



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی ۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵ هتل المپیک - تهران



مروری بر استفاده از هوش مصنوعی در انرژی های تجدیدپذیر برای بهینه سازی فرآیندهای پردازش و نگهداری غذا، چالش ها و چشم اندازهای آینده

آوا اقدامی^۱، ستایش حاجی پروانه^۲، بابک کریمی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی گروه صنایع غذایی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

Email: iranscience20@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی گروه صنایع غذایی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

۳- استاد یار گروه صنایع غذایی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

چکیده

هم صنعت و هم دانشگاه به ترکیب انرژی های تجدیدپذیر با هوش مصنوعی در تجهیزات مؤثر پردازش و نگهداری غذا علاقه مند هستند. با توجه به حرکت جهانی به سوی پایداری، علاقه به این فناوری در میان کشورهای ثروتمند و سایر کشورها در حال افزایش است. با توجه به استفاده گسترده از هوش مصنوعی، میکروگریدها و انرژی های تجدیدپذیر در زمینه های مختلف، ضروری است مروری ایجاد شود که تکنیک های بهینه سازی به کار رفته در مطالعات پیشین و مسیرهای ممکن برای تحقیقات آینده را بررسی کند. این مرور به طور سیستماتیک ادغام فناوری های هوش مصنوعی و انرژی تجدیدپذیر در پردازش و نگهداری غذا را بررسی می کند و بر منابع انرژی خورشیدی، بادی و زیست توده تمرکز دارد. کاربردهای هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین و شبکه های عصبی مدیریت انرژی، بهینه سازی فرآیند و کنترل کیفیت را در عملیات های پر مصرف انرژی مانند خشک کردن، یخچال داری و بسته بندی بهبود می بخشد. ادغام هوش مصنوعی مزایایی مانند بهره وری انرژی، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و بهبود کیفیت غذا ارائه می دهد، اما چالش هایی مانند هزینه های اولیه بالا، محدودیت های زیرساختی و نابرابری های اجتماعی-اقتصادی همچنان باقی هستند. مطالعات موردی نشان می دهند که هوش مصنوعی وظایف دشوار را خودکار کرده و فرآیندهای انرژی تجدیدپذیر را بهینه می کند. چارچوب های استاندارد، ارزیابی های اقتصادی و ارزیابی های چرخه عمر برای پیاده سازی پایدار مورد نیاز است. به عنوان بخشی از رشد آینده فناوری هوش مصنوعی، توصیه هایی برای مطالعات اضافی تأکید و پیشنهاد شده است. بنابراین، پردازش کنندگان غذا و قانون گذاران می توانند از بهره گیری از پتانسیل هوش مصنوعی در انرژی های تجدیدپذیر برای توسعه پایدار سود زیادی ببرند.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، انرژی های تجدیدپذیر، پردازش غذا، نگهداری غذا



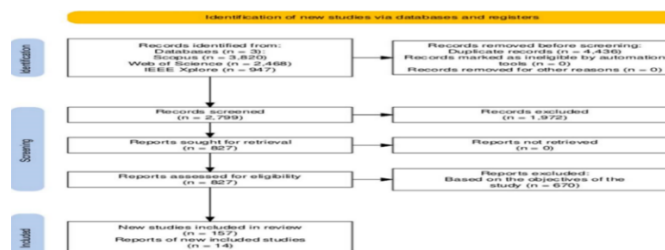
مقدمه

سیستم غذایی جهانی با دوره‌های دشواری مواجه است که ناشی از تأثیرات شدیدتر تغییرات اقلیمی، جمعیت رو به رشد ما که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۹.۷ میلیارد برسد و نیاز فوری به روش‌های پایدار در همه بخش‌ها است. بخش کشاورزی در تأمین تقاضای غذایی با مشکل مواجه است در حالی که باید از منابع طبیعی به‌صورت پایدارتر استفاده کند، زیرا جمعیت شهری در حال افزایش است و عدم تعادل بین عرضه و تقاضای غذا و تغییرات الگوهای اقلیمی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، شیوه‌های سنتی کشاورزی و پردازش غذا اغلب باعث تخریب محیط زیست می‌شوند به دلیل انتشار قابل توجه گازهای گلخانه‌ای از متان حیوانات، اکسید نیتروژن از کودها و مصرف بالای انرژی در فعالیتهای کشاورزی و فرآوری این فشارهای به هم پیوسته نیاز فوری به راه‌حل‌های جدید برای تضمین غذا برای همه، کاهش آسیب محیطی و تشویق به انتقال به انرژی پاک را نشان می‌دهند. منابع انرژی تجدیدپذیر به طور فزاینده‌ای برای کاهش ردپای کربنی در عملیات‌های پردازش غذایی پرمصرف انرژی مانند خشک کردن، یخچال‌داری و بسته‌بندی محبوب شده‌اند. پردازش و نگهداری غذا شاهد افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی، بادی و زیست‌توده بوده است. با این حال، مشکلات مرتبط با ناپایداری و کارایی دو مانع هستند که این منابع انرژی باید بر آن‌ها غلبه کنند. بنابراین، این سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر نیازمند کنترل دقیق هستند. هوش مصنوعی (AI) به عنوان ابزاری محوری برای مدیریت و بهبود سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر در حالی که کنترل کیفیت حفظ می‌شود، ظهور کرده است. اپراتورهای کارخانه‌های پردازش غذا می‌توانند با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین (ML)، شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، انرژی در دسترس خود را پیش‌بینی کنند، تنظیمات تجهیزات را مدیریت کنند و عرضه و تقاضای انرژی را به سرعت و آسانی کنترل کنند. محققان مشاهده کردند که کاربردهای هوش مصنوعی در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر تصمیم‌گیری در زمان واقعی، نگهداری پیش‌بینی‌کننده و بهینه‌سازی انرژی را تسهیل می‌کنند. الگوریتم‌های پیشرفته هوش مصنوعی فرآیندهای خشک کردن، یخچال‌داری و بسته‌بندی غذا را با کاهش ضایعات و ترویج پایداری بهبود می‌بخشند. علاوه بر این گزارش کردند که هوش مصنوعی به عنوان راه‌حلی قابل اعتماد برای بهینه‌سازی مصرف انرژی، افزایش کیفیت غذا و ارتقای قابلیت اطمینان تجهیزات در صنعت غذا ظاهر شده است. بنابراین، با پیشرفت سریع تجهیزات متصل به اینترنت و نرم‌افزارهایی که دنیای فیزیکی را فعال می‌کنند، سیستم‌های سایبر-فیزیکی به‌طور فزاینده‌ای در شیوه‌های کشاورزی به کار گرفته می‌شوند تا از پیامدهای ناخواسته جلوگیری کنند، وظایف را خودکار کنند، استفاده از منابع را بهینه کنند و خطای انسانی را حذف نمایند. پایداری در صدر اولویت‌های بخش استفاده از انرژی در تولید غذا قرار دارد، به‌ویژه به دلیل نیاز بالای انرژی برای خشک کردن، انجماد، هیدرو-خنک‌سازی، ذخیره‌سازی سرد، سیستم‌های HVAC (گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع) و لجستیک زنجیره تأمین. تاکنون، چندین محقق از انرژی تجدیدپذیر یکپارچه و هوش مصنوعی با تمرکز بر پردازش غذا استفاده کرده‌اند همچنین رشد قابل توجهی در کاربرد هوش مصنوعی در صنعت غذا مشاهده شده است. الگوریتم‌ها با استفاده از ابزارهای مختلف هوش محاسباتی ساخته می‌شوند که عملکردهای شناختی انسان را شبیه‌سازی می‌کنند تا یاد بگیرند و در نتیجه دقت مدل‌ها را از نظر یادگیری ماشین یا یادگیری عمیق بهبود دهند صنعت غذا به‌طور گسترده از هوش مصنوعی برای تحلیل، تفسیر و بهینه‌سازی در حوزه‌های مختلف استفاده می‌کند. با این حال، نگرانی‌ها در مورد امنیت غذایی به دلیل نرخ رشد جمعیت جهانی فوق‌العاده بالا در حال افزایش است و پذیرش فناوری برای رفع این مسائل رو به رشد است. بنابراین، بررسی فناوری‌های اصلی که می‌توانند

پردازش غذا را بهبود بخشند تا عمر مفید و امنیت غذایی افزایش یابد، با توجه به نیاز به شیوه‌های صنعتی پایدار، حیاتی است. هوش مصنوعی در حال تبدیل شدن به عاملی حیاتی است و انتظار می‌رود تغییرات قابل توجهی در صنعت پردازش غذا ایجاد کند، با بهبود کیفیت، ایمنی و پایداری در هر فرآیند. استفاده از هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء (IoT) و داده‌های کلان (Big Data) به پیشرفت‌های مهم در سراسر زنجیره تأمین غذا منجر می‌شود. این مسیر از تولید اقلام آغاز می‌شود، ادامه می‌یابد به پردازش و بسته‌بندی آن‌ها و سپس شامل تحویل، نگهداری، مصرف و مدیریت ضایعات می‌شود. هوش مصنوعی، خودکارسازی و انرژی تجدیدپذیر به‌طور گسترده‌ای در کشاورزی ترکیب می‌شوند. در نتیجه، کشاورزان می‌توانند مزارع خود را با دقت بیشتری مدیریت کنند، منابع کمتری مصرف کنند و تغییرات بنیادی در روش‌های کشاورزی ایجاد نمایند. هوش مصنوعی با بیشتر فناوری‌ها متفاوت است زیرا می‌تواند داده‌های بسیار نامنظم از رسانه‌های اجتماعی، نقدها و نظرسنجی‌ها را پردازش کند. با انجام این تحلیل، مدیران قادر خواهند بود ترجیحات جدید مصرف‌کنندگان را شناسایی کرده و بخش‌های دست‌نخورده بازار را کشف کنند. هوش مصنوعی تفاوت گسترده‌ای در تغییرات اقلیمی ایجاد می‌کند با ساده‌سازی جزئیات شبکه‌های برق و استفاده از زمین، سرعت بخشیدن به کشفیات علمی، تغییر اقدامات، بهبود مدل‌ها و افزودن سازگاری با تغییرات محیطی. به دلیل این موضوع، بخش غذا بهتر قادر است اهداف پایداری خود را برآورده کند. نکته مکرر این است که هوش مصنوعی بر تمام بخش‌های صنعت غذا تأثیر می‌گذارد، استانداردهای صنعتی را افزایش می‌دهد و سیستم‌های پیچیده را شکل می‌دهد، که نشان می‌دهد این فناوری تغییرات گسترده‌ای ایجاد می‌کند و صرفاً به‌عنوان یک ابزار عمل نمی‌کند. این بدان معناست که هوش مصنوعی می‌تواند تحول بزرگی در عملکرد سیستم‌های غذایی ایجاد کند. ایده ارتباط هوش مصنوعی با IoT و داده‌های کلان به‌ویژه برای تحقق این تحول اهمیت دارد، زیرا داده‌های جریان‌یافته از این منابع از هوش مصنوعی پشتیبانی می‌کند تا نقش زمان واقعی و قابل سازگاری در سراسر زنجیره ارزش ایفا کند.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این بخش با هدف ارائه‌ی شرحی دقیق از تمام فعالیت‌های انجام‌شده در مطالعه‌ی مرور جامع ما تهیه شده است. در طول فرایند پژوهش مرور، دستورالعمل‌های PRISMA (اقلام گزارش‌دهی ترجیحی برای مرورهای نظام‌مند و پروتکل‌های فراتحلیل) به‌دقت رعایت شدند. در طول مرحله‌ی برنامه‌ریزی مرور، یک جست‌وجوی آزمایشی انجام شد تا نویسندگان بتوانند درک بهتری از متون موجود پیدا کنند، کلمات کلیدی را انتخاب نمایند، پایگاه داده‌ی مناسب را برگزینند و معیارهای ورود و خروج مقالات را تعیین کنند. از آنجا که هدف اصلی یک مرور نظام‌مند، بیان دقیق موضوع پژوهش است، این کار انتخاب مقالات مرتبط را امکان‌پذیر می‌کند. شکل ۱ نمودار جریان PRISMA مربوط به این مطالعه را نشان می‌دهد. این شکل با استفاده از Shiny App (یک رابط آنلاین) همان‌طور که توصیف شده، ایجاد شده است. [۱]





شکل ۱. نمودار جریان PRISMA برای مطالعه.

