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

بسم الله الرحمن الرحیم

فناوری‌های مدیریت پسماندهای صنایع غذایی

منصوره مظاهری، هیات علمی پژوهشگاه استاندارد
Email:m_mazaheri@standard.ac.ir

کدمقاله:EFAB015831107

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

چکیده "پسماندهای صنایع غذایی و کشاورزی به عنوان یکی از چالش‌های اساسی زیست‌محیطی و اقتصادی در جهان مطرح هستند. این پسماندها شامل مواد آلی، پساب و محصولات جانبی هستند که در صورت مدیریت نامناسب می‌توانند اثرات مخرب زیست‌محیطی ایجاد کنند. با توجه به افزایش جمعیت و تقاضای مواد غذایی، تولید این پسماندها نیز افزایش یافته است و مدیریت آن‌ها به یک ضرورت تبدیل شده است. راه‌حل‌های سنتی مانند دفن در محل‌های دفن یا سوزاندن نه تنها منابع ارزشمند را از دست می‌دهند، بلکه انتشار گازهای گلخانه‌ای را افزایش می‌دهند. لذا بهره‌گیری از فن‌آوری‌های تبدیل پسماندها به انرژی تجدیدپذیر برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و تأمین نیازهای انرژی مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، روش‌های نوین مدیریت پسماند و تبدیل آن‌ها به منابع انرژی تجدیدپذیر و یا استفاده در صنایع دیگر توجه زیادی به خود جلب کرده‌اند. این مقاله مروری به بررسی فناوری‌های مدیریت پسماندهای غذایی، و چشم‌اندازهای تبدیل پسماندها به انرژی و استفاده صنعتی می‌پردازد.

کلید واژه‌ها:پسماند، غذا، انرژی، تجدیرپذیر

مقدمه :

ضایعات و یا پسماندهای مرتبط با مواد غذایی را می‌توان به چند دسته کلی تقسیم کرد:

- پسماندهای آلی غذا و پساب‌های مرتبط با صنایع غذایی
- باقیمانده‌های کشاورزی (گیاهی و حیوانی)
- پسماندهای فرآوری محصولات غذایی

تمام این پسماندها به دلیل محتوای بالای مواد آلی، پتانسیل بالایی برای تبدیل به انرژی از طریق فرآیندهای بیولوژیکی و حرارتی دارند. این ضایعات می‌توانند به عنوان ماده اولیه برای سوخت‌های زیستی به جای سوزاندن، دفن یا دفن زباله که منجر به مشکلات اقتصادی، زیست‌محیطی و بهداشتی مانند بیماری‌های منتقله از آب، بیماری‌های تنفسی و بیماری‌های ریوی می‌شود، مورد استفاده قرار گیرند. تبدیل توده لیگنوسلولزی به انرژی سبز شامل بیوگاز، بیواتانول و بیوهیدروژن می‌تواند به مدیریت پسماندهای کشاورزی کمک کند و در عین حال به مدل کربن خنثی نیز کمک کند. همچنین امروزه با توجه به اهمیت اقتصاد چرخشی استفاده از ضایعات مواد غذایی در صنعت بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

نتیجه استفاده از یک تن ضایعات میوه و سبزی

کاهش نیم تا یک تن نشر گاز دی اکسید کربن

تولید ۴۰۰ تا ۶۰۰ کیلو کمپوست

ذخیره سازی ۱۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ لیتر آب بسته به نوع ماده غذایی

تولید بیوگاز برای روشنایی تا ۱۰ خانه در روز

روش‌های تبدیل پسماندهای آلی به انرژی

- **هضم بی‌هوازی**(Anaerobic Digestion) و تولید بیوگاز با تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها در غیاب اکسیژن (یکی از راهکارهای کلیدی در رسیدن به اقتصاد چرخشی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و هزینه‌های ارسال زباله‌های غذایی به محل دفن زباله، تولید انرژی تجدیدپذیر)

-تبدیل حرارتی (Thermochemical Conversion)

- تبدیل پسماندهای آلی به محصولات انرژی‌زا مانند بیوچار و بیواتانول با پیرولیز، گازی‌سازی و کربونیزاسیون هیدروترمال (مناسب برای پسماندهای با رطوبت بالا و مواد چگال، بهینه‌سازی استفاده از منابع، کاهش آلاینده‌ها و ایجاد ارزش افزوده، کاهش حجم پسماند و حذف عوامل بیماری‌زا، و امکان استفاده در تولید برق و حرارت)

