



دانشگاه کاشان
University of Kashan

مجله محاسبات نرم

SOFT COMPUTING JOURNAL

تارنمای مجله: scj.kashanu.ac.ir



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

محمد ابونجمی^{1*}، دانشیار، زهره مصطفائی¹، دانشجوی دکتری

¹ گروه مهندسی فنی کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت 18 مهر ماه 1401

پذیرش 2 بهمن ماه 1402

کلمات کلیدی:

محاسبات نرم

محصولات غذایی و کشاورزی

کیفیت سنجی

یادگیری ماشین

پردازش تصویر

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، به صورت 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 تمرکز کرده است. در این پژوهش، دو نوع تکنیک یادگیری ماشین، یادگیری نظارت شده و بدون نظارت، در کشاورزی استفاده شده‌اند. راه‌حل‌های نرم‌افزاری متنوعی مبتنی بر تکنیک‌های پردازش تصاویر مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، یادگیری عمیق و منطق فازی برای تشخیص خودکار و طبقه‌بندی میوه‌ها در جات مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این تکنیک‌ها به تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارائه راه‌حل‌های بهینه برای بهبود عملکرد فرآورده‌ها 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.

© 1402 نویسندگان. مقاله با دسترسی آزاد تحت مجوز CC-BY

1. مقدمه

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

صنایع غذایی و کشاورزی در توسعه و رشد اقتصادی کشور

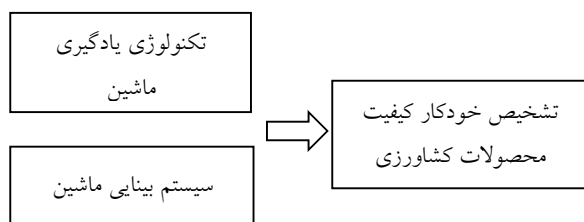
✧ نوع مقاله: مروری

* نویسنده مسئول

پست(های) الکترونیک: abonajmi@ut.ac.ir (ابونجمی)

zohremostafaei@ut.ac.ir (مصطفائی)

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 [8]. منطق فازی یک روش ساده و قابل فهم است که در مقیاس‌های صنعتی و آزمایشگاهی به کار می‌رود. در حل مسائل، مدل‌سازی سیستم‌های کیفیت سنجی در صنایع غذایی، طبقه‌بندی محصولات، و تحلیل داده‌ها، این روش بسیار کاربردی است [8] - [10]. 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 [8]، [9]، [11] - [14]. الگوریتم‌های ژنتیک از نظر دیگر تکنیک‌های جستجو تفاوت دارند. این الگوریتم در میان جمعیتی از نقاط جستجو می‌کند و به جای قواعد قطعی از احتمالات استفاده می‌کنند [15]. این الگوریتم همچنین کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی پیدا کرده است. یادگیری ماشین روشی دقیق و پرکاربرد در ربات‌های پاسخگو مانند ربات‌های سورتنینگ در صنایع غذایی و کشاورزی می‌باشد [14]، [15]. در حال حاضر، تکنیک‌های محاسبات نرم با موفقیت در زمینه‌های مهندسی کشاورزی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند [15]، [17]. 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 (1) 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 تاکید بر پتانسیل‌های این روش‌ها در حل مشکلات عملی صورت می‌گیرد.



شکل (1): رویکرد پژوهش

سریع، اقتصادی و سازگار برای بازرسی محصولات خود هستند [1]. ارزیابی بصری فاکتورهای تاثیرگذار بر محصولات، وظیفه‌ای دشوار و هزینه‌بر است و در صورت انجام ارزیابی نادرست و تاثیرگذاری ذهنی، نتایج تحت تاثیر قرار می‌گیرد [2]. 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 بکار گرفته شدند. مسائل پیچیده‌تری همچون سامانه‌های مرتبط با علوم کشاورزی و موارد مشابه، با استفاده از روش‌های ذکر شده قابل تحلیل نمی‌باشند [3]. 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 [4]، [5]. تکنیک‌های استفاده شده در تجزیه و تحلیل تصویر شامل مراحل 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 [6]. 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 دقیق بودن جهت مهار کردن مساله و پایین آوردن 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 [7]. ترکیب شبکه‌های عصبی با منطق فازی یا الگوریتم‌های ژنتیک و شبکه‌های عصبی، امکان به دست آوردن نتایجی فراگیر و جدید را فراهم می‌کند که هیچکدام به تنهایی قادر به دست یافتن به آن نبوده‌اند [3]. 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

2. کاربرد محاسبات نرم در صنایع غذایی و کشاورزی

محاسبات نرم را می‌توان برای غلبه بر محدودیت‌های الگوی محاسبات سنتی در درجه‌بندی محصولات غذایی-کشاورزی استفاده کرد. اصطلاح محاسبات نرم برای اشاره به مساله‌ای استفاده می‌شود که راه حل آن قابل پیش‌بینی نیست و همچنین دارای جوابی غیرقطعی و مبهم است که در بازه‌ای بین صفر تا 1 قرار می‌گیرد [18]. 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 [19]. 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

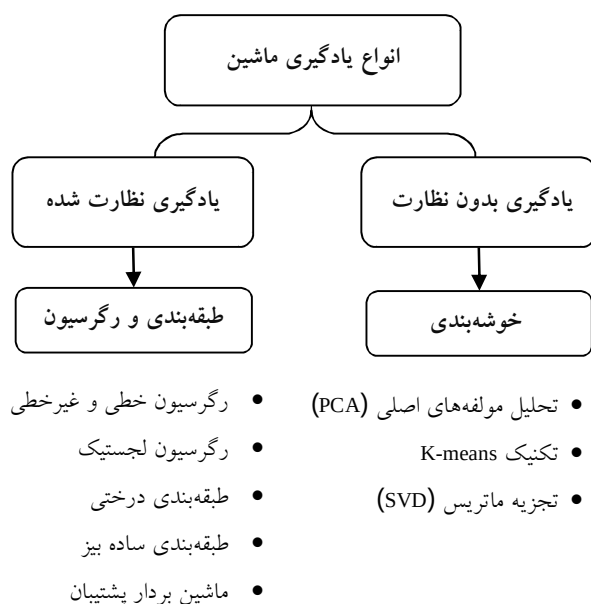
ایجاد می‌شود. این مقاله به کاربرد منطق فازی، شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک و یادگیری عمیق در ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی پرداخت می‌کند.