۲.۱ استخراج داده‌ها

فرایند انتخاب پژوهش‌ها در دو مرحله انجام شد. در مرحله‌ی نخست، عنوان‌ها و چکیده‌ها مورد بررسی قرار گرفتند تا مقالاتی که احتمالاً مرتبط بودند شناسایی شوند. در مرحله‌ی دوم، مرور کامل متن مقالات انجام شد تا اطمینان حاصل شود که هر مقاله با معیارهای ورود تعیین شده مطابقت دارد. یک فرم استخراج داده‌ی یکنواخت برای گردآوری اطلاعات اساسی از پژوهش‌های انتخاب شده به کار رفت. داده‌های استخراج شده شامل طراحی مطالعه (تجربی یا مروری)، منابع و فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر (از جمله نوع انرژی تجدیدپذیر، تجهیزات استفاده شده، و راه‌حل‌های ذخیره‌سازی انرژی)، روش‌های هوش مصنوعی و حوزه‌های کاربرد هوش مصنوعی (مانند نگهداری پیش‌بینانه‌ی تجهیزات، پیش‌بینی تولید انرژی، بهینه‌سازی فرایند در خشک‌سازی یا سرمایش، و کنترل کیفیت) بودند. [۱]

۲.۲ تحلیل داده‌ها

برای تحلیل متون از آمار توصیفی استفاده شد. نرم‌افزارهای VOSviewer و کتابخانه‌ی Bibliography در محیط R-Studio برای تحلیل کتاب‌سنجی به کار رفتند. این دو نرم‌افزار، رابط‌های وب مبتنی بر دسترسی آزاد هستند. کتابخانه‌ی Bibliography در محیط R Studio برای تحلیل واژگان، تحلیل روندها، و ایجاد نقشه‌های موضوعی استفاده شد. نرم‌افزار VOSviewer برای ارزیابی هم‌رخدادی کلمات کلیدی و انجام تحلیل خوشه‌ای (cluster analysis) مورد استفاده قرار گرفت. [۱]

۳. نتایج کتاب‌سنجی

۳.۱ اطلاعات اصلی و روند انتشار مقالات در زمینه‌ی استفاده از هوش مصنوعی در انرژی‌های تجدیدپذیر برای فرآوری و نگهداری مواد غذایی

Table 1
Main information of the examined articles.

Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	2015:2025
Sources (Journals)	227
Documents	827
Annual Growth Rate %	15.87
Document Average Age	2.79
Average citations per doc	47.43
References	66454
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	5495
Author's Keywords (DE)	2466
AUTHORS	
Authors	3269
Authors of single-authored docs	28
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored docs	31
Co-Authors per Doc	4.57
International co-authorships %	41.84
DOCUMENT TYPES	
Article	561
Review	266

جدول ۱ نتایج کتاب‌سنجی ۸۲۷ مقاله‌ی علمی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ را نشان می‌دهد.

این آمار بیانگر علاقه‌ی دانشگاهی به استفاده از هوش مصنوعی در انرژی‌های تجدیدپذیر برای فرآوری و نگهداری مواد غذایی است. نرخ رشد سالانه‌ی ۸۷/۱۵٪ در انتشارات، نشان‌دهنده‌ی رشد سریع علاقه به تلفیق هوش مصنوعی و انرژی تجدیدپذیر برای بهینه‌سازی فرآیندهای غذایی است. انتشار ۸۲۷ سند در ۲۲۷ مجله، نشان می‌دهد که این موضوع در حوزه‌های مختلف علمی از جمله هوش مصنوعی، انرژی تجدیدپذیر و فناوری غذا مورد توجه قرار گرفته است. میانگین



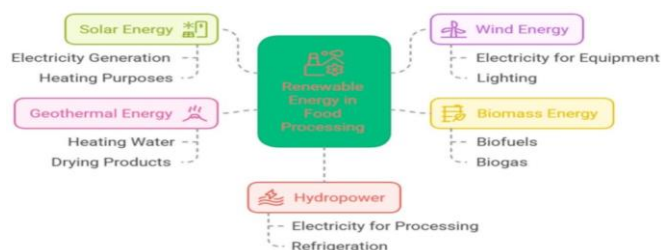
عمر اسناد حدود ۷۹/۲ سال است که نشان می‌دهد بیشتر این تحقیقات جدیدند و پویایی و تکامل سریع این حوزه را همراه با پیشرفت فناوری برجسته می‌کنند. میانگین تعداد استناد به هر مقاله ۴۳/۴۷ است که نشان می‌دهد این حوزه از پژوهش در جامعه علمی به رسمیت شناخته شده و اثرگذار است. این نتایج حاکی از آن است که پژوهش حاضر در گسترش دانش در نقطه‌ی تلاقی هوش مصنوعی، انرژی‌های تجدیدپذیر و فرآوری مواد غذایی نقش مهمی دارد. همچنین تقریباً ۶۶ هزار منبع در این مقالات ارجاع داده شده که گستردگی و عمق دانش موجود در این زمینه را نشان می‌دهد. بیش از ۳۲۰۰ پژوهشگر در این حوزه فعالیت کرده‌اند و میانگین تعداد نویسندگان در هر مقاله ۵۷/۴ نفر است؛ یعنی این مطالعات اغلب به صورت گروهی انجام می‌شوند. نرخ همکاری بین‌المللی ۸۴/۴۱٪ است که نشان می‌دهد این حوزه‌ی پژوهشی کاملاً جهانی است و دانشمندان کشورهای مختلف برای یافتن راهکارهای مقیاس‌پذیر و قابل انتقال با یکدیگر همکاری دارند. در حالی که در بسیاری از حوزه‌های تخصصی، همکاری بین‌المللی معمولاً بین ۲۰ تا ۲۵٪ است، رقم ۸۴/۴۱٪ نرخ بسیار بالاتری محسوب می‌شود. این موضوع بیانگر آن است که مطالعات مربوط به هوش مصنوعی و انرژی تجدیدپذیر در تولید غذا، گستره‌ای جهانی دارند. تعداد کم مقالات تکنویسنده (۳۱ عدد) نیز نشان‌دهنده‌ی نیاز به تخصص جمعی برای مواجهه با چالش‌های علمی و فنی است. شاخص‌های استناد نیز تأیید می‌کنند که این حوزه در دانشگاه‌ها تأثیرگذار است: هر مقاله به طور میانگین بیش از ۴۷ بار مورد استناد قرار گرفته است، که برای حوزه‌ای میان‌رشته‌ای در مهندسی عدد بالایی است و نشان می‌دهد بسیاری از پژوهش‌ها در این زمینه به طور مکرر توسط سایر محققان ارجاع داده می‌شوند [۲]. تعداد مقالاتی که بر استفاده از هوش مصنوعی در انرژی‌های تجدیدپذیر برای فرآوری و نگهداری مواد غذایی تمرکز دارند، از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ به طور چشمگیری افزایش یافته است. در سال ۲۰۱۵ تنها ۱۱ مقاله منتشر شد، اما تا سال ۲۰۲۴ این عدد به ۲۵۸ مقاله رسیده است - یعنی بیش از ۲۰ برابر رشد. در فاصله‌ی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸، تعداد انتشارات در این حوزه پایین بود، سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به سرعت افزایش یافت. این روند با گسترش پژوهش‌های مرتبط با «هوش مصنوعی برای پایداری محیط‌زیست» هم‌خوان است، حوزه‌ای که از سال ۲۰۱۷ و در پی تلاش‌های جهانی علیه تغییرات اقلیمی رشد زیادی داشته است. با رشد جهانی گفتمان «توسعه‌ی پایدار»، توافق پاریس (۲۰۱۵) در چارچوب UNFCCC و تصویب اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل (از جمله هدف ۷: انرژی پاک و هدف ۲: ریشه‌کنی گرسنگی) سبب افزایش علاقه‌مندی به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در نظام‌های غذایی شد [۳]. در همین سال‌ها، پیشرفت‌های فناوری در حوزه‌ی هوش مصنوعی - مانند یادگیری عمیق - پژوهشگران رشته‌های مختلف را به همکاری فراخواند. با در دسترس‌تر شدن فناوری‌های هوش مصنوعی، دانشمندان به استفاده از آن برای بهبود فرآیندهایی که مصرف انرژی بالایی در صنایع غذایی دارند، پرداختند. تا سال ۲۰۱۸، گزارش‌هایی از سوی «هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم» (IPCC) و سایر نهادها منتشر شد که بر ضرورت تغییر در نظام‌های غذا و انرژی برای تحقق اهداف اقلیمی تأکید داشتند. [۴] بودجه‌های پژوهشی مرتبط با کشاورزی و انرژی پاک نیز به اجرای تحقیقات علمی در این حوزه اختصاص یافت. نتایج حاصل نشان داد که فرآیندهایی چون خشک کردن خورشیدی، سردسازی و لجستیک زنجیره‌ی تأمین با کمک هوش مصنوعی کارآمدتر شده‌اند. در سال ۲۰۲۰ تعداد انتشارات اندکی کاهش یافت (از ۳۲ به ۲۹ مقاله). این هم‌زمان با همه‌گیری کووید-۱۹ بود که روند پژوهش‌ها را در سراسر جهان کند کرد. تعطیلی آزمایشگاه‌ها و تغییر جهت بودجه‌های پژوهشی احتمالاً باعث تأخیر در بسیاری از پروژه‌ها شد. پژوهشگران گزارش کرده‌اند که به دلیل تمرکز منابع مالی و انسانی بر مطالعات کووید، تولید علمی در حوزه‌های غیرمرتبط با کرونا حدود ۱۸٪ کاهش یافته است. با این حال، این افت نسبتاً جزئی بود و نشان می‌دهد این حوزه مقاوم است و احتمالاً به سمت پژوهش‌های داده‌محور یا آنلاین حرکت کرده است. [۵] همه‌گیری کووید-۱۹ باعث تسریع در استفاده از روش‌های دیجیتال شده و منجر به پیشرفت‌هایی در زمینه‌ی پایش از راه دور، خودکارسازی

و تقویت زنجیره‌ی تأمین شده است. بنابراین، همه‌گیری کرونا نیاز به نظام‌های غذایی مقاوم را آشکار کرد؛ نظام‌هایی که بتوانند پس از سال ۲۰۲۰، به سمت استفاده‌ی گسترده‌تر از خودکارسازی (اتوماسیون) و هوش مصنوعی در بخش غذا حرکت کنند. پس از پایان همه‌گیری، در سال ۲۰۲۱ بسیاری از کشورها با تمرکز بر «بازسازی محیط‌زیست»، تعهدات اقلیمی جدیدی اعلام کردند و بودجه‌ی بیشتری برای پژوهش در فناوری‌های پایدار اختصاص دادند. افزون بر این، با بلوغ بیشتر روش‌های هوش مصنوعی در اوایل دهه‌ی ۲۰۲۰، صنایع توانستند بر مدل‌های یادگیری ماشینی و اینترنت اشیا (IoT) تکیه کنند و کاربردهای آن را در صنعت عملی‌تر سازند. در همان زمان، پژوهش‌های زیادی برای بهبود فناوری‌های هوش مصنوعی در مقابله با تغییرات اقلیمی انجام می‌شد. [۶،۷] از آنجا که فرآوری مواد غذایی هم از نظر مصرف انرژی سنگین است و هم در تأمین امنیت غذایی نقش محوری دارد، به یکی از حوزه‌های کلیدی برای بهینه‌سازی از طریق هوش مصنوعی و انرژی‌های تجدیدپذیر تبدیل شد. در عرض تنها چند سال، هزاران پژوهشگر وارد این حوزه شدند، صدها مقاله منتشر گردید و علاقه به این موضوع در سراسر جهان همچنان رو به گسترش است.