ضایعات مواد غذایی

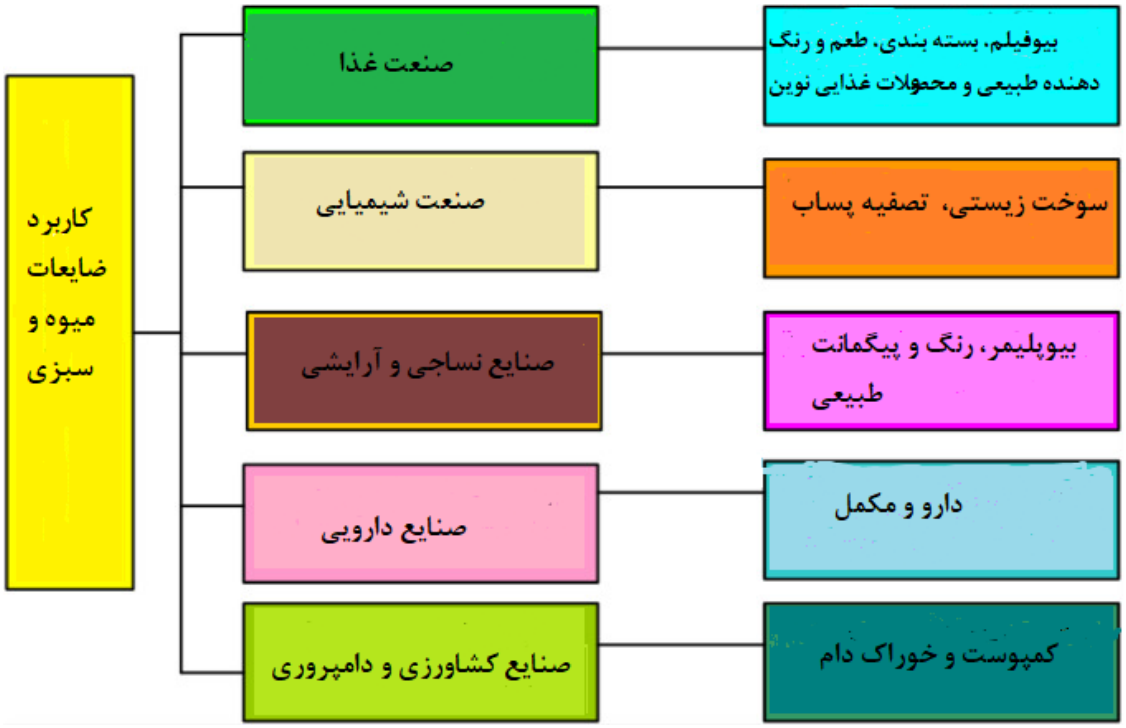
تولید جهانی میوه بیش از ۸۰۰ میلیون تن و تولید بیش از ۵۰۰ میلیون تن زباله توسط صنایع فرآوری (ضایعات میوه‌های خوراکی (۷.۶۵ کیلوگرم به ازای هر نفر) و ضایعات سبزیجات خوراکی (۱۶ کیلوگرم به ازای هر نفر) بیشترین سهم را در ٪۳۸ از کل زباله‌های غذایی جهان دارند. سالانه، این میزان معادل استفاده از ۱۵.۷۸ متر مربع زمین کشاورزی، ۱.۳۵۸ کیلوگرم معادل CO_2، ۲۳۲.۸۷ گرم نیتروژن، ۳۸۱۰.۶ لیتر آب شیرین و ۳۸.۵۴۴ گرم فسفر به ازای هر نفر برای تولید محصولات کشاورزی است). ضایعات مواد غذایی تقریباً یک چهارم از انتشار گازهای گلخانه ای از صنایع غذایی یا ۶ درصد از کل آلودگی جهانی را تشکیل می دهند.

هر ساله بیش از ۱۴ درصد از عرضه غذای جهان یا چهارصد میلیارد دلار بین تولید و بازاریابی هدر می رود. در مقابل، تقریباً ۱۷ درصد از آنچه خورده می شود در سطوح خانگی، فروش و خدمات غذایی از بین می رود یا هدر می رود.

