکلات عملی صورت می‌گیرد.



شکل ۱- رویکرد پژوهش

محاسبات نرم را می‌توان برای غلبه بر محدودیت‌های الگوی محاسبات سنتی در درجه‌بندی محصولات غذایی-کشاورزی استفاده کرد. اصطلاح محاسبات نرم برای اشاره به مسئله‌ای استفاده می‌شود که راه حل آن قابل پیش‌بینی نیست و همچنین دارای جوابی غیرقطعی و مبهم است که در بازه‌ای بین صفر تا ۱ قرار می‌گیرد [۱۸]. محاسبات نرم یک ابزار مفید برای ارزیابی ایمنی و کیفیت مواد غذایی است. این ابزار شامل مدل‌سازی رشد میکروبی، پیش‌بینی ایمنی مواد غذایی، تفسیر داده‌های طیفی و پیش‌بینی خواص فیزیکی، شیمیایی، کاربردی و حسی مواد غذایی و میوه‌های مختلف است [۱۹]. توسعه تولیدات غذایی یک فرآیند طولانی است. با استفاده از محاسبات نرم، میتوان پایگاه داده‌های بسیار بزرگی را با جزئیات فراوان و با سرعت بالا تولید کرد. همچنین، با استفاده از محاسبات نرم، میتوان مواد غذایی مغذی و ادویه‌ها را شناسایی کرده و دستورهای پخت غذا را بهبود بخشید. برای درجه‌بندی هوشمند و اتوماتیک محصولات کشاورزی و غذایی، پردازش تصویر لازم است. با پیشرفت این سیستم، فرصت‌های زیادی برای پخت و تهیه غذا با طعم‌های جدید و متناسب با سلیقه مخاطبان ایجاد می‌شود. این مقاله به کاربرد منطق فازی، شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک و یادگیری عمیق در ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی پرداخت می‌کند.

۱،۲ کاربرد محاسبات نرم در صنایع غذایی و کشاورزی

جدول ۱: مزایا و معایب برخی روش‌های محاسبات نرم در صنایع غذایی-کشاورزی

روش	مزایا	معایب	منبع
ساده و قابل درک، کنترل بهتر و موثرتر	ماشین‌ها، حل مسائل پیچیده، صرفه‌جویی در هزینه‌ها، کاربرد در	قابل قبول نبودن نتایج در صورت اشکال در قوانین، انتخاب تابع عضویت و	[۹(۲۰۲۰)] [۱۰(۲۰۲۰)]

مقیاس تجاری و آزمایشگاهی	قوانین پایه، آزمایش‌های متعدد و زمان‌بر، کارایی کمتر در بازشناسی الگو، کاربرد کمتر در علم داده
پرکاربردترین روش، یادگیری تطبیقی، خودسازماندهی، عملگرهای بی‌درنگ، تحمل خطا، تعمیم دهی، دسته‌بندی، انعطاف‌پذیری	قواعد نامشخص، دقت نتایج بسته به اندازه مجموعه آموزش، آموزش غیرممکن شبکه، مشکل بودن پیش‌بینی عملکرد آینده شبکه، کاربرد کمتر در مسایل مدل‌سازی بالا بودن هزینه اجرایی، نیاز به نگهداری چندصدا، کروموزوم در حافظه و اجرای الگوریتم تا چند هزار نسل
شبکه عصبی - الگوریتم ژنتیک	[۹(۲۰۲۰)، ۱۰(۲۰۲۰)] [۱۱(۲۰۱۱)، ۱۲(۲۰۰۵)] [۹(۲۰۲۰)، ۱۳(۲۰۱۷)] [۱۴(۲۰۱۷)، ۲۳(۲۰۱۷)]
جستجوی موازی، حل مسائل بهینه‌سازی، هر کروموزوم یک نقطه شروع جدید برای جستجوی بخشی از فضای حالت، فضای جستجوی بزرگی، جستجوی تصادفی هدفمند، رقابت (تنازع بقاع) پاسخ‌ها و انتخاب بهترین‌ها از میان جمعیت، احتمال بالا در رسیدن به نقطه بهینه، پیاده‌سازی ساده	

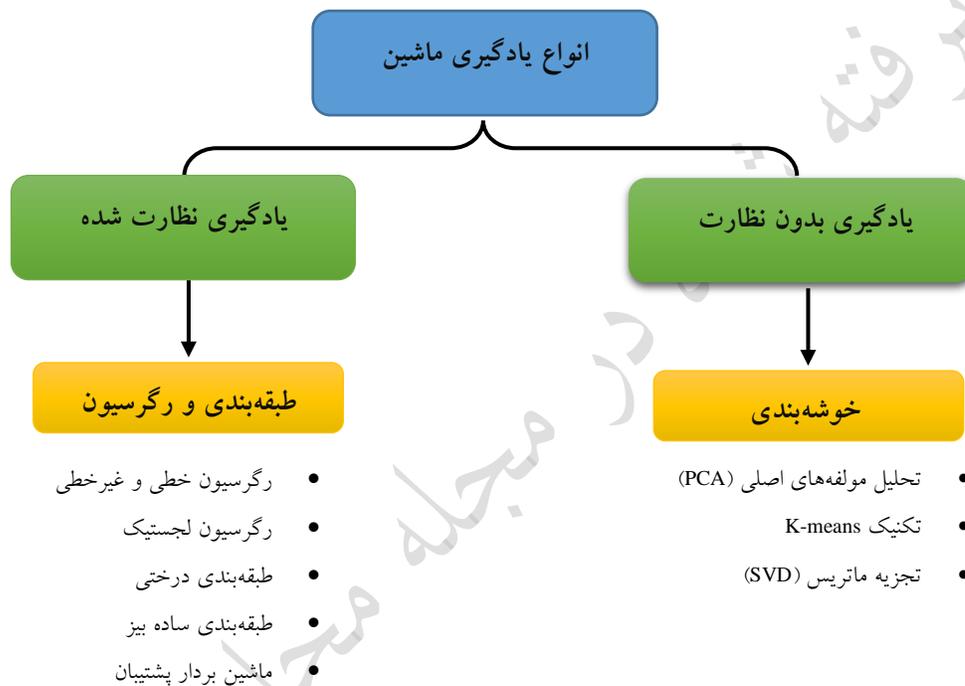
۱،۱،۲. یادگیری ماشین

ناظر مقدار مطلوب را مشخص کند. این روش‌ها شامل زیرمجموعه‌های مختلفی هستند که در شکل ۲ به آنها اشاره شده است. در عملیات خوشه‌بندی، تلاش می‌شود ساختارها و الگوهای موجود در مجموعه‌ای از داده‌ها کشف شوند و داده‌ها به زیرمجموعه‌هایی به نام خوشه‌ها تخصیص داده می‌شوند. حداکثر فاصله بین همه نقاط و مرکز خوشه مشخص‌کننده محدوده‌ی تأثیر (شعاع دایره‌ی شناسایی خوشه) است [۲۰]. تحلیل مولفه اصلی (PCA) روشی است که در جهت فشرده سازی داده‌ها و استخراج ویژگی‌ها استفاده می‌شود. در روش کاهش ابعاد، PCA بیشترین تأثیر در واریانس را حفظ کرده و مولفه‌های مجموعه داده‌ها را حفظ می‌کند [۲۱]. الگوریتم خوشه‌بندی k-means یک الگوریتم یادگیری بدون نظارت است که دارای فرایند تکراری است. در این الگوریتم، داده‌ها به k خوشه تقسیم می‌شوند و نقاط داده به صورت تصادفی به هر یک از خوشه‌ها تعلق می‌گیرد. برای هر نقطه، فاصله آن نقطه تا مرکز خوشه محاسبه می‌شود و نقطه مورد نظر به مرکز خوشه تعلق می‌گیرد. این مراحل تا زمانی که دیگر هیچ نقطه‌ای مکان خود را تغییر ندهد تکرار می‌شوند [۲۲]. ماشین بردار پشتیبان (SVM)