۴. بحث

۴.۱. مرور کلی انرژی‌های تجدیدپذیر در فرآوری و نگهداری مواد غذایی

صنعت فرآوری غذا پرمصرف از نظر انرژی است و به شدت به سوخت‌های فسیلی برای گرمایش، سرمایش، حمل‌ونقل و سایر فرآیندها وابسته است. این وابستگی به‌طور قابل توجهی به انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی کمک می‌کند. همچنین، نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی می‌تواند بر تولید و قیمت غذا تأثیر بگذارد. بنابراین، نیاز به انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر در فرآوری غذا توسط چندین عامل از جمله نگرانی‌های زیست‌محیطی، مزایای اقتصادی، امنیت انرژی و تقاضای مصرف‌کننده هدایت می‌شود. استفاده از انرژی خورشیدی، باد و زیست‌توده به‌عنوان منابع انرژی تجدیدپذیر در صنعت فرآوری غذا، به‌ویژه در فرآوری میوه و سبزیجات، بررسی شده و از طریق مطالعات موردی، از جمله انتشارها در فرآیندهای نگهداری میوه نشان داده شده است. [۱]



شکل ۹ انواع منابع انرژی تجدیدپذیر که معمولاً در فرآوری و نگهداری غذا استفاده می‌شوند

پنل‌های خورشیدی می‌توانند برای تولید برق در فرآیندهای مختلف، از جمله گرمایش آب، تأمین انرژی تجهیزات و یخچال‌ها استفاده شوند. جمع‌کننده‌های حرارتی خورشیدی نیز می‌توانند برای کاربردهای گرمایش مستقیم مانند خشک‌کردن و پاستوریزه کردن استفاده شوند. توربین‌های بادی می‌توانند برق مورد نیاز تأسیسات فرآوری غذا را تولید کنند، به‌ویژه در مناطقی با منابع بادی پایدار [۸]. زیست‌توده حاصل از باقیمانده‌های کشاورزی، ضایعات غذایی یا محصولات اختصاصی انرژی می‌تواند از طریق احتراق یا هضم بی‌هوازی برای تولید حرارت و برق استفاده شود. بیوگاز تولیدشده از هضم بی‌هوازی می‌تواند



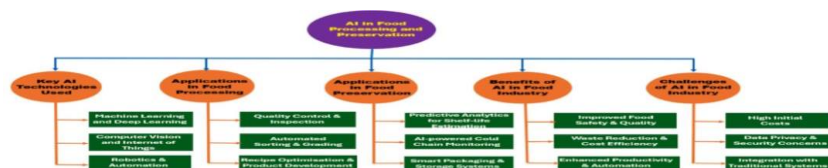
اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی ۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵ هتل المپیک - تهران



برای گرمایش، تولید برق و حتی به عنوان سوخت وسایل نقلیه استفاده شود. انرژی زمین گرمایی می تواند منبع پایدار حرارت برای کاربردهای مختلف فرآوری غذا، مانند خشک کردن، پاستوریزه و گرمایش گلخانه ها فراهم کند. انرژی هیدرو پاور می تواند برای تولید برق تأسیسات فرآوری غذا در نزدیکی رودخانه ها یا دیگر منابع آب استفاده شود. منابع انرژی تجدیدپذیر، در صورت امکان، به عنوان انتخاب اول انرژی به دلیل در دسترس بودن مناسب، اقتصادی و زیست محیطی تبدیل شده اند [۹]. ادغام منابع تجدیدپذیر برای تأمین نیازهای انرژی صنعت غذا ممکن است امکان جایگزینی سیستم های برقی یا سوخت فسیلی با انرژی تجدیدپذیر را فراهم کند. مزایای استفاده از سیستم های تجدیدپذیر یا بازتولیدی شامل بهره وری هزینه، کاهش انتشارها، پایداری زیست محیطی و اقتصادی و کاهش وابستگی به منابع انرژی خارجی است و در نتیجه امنیت و ثبات اقتصادی را افزایش می دهد. ابتکارات صرفه جویی انرژی اخیراً با هدف افزایش بهره وری انرژی، کاهش مصرف انرژی و اجرای راهبردهای مدیریت سمت تقاضا صورت گرفته اند. [۱]

۴.۲. مرور کلی هوش مصنوعی در فرآوری و نگهداری مواد غذایی

یک تغییر پارادایمی با ابزارهای هوش مصنوعی، از جمله یادگیری ماشین و تحلیل داده ها، مورد بهره برداری و استفاده در اهداف مختلف در حوزه های متفاوت مانند خدمات مالی، مراقبت های بهداشتی و صنعت خودروسازی قرار گرفته است، تا نام بردن چند مورد. هوش مصنوعی در صنعت غذا برای عملکردهای متنوعی مانند تولید غذا، تضمین کیفیت، اقدامات ایمنی، ردیابی، مدیریت زنجیره تأمین، بهینه سازی موجودی و بازاریابی استفاده می شود. توسعه هوش مصنوعی برای کاربردهای غذایی از سیستم های خبره و سیستم های مبتنی بر دانش آغاز شده، به تکنیک های یادگیری ماشین منتقل شده و با پردازش داده های بزرگ و تکنیک های یادگیری عمیق پیچیده تر شده است. [۱]



شکل ۱۰ نمودار جریان ساختاریافته برای کاربرد هوش مصنوعی در فرآوری و نگهداری مواد غذایی

سیستم های بینایی کامپیوتری مبتنی بر هوش مصنوعی می توانند عکس ها و داده های حسگر را تحلیل کنند تا عیوب را شناسایی کنند، درجه رسیدگی را ارزیابی کرده و کیفیت یکنواختی را در محصولات غذایی حفظ کنند این امر به کاهش ضایعات و بهبود یکنواختی محصول کمک می کند. سیستم های هوش مصنوعی می توانند داده های ماشین آلات را بررسی کنند تا خرابی های احتمالی را پیش بینی کرده و نگهداری را به صورت فعالانه زمان بندی کنند، در نتیجه زمان بیان کردند که هوش مصنوعی می تواند عوامل فرآوری از کارافتادگی را کاهش داده و بهره وری تولید را بهینه کند. محققان



را شامل دما، مدت زمان و نسبت اجزاء بهینه کند تا کیفیت محصول را افزایش داده، مصرف انرژی را کاهش دهد و ضایعات محققان اظهار داشتند که حسگرهای مبتنی بر هوش مصنوعی می توانند به سرعت آلاینده ها و عوامل را کمینه سازد هوش مصنوعی بیماری را شناسایی کنند و ایمنی مواد غذایی را تضمین کرده و از شیوع اپیدمی جلوگیری نمایند می تواند داده ها را ارزیابی کند تا خطرات بالقوه را شناسایی کرده و قابلیت ردیابی را در سراسر زنجیره تأمین بهبود دهد همچنین می تواند لجستیک را بهبود دهد، تقاضا را پیش بینی کند و موجودی را کنترل نماید تا کارایی افزایش یافته و ضایعات در زنجیره تأمین مواد غذایی کاهش یابد محققان بیان کردند که هوش مصنوعی می تواند ترجیحات مصرف کننده و همچنین هوش مصنوعی می تواند نیازهای روندهای بازار را ارزیابی کند تا محصولات غذایی جدید و نوآورانه ای توسعه دهد تغذیه ای و ترجیحات غذایی را تحلیل کند تا برنامه های غذایی شخصی سازی شده و پیشنهاداتی متناسب تولید کند. از آنجا که فرآوری مواد غذایی شامل گرمایش در واحدهای تولیدی است، انرژی های تجدیدپذیر و فرآوری مواد غذایی کاربرد هوش انرژی های تجدیدپذیر می توانند به کاهش مصرف انرژی و بهینه سازی راهبردهای عملیاتی کمک کنند مصنوعی در صنایع غذایی می تواند به مدیریت صنعت غذا و حمایت از استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، بهینه سازی موجودی، کاهش زمان پردازش، کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت، در حالی که ایمنی مواد غذایی حفظ می شود، کمک کند. محققان مشاهده کردند که پژوهش ها درباره پذیرش و استفاده از کاربردهای هوش مصنوعی کاهش یافته است، که پتانسیل قابل توجهی برای استفاده از نشان می دهد این فناوری به طور گسترده ای در حال استفاده و شناخته شده است هوش مصنوعی برای اهداف مختلف در صنعت کشاورزی-غذایی وجود دارد، از جمله استفاده بهینه و مؤثر از انرژی تجدیدپذیر برای حل چالش های نوظهور صنعت غذا مانند مصرف انرژی، الزامات ایمنی مواد غذایی و مدیریت کارآمد انرژی بدون آسیب به کیفیت محصولات غذایی. [۱]

۵. تلاقی هوش مصنوعی و انرژی تجدیدپذیر در صنعت غذا

ادغام فناوری های هوش مصنوعی و انرژی تجدیدپذیر در صنعت غذا دارای پتانسیل نوآوری قابل توجهی است راه حل های مبتنی بر هوش مصنوعی و انرژی تجدیدپذیر به سرعت ظهور یافته اند، زیرا توانایی بهبود مدیریت منابع ورودی، عملیات زنجیره تأمین و کیفیت محصول را دارند. همگرایی کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه انرژی تجدیدپذیر فرصت های فراوانی را برای بهبود زیرساخت ها در حالی که هزینه های مرتبط با فرآوری و نگهداری مواد غذایی کاهش می یابد، فراهم می کند. این ترکیب فناوری ها می تواند تحلیل های پیش بینی کننده ای در زمینه انرژی تجدیدپذیر ارائه دهد تا از مصرف انرژی های فسیلی بکاهد و هم زمان شاخص پیش بینی در سیستم انرژی تجدیدپذیر را بهبود دهد. پتانسیل انرژی تجدیدپذیر برای امنیت غذایی انرژی تجدیدپذیر دارای پتانسیل قابل توجهی برای امنیت غذایی است، زیرا هر دو سیستم (هوش مصنوعی و انرژی تجدیدپذیر) قابلیت بهینه سازی منابع و پیش بینی مصرف منابع را دارند، همراه با افزایش تحلیل های پیش بینی مبتنی بر مدل یادگیری ماشینی هوش مصنوعی. الگوریتم های هوش مصنوعی به انجام تحلیل داده ها برای ایجاد مدل های پیش بینی کمک می کنند تا رشد نمایی انرژی تجدیدپذیر در هر کاربرد مرتبط با کشاورزی مانند خشک کن های محصولات، میوه ها و سبزیجات، و کاربرد آنها در خشک کردن با باد و خورشید تضمین شود. ترکیب فناوری های هوش مصنوعی و انرژی تجدیدپذیر در حال شتاب گیری است، با این حال چندین چالش کلیدی همچنان حل نشده باقی مانده اند. برای مثال، قابلیت همکاری داده ها و اطلاعات اهمیت دارد، اما کمبود ساختار معماری و سیستم ها، اجرای در مقیاس بزرگ را محدود می کند محققان نیز اشاره کردند که زیرساخت در کشورهای در حال توسعه و کمتر توسعه یافته برای استقرار انرژی تجدیدپذیر مبتنی بر هوش مصنوعی مناسب نیست. بنابراین، یک رویکرد میان رشته ای می تواند راه حل عملی برای این مشکلات ارائه دهد. یکپارچگی