1.2. یادگیری ماشین

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.

جدول (1): مزایا و معایب برخی روش‌های محاسبات نرم در صنایع غذایی-کشاورزی

روش	مزایا	معایب	منبع
منطق فازی	ساده و قابل درک، کنترل بهتر و موثرتر ماشین‌ها، حل مسائل پیچیده، صرفه‌جویی در هزینه‌ها، کاربرد در مقیاس تجاری و آزمایشگاهی	قابل قبول نبودن نتایج در صورت اشکال در قوانین، انتخاب تابع عضویت و قوانین پایه، آزمایش‌های متعدد و زمان‌بر، کارایی کمتر در بازشناسی الگو، کاربرد کمتر در علم داده	[9]، [10]
شبکه عصبی - الگوریتم ژنتیک	پرکاربردترین روش، یادگیری تطبیقی، خودسازماندهی، عملگرهای بی‌درنگ، تحمل خطا، تعمیم‌دهی، دسته‌بندی، انعطاف‌پذیری 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	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 چندصد، کروموزوم در حافظه و اجرای الگوریتم تا چند هزار نسل	[9]، [10]، [11]، [12]، [13]، [14]، [43]



شکل (2): انواع یادگیری ماشین

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، کمی‌سازی 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 [26]. در ادامه مبحث به بررسی روش منطق فازی، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک و یادگیری عمیق پرداخته می‌شود.

2.2. منطق فازی¹

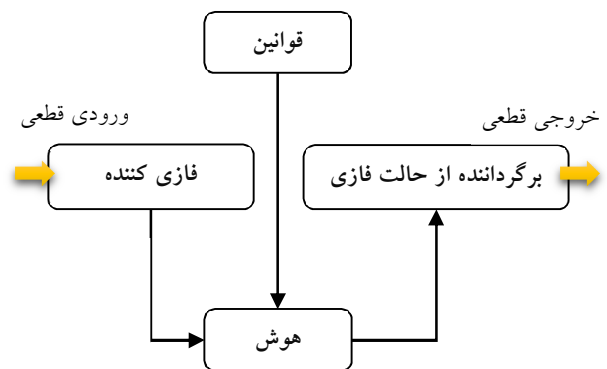
استفاده از این منطق به منظور استفاده از مفهوم درستی جزئی صورت می‌گیرد. در این منطق، میزان درستی می‌تواند بین کاملاً درست و کاملاً غلط متغیر باشد. مانند استفاده از متغیرهای عددی در محاسبات ریاضی، در منطق فازی از متغیرهای زبانی (گفتاری یا غیر عددی) استفاده می‌شود. به عنوان مثال، متغیر

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 ناظر مقدار مطلوب را مشخص کند. این روش‌ها شامل زیرمجموعه‌های مختلفی هستند که در شکل (2) 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 تاثیر (شعاع دایره‌ی شناسایی خوشه) است [20]. تحلیل مولفه اصلی (PCA) روشی است که در جهت فشرده سازی داده‌ها و استخراج ویژگی‌ها استفاده می‌شود. در روش کاهش ابعاد، PCA بیشترین تاثیر در واریانس را حفظ کرده و مولفه‌های مجموعه داده‌ها را حفظ می‌کند [21]. 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 [22]. ماشین بردار پشتیبان (SVM) یکی از روش‌های یادگیری نظارت شده است که برای طبقه‌بندی 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 [23]، [24]. 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 [23].

¹ Fuzzy logic

زبانی «هوا» می‌تواند به تفکیک مختلفی مانند سرد، گرم و خیلی گرم تقسیم شود. نتایج منطق فازی به کاربرد و مساله‌ای که بررسی می‌شود، بستگی دارد و ممکن است متفاوت باشد. با این حال، برخی از نتایج رایج استفاده از منطق فازی عبارتند از: (1) 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 موثرتر در موقعیت‌های پیچیده شود، (2) 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 و (3) 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. به طور کلی، نتایج منطق فازی در پیشرفت و حل مشکلاتی که شامل عدم قطعیت و دقت پایین است، کمک می‌کند [27]، [28]. منطق فازی دارای چهار بخش اصلی است که در شکل (3) نحوه ارتباط این بخش‌ها به خوبی دیده می‌شود [35].