یادگیری ماشین یکی از زیرمجموعه‌های است که به سیستم‌ها امکان می‌دهد به صورت خودکار یادگیری و پیشرفت کنند بدون اینکه نیاز به برنامه‌نویسی صریحی داشته باشند. تمرکز اصلی یادگیری ماشین بر توسعه برنامه‌های رایانه‌ای است که به داده‌ها دسترسی پیدا کنند و از آنها برای یادگیری استفاده کنند. فرآیند یادگیری با مشاهدات یا داده‌ها آغاز می‌شود، مانند مثال‌ها، تجارب مستقیم و یا دستورات، تا به یک الگو در داده‌ها برسند و بر اساس این مثال‌ها تصمیمات بهتری بگیرند. هدف اصلی آن است که به کامپیوتر این امکان را بدهیم که بدون دخالت انسان به طور خودکار یادگیری داشته باشد و بتواند اقدامات خود را تنظیم کند. یادگیری ماشین دارای دو نوع است: یادگیری نظارت شده و یادگیری غیرنظارت شده. همچنین، یادگیری ماشین می‌تواند از روش‌هایی مانند یادگیری نیمه نظارت شده و یادگیری تقویتی استفاده کند. در روش یادگیری نظارت شده، همراه با نمونه‌های آموزشی، پاسخ مطلوب نیز وجود دارد. در روش یادگیری غیرنظارت شده، تنها داده‌های ورودی وجود دارد بدون اینکه

یکی از روش‌های یادگیری نظارت شده برای طبقه بندی و رگرسیون استفاده می‌شود. SVM بر اساس تفکیک خطی داده‌ها عمل می‌کند و برای انتخاب خطی که دارای حاشیه‌ای با اطمینان بالا است، استفاده می‌شود [۲۳،۲۴]. در تحلیل رگرسیون لجستیک، برای بررسی میزان همبستگی بین متغیرهای

مستقل، باید از دو عامل تورم واریانس و شاخص تحمل به جهت استفاده کرد. اگر این دو آماره به هم نزدیک باشند، نشان دهنده عدم وجود همبستگی بین متغیرهای مستقل است و از این رو، می‌توان این متغیرها را برای انجام تحلیل رگرسیون مناسب در نظر گرفت [۲۳].



شکل ۲: انواع یادگیری ماشین

ادامه مبحث به بررسی روش منطق فازی، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک و یادگیری عمیق پرداخته می‌شود.

۲.۱،۲. منطق فازی^۱

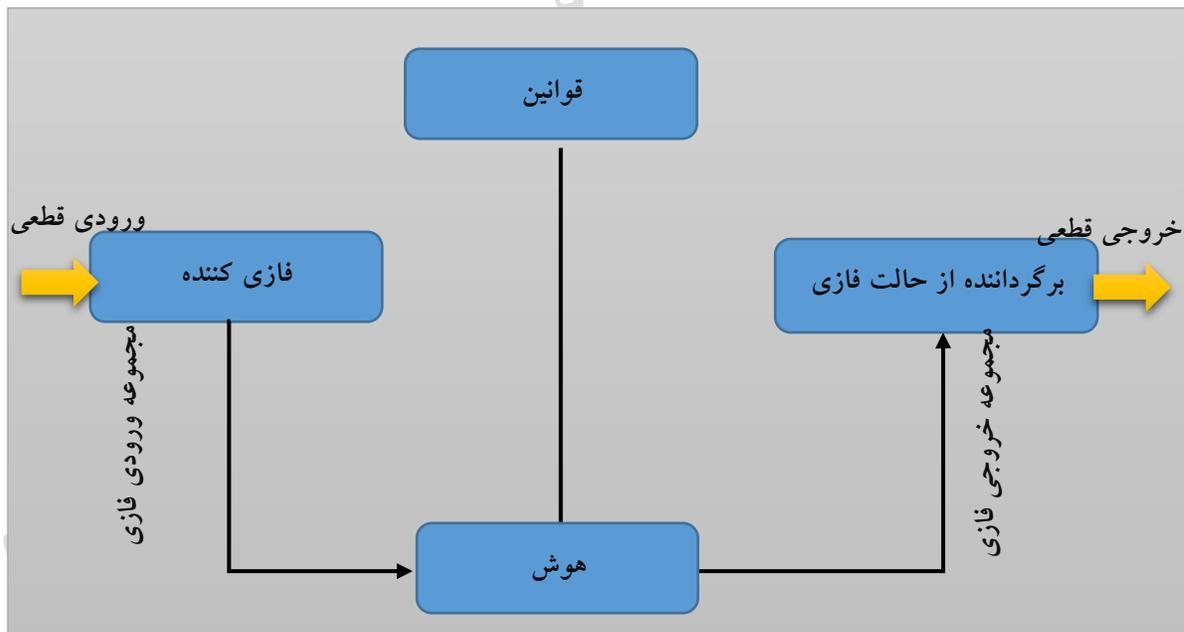
استفاده از این منطق به منظور استفاده از مفهوم درستی جزئی صورت می‌گیرد. در این منطق، میزان درستی می‌تواند بین کاملاً درست و کاملاً غلط متغیر باشد. مانند استفاده از متغیرهای عددی در محاسبات ریاضی، در منطق

فناوری‌های داده‌های بزرگ و محاسبات با کارایی بالا بهبود یادگیری ماشین را در پروژه‌های کشاورزی امکان‌پذیر ساخته است. در واقع، یادگیری ماشین به منظور تجزیه و تحلیل، کمی-سازی و درک بهتر فرآیندهای فشرده داده و ایجاد فرصت‌های جدید، بهره‌برداری می‌کند. این علم به ماشین‌ها توانایی یادگیری بدون نیاز به برنامه‌ریزی دقیق را می‌دهد و با آمار محاسباتی و پیش‌بینی توسط رایانه، ارتباط و پوشش جدیدی دارد. همچنین، ارتباط نزدیکی با بهینه‌سازی ریاضی ورودی داده و روش‌های مربوط به آن را به علم یادگیری ماشین اضافه می‌کند [۲۶]. در

¹ fuzzy logic

فازی از متغیرهای زبانی (گفتاری یا غیر عددی) استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، متغیر زبانی "هوا" می‌تواند به تفکیک مختلفی مانند سرد، گرم و خیلی گرم تقسیم شود. نتایج منطق فازی به کاربرد و مسئله‌ای که بررسی می‌شود، بستگی دارد و ممکن است متفاوت باشد. با این حال، برخی از نتایج رایج استفاده از منطق فازی عبارتند از: (۱) بهبود تصمیم‌گیری: منطق فازی با در نظر گرفتن و ترکیب اطلاعات نامعین، امکان تصمیم‌گیری دقیق و انعطاف‌پذیر را فراهم می‌کند، که می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری دقیق‌تر و مؤثرتر در موقعیت‌های پیچیده شود. (۲) تشخیص بهتر الگو: تکنیک‌های منطق فازی در کارهای تشخیص الگو مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند پردازش تصویر و صدا، که

منجر به بهبود دقت و قابلیت اطمینان می‌شود. منطق فازی می‌تواند تغییرات، نویز و داده‌های نادرست را مدیریت کند و آن را برای کاربردهای دنیای واقعی مناسب کند. (۳) بهینه‌سازی پیشرفته: منطق فازی در مسائل بهینه‌سازی برای استفاده از اطلاعات با دقت کم یا ناقص استفاده می‌شود. این امکان را فراهم می‌کند که اهداف و محدودیت‌های متضاد متعدد بهتر مدیریت شوند و منجر به بهبود نتایج بهینه‌سازی شود. به‌طور کلی، نتایج منطق فازی در پیشرفت و حل مشکلاتی که شامل عدم قطعیت و دقت پایین است، کمک می‌کند [۲۷، ۲۸]. منطق فازی دارای چهار بخش اصلی است که در شکل (۳) نحوه ارتباط این بخش‌ها به خوبی دیده می‌شود [۳۵].



