



مدیریت ضایعات در کشاورزی هوشمند

ربابه اصغری^{۱*} و عباس نوروزی^۲

^۱ و ^۲ دانشیار مرکز آموزش عالی امام خمینی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

بخش کشاورزی نقش مهمی در توسعه تمدن جدید داشته است. با این حال، کشاورزی سنتی با نگرانی‌هایی از قبیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کمبود منابع آب و مدیریت زهکشی منابع آب، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و تولید روز افزون زباله مواجه است. ارتقاء بهره‌وری کشاورزی به منظور پاسخ به رشد تقاضای غذا امری ضروری است. رویکرد کشاورزی هوشمند بر روش‌هایی متمرکز است که بهره‌وری و انعطاف‌پذیری منابع را افزایش دهد. در کشاورزی هوشمند، دستگاه‌های هوشمندی که به اینترنت متصل هستند، سیستم کشاورزی را مهار می‌کنند. کشاورزی هوشمند اغلب به مدیریت فرآیندها، ابزارها و خدمات گوناگون کشاورزی اشاره دارد که در ترکیب با فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی به صورت خودکار یا هوشمند عمل می‌کنند. اینترنت اشیاء شامل شبکه‌ای از حسگرهای متصل به اشیاء است که از راه دور کنترل و پایش می‌شوند. اطلاعات جمع‌آوری شده توسط حسگرها در رایانه یکپارچه‌سازی می‌شود. اینترنت اشیاء قادر به ارائه راه‌حل‌های مؤثر برای توانمندسازی صنایع است. مقدار قابل توجهی از زباله‌های جامد در طی عملیات کشاورزی تولید می‌شود. جایی که زنجیره تبدیل ضایعات تولیدشده به ضایعات کارآمد وجود دارد، این ضایعات می‌تواند منبع باارزشی را فراهم سازد. اگرچه هنوز ادغام مدیریت هوشمند زباله با کشاورزی هوشمند در سطح محدودی است، ولی اینترنت اشیاء و حسگرها می‌توانند حلقه یا زنجیره مدیریت زباله را برای بازیابی منابع ارتقاء دهند. این مقاله به بررسی اجمالی نقش زنجیره کارآمد زباله به منبع در یک سیستم کشاورزی هوشمند پرداخته و چارچوبی پیشنهادی برای هوشمندسازی بر پایه دیدگاه مدیریت هوشمند زباله ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیاء، زباله، ضایعات کشاورزی، مدیریت ضایعات، مدیریت هوشمند، هوشمندسازی



بیان مسئله

کشاورزی در تولید غذا و امنیت جهانی نقش مهمی دارد. عملیات کشاورزی با اثرات زیست‌محیطی در حوزه مصرف آب، انتشار گازهای گلخانه‌ای، تولید ضایعات (زباله)، مصرف انرژی و استفاده از کودهای شیمیایی همراه است. هدف کشاورزی پایدار، ارائه راه‌حلی برای ایجاد تعادل بین تولیدات کشاورزی و بهره‌برداری از محیط زیست است. کشاورزی هوشمند اغلب به مدیریت فرآیندها، ابزارها و خدمات گوناگون کشاورزی اشاره دارد که در ترکیب با فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی به صورت خودکار یا هوشمند عمل می‌کنند (فرخی و گاپله، ۱۳۹۸). اینترنت اشیا، با شبکه‌ای از حسگرهای متصل به اشیاء که از راه دور کنترل و پایش می‌شوند و اطلاعات جمع‌آوری شده توسط آنها در کامپیوتر یکپارچه‌سازی می‌شود، نقش بسزایی در کشاورزی هوشمند ایفاء می‌کند (جمشیدی و دهقانی سانج، ۱۳۹۹). کشاورزی هوشمند-اقلیم^۱ راه‌حل‌های خلاقانه برای افزایش تولید، بهبود انعطاف‌پذیری اقلیمی و کاهش انتشار گاز در بخش کشاورزی را به ارمان می‌آورد. در کشاورزی دقیق یا هوشمند، با تأمین ورودی بهینه در مناسب‌ترین زمان، عملکرد محصول افزایش یافته و هزینه‌ها، آلودگی زیست‌محیطی و کار دستی کاهش می‌یابد (آندریو^۲ و همکاران، ۲۰۱۷).