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 وب‌کم و یک رایانه شخصی است، اندازه‌گیری شد. در نهایت، سیب‌ها به 5 درجه مختلف خیلی بد، بد، متوسط، خوب و خیلی خوب تقسیم شدند. برای متغیرهای زبانی ورودی و خروجی سیستم فازی، توابع تعلق مثلثی و دوزنقه‌ای استفاده شد. نتایج درجه بندی حاصل از سیستم فازی توسعه یافته دارای همخوانی 91/25% و 95% به ترتیب برای برخط و آفلاین با نتایج درجه بندی توسط کارشناس نشان داد. این نشان می‌دهد که یک همبستگی خوب بین نتایج استخراج شده از سیستم فازی و درجه‌های پیش‌بینی شده توسط کارشناس وجود دارد [30]. از آنجاییکه درجه‌بندی میوه‌ها و سبزیجات یک عملیات ضروری قبل از بسته‌بندی می‌باشد، در تحقیقی برای طبقه‌بندی گوجه‌فرنگی، از الگوریتم‌های فازی بر اساس ترکیبی از رنگ، اندازه و سفتی استفاده شد. طبقه‌بندی در پنج گروه انجام شد و الگوریتم‌های فازی توانستند گوجه‌فرنگی‌ها را به دقت‌های مختلفی (نظیر 9/90%، 3/92%، 7/88%، 4/87% و 4/93%) در کلاس‌های صحیح طبقه‌بندی کنند [31]. در تحقیقی، برای تعیین مزه پرتقال تامسون از روش‌های 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 شاخص‌های ظاهری، پارامترهای ظاهری از تصویربرداری از نمونه‌ها شامل رنگ قرمز، رنگ سبز، رنگ آبی، قطر بزرگ، قطر کوچک، سطح، مختصات مرکز جرم، محیط، پارامترهای مربوط به بافت سنجی و پیکسل‌های سفید زمینه استخراج شده‌اند. مزه در 5 زیرمجموعه شیرین، ملس، ترش و خیلی ترش بررسی شده است. نتایج نشان داده‌اند که تعیین مزه رقم تامسون با دقت‌های 96/67% و 90% توسط روش‌های فازی-عصبی و عصبی-ژنتیک به ترتیب دسته‌بندی شده است. در یک تحقیق دیگر، استفاده از پردازش تصویر برای پیش‌بینی تغییرات محتوای رطوبتی برگ چای سبز در حین خشک شدن با استفاده از سامانه‌های پیش‌گویی شبکه عصبی



شکل (3): 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

مصنوعی و استنتاج فازی عصبی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده‌اند که استخراج پارامترهای رنگی تصاویر بالای نمونه‌ها، به عنوان ورودی سامانه‌های هوش مصنوعی مورد استفاده قرار گرفته است و بهترین نتایج با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی با دو لایه پنهان (شامل 12 نرون در لایه اول و 15 نرون در لایه دوم) با ضریب تعیین 94% و مربع میانگین مربعات خطا 0/092 [33] به دست آمده است. این پژوهش به بررسی روش مبتنی بر محاسبات نرم برای تخمین جرم هسته بادام با استفاده از ویژگی‌های پوسته آن پرداخت. در این بررسی، عملکرد مدل رگرسیون چند خطی² و چهار مدل یادگیری ماشین مختلف را مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه جرم هسته بادام بدون شکستن پوسته، از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه³، شبکه عصبی با عملکرد شعاعی⁴، سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار⁵ و ماشین بردار پشتیبانی استفاده شد. همچنین، برای پیش‌بینی طبقه‌بندی بادام در کلاس‌های مختلف جرمی (بسیار کوچک و بزرگ) از مدل پیش‌بینی 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 [9].

3.2. شبکه عصبی مصنوعی⁶

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: (1) دقت بهبود یافته: شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور معمول می‌توانند در مقایسه با الگوریتم‌های سنتی در تشخیص تصاویر، صدا و غیره دقت بهتری داشته باشند. (2) پردازش سریع‌تر: شبکه‌های عصبی مصنوعی قادرند محاسبات را موازی کنند و به آنها اجازه می‌دهند تا به صورت همزمان مقادیر زیادی از داده‌ها را پردازش کنند. این می‌تواند باعث افزایش سرعت و کارایی پردازش شود. (3) 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. (4) 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. (5) اتوماسیون و استقلال: شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند آموزش داده شوند تا وظایف را به صورت 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. (6) پشتیبانی تصمیم‌گیری: شبکه‌های عصبی می‌توانند

² MLR

³ MLP-NN

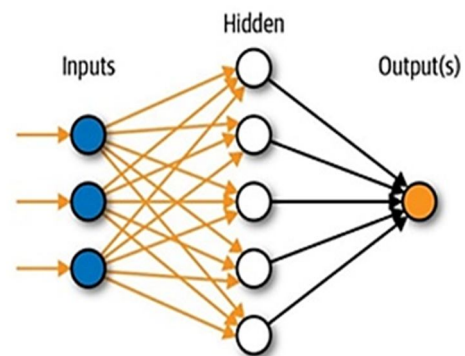
⁴ RBF-NN

⁵ ANFIS

⁶ Artificial Neural Network

ساختار 4-3-10 قادر به درجه بندی دانه‌های عناب ریز، متوسط، درشت و خیلی درشت به ترتیب با دقت 70، 94، 90 و 92 درصد می‌باشد [38]. همچنین، در یک مطالعه دیگر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و رگرسیون خطی چندگانه (MLR)، استحکام کیوی با استفاده از غلظت مواد مغذی معدنی میوه پیش‌بینی شد و توان پیش‌بینی‌کننده رگرسیون خطی چندگانه (MLR) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای برآورد استحکام میوه در شش ماه ارزیابی شد [14]. 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 $3/78$ 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 [12]. در تحقیقی دیگر، یک روش ساده، سریع و اقتصادی بر اساس ترکیب فعالیت آنتی اکسیدانی و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) جهت توصیف و طبقه بندی چای، مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور، دو برنامه کاربردی مبتنی بر ANN تهیه شده است: یکی برای پیش‌بینی فعالیت آنتی اکسیدانی و دیگری برای طبقه بندی چای در کلاس‌های مختلف مانند چای سبز، چای سیاه و اکسپرس چای سیاه. با استفاده از ANN احتمالی، موفقیت‌آمیز طبقه بندی چای در کلاس‌های مختلف انجام شد [11].