سوزاندن بقایای باقیمانده با محتوای آب قابل توجه، دیوکسین منتشر می کند که به مشکلات زیست محیطی کمک می کند. علاوه بر این، سوزاندن ارزش اقتصادی مواد را کاهش می دهد و از بازیابی مواد معدنی ضروری و جلوگیری می کند.

کاربردهای ضایعات میوه و سبزی

ضایعات میوه و سبزی چشم‌انداز امیدوارکننده‌ای را برای استفاده در صنایع غذایی، مراقبت‌های بهداشتی و مراقبت از پوست ارائه می‌کنند. شکل زیر انواع موارد استفاده از ضایعات میوه و سبزیجات در کاربردهای صنعتی متنوع را نشان می دهد.



کاربردهای ضایعات میوه و سبزی

سوخت زیستی: با استفاده از مایع‌سازی هیدروترمال قبل از هضم بی‌هوازی، زباله تحت فشار پخته می‌شود تا یک روغن زیستی خام تولید شود که می‌تواند به سوخت زیستی تصفیه شده و برای تولید مقادیر تجاری برق و گرما استفاده شود.

تولید پالت ۱۰۰٪ بدون درخت و کاملاً ساخته شده از پوسته‌های نارگیل دور ریخته شده، بدون سوزاندن. بدون جنگل‌زدایی و قوی، پایدارو مقیاس‌پذیر و سازگار با محیط زیست: ادعای تولید پالتی با سطح صاف و با پرداختی شبیه به لایه روغن، ابعاد دقیق، بدون پلیسه و قدرت تحمل بار دینامیکی ۱.۵ تن، ظرفیت بار استاتیک ۶ تن، ضد آب و مقاوم در برابر رطوبت و فراتر از استانداردهای صنعتی

استفاده مشابه از سایر ضایعات کشاورزی مختلف مانند خاک اره، پوسته برنج، کاه، تفاله نیشکر، پوسته بادام زمینی، بامبو، ساقه پنبه و.....

تبدیل اقلام یکبار مصرف به دارایی‌های حیات‌بخش

در ژاپن، روزنامه ماینیچی شیمبون نسخه ویژه‌ای را منتشر کرد که روی کاغذ زیست‌تخریب‌پذیر و بذرکار چاپ شده بود. پس از خواندن، می‌توان آن را کاشت در هر یک از صفحات آن دانه‌هایی تعبیه شده بود که پس از کاشت، به گل تبدیل می‌شدند تا پروانه‌ها و سایر گرده‌افشان‌ها را جذب کنند. برخی از نسخه‌ها حتی می‌توانستند گیاهان دارویی برای خوردن پرورش دهند. این روزنامه‌ها حاوی دستورالعمل‌هایی برای هر کسی بود که کاغذها را برمی‌داشت. تیراژ فعلی آن بیش از چهار میلیون نسخه در روز در ژاپن است با درآمد بیش از هشتاد میلیون ین (معادل بیش از ۵۰۰۰۰۰ پوند)