شبکه حسگر مجهز به اینترنت اشیا و محاسبات ابری، امکان انتقال بلادرنگ داده‌ها بین چندین بخش، انجام نظارت، پیش‌بینی، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند. اینترنت اشیا شبکه‌ای از اشیاء فیزیکی است که در آن داده‌های باارزشی که توسط حسگرها جمع‌آوری می‌شود، بی‌درنگ از طریق نرم‌افزار، تجزیه و تحلیل شده و از طریق سرویس‌های ارتباطی مبادله می‌شود (اوجها^۳ و همکاران، ۲۰۱۵) (شکل ۱). استفاده از اینترنت اشیا در زمینه محیط زیست و صنعت کشاورزی، مدیریت ضایعات غذایی رستوران‌ها، جمع‌آوری زباله و موارد دیگر گسترش یافته است (ون^۴ و همکاران، ۲۰۱۸). در بخش کشاورزی، مقدار قابل‌ملاحظه‌ای ضایعات در مراحل مختلف، به‌ویژه مرحله برداشت و فرآوری تولید می‌شود. در این بخش، علاوه بر ضایعات کشاورزی، زباله‌هایی از بقایای مواد استفاده شده برای بسته‌بندی نهاده‌های کشاورزی، ظروف و گلدان‌های مورد نیاز برای تولید گیاه و یا سایر ابزار و ادوات مورد استفاده در کشاورزی تولید می‌شود. در مدیریت هوشمند ضایعات کشاورزی کلیه موارد اعم از ضایعات محصولات کشاورزی و یا زباله‌های این بخش مد نظر است. در کشور مالزی زباله‌های کشاورزی، ۶۱ درصد از کل زباله‌های تولیدی را تشکیل می‌دهد. ضایعات درون‌بخشی کشاورزی منبع گرانبهایی است مشروط بر این‌که یک چرخه کارآمد بین ضایعات و منبع برای جمع‌آوری و تبدیل آن به محصول باارزش وجود داشته باشد. مدیریت زباله از موضوعات مهم برای کاهش تأثیرات نامطلوب بخش کشاورزی بر محیط زیست است. در حال حاضر، مطالعات محدودی در مورد نقش فناوری هوشمند در بخش زباله کشاورزی وجود دارد. در این مقاله، یک نظام مدیریت هوشمند زباله در ارتباط با کشاورزی هوشمند ارائه شده است. همچنین، ساختاربندی برای تسهیل چارچوب ارائه شده (شامل زیرساخت، داده‌های موردنیاز و کاربرد احتمالی داده‌های به‌دست آمده)، پیشنهاد شده است.

^۱ Climate-Smart Agriculture (CSA)

^۲ Andrieu

^۳ Ojha

^۴ Wen

دریافت کننده بی سیم داده ها از حسگرها



شکل ۱- شبکه‌ای از سامانه‌های دریافت، پردازش و مبادله اطلاعات اینترنت اشیاء در مدیریت هوشمند کشاورزی