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 [34]. مطابق شکل (4) این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده بهم پیوسته به نام نورون‌ها⁷ تشکیل شده که برای حل یک مساله با هم هماهنگ عمل می‌کنند [33]، [34].



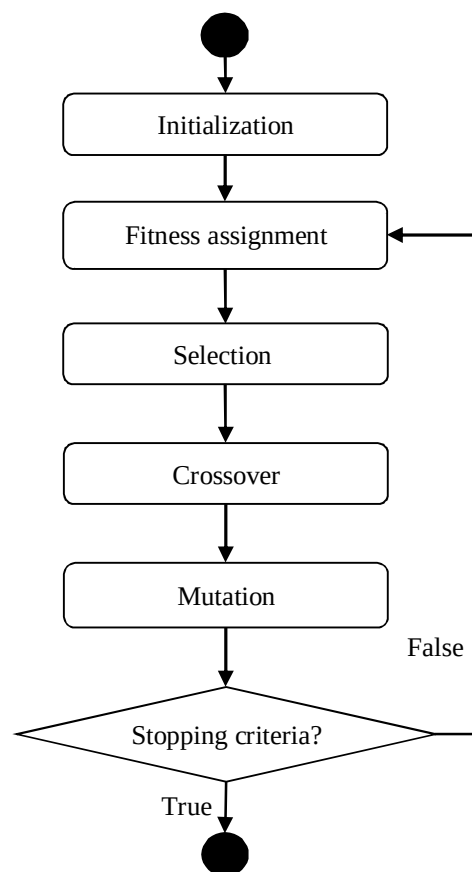
شکل (4): ساختار شبکه عصبی مصنوعی

در طبقه بندی میوه‌ها با شبکه عصبی یا تعیین کیفیت میوه و مواد غذایی تعداد نورون‌ها با استفاده از روش سعی و خطا به دست می‌آید [35]. 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 $RMSE = 0008/0$ و $R^2 = 99/0$ است و می‌توان با استخراج سه پارامتر ورودی عملکرد استخراج اسانس را پیش‌بینی کرد [34]. همچنین، در یک مطالعه دیگر با استفاده از شبکه عصبی، عمر انبارمانی میوه سیب بررسی شد و دقت طبقه بندی دو گروه سیب تحت شرایط مختلف نگهداری به طور متوسط به ترتیب $10/84\%$ و $10/14\%$ گزارش شد [37]. همچنین، در پژوهشی دیگر برای درجه بندی میوه عناب از تبدیل گسسته موجک سیگنال‌های صدای برخورد دانه‌های عناب با یک صفحه فولادی استفاده شد و شبکه عصبی MLP با

⁷ Neurons

4.2. الگوریتم ژنتیک⁸

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 (5) 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 (5): فلوچارت الگوریتم ژنتیک

مقالات ارائه شده، بر روش های مختلف انتخاب در الگوریتم های

ژنتیک تاکید 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 ژنتیک می توان به موارد زیر اشاره کرد: (1) یافتن راه حل های بهینه یا نزدیک به بهینه: الگوریتم های ژنتیک اغلب برای جستجوی راه حل های بهینه یا نزدیک به بهینه در مسائل پیچیده بهینه سازی استفاده می شوند. با تکامل مکرر جمعیتی از راه حل های پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک می تواند به سمت بهترین راه حل ممکن همگرا شود. (2) کاوش در فضای راه حل: الگوریتم های ژنتیک در کاوش یک فضای راه حل بزرگ خوب عمل می کنند و می توانند راه حل هایی 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. (3) استحکام نسبت به بهینه محلی: الگوریتم ژنتیک در مقایسه با روش های بهینه سازی کم تر در بهینه محلی گیر می کنند. با حفظ تنوع در جمعیت و استفاده از عملگرهایی مانند تقاطع و جهش، می تواند از بهینه محلی فرار کند و به جستجوی بهتر ادامه دهد. (4) مقیاس پذیری: الگوریتم ژنتیک را می توان برای حل مسائل با اندازه ها و پیچیدگی های مختلف استفاده کرد. آن ها می توانند مشکلات مقیاس کوچک و بزرگ را حل کنند و برای طیف گسترده ای از برنامه ها مناسب هستند. (5) تحلیل مبادله: از الگوریتم ژنتیک می توان برای یافتن راه حل هایی استفاده کرد که چندین هدف را به طور همزمان بهینه می کند. این امکان تجزیه و تحلیل مبادله را فراهم می کند، جایی که راه حل های مختلف را می توان بر اساس معیارهای مختلف مقایسه کرد [39] - [41].

در مطالعه ای مدل سازی تشخیص مزه بر اساس روش عصبی - ژنتیک انجام گردید. (مدل سازی تشخیص مزه بر اساس روش عصبی - ژنتیک، به عنوان یک روش برای حل مسائل بهینه سازی استفاده می شود و الگوریتم ژنتیک از طبیعت الهام گرفته شده است. در این روش، جمعیتی از راه حل های مختلف مساله تغییر می کنند، که این تغییرات به عنوان تکامل شناخته می شوند. در حقیقت، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، وزن ها و بایاس های

⁸ Genetic algorithm

رقم و تعداد ویژگی‌های مورد استفاده، می‌توانند با دقت طبقه‌بندی بین 90/2 تا 95/1%، میوه معیوب را از میوه سالم تشخیص دهند [49]. 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 درجه‌بندی استفاده می‌شود. نتایج نشان داده‌اند که طبقه‌بندی کننده SVM برای تشخیص نوع نتایج کارآمدتری را نشان می‌دهد [50].

5.2. 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 لایه‌های 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.