اولیه هوش مصنوعی در منابع انرژی تجدیدپذیر با یکپارچه سازی اولیه هوش مصنوعی در منابع انرژی تجدیدپذیر، شبکه های عصبی مصنوعی به طور طبیعی برای بهره گیری از توان محاسباتی رایانه ها جهت حل مسائل تولید انرژی شکل گرفتند علاقه زیادی به ادغام هوش مصنوعی برای رسیدگی به مسائل بهینه سازی سبد انرژی تجدیدپذیر وجود دارد علاوه بر انرژی تجدیدپذیر، بخش فرآوری کشاورزی نیز در حال ادغام هوش مصنوعی برای بهینه سازی سبد انرژی است تا بتواند در معادله عرضه انرژی گنجانده شود. فرآیند بهینه سازی شامل جنبه های عملیاتی، برنامه ریزی و زمان بندی برای پیش بینی در بازه های زمانی روز آینده یا حتی بلندمدت تر است. [۱]

۵.۱. بهره وری انرژی در کارخانه های فرآوری

هوش مصنوعی در بهره وری انرژی اهمیت دارد، زیرا به کنترل و مدیریت عملیات در فرآیندهای مختلف تولید مواد غذایی کمک می کند. چنین سیستم هایی نسبت به سیستم های قدیمی مؤثرتر هستند، زیرا هوش مصنوعی امکان بررسی الگوهای مصرف و انتخاب خودکار گزینه های بهینه را فراهم می کند که مستقیماً ضایعات را کاهش داده و بهره وری کارخانه را افزایش می دهد. این سیستم ها می توانند بخش هایی را که تولید یا لجستیک در آنها ناکارآمد است شناسایی کنند تا انرژی در محیطی پایدار به صورت مؤثر بهینه شود برای مثال، هوش مصنوعی به طور مداوم مصرف انرژی را نظارت می کند و تعیین می کند کدام بخش ها بیش از حد انرژی مصرف می کنند و کدام مصرف غیر ضروری دارند، که منجر به کاهش تلفات انرژی با دقت بالاتر می شود. در نخستین سال استفاده از هوش مصنوعی برای مدیریت انرژی، یک کارخانه فرآوری مواد غذایی دریافت که مصرف انرژی اش ۱۵٪ کاهش یافته است و این امر باعث کاهش هزینه ها و اثرات زیست محیطی شد. هوش مصنوعی می تواند مصرف انرژی را پیش بینی کند تا کارخانه ها بتوانند برای نیازهای آینده خود در بازه های زمانی چند ساعت، چند روز یا چند هفته ای برنامه ریزی کنند. به همین دلیل، تأسیسات می توانند اقداماتی اتخاذ کنند تا از مصرف انرژی در ساعات اوج و هزینه های بالا اجتناب نمایند و از شکست های خدماتی جلوگیری کنند. هوش مصنوعی ممکن است اقداماتی مانند خاموش کردن ماشین آلات خاص در زمان های مصرف پایین، تنظیم دمای HVAC بر اساس آب و هوا و تعداد کارکنان، یا تغییر زمان بندی تولید تا زمانی که هزینه برق کمتر است، اعمال نماید. استفاده از هوش مصنوعی در سیستم های کنترل محیطی می تواند باعث شود کشاورزی داخل ساختمان ها تا ۲۵٪ انرژی کمتری مصرف کند، که ممکن است برداشت های بزرگ تر و غذای بیشتر برای همگان را حمایت نماید [۱۰]. از طریق استفاده از هوش مصنوعی، دانشگاه کرنل دریافت که انرژی لازم برای رشد کاهوی داخل سالن از ۹٫۵ کیلووات ساعت به ازای هر کیلوگرم وزن تازه به ۶٫۴۲ کیلووات ساعت به ازای هر کیلوگرم وزن تازه در برخی مناطق کاهش یافته و در دبی از ۱۰٫۵ کیلووات ساعت به ازای هر کیلوگرم وزن تازه به ۷٫۲۶ کیلووات ساعت کاهش یافته است. این موضوع مبتنی بر کنترل صحیح روشنایی و تثبیت شرایط اقلیمی با متعادل سازی سطوح دی اکسید کربن و رطوبت هنگام تهویه ساختمان است. سیستم های پیش بینی هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین بر اساس سیگنال های حسگر تعیین می کنند آیا تجهیزاتی ممکن است قبل از وقوع دچار خرابی شود. استفاده از هوش مصنوعی برای نظارت بر کل عملیات موجب کاهش قطعی های غیرمنتظره می گردد، تجهیزات غذایی طول عمر بیشتری خواهند داشت و شرکت به دلیل مشکلاتی مانند المنت های آسیب دیده یا نازل های مسدود، انرژی خود را از دست نخواهد داد. [۱]

۵.۲. ادغام انرژی های تجدیدپذیر و شبکه های هوشمند

استفاده از هوش مصنوعی به طور قابل توجهی تعداد کارخانه های فرآوری را که منابع تجدیدپذیر مانند خورشید، باد و زیست توده را ادغام می کنند افزایش می دهد. استفاده از هوش مصنوعی به انرژی پاک کمک می کند از طریق تولید توان بهتر، مدیریت شبکه های توان و کاهش انتشار کربن به کارگیری هوش مصنوعی برای پیش بینی (forecasting) از افت های غیرمنتظره در انرژی های تجدیدپذیر محافظت می کند و از آمارهای آب و هوایی گذشته بهره می برد. استفاده از هوش مصنوعی در پیش بینی انرژی تجدیدپذیر با تکیه بر داده های تاریخی و داده های زمان-واقعی دقت را بهبود می بخشد، از این رو تعادل عرضه با تقاضا را تسهیل کرده و وابستگی به سوخت های فسیلی به عنوان پشتیبان را کاهش می دهد [۱۱]. به کارگیری هوش مصنوعی در شبکه های هوشمند اجازه می دهد تا با تغییرات در عرضه و تقاضای انرژی همگام شوند، که این امر به پایداری و تاب آوری سیستم های قدرت کمک می کند. ادغام بیشتر تجدیدپذیرها در شبکه برق با سهولت بیشتری انجام پذیر می شود زیرا هوش مصنوعی امکان نگه داشتن تعادل عرضه و تقاضا در زمان-واقعی را فراهم می سازد. این مسئله به ویژه در انرژی غیرمتمرکز اهمیت دارد، جایی که توان نزدیک به محل مصرف تولید می شود و اغلب با انرژی خورشیدی یا بادی توسط واحدهای محلی کوچک تأمین می گردد. سیستم های مدیریت انرژی در میکروگریدها از هوش مصنوعی برای پیش بینی دقیق میزان تولید و مصرف پنل های خورشیدی، توربین های بادی، باتری ها و ژنراتورها استفاده می کنند. این روش به صرفه جویی در انرژی، استفاده مؤثرتر از منابع و کاهش هزینه های عملیاتی کمک می نماید [۱۲]. هوش مصنوعی می تواند به بهره برداری مؤثرتر از نیروگاه های زیست توده کمک کند. با استفاده از هوش مصنوعی، این ابزارها سایت هایی را که ممکن است برای زیست توده مورد استفاده قرار گیرند بررسی می کنند. عوامل همچون محتوای رطوبت و تنوع گیاهی و جانوری منطقه و احتراق را برای استفاده بهتر منابع و کاهش پسماند تنظیم می نمایند. استفاده از انواع سیستم های تولید برق از زیست توده به شرکت ها اجازه می دهد تا تولید و توزیع برق را کارآمدتر سازند.

۶. کاربردهای هوش مصنوعی در انرژی تجدیدپذیر برای فرآوری و نگهداری مواد غذایی

ادغام هوش مصنوعی در سیستم های انرژی تجدیدپذیر در فرآوری غذا رو به رشد است، از مطالعات اکتشافی تا کاربردهای عملی (جدول ۳). بازنگری ادبیات همچنین مشاهده کرد که راهکارهای هوش مصنوعی عمدتاً به بخش مدیریت یا کنترل انرژی در سیستم انرژی فرآوری غذا وارد می شوند و از هوش مصنوعی یا برای بهینه سازی فرایندها از منظر مصرف انرژی یا برای عملکردهای تجهیزاتی استفاده می شود. این بازنگری کاربردهای هوش مصنوعی را در نگهداری پیش بینی کننده، بهینه سازی فرایند و طراحی سیستم و نیز کاربردهای پایش کیفیت فرآوری غذا طبقه بندی نمود.

Table 3
Applications of AI in renewable energy for food processing and preservation.

Applications	Technique Used	Impact/Results	Limitations	References
AI in smart energy systems & automation	Model-based solutions, plug-and-play interface	Enhances demand response (DR) and facilitates renewable integration	Requires seamless AI integration in energy grids	Strasser et al. [100]
Ethical & social challenges in AI-driven smart grids	AI governance, regulatory frameworks	Ensures privacy protection and fair energy distribution	Regulatory gaps in decentralized AI-driven grids	Robu et al. [104]
AI in prognostic maintenance for renewable energy	AI-based predictive maintenance	Minimizes downtime, improves operational reliability	Challenges with data availability and quality	Afridi et al. [105]
AI-based dietary assessment	Deep learning, digital imaging	Automates food analysis, estimates volume, energy, and nutrient content	Potential accuracy issues in food recognition	Shonkoff et al. [106]
AI & blockchain for energy producers	AI-powered blockchain systems	Empowers consumers to participate in energy production & management	Requires flexible market structures and intelligent operations	Huss et al. [107]
AI in energy system digitization	AI-based real-time monitoring	Addresses grid complexities in high renewable penetration	Operational challenges in maintaining grid stability	Xie et al. [108]
AI & blockchain in food supply chains	Artificial neural networks, machine learning, IoT/5G integration	Improves food safety, enhances transparency, and optimizes logistics	Challenges in data security and infrastructure deployment	Gurusamy et al. [109]
AI in food bioprocessing & processing	Machine learning, computer vision	Enhances production efficiency, monitors food quality, reduces waste	High cost of implementation	Min et al. [110]
AI in vertical farming	Predictive analytics	Optimizes crop yield and resource management	Requires adaptive technologies for diverse agricultural settings	Sezhian et al. [111]
AI & big data in food industry	Automation, smart technologies	Enhances safety, quality, and efficiency in food production	Data privacy and security concerns	Ding et al. [65]
AI in energy demand forecasting for healthcare	Data-driven AI models	Reduces energy consumption & greenhouse gas emissions	Need for adaptation to other industries, like food processing	Patchigamdoos et al. [112]
AI in postharvest loss & waste management	Machine learning applications	Identifies gaps in AI application for reducing food waste	Limited research on processing and retail applications	Opura et al. [113]
AI in energy forecasting	Machine learning, deep learning	Enhances energy demand forecasting for better efficiency	Requires robust datasets for accurate predictions	Aldarraj et al. [114]
AI & cybersecurity in smart grids	AI & big data analytics	Identifies and mitigates security threats in energy systems	Emerging vulnerabilities in AI-driven grids	Yasin Ghadi et al. [115]
AI in smart grid energy management	Standardized communication, improved energy systems	Enhances integration of renewable energy sources	Need for consistent AI adoption in grid networks	Ohama et al. [116]

جدول ۳. کاربردهای هوش مصنوعی در انرژی های تجدیدپذیر برای فرآوری و نگهداری مواد غذایی.