نتیجه : مشارکت فعال زیست‌محیطی، الهام‌بخش کسب و کار، نوآوری و پایداری

ترویج کارت‌های تبریک کاشتنی در اکثر مغازه‌های لوازم التحریر و سوپرمارکت‌ها

تولید انرژی از ضایعات میوه و سبزی

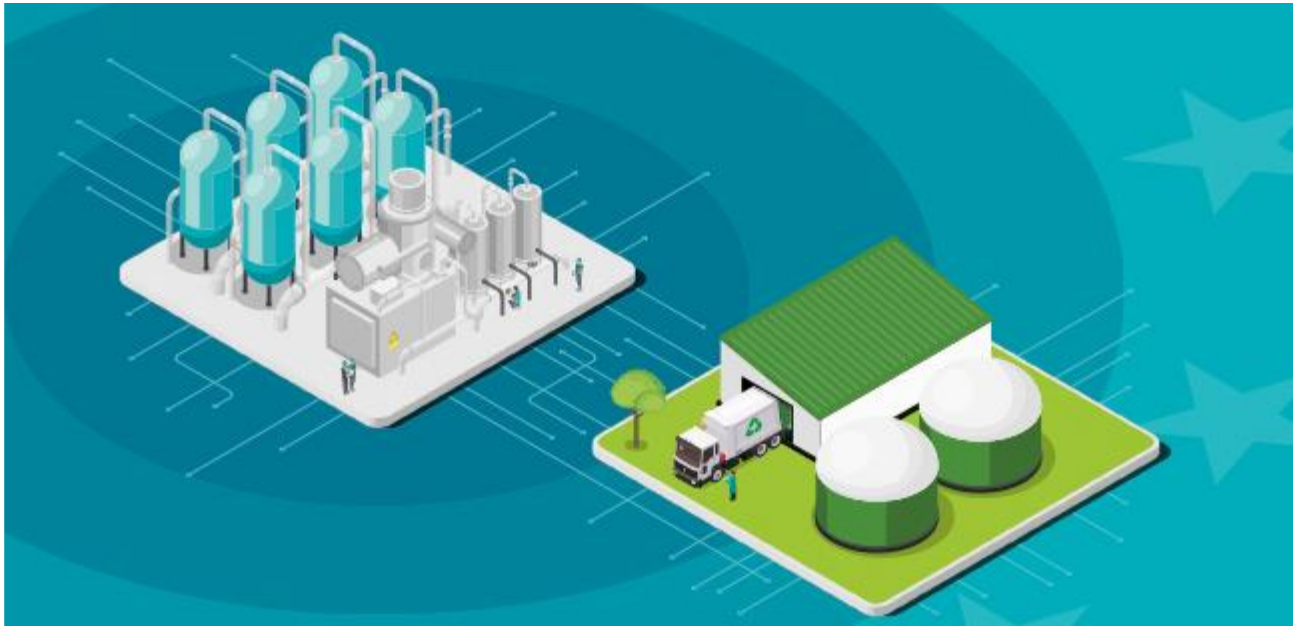
شرکتAuREUS Solar ضایعات میوه و سبزیجات را به انرژی تبدیل می‌کند و آب زباله را متمایز از پنل‌های خورشیدی سنتی (زیرا پنل‌های معمولی به نور مستقیم خورشید متکی هستند، بنابراین راندمان در روزهای ابری به شدت کاهش می‌یابد) به برق تبدیل می‌کند.

نتیجه : استفاده از منبع انرژی پاک و نامحدود، کاهش ضایعات مواد غذایی، کاهش تغییرات اقلیمی، پایداری زیست‌محیطی و مزایای اقتصادی برای جوامع کشاورزی

پنجره خورشیدی و دیوار خورشیدی که هر دو شامل یک لایه از لومینسانس آلی استخراج شده از زباله‌های غذایی معلق در یک بستر رزینی هستند. در داخل پنل، رزین مخصوصی وجود دارد که با عصاره استخراج شده از میوه‌ها و سبزیجات دورریختنی پر شده است. این عصاره حاوی ذراتی است که نور ماوراء بنفش را جذب کرده و آن را درون پنل هدایت می‌کند و حتی زمانی که خورشید به شدت نمی‌تابد، برق تولید می‌کند. در شرایط ابری عملکرد بسیار بهتری دارد. بازده بالقوه نزدیک به ۵۰٪، در مقایسه با ۲۰ تا۲۵٪ برای پنل‌های استاندارد در نور کم می‌تواند فراتر از پشت بام‌ها - پنجره‌ها، نمای ساختمان‌ها، شیشه ماشین - اعمال شود.

پیل سوختی میکروبی مبتنی بر ضایعات برنج، سبزیجات و میوه (فناوری Waga Box)

تبدیل بیوگاز حاصل از زباله‌های خانگی به انرژی تجدیدپذیر (بیومتان) که می‌تواند برق تا ۳۰۰۰ خانوار را تأمین کند. این نام دارد، در گرمایش، پخت و پز، آب حمام و غیره کاربرد دارد. تولید برق از بیوگاز تنها ٪۴۰ راندمان الکتریکی دارد، اما تولید بیومتان امکان ارزش‌آفرینی ٪۹۰ از انرژی را فراهم می‌کند.