شکل ۳: مجموعه ساختار فازی

در یک مطالعه برای طراحی و ارزیابی سیستم هوشمند جهت درجه بندی سیب، از منطق فازی به عنوان یک سیستم تصمیم یا برای درجه بندی سیب استفاده شد. در

این تحقیق، ویژگی‌های سیب‌ها مانند رنگ و اندازه، از طریق یک سیستم جمع‌آوری داده‌هایی که شامل یک نوار نقاله، یک محفظه نورپردازی، یک وب کم و یک رایانه

شخصی است، اندازه گیری شد. در نهایت، سیب ها به ۵ درجه مختلف خیلی بد، بد، متوسط، خوب و خیلی خوب تقسیم شدند. برای متغیرهای زبانی ورودی و خروجی سیستم فازی، توابع تعلق مثلثی و دوزنقه ای استفاده شد. نتایج درجه بندی حاصل از سیستم فازی توسعه یافته دارای همخوانی ۹۱،۲۵٪ و ۹۵٪ به ترتیب برای برخط و آفلاین با نتایج درجه بندی توسط کارشناس نشان داد. این نشان می دهد که یک همبستگی خوب بین نتایج استخراج شده از سیستم فازی و درجه های پیش بینی شده توسط کارشناس وجود دارد [۳۰]. از آنجاییکه درجه بندی میوه ها و سبزیجات یک عملیات ضروری قبل از بسته بندی می باشد، در تحقیقی برای طبقه بندی گوجه فرنگی، از الگوریتم های فازی بر اساس ترکیبی از رنگ، اندازه و سفتی استفاده شد. طبقه بندی در پنج گروه انجام شد و الگوریتم های فازی توانستند گوجه فرنگی ها را به دقت های مختلفی (نظیر ۹،۹۰٪، ۳،۹۲٪، ۷،۸۸٪، ۴،۸۷٪ و ۴،۹۳٪) در کلاس های صحیح طبقه بندی کنند [۳۱]. در تحقیقی، برای تعیین مزه پرتقال تامسون از روش های فازی-عصبی و عصبی-ژنتیک استفاده شده است. یک الگوریتم مبتنی بر هوش مصنوعی برای تشخیص مزه پرتقال تامسون از خواص ظاهری تدوین شده است. برای استخراج شاخص های ظاهری، پارامترهای ظاهری از تصویربرداری از نمونه ها شامل رنگ قرمز، رنگ سبز، رنگ آبی، قطر بزرگ، قطر کوچک، سطح، مختصات مرکز جرم، محیط، پارامترهای مربوط به بافت سنجی و پیکسل های سفید زمینه استخراج شده اند. مزه در ۵ زیرمجموعه شیرین، ملس، ترش و خیلی ترش بررسی شده است. نتایج نشان داده اند که تعیین مزه رقم تامسون با دقت های ۹۶،۶۷٪ و ۹۰٪ توسط روش های فازی-عصبی و عصبی-ژنتیک به ترتیب دسته بندی شده است. در یک

تحقیق دیگر، استفاده از پردازش تصویر برای پیش بینی تغییرات محتوای رطوبتی برگ چای سبز در حین خشک شدن با استفاده از سامانه های پیش گویی شبکه عصبی مصنوعی و استنتاج فازی عصبی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده اند که استخراج پارامترهای رنگی تصاویر بالای نمونه ها، به عنوان ورودی سامانه های هوش مصنوعی مورد استفاده قرار گرفته است و بهترین نتایج با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی با دو لایه پنهان (شامل ۱۲ نرون در لایه اول و ۱۵ نرون در لایه دوم) به دست آمده است با ضریب تعیین ۹۴٪ و مربع میانگین مربعات خطا ۰،۰۰۹۲ [۳۳]. این پژوهش به بررسی روش مبتنی بر محاسبات نرم برای تخمین جرم هسته بادام با استفاده از ویژگی های پوسته آن پرداخت. در این بررسی، عملکرد مدل رگرسیون چند خطی^۲ و چهار مدل یادگیری ماشین مختلف را مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه جرم هسته بادام بدون شکستن پوسته، از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه^۳، شبکه عصبی با عملکرد شعاعی^۴، سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار^۵ و ماشین بردار پشتیبانی استفاده شد. همچنین، برای پیش بینی طبقه بندی بادام در کلاس های مختلف جرمی (بسیار کوچک و بزرگ) از مدل پیش بینی استفاده شد. سه بعد اصلی هسته بادام (طول، حداکثر عرض و حداکثر ضخامت) به صورت دستی اندازه گیری شد و به عنوان پارامترهای توسعه مدل مورد استفاده قرار گرفت [۹].

3.1.2 شبکه عصبی مصنوعی^۶

² MLR

³ MLP-NN

⁴ RBF-NN

⁵ ANFIS

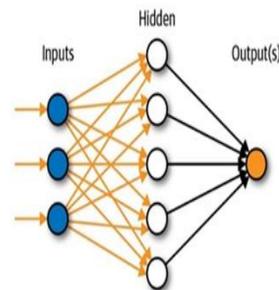
⁶ Artificial Neural Network

در دهه‌های اخیر، محققان در مهندسی کشاورزی اکثراً از الگوریتم‌های یادگیری ماشین رایج مانند شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرده‌اند. شبکه عصبی مصنوعی، یک نوع پردازشگر اطلاعات است که با معرفی مقداری از داده‌های ورودی و خروجی، از طریق آموزش، نحوه عملکرد سیستم را در حافظه خود ذخیره می‌کند. شبکه‌های عصبی مصنوعی براساس محاسبات روی رویدادهای عددی یا مثال‌ها آموزش داده می‌شوند. یکی از ویژگی‌های شبکه‌های عصبی، توانایی استخراج روابط بین ورودی و خروجی‌های یک فرایند بدون نیاز به شرایط پیچیده فیزیکی است. آن‌ها قادرند یک فضای چندبعدی را با یک فضای دیگر مرتبط کنند، حتی اگر این اطلاعات ناقص و دارای خطا باشند. این ویژگی‌ها باعث شده است که شبکه عصبی مناسب برآورد و پیش‌بینی مسائل مرتبط با کشاورزی و صنعت باشد، همچنین در مواردی که روابط غیرخطی وجود دارد، شبکه عصبی عملکرد خوبی داشته باشد. در زبان ساده، یک شبکه عصبی مصنوعی ایده‌ای برای پردازش اطلاعات است که الهام گرفته از سیستم عصبی زیستی بوده و مانند مغز، به پردازش اطلاعات می‌پردازد. عنصر کلیدی این ایده، ساختار جدید سیستم پردازش اطلاعات است. نتایج استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی بسته به کاربرد و کیفیت آموزش شبکه ممکن است متفاوت باشد. در ادامه، برخی از نتایج آورده شده است: (۱) دقت بهبود یافته: شبکه‌های عصبی مصنوعی معمولاً می‌توانند در مقایسه با الگوریتم‌های سنتی در تشخیص تصاویر، صدا و غیره دقت بهتری داشته باشند. (۲) پردازش سریع‌تر: شبکه‌های عصبی مصنوعی قادرند محاسبات را موازی کنند و به آن‌ها اجازه می‌دهند تا به‌صورت همزمان مقادیر زیادی از داده‌ها را پردازش کنند. این می‌تواند باعث افزایش سرعت و کارایی پردازش شود.

(۳) سازگاری با داده‌های جدید: شبکه‌های عصبی توانایی یادگیری و تطبیق با داده‌های جدید را دارند. آن‌ها قادرند الگوها را تعمیم دهند و روی داده‌های جدید پیش‌بینی کنند، که این قابلیت باعث می‌شود که در مدیریت محیط‌های در حال تغییر و مجموعه‌ی داده‌های در حال تکامل انعطاف‌پذیر باشند. (۴) تشخیص الگوی پیچیده: شبکه‌های عصبی مصنوعی در شناسایی الگوهای پیچیده در داده‌ها که تشخیص آن‌ها برای انسان یا الگوریتم‌های سنتی دشوار است، برتری دارند. این باعث می‌شود که آن‌ها برای تشخیص چهره، اشیا یا تشخیص ناهنجاری مناسب باشند. (۵) اتوماسیون و استقلال: شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند آموزش داده شوند تا وظایف را به‌صورت مستقل انجام دهند و نیاز به دخالت انسان را کاهش دهند. این می‌تواند در زمینه‌های مختلف مانند وسایل نقلیه خودران، رباتیک یا اتوماسیون صنعتی مفید باشد. (۶) پشتیبانی تصمیم‌گیری: شبکه‌های عصبی می‌توانند با ارائه پیش‌بینی‌ها و توصیه‌ها براساس الگوهای موجود در داده‌ها، به فرآیندهای تصمیم‌گیری کمک کنند. توجه به این نکته ضروری است که عملکرد شبکه عصبی مصنوعی بستگی به عواملی مانند کیفیت و کمیت داده‌های آموزشی، معماری شبکه و تخصص توسعه‌دهندگان در طراحی و آموزش شبکه دارد [۳۴]. مطابق شکل ۴ این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده بهم پیوسته به نام نورون‌ها^۷ تشکیل شده که برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند [۳۳،۳۴].

⁷ Neurons

مصنوعی (ANN) و رگرسیون خطی چندگانه (MLR)، استحکام کیوی با استفاده از غلظت مواد مغذی معدنی میوه پیش‌بینی شد و توان پیش‌بینی کننده رگرسیون خطی چندگانه (MLR) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای برآورد استحکام میوه در شش ماه ارزیابی شد [۱۴].