در کل، اثر اصلی ادغام هوش مصنوعی بر سیستم های انرژی در صنعت فرآوری غذا عمدتاً در سمت تقاضای انرژی و تجهیزات مرتبط با ماشین آلات فرآوری و سیستم های سرمایه ای است. این بازنگری مزایای اصلی معرفی هوش مصنوعی به سیستم انرژی فرآوری غذا را شناسایی نمود، که این مزایا عمدتاً از مدیریت سیستم انرژی ناشی می شوند. از منظر علمی، یافته های مطالعات جاری نشان می دهد که اجرای این ادغام بین هوش مصنوعی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر در سطوح گوناگون و در تنظیمات جغرافیایی و دامنه های فرآوری متنوع امکان پذیر است. با این حال، از دیدگاه کاربردی، تحقیقات محدودی پیامدهای صنعتی این پروژه ها را آزمایش کرده اند که این امر منجر به فقدان بحث درباره قابلیت مقیاس پذیری نتایج یا مناطق مورد علاقه این مطالعات برای اعمال گسترده تر شده است. چندین شکاف پژوهشی از مطالعات اخیر پدید آمده اند، از جمله نیاز به استفاده از روش های مناسب و کاربردی برای اثبات این شرایط ممکن و همچنین چگونگی ادغام مقرون به صرفه این راهکارها در تنظیمات صنعتی بالقوه مختلف. فقدان چارچوب های استاندارد شده برای ادغام هوش مصنوعی با منابع انرژی تجدیدپذیر در فرآوری غذا شکافی مهم است، زیرا تحقیقات موجود غالباً روی مطالعات موردی جداگانه تمرکز دارند بدون ارائه روش شناسی قابل اعمال در سطح جهانی، که این امر مانع پیاده سازی موفق می شود. پژوهش اندکی درباره چگونگی بهینه سازی مصرف انرژی توسط هوش مصنوعی در چندین مرحله فرایند، از دست زدن مواد خام تا ذخیره نهایی و توزیع وجود دارد. ادغام هوش مصنوعی و انرژی تجدیدپذیر در فرآوری غذا مزایای بالقوه ای دارد، اما تحلیل های اقتصادی جامع برای ارزیابی صرفه جویی هزینه ای آن ها کم است و نیازمند پژوهش های بیشتر برای ارزیابی سرمایه گذاری اولیه، هزینه های عملیاتی و صرفه جویی های بالقوه می باشد. علاوه بر این، انرژی تجدیدپذیر عموماً پایدارتر از سوخت های فسیلی در نظر گرفته می شود؛ با این حال، اثرات زیست محیطی ادغام هوش مصنوعی در سیستم های فرآوری غذا به طور کامل ارزیابی نشده است و تحقیق بیشتری لازم است تا تأثیر چرخه عمر آن ها، شامل مصرف انرژی، تولید پسماند و استفاده از منابع، مورد بررسی قرار گیرد. این کاستی ها در مجموعه موجود دانش بزرگ هستند زیرا آن ها کارایی، مقیاس پذیری و پایداری سیستم های فرآوری غذا را مختل می کنند. پرداختن به این کمبودها می تواند مدیریت انرژی را بهبود بخشد، ضایعات غذایی را کاهش دهد و امنیت غذایی را تقویت نماید، به ویژه در پرتو تغییرات اقلیمی و افزایش تقاضای جهانی غذایی. [۱۱]

۷. استراتژی های بهینه سازی در تجهیزات فرآوری و نگهداری غذا

۷.۱. اهمیت استراتژی های بهینه سازی

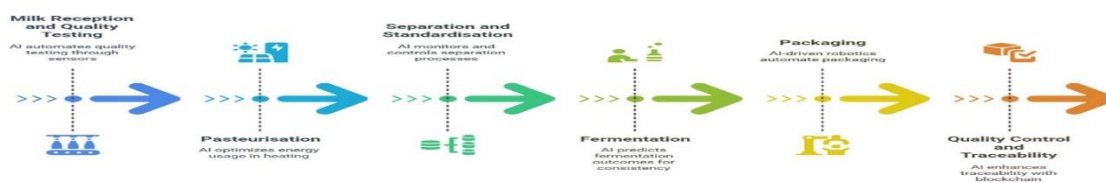
استراتژی های بهینه سازی در بهبود عملکرد کلی تجهیزات فرآوری و نگهداری غذا حیاتی هستند چندین روش شناسی برای بهره وری انرژی وجود دارد که به بهینه سازی نگهداری و کاهش آلودگی تجهیزات فرآوری و نگهداری کمک می کند. این روش ها به افزایش بهره وری انرژی، ترمودینامیک و پارامترهای فیزیکی و عملیاتی در طول زمان فرآوری کمک می نمایند. استراتژی های بهینه سازی در تجهیزات نگهداری غذا اثربخشی خود را نشان داده اند گزارش دادند که بهینه سازی فرایندها با استفاده از انرژی می تواند انرژی اضافی مورد نیاز را ذخیره نموده و یکپارچگی و زمان پردازش را بهبود بخشد. بنابراین، انرژی اضافی مورد نیاز تأثیر مستقیمی بر هزینه اضافی وارد بر فرایند دارد. طی سال ها، الگوریتم های مبتنی بر هوش مصنوعی برای بهینه سازی فرایند توسعه مدل به کار رفته اند. آن ها به عنوان الگوریتم های جستجوی جهانی در نظر گرفته می شوند که پارامترهای فرایند را با استفاده از ترمودینامیک و پارامترهای فیزیکی دیگر بهینه می نمایند [۱۳]

۸. کاربرد هوش مصنوعی در برخی از بخش‌های اصلی فرآوری مواد غذایی

هوش مصنوعی در حال ایجاد انقلابی قابل توجه در بخش‌های مختلف صنعت فرآوری مواد غذایی است. استفاده از هوش مصنوعی در فرآوری مواد غذایی شامل روش‌هایی برای خودکارسازی نحوه دستکاری و تغییر مواد غذایی برای پاسخگویی به تقاضای رو به افزایش مصرف‌کننده است. فرآوری مواد غذایی با هوش مصنوعی شامل بسیاری از فناوری‌های مشابه مورد استفاده در صنایع دیگر، مانند استفاده از فناوری‌های حسگر، سیستم‌های کنترل کیفیت رباتیک و خودکار و روش‌های نوآورانه بسته‌بندی مواد غذایی برای افزایش بهره‌وری، کنترل کیفیت و ایمنی است. بخش‌های فرآوری مواد غذایی زیر برای شناسایی مراحل انرژی‌بر یا نیروی کاربر بررسی شده‌اند، سپس در مورد چگونگی پرداختن هوش مصنوعی به این چالش‌ها و کاربردهای بالقوه آینده آن بحث شده است. [۱]

۸.۱. کاربرد هوش مصنوعی در خط فرآوری لبنیات

فرآوری لبنیات یک صنعت حیاتی است که شیر خام را به محصولات مختلفی مانند پنیر، ماست و کره تبدیل می‌کند. شکل ۱۲ کاربرد هوش مصنوعی را در خط فرآوری لبنیات نشان می‌دهد و مراحل پر زحمت یا انرژی‌بر را مشخص می‌کند. یک خط فرآوری لبنیات مدرن، مجموعه‌ای از عملیات با دقت هماهنگ است که برای تبدیل شیر خام، تازه از مزرعه، به مجموعه‌ای دلپذیر از محصولات لبنی که در قفسه‌های سوپرمارکت‌ها می‌یابیم، طراحی شده است.



شکل ۱۲. کاربرد هوش مصنوعی در خط فرآوری لبنیات، مشخص کردن مراحلی که پر زحمت یا انرژی‌بر هستند.

این سفر با دریافت شیر خام آغاز می‌شود، جایی که برای اطمینان از کیفیت و ایمنی آن، تحت آزمایش‌های دقیقی قرار می‌گیرد پارامترهای کیفی آزمایش‌های دستی، مانند میزان چربی، سطح پروتئین و بار میکروبی، می‌توانند بسیار زمان‌بر و پرهزینه باشند. هوش مصنوعی می‌تواند آزمایش کیفیت را از طریق حسگرهای پیشرفته و تجزیه و تحلیل بلادرنگ کیفیت شیر که توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین انجام می‌شود، خودکار کند. اظهار داشتند که سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند از بینایی رایانه‌ای برای تجزیه و تحلیل ظاهر محصولات لبنی مختلف برای شناسایی نقص‌ها استفاده کنند، که برای حفظ ثبات در خط تولید و اطمینان از رعایت استانداردهای کیفیت ضروری است. پس از تأیید، به مخازن پاستوریزاسیون منتقل می‌شود. فرآیند پاستوریزاسیون از انرژی زیادی برای رساندن شیر به دمای مورد نیاز و سپس نگه داشتن آن برای مدت زمان لازم استفاده می‌کند. این یک مشکل بی‌ظن برای حل با هوش مصنوعی است. با استفاده از داده‌های بلادرنگ، هوش مصنوعی اکنون می‌تواند زمان و دمای دقیق گرمایش لازم برای دستیابی به پاستوریزاسیون را پیش‌بینی کند و می‌تواند این کار را با چنان دقتی انجام دهد که احتمالاً مصرف کلی انرژی کاهش می‌یابد. از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی رسانایی الکتریکی و میزان رطوبت شیر در طول پاستوریزاسیون غیر حرارتی استفاده شد.