شبکه عصبی پس انتشار ارتجاعی به منظور حل مساله بهینه‌سازی تعیین می‌شوند [37]. در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از الگوریتم ژنتیک برای تشخیص نقص پوست میوه پرتقال مورد بررسی قرار گرفته است [42]. 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 [43]. 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 [44]. 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 مساله استفاده شده است [45]. در بررسی اندازه‌گیری غیر مخرب کیفیت داخلی میوه سیب توسط طیف سنجی بدون تماس با بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک انجام شد [46]. 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 100 درصد برسد [47]. 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 [47].

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 [48]. همچنین، بررسی کیفیت داخلی میوه گلابی با استفاده از اشعه ایکس و یادگیری ماشین انجام شده است. طبقه‌بندی کننده‌ها با استفاده از

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 94/37 درصد و در دقت متوسط 95/8 درصد دارد [55].

6.2. 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 می‌کنند و آنها را حل می‌کنند. 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 (2) به برخی از کاربردهای ماشین لرنینگ اشاره می‌کند.

پیمان و همکاران در سال 1395 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 97/4 درصد نقاط آلوده را تشخیص دهد [51]. همچنین، در یک تحقیق دیگر، یک روش هوشمند برای شناسایی سه نوع آفت رایج مرکبات ارائه شد. در این روش، از یک طبقه‌بندی 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 99/4 درصد رسید [52]. لیو و همکاران 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 97/62 درصد پیش‌بینی کند [53]. کروز و همکاران نیز به تشخیص بیماری زردی انگور با استفاده از هوش مصنوعی پرداختند. در این پژوهش، یک سیستم جدید با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پیچشی برای تشخیص این بیماری در انگور با استفاده از تصاویر رنگی از برش‌های برگ ارائه شد. در این پژوهش، 6 معماری شبکه عصبی GoogleNet، AlexNet، InceptionV3، 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 99 درصد شناسایی کرد [54].

جدول (2): کاربردهایی از روش‌های یادگیری ماشین و عمیق

روش	هدف	نتایج	تعداد داده‌های منبع مورد استفاده	
	استفاده از منطق فازی به منظور درجه بندی کشمش بر اساس ویژگی‌های کیفی (رنگ، اندازه و نقص)	دامنه نمرات برای طبقه با بهترین کیفیت 80-93، برای طبقه متوسط 60-80 و برای طبقه پایین‌ترین کیفیت، 33-60.	100	[56]
منطق فازی	عملکرد مدل رگرسیون چند خطی (MLR)، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP-NN)، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی (RBF-NN)، سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) - به منظور محاسبه جرم هسته سه رقم بادام بدون شکستن پوسته	بهترین نتایج: RBF-NN (RMSE: 0.05-0.06) و دقت کلی طبقه‌بندی کننده RBF-NN 96.22%	150	[9]
	درجه‌بندی سیب‌های گلدن دلشیز بر اساس رنگ و اندازه بر اساس منطق فازی	میزان دقت طبقه‌بندی سیب‌ها 91/2%	250	[33]
	تشخیص سه بیماری سفیدک پودری، زنگ و بیماری ویروس موزاییک برگ سیب با شبکه عصبی مصنوعی	تشخیص بیماری با دقت 90 درصد	90	[57]
شبکه عصبی - الگوریتم ژنتیک	از روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی جهت مدل‌سازی سیستیک خشک کردن برش‌های توت فرنگی استفاده کردند.	پیش‌بینی میزان رطوبت برش‌های توت فرنگی حین فرایند خشک کردن با دقت بالای 99/0% با استفاده از شبکه‌ای با 9 نرون در لایه مخفی و تابع انتقال تانژانت هایپربولیک	18	[58]
	مدلسازی اسمزی خشک کردن زردآلو با کمک روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی	پیش‌بینی درصد کاهش وزن (0/98%)، درصد کاهش آب (0/97%) و مقدار جذب مواد جامد (0/96%) در طی فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو توسط مدلسازی الگوریتم روش بهینه‌سازی ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی: شبکه‌ای با تعداد 14 نرون در یک لایه پنهان و استفاده از تابع فعال‌سازی هیپربولیک تانژانت	100	[59]
یادگیری عمیق	بررسی شدت بیماری گوجه فرنگی بر اساس سالم، کمی خراب، خراب و کاملاً خراب توسط معماری‌های VGG16، VGG19، Inception V3 و ResNet از شبکه یادگیری عمیق	شبکه VGG16 با بهترین عملکرد (دقت 90/4 درصد)	2086	[60]

3. نتیجه‌گیری

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

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

بهترین حالت را دارا است. یادگیری ماشین قادر است با استفاده از محاسبات آماری، با دقت بالا، به تشخیص کیفیت مواد غذایی پردازد. با استفاده از یادگیری ماشین، تشخیص کیفیت مواد غذایی به صورت خودکار و سریع امکان پذیر می شود و نیازی به دخالت فرد برای انجام بررسی دستی نیست. روش یادگیری ماشین به طور یکنواخت و بی طرف کیفیت مواد غذایی را تشخیص می دهد و تحت تاثیر عوامل متغیر مانند خستگی قرار نمی گیرد. با استفاده از الگوریتم های پیچیده، یادگیری عمیق می تواند با دقت بسیار بالا، کیفیت مواد غذایی را تشخیص داده و با استفاده از پردازش موازی و عملکردهای بهینه سازی 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 می دهد و سبب کاهش هزینه ها شود. به طور کلی، استفاده از محاسبات نرم در صنایع غذایی می تواند باعث بهبود کارایی، کیفیت و کاهش هزینه های تولید شود. همچنین این تکنیک ها می توانند به طور موثر در بهبود فرآیندهای تصمیم گیری و برنامه ریزی در این صنعت کمک کنند.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می کنند که هیچ تعارض منافعی ندارند.