شکل ۴- ساختار شبکه عصبی مصنوعی

در تحقیقی، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) پیش‌بینی ویسکوزیته آب میوه شفاف در نظر گرفته شد.

مدل ANN به عنوان تابعی از غلظت و دما برای پیش‌بینی ویسکوزیته آب میوه طراحی شده است. در این تحقیق، تعدادی از آب میوه‌های شفاف مانند پرتقال، هلو و گلابی مورد بررسی قرار گرفتند. مدل بهینه ANN شامل دو لایه

پنهان با دو نورون در هر لایه پنهان استفاده شد. این مدل با میانگین خطا ۳,۷۸ میلی پاسکال قابلیت پیش‌بینی ویسکوزیته را دارا می‌باشد. این عملکرد ANN با استفاده از داده‌های تجربی بررسی شده است و نشان می‌دهد که

پیش‌بینی ویسکوزیته با استفاده از ANN یک روش ساده، راحت و دقیق است. این مدل می‌تواند در محاسبات انتقال حرارت در فرآیندهای پردازش میوه مانند غلظت و ویسکوزیته دمای وابسته به آن مورد استفاده قرار گیرد.

همچنین این روش می‌تواند در محاسبات انتقال جرم در فرآیندهای تصفیه آب با استفاده از غشاهای نیز مفید باشد. [۱۲]. در تحقیقی دیگر، یک روش ساده، سریع و اقتصادی بر اساس ترکیب فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شبکه

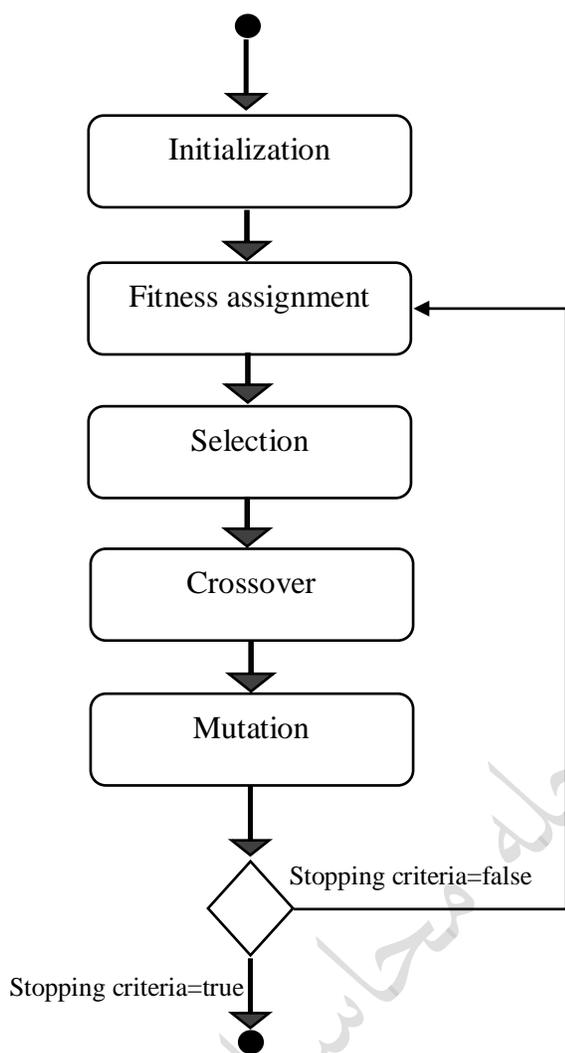
عصبی مصنوعی (ANN) جهت توصیف و طبقه‌بندی چای، مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور، دو برنامه کاربردی مبتنی بر ANN تهیه شده است: یکی برای پیش‌بینی فعالیت آنتی‌اکسیدانی و دیگری برای طبقه‌بندی چای در کلاس‌های مختلف مانند چای سبز، چای سیاه و

در طبقه‌بندی میوه‌ها با شبکه عصبی یا تعیین کیفیت میوه و مواد غذایی تعداد نورون‌ها با استفاده از روش سعی و خطا بدست می‌آید [۳۵]. در یک تحقیق برای استخراج اسانس از ترخون با استفاده از پیش‌فرآوری با فراصوت، یک شبکه عصبی مصنوعی سه لایه پرسپترون برای پیش‌بینی مدل استخراج عصاره ایجاد شد. نتایج نشان داد که عملکرد بهترین پیش‌بینی مربوط به شبکه ANN 1-7-3 با مقادیر $R^2 = 99/0$ و $RMSE = 0008/0$ است و می‌توان با استخراج سه پارامتر ورودی عملکرد استخراج اسانس را پیش‌بینی کرد [۳۴]. همچنین، در یک مطالعه دیگر با استفاده از شبکه عصبی، عمر انبارمانی میوه سیب بررسی شد و دقت طبقه‌بندی دو گروه سیب تحت شرایط مختلف نگهداری به طور متوسط به ترتیب $10/84\%$ و $10/14\%$ گزارش شد [۳۷]. همچنین، در پژوهشی دیگر برای درجه‌بندی میوه عناب از تبدیل گسسته موجک سیگنال‌های صدای برخورد دانه‌های عناب با یک صفحه فولادی استفاده شد و شبکه عصبی MLP با ساختار ۴-۳-۱۰ قادر به درجه‌بندی دانه‌های عناب ریز، متوسط، درشت و خیلی درشت به ترتیب با دقت ۷۰، ۹۴، ۹۰ و ۹۲ درصد می‌باشد [۳۸]. همچنین، در یک مطالعه دیگر با استفاده از شبکه عصبی

اکسپرس چای سیاه. با استفاده از ANN احتمالی، موفقیت آمیز طبقه بندی چای در کلاس های مختلف انجام شد [۱۱].

4.1.2 الگوریتم ژنتیک^۸

تکنیک جستجو در علم رایانه برای یافتن راه حل تقریبی برای بهینه سازی مدل، ریاضی و مسائل جستجو است. الگوریتم ژنتیک، یک نوع خاص از الگوریتم های تکاملی است که از تکنیک های زیست شناسی مانند وراثت، جهش زیست شناسی و اصول انتخابی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش بینی یا تطبیق الگو استفاده می کند. این الگوریتم با شروع از یک جمعیت اولیه کدگذاری شده، عمل خود را آغاز می کند. با توجه به شکل ۵ مقداردهی اولیه (Initialization)، تخصیص مقدار شایستگی (assignment Fitness)، انتخاب (Selection)، تقاطع (Crossover) و جهش (Mutation) الگوریتم به سمت راه حل های بهتر تکامل می یابد.



شکل ۵- فلوچارت الگوریتم ژنتیک

مقالات ارائه شده، بر روش های مختلف انتخاب در الگوریتم های ژنتیک تأکید دارند. در این مقالات، روش هایی که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند، بررسی شده اند و بسته به نوع کاربرد، از روش انتخاب مناسب می توان استفاده کرد. از جمله نتایج استفاده از الگوریتم

⁸ Genetic algorithm

ژنتیک می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: (۱) یافتن راه حل‌های بهینه یا نزدیک به بهینه: الگوریتم‌های ژنتیک اغلب برای جستجوی راه حل‌های بهینه یا نزدیک به بهینه در مسائل پیچیده بهینه‌سازی استفاده می‌شوند. با تکامل مکرر جمعیتی از راه حل‌های پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک می‌تواند به سمت بهترین راه حل ممکن همگرا شود. (۲) کاوش در فضای راه حل: الگوریتم‌های ژنتیک در کاوش یک فضای راه حل بزرگ خوب عمل می‌کنند و می‌توانند راه حل‌هایی را پیدا کنند که ممکن است بلافاصله آشکار نباشند. این امر به ویژه در مشکلاتی که فضای جستجو گسترده است یا درک ناقصی دارند، مفید است. (۳) استحکام نسبت به بهینه محلی: الگوریتم ژنتیک در مقایسه با روش‌های بهینه‌سازی کم‌تر در بهینه محلی گیر می‌کنند. با حفظ تنوع در جمعیت و استفاده از عملگرهایی مانند تقاطع و جهش، می‌تواند از بهینه محلی فرار کند و به جستجوی بهتر ادامه دهد. (۴) مقیاس‌پذیری: الگوریتم ژنتیک را می‌توان برای حل مسائل با اندازه‌ها و پیچیدگی‌های مختلف استفاده کرد. آن‌ها می‌توانند مشکلات مقیاس کوچک و بزرگ را حل کنند و برای طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها مناسب هستند. (۵) تحلیل مبادله: از الگوریتم ژنتیک می‌توان برای یافتن راه‌حلی استفاده کرد که چندین هدف را به طور همزمان بهینه می‌کند. این امکان تجزیه و تحلیل مبادله را فراهم می‌کند، جایی که راه‌حل‌های مختلف را می‌توان بر اساس معیارهای مختلف مقایسه کرد [۴۱، ۴۰، ۳۹].