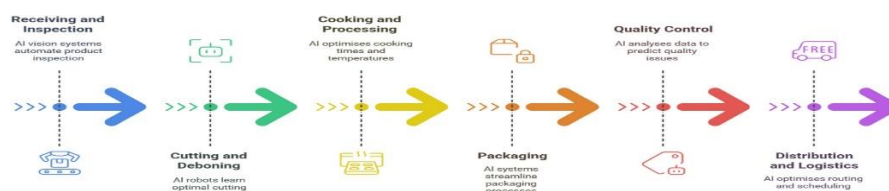


کار آنها نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند این کار را به اندازه کافی خوب انجام دهند تا کاربردهای صنعتی واقعی داشته باشند. احتمال زیادی وجود دارد که استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای این کار در یک کارخانه لبنیاتی بتواند منجر به صرفه‌جویی در انرژی و هزینه شود و در عین حال کنترل کیفیت معمول را نیز بهبود بخشد. سپس شیر از چندین مرحله تصفیه عبور می‌کند. ابتدا شیر برای حذف هرگونه رسوب ناخواسته شفاف‌سازی می‌شود. سپس از یک جداکننده برای تقسیم شیر به خامه و شیر بدون چربی استفاده می‌شود که از آن می‌توان محصولات دیگری با مقادیر مختلف چربی تهیه کرد. این دو عملیات تنها در صورتی می‌توانند به خوبی انجام شوند که کنترل بسیار خوبی حفظ شود. بنابراین، سیستم‌های هوش مصنوعی مانند سیستم‌های بینایی کامپیوتر، مدل‌های یادگیری ماشین، ادغام داده‌های حسگر یا سیستم‌های کنترل با ادغام هوش مصنوعی می‌توانند برای نظارت و کنترل فرآیند جداسازی، تضمین کارایی بهینه و کاهش ضایعات استفاده شوند. در این نقطه، شیر به خطوط تولید مختلف هدایت می‌شود. در بیشتر موارد، به جایی که شیر مایع تولید می‌شود، هدایت می‌شود. در آنجا پاستوریزه، بسته‌بندی و به بیرون فرستاده می‌شود. در برخی موارد، شیر به جایی که خامه زده شده و سایر محصولات مانند خامه ترش تولید می‌شود، هدایت می‌شود. اگر به خط پنیر برود، منعقد شده و به شکل دلمه بریده می‌شود که سپس به انواع مختلف پنیر تبدیل می‌شود. اگر شیر به تولید ماست مایع برود، به مخازن تخمیر فرستاده می‌شود، جایی که باید در طول فرآیند تخمیر از نزدیک تحت نظارت قرار گیرد. هوش مصنوعی می‌تواند نتایج را بر اساس داده‌های تاریخی پیش‌بینی کند و کل فرآیند را منسجم‌تر کند. در نهایت، همه محصولات بسته‌بندی، برچسب‌گذاری و ارسال می‌شوند. این می‌تواند یک فرآیند پرزحمت باشد، به خصوص در عملیات دستی. همچنین به انرژی برای ماشین‌آلات نیاز دارد. بنابراین، رباتیک مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند بسته‌بندی را خودکار کند، بهره‌وری را افزایش دهد و هزینه‌های پرسنل را کاهش دهد. نشان داده شد که ربات‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند فرآیندهایی از جمله چیدن، قرار دادن و بسته‌بندی محصولات غذایی را خودکار کنند. این ربات‌ها وظایف چیدن، قرار دادن و آب‌بندی را با دقت قابل توجهی بالاتر از انسان انجام می‌دهند. در طول کل فرآیند، حفظ استانداردهای دقیق بهداشت و سلامت برای تضمین ایمنی مواد غذایی ضروری است. به همین ترتیب، در هر مرحله، اجرای اقدامات دقیق کنترل کیفیت که فراتر از تضمین ایمنی مواد غذایی است، ضروری است. از این رو، می‌توان از هوش مصنوعی برای افزایش ایمنی و تضمین کیفیت که فراتر از تضمین ایمنی مواد غذایی است، می‌توان از هوش مصنوعی در کنار حسگرها برای نظارت بر رعایت ایمنی و بهداشت مواد غذایی کارکنان استفاده کرد. علاوه بر این، تضمین کیفیت محصول و قابلیت ردیابی در سراسر زنجیره تأمین پیچیده است، که اغلب با انواع انطباق مورد نیاز طرف‌های مختلف در زنجیره تأمین ارائه می‌شود. می‌توان از هوش مصنوعی برای بهبود قابلیت ردیابی محصولات غذایی با استفاده از فناوری بلاکچین و افزایش کنترل کیفیت با استفاده از تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده استفاده کرد. سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی اکنون می‌توانند محصولات لبنی را از مزرعه تا مصرف‌کننده ردیابی کنند، ایمنی عرضه مواد غذایی را تضمین کنند و در صورت فراخوان محصول، واکنش سریع را ممکن سازند. هوش مصنوعی همچنین می‌تواند داده‌های حسگر را برای اطمینان از ایمنی محصولات غذایی تجزیه و تحلیل کند. به طور کلی، ادغام هوش مصنوعی در فرآیندهای صنعت لبنیات می‌تواند به طور قابل توجهی کارایی را ساده کند، خطرات را کاهش دهد و اعتماد کلی مصرف‌کنندگان را به محصولات لبنی افزایش دهد. [۱]

۸.۲ کاربرد هوش مصنوعی در خط فرآوری گوشت و مرغ

فرآوری گوشت و مرغ شامل فرآوری گوشت گاو، گوشت خوک، مرغ و غذاهای دریایی به محصولات تازه، منجمد، کنسرو شده یا بسته‌بندی شده. (شکل ۱۳) مراحل مختلف خط فرآوری را که یا انرژی بر هستند یا پرزحمت، مشخص کرد.

امروزه، بازرسی های دستی و درجه بندی ذهنی دیگر منسوخ شده اند. فرآیند درجه بندی با تجزیه و تحلیل کامل لاشه توسط سیستم بینایی رایانه ای انجام می شود [۱۴]. فرآیند بازرسی، کنترل کیفیت را تضمین می کند و هزینه های نیروی کار را کاهش می دهد.



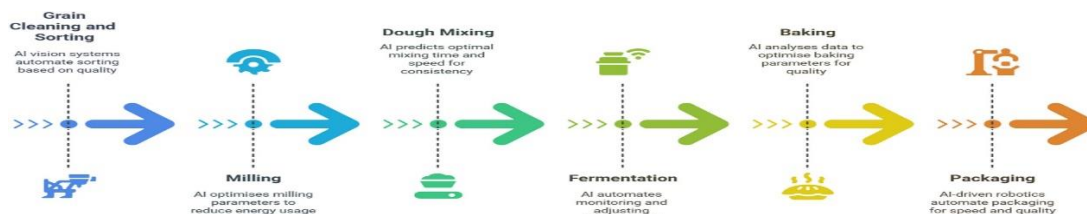
شکل ۱۳. کاربرد هوش مصنوعی در خط فرآوری گوشت و مرغ، مشخص کردن مراحل که بر زحمت یا انرژی بر هستند.

یکی دیگر از موقعیت های چالش برانگیز، پرزحمت و دقیق که کارگران با مهارت های خاص باید انجام دهند، برش و استخوان گیری گوشت است. این یک عملکرد بسیار مهم است زیرا اگر به درستی انجام نشود، مشکلات ناهماهنگی و ضایعات رخ می دهد. با این حال، سیستم های رباتیک مجهز به هوش مصنوعی که می توانند الگوهای برش بهینه را یاد بگیرند، یک راه حل بالقوه برای این مشکل ارائه می دهند. ربات ها، که توسط الگوریتم های پیشرفته ای مانند بینایی کامپیوتر، یادگیری تقویتی، برنامه ریزی حرکت، بهینه سازی مبتنی بر یادگیری عمیق و ادغام حسگرها هدایت می شوند، این کار را با دقت بیشتر، بازده بیشتر و ضایعات کمتر در مقایسه با کارگران دقیق انسانی انجام می دهند. پخت و پز اغلب انرژی زیادی مصرف می کند و نیاز به توجه دقیق برای نظارت بر ایمنی و کیفیت دارد. با این حال، می توان با استفاده از هوش مصنوعی، پخت و پز را بهینه کرد تا مشخص شود چه مدت زمان پخت و چه دمایی باید استفاده شود، که همه این ها بر اساس داده های بلندمدت برای کاهش مصرف انرژی بالقوه است. بسته بندی نیز مسئله دیگری است. بسته بندی دستی می تواند منجر به ناکارآمدی های بزرگ، ناهماهنگی ها و همانطور که مشخص است، افزایش هزینه های نیروی کار شود. سیستم های خودکار می توانند این کار را بهتر انجام دهند و این سیستم ها می توانند توسط هوش مصنوعی پشتیبانی شوند. این فناوری ها، مرتب سازی و بسته بندی دقیق و سریع محصولات را تسهیل می کنند. هوش مصنوعی به طور قابل توجهی ایمنی مواد غذایی را در فرآوری گوشت و مرغ ارتقا می دهد. برای اطمینان از -اینکه فقط محصولات ایمن به مشتریان تحویل داده می شوند، هوش مصنوعی می تواند سیستم های تشخیص آلودگی را که داده ها و تصاویر حسگر را تجزیه و تحلیل می کنند تا خطرات احتمالی مانند باکتری یا اشیاء خارجی را پیدا کنند، بهبود بخشد. مدیریت زنجیره تأمین صنعت گوشت و مرغ می تواند با یک سیستم ردیابی پیشرفته متحول شود. یک سیستم ردیابی بهبود یافته می تواند مدیریت زنجیره تأمین در صنعت گوشت و مرغ را متحول کند. این فناوری می تواند اقلام را از تولید تا مصرف به طور کامل رصد کند و اقدام سریع را در طول فراخوان تسهیل کند. هوش مصنوعی می تواند مسیریابی و برنامه ریزی را در حمل و نقل بهبود بخشد، از این رو مصرف انرژی را کاهش داده و راندمان تحویل را افزایش دهد. علاوه بر این، نگهداری پیش بینانه مبتنی بر هوش مصنوعی، داده های حسگر را از ماشین آلات ارزیابی می کند تا خرابی تجهیزات را پیش بینی کند، از این رو زمان از کارافتادگی و خطر آلودگی را کاهش می دهد. استفاده از هوش مصنوعی در فرآوری گوشت و مرغ، گزینه های متعددی را برای بهینه سازی مراحل تولید پر مصرف و دشوار ارائه می دهد. اگرچه در حال حاضر چندین فناوری هوش مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرند، اما برخی دیگر هنوز در مرحله تحقیق هستند. تکامل مداوم کسب و کار نشان

می‌دهد که ادغام هوش مصنوعی در افزایش بهره‌وری، به حداقل رساندن هزینه‌ها و ارتقاء پایداری کلی در تولید گوشت و مرغ، محوری خواهد بود. [۱]

۸.۳. کاربرد هوش مصنوعی در خط فرآوری غلات و نانوائی

اخیراً، هوش مصنوعی در بسیاری از صنایع، تأثیر خود را بر بهره‌وری عملیاتی گذاشته است. در کنار بهره‌وری عملیاتی، هوش مصنوعی لایه جدیدی از انقلاب را به ویژه در خطوط فرآوری غلات و نانوائی به ارمغان می‌آورد، جایی که تا حد زیادی نیروی کار انسانی بسیار زیادی را جذب کرده و طبیعت را کارآمدتر کرده است. شکل ۱۴ مراحل را در خطوط فرآوری غلات و محصولات نانوائی نشان می‌دهد که یا انرژی‌بر هستند یا نیروی کاربر. [۱]



شکل ۱۴. کاربرد هوش مصنوعی در خط فرآوری غلات و نانوائی، مشخص کردن مراحل که پرزحمت یا انرژی‌بر هستند.

تمیز کردن و دسته‌بندی غلات یک کار پرزحمت و انرژی‌بر است. این مرحله شامل حذف ناخالصی‌ها و دسته‌بندی غلات بر اساس اندازه، وزن و کیفیت است. تمیز کردن و دسته‌بندی غلات عمدتاً عملیات دستی بوده‌اند. دسته‌بندی ماشینی به طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفته است زیرا به یک نسخه مینیاتوری از سیستم جابجایی غلات در مقیاسی نیاز دارد که از نظر اقتصادی منطقی باشد. با این حال، حتی اگر دسته‌بندی ماشینی به طور گسترده‌تری مورد استفاده قرار گیرد، باز هم به انرژی زیادی نیاز دارد. نیروی کار انسانی نیز به انرژی زیادی نیاز دارد (عمدتاً به شکل غذا). اخیراً، در مورد کاربرد بینایی کامپیوتر در کار تمیز کردن و دسته‌بندی غلات گزارش شده. این سیستم‌ها را به عنوان سیستم‌های "مبتنی بر هوش مصنوعی" توصیف می‌کنند که اساساً یک اصطلاح تجاری برای یادگیری عمیق است، نوعی یادگیری ماشینی که در تشخیص الگو خوب است. تصویربرداری فرایضی یکپارچه با هوش مصنوعی می‌تواند به ترکیب دانه، میزان رطوبت آن و سایر عوامل کیفی دست یابد. بینایی کامپیوتر می‌تواند دانه را تقریباً به طور خودکار مرتب کند؛ بهتر از آن، می‌تواند این کار را در زمان واقعی انجام دهد. این گزارش‌ها و گزارش‌های مشابه به چشم‌اندازی از آینده اشاره دارند که در آن می‌توان مصرف انرژی را در فرآوری دانه کاهش داد. مرحله حیاتی انرژی در فرآوری دانه به آرد، کار مکانیکی مورد نیاز برای انجام دو عملیات اساسی آسیاب کردن است: آسیاب کردن و الک کردن. آسیاب کردن، دانه را به ذرات ریز آرد تبدیل می‌کند. الک کردن، آرد را از ذرات بزرگتری که در حین آسیاب کردن نیز تشکیل می‌شوند، جدا می‌کند. وسیله مکانیکی اصلی برای انجام این کار، استفاده از یک جفت چرخ بزرگ و سنگین به نام سنگ آسیاب است که هزاران سال است به اشکال مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. موتورهای الکتریکی بزرگ و ژنراتورهای برق امروزه نسخه‌های بزرگتری از این سنگ‌ها را به حرکت در می‌آورند. اگر فرآیند آسیاب کردن به صورت هوشمندانه بهینه شود، انرژی این موتورها می‌تواند به طور قابل توجهی کاهش یابد. صنعت کشاورزی هنوز به طور کامل به آنچه هوش مصنوعی می‌تواند برای آن انجام دهد، پی نبرده است. اندازه‌گیری و مخلوط کردن