نمونه هایی از استفاده از ضایعات مواد غذایی

بیوپلیمر پرتقال

نمونه هایی از استفاده از ضایعات مواد غذایی

یک ماده جدید ساخته شده از انبه و موز،
جایگزینی بدون ظلم به حیوانات و سازگار با
محیط زیست برای چرم حیوانی

چرم مصنوعی ساخته شده از ضایعات مواد غذایی

نمونه هایی از استفاده از ضایعات مواد غذایی

نمونه هایی از استفاده از ضایعات مواد غذایی

رنگرزی طبیعی پشم با استفاده از تفاله قهوه ضایعاتی

الیاف پروتئینی مهندسی‌شده

منسوجات قارچی پایدار: رویکردی نوین برای استفاده مجدد از ضایعات مواد غذایی

کلاژ عکسی که تکه‌هایی از ضایعات نان که برای خشک شدن باقی مانده‌اند، قارچ‌های رشته‌ای زیر میکروسکوپ، نمونه‌های اولیه نخ قارچی، مواد چرم مانند و پلاستیک را نشان می‌دهد. محققان در آزمایشگاه بیوتکنولوژی، کیسه‌هایی از زیست‌توده قارچی برداشت شده را در دست دارند.

هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین (رویکرد دیجیتالی برای توسعه انرژی‌های سبز و تجدیدپذیر و پایدار)

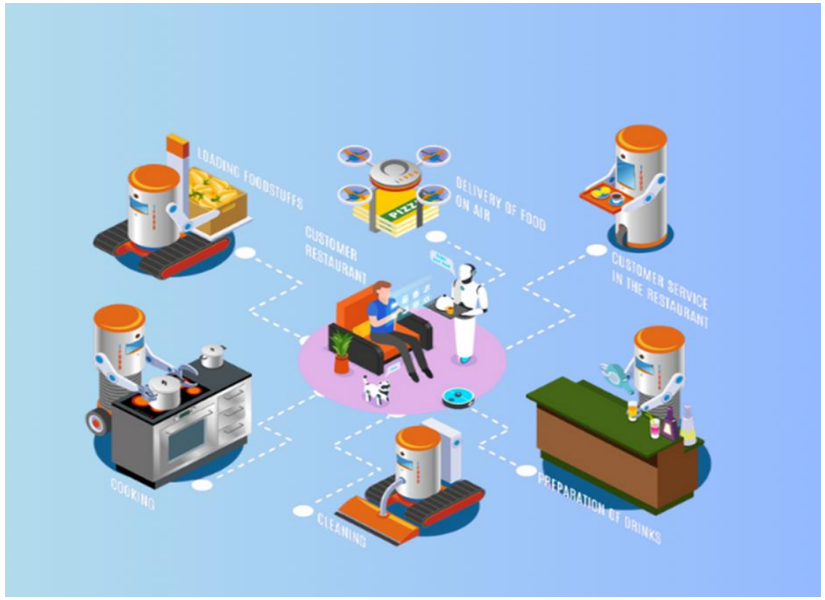
- هوش مصنوعی می‌تواند بیشترین تأثیر را در تغییر به یک سیستم غذایی چرخشی بر اساس موارد زیر داشته باشد:

- تهیه مواد غذایی که به صورت پایدار و محلی در صورت امکان کشت می‌شوند.
- طراحی برای جلوگیری از ضایعات غذایی قابل اجتناب (هوش مصنوعی تقاضا را دقیق‌تر پیش‌بینی می‌کند و تولید بیش از حد و ضایعات را کاهش می‌دهد).
- توسعه و بازاریابی اقلام غذایی سالم‌تر و بهینه‌سازی زنجیره‌های تأمین (هوش مصنوعی موجودی و حمل و نقل را بهینه می‌کند).
- هوش مصنوعی با به حداقل رساندن ضایعات و افزایش پایداری از طریق بهبود کارایی و فرآیندهای هوشمندتر، صنعت غذا را متحول می‌کند. هوش مصنوعی مصرف انرژی در تولید را کاهش می‌دهد و نشر ردپای کربن را پایین می‌آورد.

- هوش مصنوعی به طراحی بسته‌بندی سازگار با محیط زیست کمک می‌کند و منجر به کاهش استفاده از پلاستیک در سال‌های اخیر شده است.