در مطالعه ای مدل‌سازی تشخیص مزه بر اساس روش عصبی-ژنتیک انجام گردید. (مدل‌سازی تشخیص مزه بر اساس روش عصبی-ژنتیک، به عنوان یک روش برای حل مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود و الگوریتم ژنتیک از طبیعت الهام گرفته شده است. در این روش، جمعیتی از راه حل‌های مختلف مسئله تغییر می‌کنند، که این تغییرات به عنوان تکامل شناخته می‌شوند. در

حقیقت، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، وزن‌ها و بایاس‌های شبکه عصبی پس انتشار ارتجاعی به منظور حل مسئله بهینه‌سازی تعیین می‌شوند [۳۷]. در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از الگوریتم ژنتیک برای تشخیص نقص پوست میوه پرتقال مورد بررسی قرار گرفته است [۴۲]. همچنین، ارزیابی کیفیت تخم‌مرغ بر اساس طیف‌سنجی مادون قرمز مرئی و شبکه‌های عملکرد شعاعی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج نشان داده‌اند که مدل توسعه یافته به عنوان یک پیش‌بینی کننده قابل اعتماد برای شاخص‌های تازگی تخم‌مرغ عمل می‌کند [۴۳]. در یک تحقیق دیگر، استفاده از الگوریتم ژنتیک برای شناسایی میوه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است و آنتروپی موجک هار برای استخراج ویژگی‌های تصویر میوه و پرسپترون چندلایه برای طبقه‌بندی استفاده شده است [۴۴]. همچنین، در یک تحقیق دیگر، استفاده از شبکه عصبی-الگوریتم ژنتیک به همراه داده‌های طیفی مادون قرمز برای درجه‌بندی رسیدگی میوه تازه درخت نخل مورد بررسی قرار گرفته و مدل GANN به عنوان یک مدل کالیبراسیون برای این مسئله استفاده شده است [۴۵]. در بررسی اندازه‌گیری غیر مخرب کیفیت داخلی میوه سیب توسط طیف سنجی بدون تماس با بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک انجام شد [۴۶]. استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک در ربات برداشت سیب برای تشخیص میوه مورد استفاده بوده است که طی این تحقیق الگوریتم شبکه عصبی-المان ژنتیکی روش بهینه‌ای است که میزان نرخ آموزش آن می‌تواند به ۱۰۰ درصد برسد [۴۷]. همچنین، از روش‌های محاسبات نرم برای پیش‌بینی میزان کبودی گلابی در حین نگهداری استفاده شده است. نتایج نشان داده‌اند که تکنیک‌های شبکه عصبی می‌توانند در پیش‌بینی کبودی گلابی در زمان ذخیره سازی مؤثر باشند [۴۷].

در تحقیق دیگری، با استفاده از یادگیری ماشین، طبقه‌بندی اسانس پرتقال تلخ به دست آمده است. این تحقیق به عنوان یک استراتژی جدید برای کنترل کیفیت اسانس پرتقال تلخ بدون استفاده از روش‌های معمولی ارائه می‌شود [۴۸]. همچنین، بررسی کیفیت داخلی میوه گلابی با استفاده از اشعه ایکس و یادگیری

ماشین انجام شده است. طبقه‌بندی کننده‌ها با استفاده از رقم و تعداد ویژگی‌های مورد استفاده، می‌توانند با دقت طبقه‌بندی بین ۹۰/۲ تا ۹۵/۱٪، میوه معیوب را از میوه سالم تشخیص دهند [۴۹]. در پژوهشی، الگوریتم مبتنی بر یادگیری ماشین خودکار برای تشخیص نوع و درجه بندی کیفیت چند نوع سبزیجات و میوه پیشنهاد شده است. در این روش، تصاویر توسط فیلتر گاوسی پردازش می‌شوند و سپس با استفاده از خوشه بندی و تحلیل تصویر، ویژگی‌های مختلفی استخراج می‌شوند. در نهایت، از طبقه‌بندی کننده‌ها برای تصمیم‌گیری و درجه بندی استفاده می‌شود. نتایج نشان داده اند که طبقه‌بندی کننده SVM برای تشخیص نوع نتایج کارآمدتری را نشان می‌دهد [۵۰].

۵.۱.۲ یادگیری عمیق

یادگیری عمیق یا یادگیری ژرف، زیر شاخه‌ای از یادگیری ماشین و بر مبنای مجموعه‌ای از الگوریتم‌های مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی با تعدادی زیادی لایه پنهان است. الهام از ساختار عصبی در مغز انسان برای به وجود آمدن این الگوریتم‌ها و یادگیری عمیق بوده است. در ساختار مغز انسان، یاخته‌های عصبی با فرستادن پیام به یکدیگر، درک را امکان‌پذیر می‌کنند. هدف الگوریتم‌های یادگیری عمیق، استخراج ویژگی‌های انتزاعی سطح بالا در مجموعه داده‌ها است. برای این منظور از یک گراف عمیق استفاده می‌شود که دارای چندین لایه پردازشی و تبدیلات خطی و غیرخطی است. ویژگی‌های استخراج شده توسط شبکه‌های مبتنی بر یادگیری عمیق به صورت لبه‌های سطح بالاتری هستند و به درک انسانی نزدیک‌تر هستند. استفاده از این ویژگی‌ها در دسته‌بندی منجر به نتایج بهتری می‌شود. در اولین گام برای تفسیر نتایج یک روش یادگیری عمیق، مدل ارزیابی می‌شود و معیارهایی مانند دقت به کار گرفته می‌شود. سپس این نتایج با سایر مدل‌ها مقایسه می‌شود تا اثربخشی و برتری

روش یادگیری عمیق مشخص شود. در صورتی که مدل‌های یادگیری عمیق پیش‌بینی نادرستی داشته باشند، می‌توان با تحلیل و بررسی خطاها ضعف‌های آنها را تشخیص داد و اصلاح کرد.

پیمان و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بررسی دو بیماری مهم لکه قهوه‌ای و بلاست برگ برنج می‌پرداختند. از طریق پردازش تصویر برگ‌های گیاه برنج آلوده، آنها توانستند لکه‌های ظاهری قسمت‌های آلوده از سطح برگ را جدا کنند. برای این منظور، ویژگی‌های شکلی مانند گردی، نسبت ظاهری، فشردگی و نسبت سطح قسمت‌های آلوده مرتبط با هر دو بیماری لکه قهوه‌ای و بلاست برنج از تصاویر سیاه و سفید برگ‌های آلوده استخراج، بررسی و نمایش دادند. نتایج نشان داد که الگوریتم پیشنهادی قادر است با دقت ۹۷،۴ درصد نقاط آلوده را تشخیص دهد [۵۱]. همچنین، در یک تحقیق دیگر، یک روش هوشمند برای شناسایی سه نوع آفت رایج مرکبات ارائه شد. در این روش، از یک طبقه بندی کننده شبکه‌های عصبی کانولوشن عمیق برای شناسایی آفات مرکبات استفاده شد. در مرحله آموزش، با استفاده از تقویت داده‌ها، تعداد نمونه‌های آموزشی بهبود یافت و تعمیم‌پذیری کلاسیفایرها افزایش یافت. بر اساس نتایج تجربی، دقت مجموعه پیشنهادی به ۹۹،۴ درصد رسید [۵۲]. لیو و همکاران ۲۰۱۸ به منظور تشخیص چهار بیماری از درخت سیب شامل لکه برگی آلترناریایی، زنگ، موزاییک و لکه قهوه‌ای، در پژوهش خود از روش‌های یادگیری عمیق و شبکه AlexNet استفاده کردند و ایده کار بر کاهش پارامترهای مدل در این شبکه به منظور افزایش میزان همگرایی و دقت بیشتر بنا شده بود. شبکه طراحی شده در این مقاله توانست بیماری سیب را با دقت ۹۷،۶۲ درصد پیش‌بینی کند [۵۳]. کروز و همکاران

۲۰۱۹ نیز به تشخیص بیماری زردی انگور با استفاده از هوش مصنوعی پرداختند. در این پژوهش، یک سیستم جدید با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی برای تشخیص این بیماری در انگور با استفاده از تصاویر رنگی از برش‌های برگ ارائه شد. در این پژوهش، ۶ معماری شبکه عصبی InceptionV3, GoogleNet, AlexNet, ResNet50, ResNet101 و SqueezeNet مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند و معماری ResNet50 بهترین نوع از معماری‌های پیشنهادی را از لحاظ دقت و هزینه آموزش با دقت ۹۹ درصد شناسایی کرد [۵۴].