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی

۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵ هتل المپیک - تهران

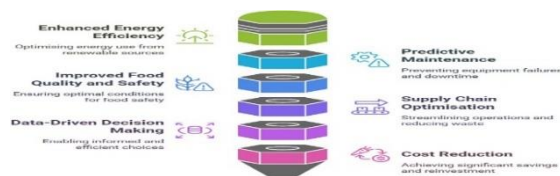


دو کار اساسی و ضروری در عملیات پخت در مقیاس بزرگ مانند این هستند. یک کارگر غیرماهر می تواند این کار را انجام دهد، اما یک سیستم مخلوط کردن هوش مصنوعی آن را بهتر و با ثبات بیشتری انجام می دهد و یک کارگر هوش مصنوعی می تواند فرآیند مخلوط کردن و تخمیر را بسیار مداوم تر و کارآمدتر از آنچه اکنون انجام می دهیم - بدون نیاز به افراد بیشتر - نظارت کند. هوش مصنوعی در این سناریو جایگزین نیروی کار انسانی می شود، اما سناریویی ایجاد نمی کند که در آن افراد کمتری بتوانند همان مقدار کار را انجام دهند. پخت مرحله حیاتی دیگری است که نیاز به کنترل دقیق دما و زمان بندی دارد و انرژی زیادی مصرف می کند. هوش مصنوعی می تواند با تجزیه و تحلیل داده های دسته های قبلی، پارامترهای پخت را بهینه کند تا بهترین شرایط را برای محصولات پخته شده با انرژی کارآمد و با کیفیت بالا پیش بینی کند. سیستم های بینایی مجهز به هوش مصنوعی اکنون می توانند محصولات پخته شده را به طور دقیق رصد کنند و ثبات در شکل ها، اندازه ها و رنگ ها را تضمین کنند. با این حال، حفظ پایداری محصولات پخته شده به نظارت بر دما و رطوبت متکی است که پارامترهای حیاتی هستند که به طور قابل توجهی بر فرآیند پخت و کیفیت محصول تأثیر می گذارند، هزینه های نیروی کار و کارایی فرآیند بسته بندی دو عامل مهم برای حفظ حاشیه سود هستند. بسته بندی می تواند کار فشرده ای باشد و هنگام بسته بندی محصولات پخته شده نیاز به دقت در جابجایی دارد. مطالعات نشان داده است که بسته بندی اغلب از مواد بیشتری نسبت به آنچه برای ایمن نگه داشتن محصول لازم است، ساخته می شود که باعث اتلاف منابع و سنگین تر شدن بسته بندی می شود. بسیاری از کارخانه های بسته بندی هنوز از ابزارهای قدیمی و بدون نظارت استفاده می کنند که باعث اتلاف انرژی و از دست رفتن زمان کار می شود. افراد مسئول بسته بندی اغلب از ادغام با سایر بخش های لجستیک اطمینان حاصل نمی کنند که منجر به استفاده بیشتر از مواد، طراحی های کم بازده تر و حمل و نقل غیربهینه می شود. بنابراین، استفاده از ربات های مبتنی بر هوش مصنوعی در عملیات بسته بندی می تواند هزینه های بسته بندی را به میزان قابل توجهی کاهش داده و کارایی کلی سیستم را افزایش دهد. ربات های مبتنی بر هوش مصنوعی برای کار در یک سیستم حلقه بسته طراحی شده اند که داده های حسی، جابجایی قدرتمند داده ها، عملکرد مکانیکی بالا و بهینه سازی ها را در سراسر سیستم ترکیب می کند. این هم افزایی آنها را قادر می سازد تا وظایف پیچیده بسته بندی را با کارایی و قابلیت اطمینان بیشتری نسبت به کار دستی انجام دهند، در حالی که آسیب به محصول و مصرف انرژی را به حداقل می رسانند. به گفته یایپراسرت و هیدایانتو، هوش مصنوعی اکنون می تواند داده های فروش تاریخی، روند بازار و چند عامل کم اهمیت تر دیگر را برای پیش بینی بهتر تقاضا برای محصولات تجزیه و تحلیل کند. وقتی پیش بینی تقاضا بهتر باشد، برنامه ریزی تولید نیز بهتر خواهد بود. هوش مصنوعی در حال تقویت مراحل فرآوری غلات و نانوائی است، جایی که اعتقاد بر این است که هوشمندترین سیستم ها در آنجا قرار دارند. این سیستم ها که به الگوریتم های پیشرفته و تشنه داده متکی هستند، به نظر می رسد که الگوریتم های ریاضی قادر به پیش بینی خرابی تجهیزات (اغلب خیلی قبل از هر گونه دخالت انسانی) و بهینه سازی تجهیزات، فرآیندها و محصولات نهایی هستند. اجزای موجود در چارچوب صنعت ۴.۰، مانند هوش مصنوعی، فرصت های بهبود یافته ای را در زمان واقعی برای نظارت و مدیریت بهره وری در خط پردازش ارائه می دهند. این قابلیت، مسیرهایی را برای صرفه جویی بهتر در انرژی و به طور بالقوه تولید پایدارتر باز می کند.



۹. پایداری و تأثیر زیست‌محیطی راه‌حل‌های انرژی تجدیدپذیر مبتنی بر هوش مصنوعی در صنایع غذایی

گذار به راه‌حل‌های انرژی تجدیدپذیر مبتنی بر هوش مصنوعی با استفاده از منابع باد، خورشید و بیوژنیک، مزایایی را نسبت به سیستم‌های انرژی صرفاً مبتنی بر فسیلی ارائه می‌دهد، عمدتاً با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مستقیم و غیرمستقیم و سایر اثرات زیست‌محیطی. تقریباً ۸۰٪ از تأثیر زیست‌محیطی بسته‌بندی از فرآیند تولید خود بسته‌بندی ناشی می‌شود، از این رو رقابت‌پذیری میان‌مدت را به خطر می‌اندازد. منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توانند با تطبیق نیازهای متنوع دما و انرژی برای محصولات مختلف، پایداری تجارت مواد غذایی را به طور قابل توجهی افزایش دهند. با کاربرد فنی انرژی تجدیدپذیر مبتنی بر هوش مصنوعی، می‌توان مصرف انرژی را با بهره‌وری انرژی بیشتر کاهش داد و همزمان، اثرات جانبی زیست‌محیطی کم را برای کاهش درصد ضایعات تولید شده در طول مرحله فرآوری مواد غذایی ادغام کرده‌محققان نشان دادند که سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند بهره‌وری منابع فرآوری و نگهداری مواد غذایی را افزایش دهند. این شامل کاهش مصرف انرژی و آب، به حداقل رساندن ضایعات و افزایش بهره‌وری تجهیزات می‌شود. هوش مصنوعی، کشاورزی دقیق در کشاورزی را تسهیل می‌کند که استفاده از کودها، آفت‌کش‌ها و آب را به حداقل می‌رساند و از این رو آلودگی محیط زیست را کاهش می‌دهد. مسئله زیست‌محیطی احتمالی مربوط به پیامدهای زیست‌محیطی زیرساخت‌های هوش مصنوعی است. تولید قطعات الکتریکی برای سیستم‌های هوش مصنوعی می‌تواند ضایعات الکترونیکی تولید کند و نیاز به استخراج مواد معدنی کمیاب دارد که به طور بالقوه منجر به پیامدهای زیست‌محیطی می‌شود. همچنین، ارزیابی چرخه عمر سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر یکی دیگر از تأثیرات زیست‌محیطی است. در حالی که منابع انرژی تجدیدپذیر عموماً پاک در نظر گرفته می‌شوند،



تولید، نصب و دفع پنل‌های خورشیدی، توربین‌های بادی و باتری‌ها می‌توانند اثرات زیست‌محیطی داشته باشند. بنابراین، انجام ارزیابی‌های کامل چرخه عمر برای ارزیابی ردپای کلی زیست‌محیطی این سیستم‌ها ضروری است. علاوه بر این، اتخاذ شیوه‌های هوش مصنوعی در تکنیک‌ها و سیستم‌های فرآوری صنایع غذایی، درک بهتری از استفاده از منابع و ضایعات ایجاد شده را فراهم می‌کند و امکان توسعه شیوه‌های پایدارتر برای برآوردن تقاضای مشتری و مقررات مورد انتظار را فراهم می‌کند.

شکل ۱۵. مزایای هوش مصنوعی در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر برای فرآوری و نگهداری مواد غذایی

۱۰. پیامدهای اجتماعی-اقتصادی ادغام هوش مصنوعی با انرژی‌های تجدیدپذیر در فرآوری و نگهداری مواد غذایی

۱۰.۱. تأثیرات مثبت اجتماعی-اقتصادی



ادغام هوش مصنوعی در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر برای فرآوری و نگهداری مواد غذایی، فرصتی متحول‌کننده برای افزایش کارایی، پایداری و ایمنی مواد غذایی ارائه می‌دهد (شکل ۱۵). این ادغام همچنین مزایای قابل توجهی از جمله افزایش بهره‌وری انرژی، بهبود کیفیت غذا، بهینه‌سازی زنجیره تأمین و کاهش هزینه را ارائه می‌دهد. کاربردهای هوش مصنوعی می‌توانند به طور قابل توجهی بهره‌وری انرژی را در تأسیسات فرآوری مواد غذایی بهبود بخشند. با تجزیه و تحلیل داده‌ها از منابع مختلف، هوش مصنوعی می‌تواند مصرف انرژی را بهینه کند و اطمینان حاصل کند که منابع انرژی تجدیدپذیر، مانند انرژی خورشیدی یا بادی، به طور مؤثر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این امر منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی و ردپای کربن کمتر می‌شود که با اهداف پایداری جهانی همسو است. محققان گزارش دادند که سیستم‌های نگهداری پیش‌بینی‌شده مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند سلامت تجهیزات را در زمان واقعی رصد کنند، خرابی‌ها را قبل از وقوع پیش‌بینی کنند، زمان از کارافتادگی و هزینه‌های نگهداری را به حداقل برسانند. این سیستم‌ها، با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهند. هوش مصنوعی می‌تواند با پیش‌بینی تقاضا و بهینه‌سازی سطح موجودی، کارایی زنجیره تأمین را بهبود بخشد و تولید اضافی و ضایعات را در تأسیسات فرآوری مواد غذایی کاهش دهد. ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر، پایداری را بیشتر افزایش داده و تأثیرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. برنامه‌های هوش مصنوعی می‌توانند با بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش ضایعات، هزینه‌های انرژی را برای شرکت‌های فرآوری مواد غذایی به طور قابل توجهی کاهش دهند. منابع انرژی تجدیدپذیر به کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری اقتصادی عملیات و تقویت نوآوری و رشد کمک می‌کنند [۱۵]. هوش مصنوعی می‌تواند تأثیر زیادی بر توسعه راه‌حل‌های انرژی تجدیدپذیر و ادغام بهینه مزایای انرژی سبز داشته باشد. این تأثیرات هوش مصنوعی بر اساس میزان نیاز فناوری انرژی تجدیدپذیر به تکرارپذیری، توانمندسازی، تحمل خطا، پیش‌بینی و تصمیم‌گیری، وظایف تکراری و انعطاف‌پذیری برای بهبود با داده‌های جدید است. فناوری‌های هوش مصنوعی با بیشترین پتانسیل برای کمک به حل مشکلات مربوط به انرژی تجدیدپذیر و بهبود مزایای آنها شامل روش‌های یادگیری ماشین، روش‌های پردازش زبان طبیعی، فناوری یادگیری عمیق، رباتیک و پهپادها برای بازرسی انرژی تجدیدپذیر، نیروگاه‌های مجازی و تجارت انرژی‌های تجدیدپذیر، کشاورزی دیجیتال و بلاکچین هستند. به طور خاص، می‌توان ارزش افزوده هوش مصنوعی در فناوری‌های سبز موجود را افزایش داد، هوش مصنوعی را به عنوان یک راه حل ظریف‌تر از روش‌های سنتی حل مشکلات مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر بررسی کرد، از روش‌های هوش مصنوعی برای کمک به توسعه تحقیقات خود استفاده کرد و توانایی استفاده از تکنیک‌های مشتق شده از هوش مصنوعی قوی، به ویژه شهود، خلاقیت و هوش هیجانی انسانی، را برای کمک به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب ادغام هوش مصنوعی به میزان کم یا زیاد مورد نیاز، به کاربرد. علاوه بر این، قابلیت‌های تولیدی هوش مصنوعی، مدل‌های تجاری جدیدی را برای نسل‌های آینده تأسیسات فراهم می‌کند و راه‌های جدیدی را برای تأمین بودجه برای انرژی‌های تجدیدپذیر تسهیل می‌کند. بنابراین، یافته‌های هوش مصنوعی می‌تواند یک تغییر دهنده بازی باشد، نه تنها به این دلیل که افرادی را که در این زمینه متخصص نیستند، آگاه می‌کند، بلکه به این دلیل که به مفید و کاربرپسند کردن فوری انرژی‌های تجدیدپذیر کمک می‌کند. با افزایش تقاضا برای شیوه‌های پایدار، نقش هوش مصنوعی در این بخش به طور فزاینده‌ای حیاتی خواهد شد. [۱]