معرفی دستورالعمل

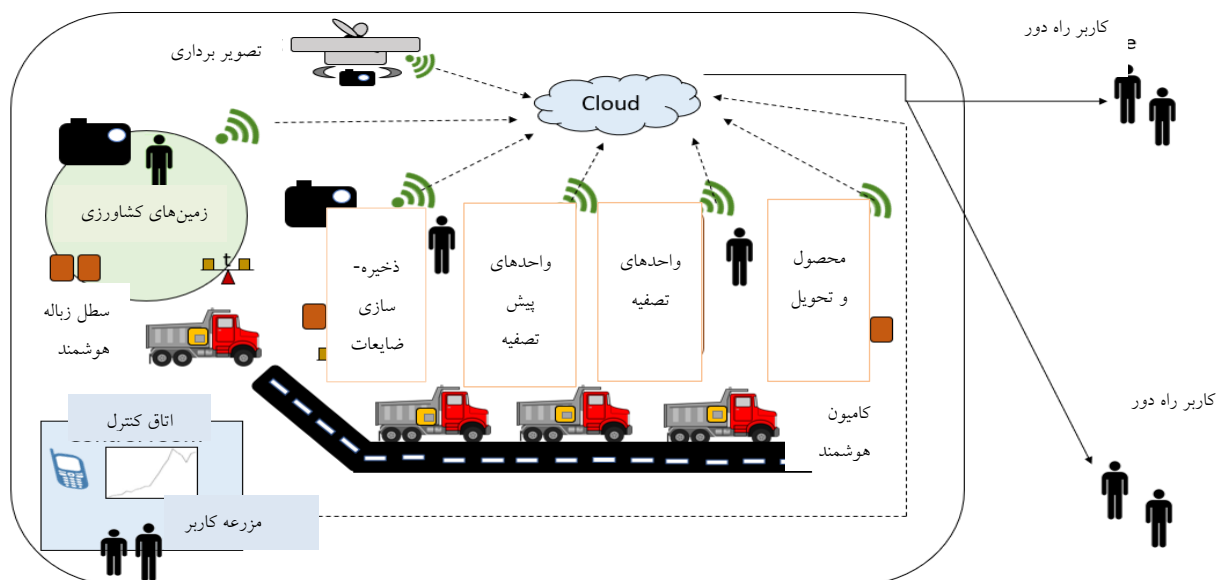
مدیریت هوشمند زباله برای کشاورزی هوشمند

مدیریت هوشمند زباله در کشاورزی هوشمند در دو بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش اول، اجزایی که در چارچوب مدیریت هوشمند زباله در کشاورزی هوشمند فعال شده را ارائه می‌دهد. بخش دوم به شناسایی و بحث در مورد اجزای احتمالی ساختار بندی بر اساس سکو یا نرم افزار اینترنت اشیاء اختصاص دارد. اجزای اصلی در چارچوب کشاورزی هوشمند شامل کشاورزی هوشمند- اقلیم و کشاورزی هوشمند با پایش زیست بوم است که از اینترنت اشیاء و حسگرها بهره می‌گیرد (شکل ۲). در زمین‌های کشاورزی، سطوح‌های هوشمند با برجسب‌های شناسایی فرکانس رادیویی مادون قرمز و سامانه موقعیت‌یابی جهانی قرار داده می‌شود (شکل ۳). هنگامی که یک سوم سطرها پر شوند، سیگنال یا پیام برای کامیون‌های هوشمند ارسال می‌شود. سطرها وزن شده و مقدار ثبت شده به ابر که قابل ارزیابی توسط کاربران است، منتقل می‌شود. زمانی که کامیون‌ها وارد محل نگهداری زباله شدند، زباله‌ها دوباره وزن می‌شوند تا مقدار آن با زباله‌های جمع‌آوری شده در مزرعه مطابقت داده شود. واحد پیش تصفیه زباله، علامتی با توجه به ظرفیت تصفیه‌اش دریافت خواهد کرد. به محض دریافت این اطلاعات، مقدار مناسب از زباله یا ضایعات کشاورزی با کامیون به واحد پیش تصفیه زباله منتقل می‌شود (شکل ۴).

رویکرد مشابهی برای واحدهای پیش تصفیه زباله و واحد تصفیه اعمال می‌شود. با توجه به ویژگی‌های ضایعات کشاورزی (سلولز و لیگنین بالا، حجیم بودن، مقدار فیبر و کرین بالا)، فناوری‌های پیش تصفیه مناسب آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، پیش تصفیه قلیایی، حرارتی و حرارتی- شیمیایی، پیش تصفیه فراصوت، کاهش اندازه ذرات و تجزیه سلولی از جمله فناوری‌های مورد استفاده هستند. واحدهای تصفیه زباله‌های کشاورزی دو گروه هستند. گروه اول، از ضایعات محصولات کشاورزی، انرژی تولید می‌کند. انرژی در اثر سوزاندن ضایعات یا به عبارتی، تجزیه حرارتی و هضم بی‌هوازی توسط واحدهای تصفیه تولید می‌شود. گروه دوم، از ضایعات، محصول تولید می‌کند. در این گروه از واحدهای تصفیه، کمپوست‌سازی با استفاده



از هضم بی‌هوازی انجام می‌شود. بسته به نوع محصول، روش حمل و نقل، ذخیره‌سازی، تحویل، پس‌پردازش / ارتقاء و زیرساخت‌های اصلی، واحدهای تصفیه می‌توانند قابل اشتراک یا با ساختاری دیگر باشند (بُنگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۸).