روش ها بر اساس کاربردهای خاص خود برای کاربران قابل استفاده هستند و می توانند روی توسعه محصولات کارآمد، مطمئن و رضایت بخش تر برای مصرف کننده و کاهش هزینه های تولید تاثیر مثبتی داشته باشند. این الگوریتم ها به طور کلی برای عملکرد در شرایط عدم اطمینان طراحی شده اند. منطق فازی با در نظر گرفتن داده های 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، می توان قوانین و مقررات متنوعی را جهت تعیین کیفیت مواد غذایی تعریف کرد. این امر به افراد امکان تصمیم گیری با انعطاف بیشتر را می دهد. استفاده از منطق فازی می تواند با داشتن اطلاعات ناقص و کاهش اطلاعات موجود، به خوبی جهت تشخیص کیفیت مواد غذایی انجام شود. بنابراین، با تغییرات غیرمنتظره در مواد غذایی، می توان به خوبی برخورد کرد. شبکه های عصبی قادر به شناسایی الگوهای پیچیده و دشواری در داده ها به طور خودکار هستند و با دقت با داده های جدید کار می کنند. آنها قابلیت تعمیم پذیری دارند، به این معنی که می توانند با داده های جدیدی که پیش از این در فرآیند آموزش شرکت نکرده اند، کار کنند و پیش بینی های صحیحی ارائه دهند. الگوریتم ژنتیک، به راحتی قابل پیاده سازی و استفاده است، قادر به کار با سیستم ها و مسائلی است که به دلیل پیچیدگی بالا برای الگوریتم ها و روش های دیگر دشوار است. همچنین، این الگوریتم قابلیت پیدایش جواب های بهینه و

مراجع

- [1] K.M. Alrajeh and T.A. Alzohairy, "Date fruits classification using MLP and RBF neural networks," Int. J. Comput. Appl., vol. 41, no. 10, 2012, doi: 10.1.1.259.4351.
- [2] H. Faridi and M. Aboonajmi, "Application of machine vision in agricultural products," in Proc. 4th Iran. Int. NDT Conf., 2017, pp. 26-27.
- [3] Y. Todorov, I. Nacheva, P. Metodieva, M. Doneva, and T. Tsvetkov, "Soft computing applications in food technology," Bulgarian J. Agricultural Sci., vol. 19, no. 3, pp. 503-507, 2013.
- [4] R. Mahendran, G.C. Jayashree, and K. Alagusundaram, "Application of computer vision technique on sorting and grading of fruits and vegetables," J. Food Process. Technol., vol. 10, 2012, doi: 10.4172/2157-7110.S1-001.
- [5] M. Ghorbani, M. Aboonajmi, and K. Asefpour

- Vakilian, "The machine vision technology in precision agriculture: A comprehensive review on principles and applications," *Soft Comput. J.*, vol. 9, no. 1, pp. 92-113, 2020, doi: 10.22052/scj.2021.111453 [In Persian]
- [6] A. Bhargava and A. Bansal, "Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review," *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 33, no. 3, pp. 243-257, 2018, doi: 10.1016/j.jksuci.2018.06.002.
- [7] J. Gill, P.S. Sandhu, and T. Singh, "A review of automatic fruit classification using soft computing techniques," in *Proc. Int. Conf. Comput. Syst. Electron. Eng.*, 2014, pp. 91-98.
- [8] B. Zhang et al., "Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review," *Food Res. Int.*, vol. 62, pp. 326-343, 2014, doi: 10.1016/j.foodres.2014.03.012.
- [9] S.H. Ashtiani, A. Rohani, and M.H. Aghkhani, "Soft computing-based method for estimation of almond kernel mass from its shell features," *Scientia Horticulturae*, vol. 262, p. 109071, 2020, doi: 10.1016/j.scienta.2019.109071.
- [10] C. Coppola et al., "Investigation of the impact from IL-2, IL-7, and IL-15 on the growth and signaling of activated CD4+ T cells," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 21, no. 21, p. 7814, 2020, doi: 10.3390/ijms21217814.
- [11] C. Cimpoiu, V.M. Cristea, A. Sandr Hosu, and L. Seserman, "Antioxidant activity prediction and classification of some teas using artificial neural networks," *Food Chem.*, vol. 127, pp. 1323-1328, 2011, doi: 10.1016/j.foodchem.2011.01.091.
- [12] P. Rai, G.C. Majumdar, S. DasGupta, and S. De, "Prediction of the viscosity of clarified fruit juice using artificial neural network: a combined effect of concentration and temperature," *J. Food Eng.*, vol. 68, pp. 527-533, 2005, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.07.003.
- [13] S.Y. Tang, J.S. Lee, S.P. Loh, and H.J. Tham, "Application of artificial neural network to predict colour change, shrinkage and texture of osmotically dehydrated pumpkin," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 206, p. 012036, 2017.
- [14] A.M. Torkashvand, A. Ahmadi, and N.L. Nikraves, "Prediction of kiwifruit firmness using fruit mineral nutrient concentration by artificial neural network (ANN) and multiple linear regressions (MLR)," *J. Integr. Agriculture*, vol. 16, no. 7, pp. 1634-1644, 2017, doi: 10.1016/S2095-3119(16)61546-0.
- [15] M. Mohammadpour, B. Minaei, H. Parvin, and K. Rahimizadeh, "Improved Genetic Algorithm Based on Critical Self-Organization and Gaussian Memory for Solving Dynamic Optimization Problems," *Soft Comput. J.*, vol. 9, no. 1, pp. 56-91, 2020, doi: 10.22052/scj.2021.111452 [In Persian].
- [16] S.K. Vidyarthi, R. Tiwari, and S.K. Singh, "Size mass prediction of almond kernels using machine learning image processing," *bioRxiv*, 2020, doi: 10.1101/736348.
- [17] S. Joseph and I. Thanakumar, "Survey of data mining algorithms for intelligent computing," *J. Trends Comput. Sci. Smart Technol. (TCSST)*, vol. 1, no. 1, pp. 14-24, 2019, doi: 10.36548/jtcsst.2019.1.002.
- [18] D.J.S. Raj and J.V. Ananthi, "Recurrent neural networks and nonlinear prediction in support vector machines," *J. Soft Comput. Paradigm (JSCP)*, vol. 1, no. 1, pp. 33-40, 2019, doi: 10.36548/jscp.2019.1.004.
- [19] R.R. Yager, L.A. Zadeh, B. Kosko, and S. Grossberg, *Fuzzy Sets, Neural Networks, and Soft Computing*. New York, NY, USA: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- [20] A. Saxena et al., "A two-phase approach for semi-supervised feature selection," *Algorithms*, vol. 13, no. 9, p. 215, 2020, doi: 10.3390/a13090215.
- [21] S.L. Chiu, "Fuzzy model identification based on cluster estimation," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 2, pp. 267-278, 1994, doi: 10.3233/IFS-1994-2306.
- [22] H. Yu, J. Wang, and Y. Xu, "Identification of