۱۰.۲. چالش‌های بالقوه اجتماعی-اقتصادی

کاربرد هوش مصنوعی و انرژی‌های تجدیدپذیر در صنایع غذایی در چند سال گذشته توجه قابل توجهی را به خود جلب کرده است. با این حال، پیاده‌سازی آنها در بخش مواد غذایی به دلیل چالش‌های متعدد هنوز در مرحله نوپایی است.



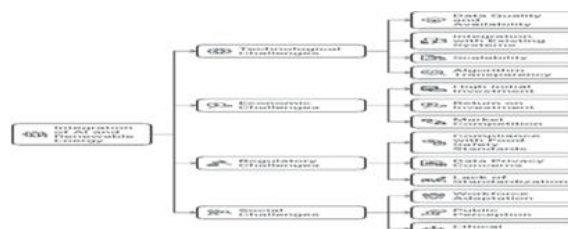
شکل ۱۶ موانع کلیدی پیش روی پیاده سازی کاربردهای هوش مصنوعی در این زمینه، از جمله عوامل فناوری، اقتصادی، نظارتی و اجتماعی را نشان داد. چالش اصلی در لوازم خانگی مجهز به هوش مصنوعی و انرژی های تجدیدپذیر، هزینه تبدیل است که سرمایه گذاری قابل توجهی محسوب می شود. به خصوص در مورد ماشین آلات غذایی مجهز به هوش مصنوعی، ادغام نرم افزار هوش مصنوعی با سخت افزار هوش مصنوعی دشوار است. نیاز به پرسنل ماهری وجود دارد که در هوش مصنوعی و همچنین در تجزیه و تحلیل انرژی های تجدیدپذیر مهارت داشته باشند. این صنعت تحت شیوه های سنتی فعالیت می کند. بنابراین، مردم عموماً نمی خواهند از سیستم تثبیت شده منحرف شوند و در برابر تغییر مقاوم هستند. بنابراین، افرادی که به منابع و آموزش دسترسی دارند، ممکن است بیش از دیگران از هوش مصنوعی بهره مند شوند. علاوه بر این، اتوماسیون عملیات خاص فرآوری مواد غذایی با استفاده از هوش مصنوعی ممکن است منجر به جابجایی شغلی، به ویژه در بین کارگران غیرماهر شود. سرمایه گذاری در برنامه های بازآموزی و ارتقاء مهارت برای کاهش این خطر ضروری است. ادغام هوش مصنوعی و انرژی های تجدیدپذیر می تواند رشد اقتصادی را افزایش دهد. با این حال، این امر می تواند نابرابری های موجود را تشدید کند، زیرا کشاورزان و تولیدکنندگان مواد غذایی ثروتمندتر ممکن است از این فناوری ها سود بیشتری ببرند و این امر مستلزم استراتژی های سیاست گذاران برای دسترسی عادلانه است. سرمایه اولیه مورد نیاز برای هوش مصنوعی و فناوری های انرژی تجدیدپذیر ممکن است مانعی برای کشاورزان و شرکت های کوچک باشد. در نتیجه، راه حل های مقرون به صرفه و در دسترس برای دسترسی عادلانه به این فناوری ها ضروری است. همچنین، معرفی فناوری های جدید نباید شکاف بین ثروتمندان و فقرا را افزایش دهد. برنامه ریزی و اجرای دقیق برای اطمینان از توزیع مزایا در سراسر جمعیت مورد نیاز است. جمع آوری و استفاده از داده ها در سیستم های مبتنی بر هوش مصنوعی، نگرانی هایی را در مورد حریم خصوصی و امنیت، به ویژه در زمینه هایی با چارچوب های نظارتی ضعیف، ایجاد می کند. جمع آوری داده ها و کیفیت داده ها نقش حیاتی در هوش مصنوعی دارند. بنابراین، حسگرهای نصب شده در ماشین ها باید از کیفیت خوب و بسیار سریع باشند. علاوه بر این، دستیابی به داده های برچسب گذاری شده یک مانع است و شبیه سازی داده ها را به یک عنصر حیاتی تبدیل می کند. بنابراین، اطمینان از مدیریت مسئولانه داده ها ضروری است. فقدان دستورالعمل های استاندارد برای کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت غذا می تواند منجر به ناهماهنگی در اجرا و انطباق شود و مانع از اعتماد شرکت ها به پذیرش آنها شود. بین و ژائو نشان دادند که چندپارگی این صنعت به طور قابل توجهی مانع از ترویج نوآوری می شود. در نتیجه، کسب و کارهایی که معمولاً کاربردهای هوش مصنوعی را در بخش غذا توسعه می دهند، با استانداردهای غذایی آشنایی ندارند و این امر مستلزم رعایت طیف وسیعی از دستورالعمل های استاندارد هنگام ارائه این دستگاه ها به مصرف کنندگان است. علاوه بر این، پیامدهای اخلاقی هوش مصنوعی در فرآوری مواد غذایی، به ویژه از نظر جابجایی شغلی و فرآیندهای تصمیم گیری، نیاز به بررسی دقیق برای اجرای مسئولانه دارد. مزایای بالقوه ادغام کاربردهای هوش مصنوعی با انرژی های تجدیدپذیر در فرآوری و نگهداری مواد غذایی قابل توجه است. با این وجود، موانع ذکر شده باید برای امکان استقرار موفقیت آمیز حل شوند. با پرداختن به چالش های تکنولوژیکی، اقتصادی، حقوقی و اجتماعی، می توان یک بخش فرآوری مواد غذایی پایدارتر و کارآمدتر را که از هوش مصنوعی و انرژی های تجدیدپذیر استفاده می کند، پیش برد. در حال حاضر، چندین استراتژی استاندارد برای کاهش این چالش ها استفاده می شود. دولت ها و سایر سازمان های بین المللی یارانه هایی را برای سیستم های انرژی تجدیدپذیر ارائه می دهند. با وجود این تلاش ها، این مسائل همچنان وجود دارند و مانع از استقرار هوش مصنوعی در تجارت مواد غذایی می شوند. [۱]



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی ۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵ هتل المپیک - تهران



سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج
فناوری های نوین غذایی



شکل ۱۶. چالش های پیاده سازی کاربردهای هوش مصنوعی در انرژی های تجدیدپذیر برای فرآوری و نگهداری مواد غذایی.

نتیجه گیری

تلاش برای گنجاندن راه حل های انرژی تجدیدپذیر در صنعت مواد غذایی با توجه به پرهزینه تر و غیرقابل اعتمادتر شدن منابع انرژی متعارف، در حال افزایش است. این مقاله، گنجاندن هوش مصنوعی در فناوری های انرژی تجدیدپذیر و راه حل های شبکه هوشمند را برای بهبود عملیات فرآوری و نگهداری مواد غذایی توضیح می دهد. این مقاله به تفصیل بیان کرده است که ادغام هوش مصنوعی با انرژی تجدیدپذیر در فرآوری مواد غذایی، پیشرفتی محوری به سوی یک بخش پایدارتر، کارآمدتر و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است. بخش فرآوری مواد غذایی انرژی بر است و به سوخت های فسیلی برای گرمایش، سرمایش و حمل و نقل وابسته است و به طور قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه ای نقش دارد. گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، باد، زیست توده و زمین گرمایی می تواند به کاهش آلودگی محیط زیست کمک کند. آسیب های کلی، کاهش هزینه ها و تقویت امنیت انرژی. فناوری های هوش مصنوعی، از جمله یادگیری ماشین، بینایی کامپیوتر و تجزیه و تحلیل پیش بینی، تضمین کیفیت، نگهداری پیش بینی کننده و بهینه سازی فرآیند را تسهیل می کنند. هوش مصنوعی کارایی زنجیره تأمین و پیش بینی تقاضا را افزایش می دهد و عملیات با بهره وری انرژی را تسهیل می کند. [۱]

منابع

- [1] Jelili Babatunde et al., 2025 Department of Bioresources Engineering, School of Engineering, University of KwaZulu-Natal, Private Bag X01, Pietermaritzburg, Scottsville, 3209, South Africa
- [2] Cai et al., 2023 The relationship between interdisciplinarity and citation impact—a novel perspective on citation accumulation.
- [3] Althani et al., 2025 Food security—renewable energy nexus: innovations and shocks in Saudi Arabia.

- [4] Dwivedi et al., 2022 Climate change and cop26: are digital technologies and information management part of the problem or the solution An editorial reflection and call to action.
- [5] Kashem et al., 2024 Digital-era resilience: navigating logistics and supply chain operations after covid-19
- [6] Mallesham et al., 2022 The role of ai and ml in revolutionizing supply chain management.
- [7] Tripathy et al., 2024 Systematic literature review and bibliometric analysis of energy efficiency.
- [8] Ang et al., 2022 A comprehensive study of renewable energy sources: classifications, challenges and suggestions.
- [9] Addanki et al., 2022 Recent advances and applications of artificial intelligence and related technologies in the food industry.
- [10] Hadi et al., 2025 Artificial intelligence for microgrids design, control, and maintenance: a comprehensive review and prospects.
- [11]Owolabi et al., 2024 Integration of renewable energy-powered cold storage .solutions for reducing post harvest food waste in rural agricultural areas
- [12] Khan et al., 2022 Applications of artificial intelligence in climate-resilient smart-crop breeding.
- [13]Burgess et al., 2023 A review of supply chain quality management practices in sustainable food networks.
- [14] Dhal et al., 2025 Leveraging artificial intelligence and advanced food processing techniques for enhanced food safety, quality, and security: a comprehensive review
- [15] Silva et al., 2023 Factors influencing free and open-source software adoption in developing countries—an empirical study.