همچنین، در یک پژوهش دیگر با هدف تشخیص زود هنگام و دقیق بیماری‌های گیاهی، از یک مدل CNN عمیق دو مرحله‌ای برای تشخیص و طبقه‌بندی بیماری‌های گیاهی و مرکبات با استفاده از تصاویر برگ استفاده شد. این مدل شامل دو مرحله اصلی است، اولاً، مناطق بیمار هدف بالقوه با استفاده از شبکه پیشنهادی منطقه، و ثانیاً، طبقه‌بندی محتمل‌ترین ناحیه هدف بالقوه با استفاده از طبقه‌بندی کننده. مدل پیشنهادی در تشخیص دقت ۹۴٫۳۷ درصد و در دقت متوسط ۹۵٫۸ درصد دارد [۵۵].

۶٫۱٫۲- سایر کاربردهای یادگیری ماشین

یادگیری ماشین یک زیرمجموعه از هوش مصنوعی است. الگوریتم‌های شبکه عصبی، منطق فازی و یادگیری عمیق

نیز زیرمجموعه‌هایی از یادگیری ماشین هستند که براساس ساختارهای مختلف برای حل مسائل به کار می‌روند. به عنوان مثال روش شبکه عصبی و منطق فازی مسائل را به بخش‌های کوچکتر تقسیم می‌کند و آنها را حل می‌کند. اما یادگیری عمیق قادر است مسائل را به صورت کامل حل کند. هرچه مقدار داده‌ها و زمان بیشتری به الگوریتم‌های یادگیری عمیق اختصاص داده شود، نتیجه نهایی بهتر خواهد بود. حجم کمی داده در این الگوریتم با همراهی نتایج و عملکرد ضعیفتر ختم می‌شود. با توجه به پیچیدگی این مدل و همچنین داده‌هایی با حجم بالا، برای اجرای آن نیاز به سیستمی قوی از نظر سخت افزار داریم. تفاوت دیگر بین این الگوریتم‌ها این است که منطق فازی بیشتر در زمینه تصمیم‌گیری و بیان تقریبی از هدف کاربرد دارد در حالی که روش‌های شبکه عصبی و یادگیری عمیق در حل مسائل مرتبط با طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌شوند. لازم به ذکر است که در الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، پارامترهایی مانند نوع تابع و تعداد نرون‌ها وجود دارند که برای به دست آوردن بهترین جواب بهینه باید بهینه‌سازی شوند و الگوریتم ژنتیک یکی از این روش‌ها می‌باشد. جدول ۲ به برخی از کاربردهای ماشین لرنینگ اشاره می‌کند.

جدول ۲: کاربردهایی از روش‌های یادگیری ماشین و عمیق

منبع	تعداد داده‌های مورد استفاده	نتایج	هدف	روش
[۵۶(۱۳۹۰)]	100	دامنه نمرات برای طبقه با بهترین کیفیت ۸۰-۹۳، برای طبقه متوسط ۶۰-۸۰ و برای طبقه پایین‌ترین کیفیت، ۳۳-۶۰.	استفاده از منطق فازی به منظور درجه‌بندی کشمش بر اساس ویژگی‌های کیفی (رنگ، اندازه و نقص)	منطق فازی

[۹(۲۰۲۰)]	150	بهترین نتایج: (RBF-NN (RMSE: 0.05-0.06 و دقت کلی طبقه‌بندی کننده RBF-NN 96.22%	عملکرد مدل رگرسیون چند خطی (MLR) ، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه-MLP (MLP) ، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی-RBF (RBF) ، NN سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (NN) و ماشین بردار پشتیبان - (SVM) به منظور محاسبه جرم هسته سه رقم بادام بدون شکستن پوسته
[۳۳(۱۳۸۶)]	250	میزان دقت طبقه‌بندی سیب‌ها ۹۱/۲٪	درجه‌بندی سیب‌های گلدن دلینز بر اساس رنگ و اندازه بر اساس منطق فازی
[۵۷(۲۰۱۷)]	90	تشخیص بیماری با دقت ۹۰ درصد	تشخیص سه بیماری سفیدک پودری، زنگ و بیماری ویروس موزاییک برگ سیب با شبکه عصبی مصنوعی
[۵۸(۲۰۱۷)]	18	پیش‌بینی میزان رطوبت برش‌های توت فرنگی حین فرایند خشک کردن با دقت بالای ۰/۹۹٪ با استفاده از شبکه‌ای با ۹ نرون در لایه مخفی و تابع انتقال تانژانت هایپربولیک	از روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی جهت مدل‌سازی سینتیک خشک کردن برش‌های توت فرنگی استفاده کردند. شبکه عصبی - الگوریتم ژنتیک
[۵۹(۱۳۹۲)]	100	پیش‌بینی درصد کاهش وزن (۰/۹۸٪)، درصد کاهش آب (۰/۹۷٪) و مقدار جذب مواد جامد (۰/۹۶٪) در طی فرایند خشک کردن اسمزی زردآلو توسط مدل‌سازی الگوریتم روش بهینه‌سازی ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی: شبکه‌ای با تعداد ۱۴ نرون در یک لایه پنهان و استفاده از تابع فعال‌سازی هیپربولیک تانژانت	مدلسازی اسمزی خشک کردن زردآلو با کمک روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی
[۶۰(۲۰۱۷)]	2086	شبکه VGG16 با بهترین عملکرد (دقت ۹۰/۴ درصد)	بررسی شدت بیماری گوجه فرنگی بر اساس سالم، کمی خراب، خراب و کاملاً خراب توسط معماری‌های VGG16، VGG19 ، ResNet و Inception V3 از شبکه یادگیری عمیق

در این تحقیق، به رویکردهای پیشرفته مانند یادگیری ماشین و برخی از الگوریتم‌های زیرمجموعه آن (مانند یادگیری عمیق،

شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک و منطق فازی) پرداخته شده است. استفاده از این روش‌ها در آینده می‌تواند در سیستم‌های کشاورزی هوشمند به عنوان بخش اصلی به کار برود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های نوین محاسبات نرم، شامل منطق فازی، شبکه عصبی، الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، برای حل مشکلات مختلف در زمینه فناوری غذایی قابل استفاده است. همچنین، تفاوت بین این روش‌ها نیز نشان داده شده است. این روش‌ها بر اساس کاربردهای خاص خود برای کاربران قابل استفاده هستند و می‌توانند روی توسعه محصولات کارآمد، مطمئن و رضایت بخش‌تر برای مصرف‌کننده و کاهش هزینه‌های تولید تأثیر مثبتی داشته باشند. این الگوریتم‌ها به طور کلی برای عملکرد در شرایط عدم اطمینان طراحی شده‌اند. منطق فازی با در نظر گرفتن داده‌های ناهنجار، قادر است کیفیت مواد غذایی را شناسایی کند. به طور مثال، اگر یک پارامتر مواد غذایی به صورت ناگهانی تغییر کند، سیستم منطق فازی قادر است این تغییر را تشخیص داده و برای آن راهکار مناسبی ارائه کند. از طریق منطق فازی، می‌توان قوانین و مقررات متنوعی را جهت تعیین کیفیت مواد غذایی تعریف کرد. این امر به افراد امکان تصمیم‌گیری با انعطاف بیشتر را می‌دهد. استفاده از منطق فازی می‌تواند با داشتن اطلاعات ناقص و کاهش اطلاعات موجود، به خوبی جهت تشخیص کیفیت مواد غذایی انجام شود. بنابراین، با تغییرات غیرمنتظره در مواد غذایی، می‌توان به خوبی برخورد کرد. شبکه‌های عصبی قادر به شناسایی الگوهای پیچیده و دشواری در داده‌ها به طور خودکار هستند و با دقت با داده‌های جدید کار می‌کنند. آنها قابلیت تعمیم‌پذیری دارند، به این معنی که می‌توانند با داده‌های جدیدی که قبلاً در فرآیند آموزش شرکت نکرده‌اند، کار کنند و پیش‌بینی‌های صحیحی ارائه دهند. الگوریتم ژنتیک، به راحتی قابل پیاده‌سازی و استفاده است، قادر به کار با سیستم‌ها و مسائلی است که به دلیل پیچیدگی بالا برای الگوریتم‌ها و روش‌های دیگر دشوار است. همچنین، این الگوریتم قابلیت پیدایش جواب‌های بهینه و بهترین حالت را دارا است. یادگیری