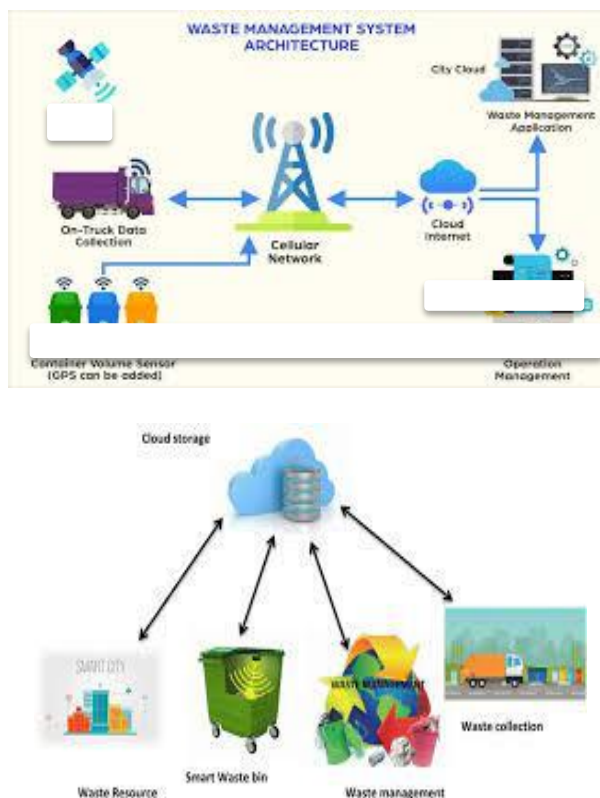


شکل ۲- یک چارچوب ساده برای مدیریت زباله هوشمند فعال با اینترنت اشیاء در کشاورزی هوشمند



شکل ۳- سطل‌های هوشمند

^۵ Bong



شکل ۴- بخش‌های مختلف و در ارتباط با یک سیستم هوشمند مدیریت ضایعات برای جمع‌آوری و انتقال ضایعات

بخش‌های احتمالی ساختار بندی

ساختار بندی چارچوب پیشنهادی در شکل ۵ ارائه شده است. در هر سطح، اجزای مهم پس از شناسایی و بررسی، آورده شده است. لایه یا سطح فیزیکی دارای پنج مرحله شامل کشاورزی، جمع‌آوری و ذخیره‌سازی، پیش تصفیه، تصفیه، محصول و تحویل است. لایه یا سطح ارتباط و خدمات، نوع خدمات ارتباطی برای دریافت، انتقال، ذخیره‌سازی، تجزیه و تحلیل و دسترسی به اطلاعات را ارائه می‌دهد. لایه کاربردی، زیرساخت را پیشنهاد می‌کند. در لایه کاربردی، جزء "هوشمند" به کار برده می‌شود و اطلاعات مورد استفاده ورودی برای لایه مدیریت را فراهم می‌سازد. لایه مدیریت در مورد این‌که چه‌طور اطلاعاتی در هر لحظه به دست آمده را بررسی، ارائه، مدیریت و موارد کاربرد را پیشنهاد می‌کند.

سطح‌های هوشمند، جمع‌آوری بهینه را در زمانی که سطل‌ها پر شده یا به حداقل مقدار لازم برای جمع‌آوری رسیده باشند، فراهم می‌کنند. تکرار زیاد جمع‌آوری می‌تواند منجر به اتلاف زمان، سوخت و نیروی انسانی شود. دفعات کم جمع‌آوری زباله نیز خطر انباشت و سرریز زباله و ایجاد مزاحمت و گسترش بیماری در بین مردم را افزایش می‌دهد. مسیریابی سطح‌های هوشمند با برچسب مادون قرمز و حسگرهای وزن خودکار در تمام مراحل، دارای مزایای زیر است:

۱- کاهش حمل و نقل غیر ضروری زباله در خارج از حلقه یا زنجیره؛

۲- انجام مقایسه زباله‌های جمع‌آوری شده و دریافتی؛



شکل ۵- چپش یا ساختار بندی اینترنت اشیا پیشنهادی برای مدیریت هوشمند زباله در کشاورزی هوشمند