کاربردهای هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین

- مطالعه کاربرد هوش مصنوعی در چرخه تولید بیواتانول، پیش‌تیمار، هیدرولیز و تخمیر از طریق شبکه‌های عصبی مصنوعی
- بررسی الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شناسایی الگوها و همبستگی‌های بین فرآیندهای مختلف برای افزایش تولید و راندمان تولید بیوهیدروژن با بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند (مانند pH، دما و غلظت مواد مغذی)
- بهره گیری از یادگیری ماشین برای تجزیه و تحلیل میزان سوخت زیستی حاصل از چرخه انرژی هیبریدی (توسعه یافته با هیبرید کردن انرژی‌های خورشیدی و زیست توده)
- مدل‌سازی پیش‌بینی برای پیش‌بینی جریان ورودی زباله و بهینه‌سازی تخصیص منابع



کاربردهای هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین

فناوری	مثال	نقش در توسعه پایدار
یادگیری ماشین	یادگیری ماشین می‌تواند الگوهای رفتاری مصرف‌کننده را برای پیش‌بینی خرید مواد غذایی و کاهش تولید بیش از حد تجزیه و تحلیل کند.	می‌تواند با بهینه‌سازی عملکرد محصول بر اساس الگوهای آب و هوایی و شرایط خاک، به تولید پایدار مواد غذایی کمک کند.
تشخیص تصویر با هوش مصنوعی	در کنترل کیفیت اقلام غذایی در طول تولید و بسته‌بندی استفاده می‌شود. با شناسایی محصولات بی‌کیفیت قبل از رسیدن به دست مصرف‌کنندگان، به کاهش ضایعات کمک می‌کند.	تشخیص تصویر هوش مصنوعی می‌تواند با اطمینان از بسته‌بندی و فروش فقط محصولات باکیفیت، به کاهش ضایعات مواد غذایی کمک کند و نرخ بازگشت کالا و ضایعات بعدی را کاهش دهد.
پردازش زبان طبیعی (NLP)	پردازش زبان طبیعی می‌تواند بازخورد ارائه شده توسط مشتریان در مورد محصولات و خدمات غذایی را برای کاهش ضایعات مواد غذایی تفسیر کند.	پردازش زبان طبیعی می‌تواند با تجزیه و تحلیل بازخورد مشتری برای شناسایی تقاضا برای گزینه‌های سالم‌تر یا بهبود اقلام موجود، به توسعه اقلام غذایی سالم‌تر کمک کند.
کشاورزی هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی	کاربردهای هوش مصنوعی می‌توانند روش‌های کشاورزی، انتخاب محصول و پیش‌بینی عملکرد را بهبود بخشند، اتلاف غیرضروری منابع را کاهش دهند و اقتصاد چرخشی را ترویج دهند.	هوش مصنوعی می‌تواند با بهینه‌سازی شرایط رشد گونه‌های محلی و پیش‌بینی تقاضای بازار برای کاهش ضایعات، از تولید مواد غذایی محلی پشتیبانی کند.
اینترنت اشیا (IoT) و هوش مصنوعی	دستگاه‌های اینترنت اشیا می‌توانند داده‌هایی در مورد شرایط نگهداری مواد غذایی جمع‌آوری کنند، و هوش مصنوعی می‌تواند این داده‌ها را تجزیه و تحلیل کند تا از فساد جلوگیری کرده و ماندگاری محصولات غذایی را بهبود بخشد.	فناوری اطلاعات و هوش مصنوعی می‌توانند با ردیابی ارزش غذایی در طول ذخیره‌سازی و اطلاع‌رسانی به مصرف‌کنندگان، از توسعه اقلام غذایی سالم‌تر پشتیبانی کنند.
بلاکچین و هوش مصنوعی	ترکیبی از بلاکچین و هوش مصنوعی می‌تواند قابلیت ردیابی را در زنجیره تأمین مواد غذایی تضمین کند و ضایعات مواد غذایی و کلاهبرداری را کاهش دهد.	بلاکچین و هوش مصنوعی می‌توانند با تضمین شفافیت و پاسخگویی در سراسر زنجیره تأمین، به کاهش ضایعات مواد غذایی کمک کرده و تلفات و ناکارآمدی‌ها را کاهش دهند.
یادگیری تقویتی	سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند لجستیک مواد غذایی و مدیریت زنجیره تأمین را بهینه کنند، یاد بگیرند که با گذشت زمان بهبود یابند و ضایعات مواد غذایی را کاهش دهند.	یادگیری تقویتی می‌تواند با بهینه‌سازی مسیرها و زمان‌های تحویل، از تولید مواد غذایی محلی پشتیبانی کند تا از تازگی و کیفیت محصولات اطمینان حاصل شود.