ماشین قادر است با استفاده از محاسبات آماری، با دقت بالا، به تشخیص کیفیت مواد غذایی بپردازد. با استفاده از یادگیری ماشین، تشخیص کیفیت مواد غذایی به صورت خودکار و سریع امکان‌پذیر می‌شود و نیازی به دخالت فرد برای انجام بررسی دستی نیست. روش یادگیری ماشین به‌طور یکنواخت و بی‌طرف کیفیت مواد غذایی را تشخیص می‌دهد و تحت تأثیر عوامل متغیر مانند خستگی قرار نمی‌گیرد. با استفاده از الگوریتم‌های پیچیده، یادگیری عمیق می‌تواند با دقت بسیار بالا، کیفیت مواد غذایی را تشخیص داده و با استفاده از پردازش موازی و عملکردهای بهینه‌سازی شده، قادر به تشخیص سریع مواد غذایی می‌باشد. همچنین، استفاده از یادگیری عمیق در تشخیص کیفیت مواد غذایی، نیاز به کارشناسان و تجهیزات پیچیده را کاهش می‌دهد و سبب کاهش هزینه‌ها شود. به طور کلی، استفاده از محاسبات نرم در صنایع غذایی می‌تواند باعث بهبود کارایی، کیفیت و کاهش هزینه‌های تولید شود. همچنین این تکنیک‌ها می‌توانند به طور موثر در بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در این صنعت کمک کنند.

۴. مراجع

- [1] Alrajeh, K. M., and Alzohairy, T. A. "Date fruits classification using MLP and RBF neural networks," *International Journal of Computer Applications*, 41(10). (2012). <https://doi=10.1.1.259.4351>
- [2] Faridi, H. and Aboonajmi, M. "Application of machine vision in agricultural products," In: *Proceedings of the 4th Iranian International NDT Conference Feb. p. 26-27. 2017.*
- [3] Todorov Y., Nacheva I., Metodieva P., Doneva M., and Tsvetkov T. "Soft computing applications in food technology," *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19,3:503-507,2013. [http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.S1-001.](http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.S1-001)

- neural networks,” *Food Chemistry* 127. 1323–1328. 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.091>
- [12] Rai P., Majumdar G.C., DasGupta S., and De S. “Prediction of the viscosity of clarified fruit juice using artificial neural network: a combined effect of concentration and temperature,” *Journal of Food Engineering* 68.527–533.2005.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.07.003>
- [13] Tang S. Y., Lee J. S., Loh S. P., and Tham H. J. “Application of Artificial Neural Network to Predict Colour Change, Shrinkage and Texture of Osmotically Dehydrated Pumpkin (Conference),” In *IOP Conf Series: Mat Sci Eng.* Vol. 206, p. 012036. 2017.
- [14] Torkashvand A. M., Ahmadi A., and Nikravesh N. L. “Prediction of kiwifruit firmness using fruit mineral nutrient concentration by artificial neural network (ANN) and multiple linear regressions (MLR),” *Journal of integrative agriculture*, 16, 7:1634-1644. 2017.[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61546-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61546-0)
- [15] محمدمپور م، مینایی بیدگلی ب، پروین ح، رحیمی زاده ک، "ارائه یک نسخه بهبود یافته از الگوریتم ژنتیک مبتنی بر راهکار خودسازماندهی بحرانی و حافظه گوسی برای حل مسائل بهینه سازی پویا"، *مجله محاسبات نرم*، جلد 9، شماره 1، ص. 56-91، 1399.
<https://doi.org/10.22052/scj.2021.111452>
- [16] Vidyarthi S.K. Tiwarib R., and Singh S.K. “Size mass prediction of almond kernels using machine learning image processing,” 2020.
<https://doi.org/10.1101/736348>.
- [17] Joseph S., and Thanakumar I., “survey of data mining algorithms for intelligent computing,” *Journal of trends in Computer Science and Smart technology (TCSST)* 1,01:14-24.2019.
<https://doi.org/10.36548/jtcsst.2019.1.002>.
- [18] Raj DJS., and Ananthi JV. “recurrent neural networks and nonlinear prediction in support vector
- [4] Mahendran R., Jayashree G. C., and Alagusundaram K. “Application of computer vision technique on sorting and grading of fruits and vegetables,” *J. Food Process. Technol*, 10, 2157-7110. 2012. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.S1-001>.
- [5] قربانی م، ابونجمی م، آصف پور وکیلان ک، "فناوری ماشین بینایی در کشاورزی دقیق: مروری جامع بر اصول و کاربردها"، *مجله محاسبات نرم*، جلد 9، شماره 1، ص. 113-92، 1399.
<https://doi.org/10.22052/scj.2021.111453>
- [6] Bhargava A., and Bansal A. “Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review”. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 33, 3:243-257, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.06.002>
- [7] Gill J., Sandhu P.S., and Singh T. “A review of automatic fruit classification using soft computing techniques,” In: *Int. Conf. Comput. Syst. Electron. Eng.* p. 91-98. 2014.
- [8] Zhang B., Huang W., Li J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J., and Liu C. “Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review,” *Food Research International*, 62:326-343.2014.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.012>
- [9] Ashtiani S H., Rohani, A., and Aghkhani M H. “Soft computing-based method for estimation of almond kernel mass from its shell features,” *Scientia Horticulturae*, 262: 109071. 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109071>
- [10] Coppola C., Hopkins B., Huhn S., Du Z., Huang Z., and Kelly WJ. “Investigation of the Impact from IL-2, IL-7, and IL-15 on the Growth and Signaling of Activated CD4+ T Cells,” *International journal of molecular sciences*, 21.21: 7814. 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21217814>
- [11] Cimpoiu C., Cristea V.M., Hosu A. Sandr, M., and Seserman L. “Antioxidant activity prediction and classification of some teas using artificial

- 15-31.2005.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>
- [۲۷] Liakos K. G., Busato P., Moshou D., Pearson S., and Bochtis, D. "Machine learning in agriculture: A review," *Sensors*, 18(8), 2674. 2018.
<https://doi.org/10.3390/s18082674>.
- [۲۸] Zadeh, L. A. Fuzzy logic. *Computer*, 21(4), 83-93.1988.
- [۲۹] Mittal K., Jain A., Vaisla K. S., Castillo O., and Kacprzyk J. "A comprehensive review on type 2 fuzzy logic applications: Past, present and future," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 95,103916.2020.
<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103916>
- [۳۰] Kumar A., and Sharma A. "Systematic literature review of fuzzy logic based text summarization," *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 16(5), 45-59. 2019. <https://doi.org/10.22111/ijfs.2019.4906>
- [۳۱] عادلخانی ع.، بهشتی ب.، مینایی س.، جوادی کیا ح.، " تعیین مزه پرتقال تامسون با استفاده از پردازش تصویر، مبتنی بر دو روش فازی-عصبی و عصبی-ژنتیک"، *مجله علوم و صنایع غذایی*، دوره ۱۳، شماره ۵۶، ۴۵-۵۵، ۱۳۹۵.
- [۳۲] Nassiri SM., Tahavoor A., and Jafari A. "Fuzzy logic classification of mature tomatoes based on physical properties fusion," *Information Processing in Agriculture*, ISSN 2214-3173. 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.09.001>
- [۳۳] لرستانی ع.ن.، امید م.، طباطبایی فر س.ا.، برقعی ع.م.، باقری شورکی س.، "طراحی و ارزیابی یک سیستم هوشمند درجه بند سیب گلدن دلشز با منطق فازی"، *علوم کشاورزی ایران*، دوره ۳۸، شماره ۱، ۱-۱۰. ۱۳۸۶.
- [۳۴] شهابی قویونلویی م.، رفیعی ش.، محتسبی س.س.، حسین پور س.، "کاربرد هوش مصنوعی و استنتاج عصبی فازی machines," *Journal of Soft Computing Paradigm (JSCP)*.1,01:33-40.2019.
<https://doi.org/10.36548/jscp.2019.1.004>.
- [۱۹] Yager, R. R., Zadeh, L. A., Kosko, B., and Grossberg, S. "Fuzzy sets, neural networks, and soft computing," (No. 006.33 F8). 1994
- [۲۰] Saxena A., Pare S., Meena MS., Gupta D., Gupta A., Razzak I., Lin CT., and Prasad M. "A Two-Phase Approach for Semi-Supervised Feature Selection," *Algorithms*, 13.9:215.2020.
<https://doi.org/10.3390/a13090215>
- [۲۱] Chiu, S.L. "Fuzzy model identification based on cluster estimation," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2, 267-278. 1994. DOI: 10.3233/IFS-1994-2306
- [۲۲] Yu, H., Wang, J. and Xu, Y. "Identification of adulterated milk using electronic nose," *Sensors and Materials*, 19, 275-285. 2007.
- [۲۳] Pham, V.H., and Lee, B.R. "An image segmentation approach for fruit defect detection using k-means clustering and graph-based algorithm," *Vietnam Journal of Computer Science*, 2,1: 25-33. 2015
- [۲۴] علیان نژاد م. م.، حسینی م.، غضنفری ح.، کمندی ا.، "بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا با استفاده از ماشین بردار پشتیبان و ویژگی‌های هیستوگرام اختلاف بافت". *مجله محاسبات نرم*، جلد ۱۱، شماره ۱، ص. ۱۰-۲۱، ۱۴۰۱.
<https://doi.org/10.22052/scj.2022.246175.1053>
- [۲۵] Karimi N., Kondrood R. R., and Alizadeh T. "An intelligent system for quality measurement of Golden Bleached raisins using two comparative machine learning algorithms," *Measurement*, 107, 68-76.2017.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.05.009>
- [۲۶] Ayalew L., and Yamagishi H. "The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan," *Geomorphology*, 65(1),