- adulterated milk using electronic nose,” *Sens. Mater.*, vol. 19, pp. 275-285, 2007.
- [23] V.H. Pham and B.R. Lee, “An image segmentation approach for fruit defect detection using k-means clustering and graph-based algorithm,” *Vietnam J. Comput. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 25-33, 2015.
- [24] M.M. AlyanNezhadi, M. Hosseini, H. Qazanfari, and A. Kamandi, “Content-based image retrieval using support vector machine and texture difference histogram features,” *Soft Comput. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 10-21, 2022, doi: 10.22052/scj.2022.246175.1053 [In Persian].
- [25] N. Karimi, R.R. Kondrood, and T. Alizadeh, “An intelligent system for quality measurement of Golden Bleached raisins using two comparative machine learning algorithms,” *Measurement*, vol. 107, pp. 68-76, 2017, doi: 10.1016/j.measurement.2017.05.009.
- [26] L. Ayalew and H. Yamagishi, “The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan,” *Geomorphology*, vol. 65, no. 1, pp. 15-31, 2005, doi: 10.1016/j.geomorph.2004.06.010.
- [27] K.G. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, and D. Bochtis, “Machine learning in agriculture: A review,” *Sensors*, vol. 18, no. 8, p. 2674, 2018, doi: 10.3390/s18082674.
- [28] L.A. Zadeh, “Fuzzy logic,” *Computer*, vol. 21, no. 4, pp. 83-93, 1988.
- [29] K. Mittal, A. Jain, K.S. Vaisla, O. Castillo, and J. Kacprzyk, “A comprehensive review on type 2 fuzzy logic applications: Past, present and future,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 95, p. 103916, 2020, doi: 10.1016/j.engappai.2020.103916.
- [30] A. Kumar and A. Sharma, “Systematic literature review of fuzzy logic based text summarization,” *Iran. J. Fuzzy Syst.*, vol. 16, no. 5, pp. 45-59, 2019, doi: 10.22111/ijfs.2019.4906.
- [31] A. Adelkhani, S. Minai, B. Beheshti, and H. Javadi Kia, “Taste determination of Thompson orange using image processing based on ANFIS and ANN-GA methods,” *J. Food Sci. Technol. (Iran)*, vol. 13, no. 56, pp. 45-55, 2016 [In Persian].
- [32] S. M. Nassiri, A. Tahavoor, and A. Jafari, “Fuzzy logic classification of mature tomatoes based on physical properties fusion,” *Inf. Process. Agric.*, 2021, doi: 10.1016/j.inpa.2021.09.001.
- [33] A.N. Lorestani, M. Omid, S.A. Tabatabaefar, A.M. Borghaee, and S. Bagheri Shoureki, “Design and evaluation of an intelligent system for grading Golden Delicious apples with fuzzy logic,” *Iran. J. Agric. Sci.*, vol. 38, no. 1, pp. 1-10, 2007 [In Persian].
- [34] M. Shahabi Ghavidelou, S. Rafiee, S.S. Mohtasebi, and S. Hosseinpour, “Application of artificial intelligence and adaptive neuro-fuzzy inference system in determining the moisture content of green tea leaves based on color parameters,” *Iran. J. Biosyst. Eng.*, vol. 44, no. 2, pp. 125-133, 2013, doi: 10.22059/ijbse.2014.50120 [In Persian].
- [35] V.G. Narendra, “An intelligent computer vision system for vegetables and fruits quality inspection using soft computing techniques,” *Agric. Eng. Int.: CIGR J.*, vol. 21, no. 3, pp. 171-178, 2019.
- [36] D.F. Specht, “A general regression neural network,” *IEEE Trans. Neural Netw.*, vol. 2, no. 6, pp. 568-576, 1991.
- [37] A.A.M. Al-Saffar, H. Tao, and M.A. Talab, “Review of deep convolution neural network in image classification,” in *Proc. Int. Conf. Radar Antenna Microwave Electron. Telecommun. (ICRAMET)*, 2017, pp. 26-31, doi: 10.1109/ICRAMET.2017.8253139.
- [38] Z. Fathizadeh, M. Aboonajmi, and S.R. Hassan-Beygi, “Classification of apples based on the shelf life using ANN and data fusion,” *Food Anal. Methods*, pp. 1-13, 2020.
- [39] S.J. Sajjadi, “Application of discrete wavelet transform of impact sound and MLP artificial neural network in grading jujube fruit,” in *Proc. 8th Nat. Congr. Agric. Mach. Eng. Mechaniz.*, Mashhad, Iran, 2013 [In Persian].