بحث و نتیجه گیری:

مدیریت پسماندهای غذایی در حال تبدیل شدن به یک مشکل جهانی است. توانایی بهینه‌سازی منابع، به حداقل رساندن ضایعات و کاهش ردپای کربن برای برآورده کردن تقاضای رو به رشد غذا در جهان و در عین حال کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ضروری است. مطالعات متعدد روی مواد غذایی گیاهی پتانسیل آنها را به‌عنوان بسترهای سوخت زیستی و استفاده در صنعت خلاصه کرده‌اند. پیشرفت‌ها در پیش‌تیمارها و استفاد ه از پسماند مواد غذایی، ترکیب فناوری نانو و هوش مصنوعی در فناوری‌های مختلف در حال افزایش محبوبیت هستند. پرداختن به این موانع نیازمند تلاش مشترک بین متخصصان فناوری، محققان، سیاست‌گذاران و ذینفعان صنعت است. ادغام هوش مصنوعی با فناوری‌های مکمل مانند اینترنت اشیا و کلان‌داده، فرصت‌های بیشتری را برای ایجاد یک سیستم غذایی هوشمندتر و کارآمدتر ارائه می‌دهد.

تحقیقات آینده باید بر غلبه بر موانع حریم خصوصی داده‌ها، سوگیری‌های مدل و انطباق با مقررات تمرکز کنند و اطمینان حاصل کنند که پتانسیل دگرگون‌کننده هوش مصنوعی به طور کامل محقق می‌شود. با تقویت همکاری بین رشته‌ای و استانداردسازی پروتکل‌های داده، می‌توانیم یک زنجیره تأمین غذایی پایدارتر، کارآمدتر و مقاوم‌تر بسازیم که هم برای مردم و هم برای سیاره زمین برای نسل‌های آینده مفید باشد.

منابع و ماخذ

- Alengebawy, A., Ran, Y., Osman, A.I. et al. (2024), “Anaerobic digestion of agricultural waste for biogas production and sustainable bioenergy recovery: a review,”. Environ Chem Lett **22**, 2641–2668 (2024). https://doi.org/10.1007/s10311-024-01789-1
- Quan, C., Ravelomanantsoa, V.S., Olazar, L. et al. (2025)), “ Thermochemical conversion of waste into energy: a review,” Environ Chem Lett https://doi.org/10.1007/s10311-025-01889-6
- Tozzi, F., Núñez-Gómez, D., Legua, P., Del Bubba, M., Giordani, E., and Melgarejo. P. (2022), “Qualitative and Varietal Characterization of Pomegranate Peel: High-Value Coproduct or Waste of Production?” Scientia Horticulturae 291: 110601. https://doi.org/10.1016/j.scienta. 2021.110601.
- Posmanik, R., Labatut, R.A., Kim, A.H., Usack, J.G., Tester, J.W., Angenent, L.T. (2017), “Coupling hydrothermal liquefaction and anaerobic digestion for energy valorization from model biomass feedstocks”, Bioresource Technology, Volume 233, Pages 134-143, ISSN 0960-8524, ttps://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.095
- https://www.palletmach.com/news/374.html
- https://lovepaper.org/plantable-papers-of-japan/
- https://borgenproject.org/aureus-solar-panels/
- https://biogasworld.com/news/turning-food-waste-into-energy-to-power-homes/
- Liao, M., and Yao, Y. (2021), “Applications of Artificial Intelligence-Based Modeling for Bioenergy Systems: A Review.” GCB Bioenergy 13, 5: 774–802.
- Shi, Z., Ferrari, G., Ai, P., Marinello, F., and Pezzuolo, A. (2023), “Artificial Intelligence for Biomass Detection, Production and Energy Usage in Rural Areas: A Review of Technologies and Applications.” Sustainable Energy Technologies and Assessments 60: 103548. https://doi.org/10. 1016/j.seta.2023.103548.

FIGHT
FOOD
WASTE

تشکر
از توجه شما