- [۴۲] Jadan O. A., Rajamani L., and Rao, C. R. "Improved Selection Operator for GA," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2008.
- [۴۳] Thendral, R., and Suhasini, A. "Automated skin defect identification system for orange fruit grading based on genetic algorithm," *Current Sci*, 112(8), 1704-1711. 2017.
- [۴۴] Aboonajmi M., Saberi A., Abbasian Najafabadi T., and Kondo N. "Quality assessment of poultry egg based on visible–near infrared spectroscopy and radial basis function networks," *International Journal of Food Properties*, 19(5), 1163-1172. 2016.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1075215>.
- [۴۵] Jia W., Snetkov L., and Aok S. "An effective model based on Haar wavelet entropy and genetic algorithm for fruit identification," In *AIP Conference Proceedings*. 1955, 1: 040013). AIP Publishing LLC. 2018. <https://doi.org/10.1063/1.5033677>
- [۴۶] Silalahi, D. D., Reaño, C. E., Lansigan, F. P., Panopio, R. G., and Bantayan, N. C. "Using genetic algorithm neural network on near infrared spectral data for ripeness grading of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) fresh fruit," *Information Processing in Agriculture*, 3,4: 252-261. 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.10.001>.
- [۴۷] Nturambirwe J. F. I., Nieuwoudt H. H., Perold, W. J., and Opara U. L. "Non-destructive measurement of internal quality of apple fruit by a contactless NIR spectrometer with genetic algorithm model optimization," *Scientific African*, 3, e00051. 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00051>
- [۴۸] Razavi M. S., Golmohammadi A., Sedghi, R., and Asghari, A. "Prediction of bruise volume propagation of pear during the storage using soft computing methods," *Food science & nutrition*, 8, 2: 884-893. 2020.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.1365>.
- تطبیقی در تعیین رطوبت برگ چای سبز بر اساس پارامترهای رنگی"، *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، دوره ۴۴، شماره ۲، ۱۳۹۲،
<https://doi.org/10.22059/ijbse.2014.50120>
- [۳۵] Narendra V. G. "An intelligent computer vision system for vegetables and fruits quality inspection using soft computing techniques," *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 21(3), 171-178. 2019.
- [۳۶] Specht D. F. "A general regression neural network," *IEEE transactions on neural networks*, 2(6), 568-576. 1991.
- [۳۷] Al-Saffar A. A. M., Tao H., and Talab M. A. "Review of deep convolution neural network in image classification," *International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET) 26-31. IEEE*. 2017.
<https://doi.org/10.1109/ICRAMET.2017.8253139>
- [۳۸] Fathizadeh Z., Aboonajmi M., and Hassan-Beygi, S. R. "Classification of Apples Based on the Shelf Life Using ANN and Data Fusion," *Food Analytical Methods*, 1-13. 2020.
- [۳۹] سجادی ج.، "کاربرد تبدیل گسسته موجک صدای برخورد و شبکه عصبی مصنوعی MLP در درجه بندی میوه عناب"، هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳۹۲.
- [۴۰] Chudasama, C., Shah, S. M., and Panchal, M. "Comparison of Parents Selection Methods of Genetic Algorithm for TSP," *International Conference on Computer Communication and Networks. International Journal of Computer Applications (Conference)*. 85-87. 2011
- [۴۱] Whitley D. "A genetic algorithm tutorial. *Statistics and computing*," 4(2), pp.65-85. 1994.

[۵۶] بریم‌نژاد و، افتخاری آ، "کاربرد منطق فازی در درجه‌بندی کشمش". تحقیقات کشاورزی. ۳ (۳). ۱۷۳-۱۸۶، ۱۳۹۰.

[۵۷] Chuanlei, Z., Shanwen, Z., Jucheng, Y., Yancui, S., and Jia, C. "Apple leaf disease identification using genetic algorithm and correlation based feature selection method." *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(2). 2017. 74-83. doi/10.3965/j.ijabe.20171002.2166.

[۵۸] Salehi, F., Ardabili A. Gohari, A. Nemati, and Darab R. Latifi. "Modeling of strawberry drying process using infrared dryer by genetic algorithm-artificial neural network method." *Iranian Journal of Food Science and Technology*. 14, 69: 105-114. 2017.

[۵۹] صالحی، ف.ا، عباسی شاهکوه، ز، و گودرزی، م. "مدل‌سازی خشک کردن اسمزی زردآلو با استفاده از الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی." نشریه نوآوری در علوم و فناوری غذایی. (۱)۷. ۶۵-۷۶. ۱۳۹۲.

[۶۰] Wang, G., Sun, Y. and Wang, J. "Automatic image-based plant disease severity estimation using deep learning." *Computational Intelligence. And Neuroscience*. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2917536>

[۴۹] Taghadomi-Saberi, S., Mas Garcia, S., Allah Masoumi, A., Sadeghi, M., and Marco, S. "Classification of bitter orange essential oils according to fruit ripening stage by untargeted chemical profiling and machine learning." *Sensors*, 18,6:1922 2018. <https://doi.org/10.3390/s18061922>

[۵۰] Van e Looverbosch, T., Bhuiyan, M. H. R., Verboven, P., Dierick, M., Van Loo, D., De Beenbouwr, J., and Nicolai, B. "Nondestructive internal quality inspection of pear fruit by X-ray CT using machine learning." *Food Control*, 113, 107170.2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107170>

[۵۱] Wan Nurazwin Syazwani, R., Muhammad Asraf H., Megat Syahirul Amin M.A., and Nur Dalila K.A. "Automated image identification, detection and fruit counting of top-view pineapple crown using machine learning." *Alexandria Engineering Journal*, 61, Issue 2,1265-1276, ISSN 1110-0168, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.06.053>.

[۵۲] پیمان س.ح، بخشی پورع، جعفری ع، "بررسی امکان به کارگیری روش پردازش تصاویر دیجیتال جهت تشخیص بیماری های سطح برگ برنج،" ماشین آلات کشاورزی، (۱)۶، ۶۹-۷۹، ۱۳۹۵.

[۵۳] Syed-Ab-Rahman, S. F., Hesamian, M. H., and Prasad, M. "Citrus disease detection and classification using end-to-end anchor-based deep learning model." *Applied Intelligence*, 52, 927-938. 2022.

[۵۴] Liu, B., Zhang, Y., He, D., and Li, Y. "Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks," *Symmetry*, 10(1), 11. 2018. <https://doi.org/10.3390/sym10010011>

[۵۵] Cruz, A., Ampatzidis, Y., Pierro, R., Materazzi, A., Panattoni, A., De Bellis, L. and Luvisi, A. "Detection of grapevine yellows symptoms in *Vitis vinifera* L. with artificial intelligence." *Computers and electronics in agriculture*, 157, 63-76. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.028>.