- [40] C. Chudasama, S.M. Shah, and M. Panchal, "Comparison of parents selection methods of genetic algorithm for TSP," in *Proc. Int. Conf. Comput. Commun. Netw.*, 2011, pp. 85-87.
- [41] D. Whitley, "A genetic algorithm tutorial," *Stat. Comput.*, vol. 4, no. 2, pp. 65-85, 1994.
- [42] O.A. Jadan, L. Rajamani, and C.R. Rao, "Improved selection operator for GA," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 4, pp. 269-277, 2008.
- [43] R. Thendral and A. Suhasini, "Automated skin defect identification system for orange fruit grading based on genetic algorithm," *Curr. Sci.*, vol. 112, no. 8, pp. 1704-1711, 2017.
- [44] M. Aboonajmi, A. Saberi, T. Abbasian Najafabadi, and N. Kondo, "Quality assessment of poultry egg based on visible-near infrared spectroscopy and radial basis function networks," *Int. J. Food Prop.*, vol. 19, no. 5, pp. 1163-1172, 2016, doi: 10.1080/10942912.2015.1075215.
- [45] W. Jia, L. Snetkov, and S. Aok, "An effective model based on Haar wavelet entropy and genetic algorithm for fruit identification," in *AIP Conf. Proc.*, 2018, p. 040013, doi: 10.1063/1.5033677.
- [46] D.D. Silalahi, C.E. Reano, F.P. Lansigan, R.G. Panopio, and N.C. Bantayan, "Using genetic algorithm neural network on near infrared spectral data for ripeness grading of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) fresh fruit," *Inf. Process. Agric.*, vol. 3, no. 4, pp. 252-261, 2016, doi: 10.1016/j.inpa.2016.10.001.
- [47] J.F.I. Nturambirwe, H.H. Nieuwoudt, W.J. Perold, and U.L. Opara, "Non-destructive measurement of internal quality of apple fruit by a contactless NIR spectrometer with genetic algorithm model optimization," *Sci. Afr.*, vol. 3, p. e00051, 2019, doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00051.
- [48] M.S. Razavi, A. Golmohammadi, R. Sedghi, and A. Asghari, "Prediction of bruise volume propagation of pear during the storage using soft computing methods," *Food Sci. Nutr.*, vol. 8, no. 2, pp. 884-893, 2020, doi: 10.1002/fsn3.1365.
- [49] S. Taghadomi-Saberi, S. Mas Garcia, A. Allah Masoumi, M. Sadeghi, and S. Marco, "Classification of bitter orange essential oils according to fruit ripening stage by untargeted chemical profiling and machine learning," *Sensors*, vol. 18, no. 6, p. 1922, 2018, doi: 10.3390/s18061922.
- [50] T. Van Looverbosch et al., "Nondestructive internal quality inspection of pear fruit by X-ray CT using machine learning," *Food Control*, vol. 113, p. 107170, 2020, doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107170.
- [51] R.W.N. Syazwani, H.M. Asraf, M.A.M.S. Amin, and K.A.N. Dalila, "Automated image identification, detection and fruit counting of top-view pineapple crown using machine learning," *Alexandria Eng. J.*, vol. 61, no. 2, pp. 1265-1276, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2021.06.053.
- [52] S.H. Payman, A. Bakhshipour Ziaratgahi, and A.A. Jafari, "Exploring the possibility of using digital image processing technique to detect diseases of rice leaf," *J. Agric. Mach.*, vol. 6, no. 1, pp. 69-79, 2016, doi: 10.22067/jam.v6i1.32031 [In Persian].
- [53] S.F. Syed-Ab-Rahman, M.H. Hesamian, and M. Prasad, "Citrus disease detection and classification using end-to-end anchor-based deep learning model," *Appl. Intell.*, vol. 52, pp. 927-938, 2022.
- [54] B. Liu, Y. Zhang, D. He, and Y. Li, "Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks," *Symmetry*, vol. 10, no. 1, p. 11, 2018, doi: 10.3390/sym10010011.
- [55] A. Cruz et al., "Detection of grapevine yellows symptoms in *Vitis vinifera* L. with artificial intelligence," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 157, pp. 63-76, 2019, doi: 10.1016/j.compag.2018.12.028.
- [56] V. Borimnejad and A. Eftekhari, "Application of Fuzzy Logic in Raisins Rating. Agricultural Economics Research," *Agric. Econ. Res.*, vol. 3, no. 3, pp. 173-186, 2011, doi: 10.1001.1.20086407.1390.3.11.10.9 [In Persian].

- [57] Z. Chuanlei, Z. Shanwen, Y. Jucheng, S. Yancui, and C. Jia, "Apple leaf disease identification using genetic algorithm and correlation based feature selection method," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 10, no. 2, pp. 74-83, 2017, doi: 10.3965/ijabe.20171002.2166.
- [58] F. Salehi, A. Ardabili, A. Nemati, and R. Latifi, "Modeling of strawberry drying process using infrared dryer by genetic algorithm-artificial neural network method," *Iran. J. Food Sci. Technol.*, vol. 14, no. 69, pp. 105-114, 2017 [In Persian].
- [59] F. Salehi, Z. Abbasi Shakhrouh, and M. Godarzi, "Modeling osmotic drying of apricot using genetic algorithm-artificial neural network," *J. Innov. Food Sci. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 65-76, 2013 [In Persian].
- [60] G. Wang, Y. Sun, and J. Wang, "Automatic image-based plant disease severity estimation using deep learning," *Comput. Intell. Neurosci.*, p. 2917536, 2017, doi: 10.1155/2017/2917536.