۳- بهینه‌سازی فرایندها با انجام عملیات در صورت لزوم؛

۴- حمل زباله به مرحله بعد بر اساس ظرفیت جابه‌جایی واحد پیش‌تصفیه یا واحد تصفیه؛

در زمینه کشاورزی، کاربرد اصلی این سامانه شامل پایش (هوا، خاک، آب، گیاه و حیوان)، کنترل (آبیاری، کود، آفت‌کش، روشنایی و دسترسی)، لجستیک (تولید، تجارت و حمل و نقل) و پیش‌بینی (شرایط محیطی، برآورد تولید و رشد محصول) است. در زمینه‌های کشت و صنعت و زیست‌محیطی، با اندازه‌گیری دما، رطوبت هوا، رطوبت خاک و تابش خورشید به عنوان متغیرهای جهانی، محقق می‌شود (پرتوکاررو^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). امروزه علاوه بر این متغیرها، متغیرهای دیگری نیز مورد نیاز است که شامل واحدهای پیش‌تصفیه، واحدهای تصفیه و واحدهای محصول می‌شود.

محصولات انرژی‌زا و بقایای گیاهی به عنوان زیست‌توده، لیگنین و سلولزی طبقه‌بندی می‌شوند. برای شکستن ساختار فیزیکی آنها و افزایش زیست‌تخریب‌پذیری/ انحلال‌پذیری‌شان به پیش‌تصفیه نیاز است. پیش‌تصفیه شامل عملیات مکانیکی، تیمار قلیایی، تیمار قارچی، هضم آنزیمی، سیلوکردن و کمپوست‌سازی است. در میان این مراحل، عملیات مکانیکی (آسیاب، اکستروژن)، بیولوژیکی (تصفیه آنزیمی، سیلوکردن و کمپوست‌سازی) در مقیاس وسیع مورد بررسی قرار گرفته است (کارر^۷ و همکاران، ۲۰۱۶). عملیات مکانیکی از نظر تشکیل ترکیبات مقاوم، ریسک کمتری دارد، اما مصرف برق در این روش زیاد است. مزیت تصفیه بیولوژیکی نیاز به انرژی کم و مقیاس‌پذیری است، اما هزینه در این روش نسبتاً بیشتر و پیش‌بادهای ویژه‌ای نیز لازم است. هر واحد تصفیه با توجه به خوراک ورودی و محصولات مختلف تولیدی، الزامات مربوط به خود را دارد. بنابراین، انتخاب روش پیش‌تصفیه با واحد تصفیه بعدی تعیین می‌شود. خروجی عمده شامل خروجی اصلی است و مشتمل بر تولیدات انرژی‌زا به شکل گرما، بخار یا بیوالکتریکی (سوختن، تجزیه در اثر حرارت، ...) و فرآورده‌ها (ذرات، مواد هضم‌شده، ...) است (بینه^۸ و همکاران، ۲۰۱۸). به عنوان مثال، هضم بی‌هوازی و تولید بیوگاز تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله دما، pH، اسیدهای چرب فرار، نیترات آمونیوم، مقدار مواد آلی، نسبت کربن به نیتروژن و تجزیه‌پذیری پیش‌بدها است. پایش هضم بی‌هوازی، یک فرآیند بیولوژیکی چند متغیره و پیچیده‌ای است و چندین حسگر برخط قابل اعتماد و دقیق برای اندازه‌گیری شاخص‌های مهم آن لازم است. روند یا فرآیند پایش و نظارت را می‌توان در پنج گروه زیر طبقه‌بندی کرد:

- دستگاه‌های حسی پایه برای اندازه‌گیری دما، pH، هدایت الکتریکی، پتانسیل اکسیداسیون/ احیاء؛

- فاز گازی با ابزارهای پیچیده مانند کروماتوگرافی گازی اندازه‌گیری می‌شود؛

- برای پایش برخط اسیدهای چرب فرار، نیاز واکنش‌های شیمیایی به اکسیژن، کل کربن آلی و قلیائیت در فاز مایع از طیف‌سنجی مادون قرمز استفاده می‌شود؛

- موارد دیگر از جمله روش انتخابی برای سنجش تنفس و نیترات زدایی؛

- حسگرهای نرم‌افزاری که شاخص‌های اندازه‌گیری آنها نیاز به تجهیزات گران‌قیمت دارند، یا اندازه‌گیری آنها به‌طور مستقیم غیرممکن است را پیش‌بینی می‌کنند. به عبارت دیگر، برآورد برخط بر اساس یک مدل مبتنی بر موازنه زیست‌توده انجام می‌شود. اگر لازم باشد چندین فناوری برای مدیریت زباله‌ها ادغام شوند، این فرآیند می‌تواند پیچیده‌تر شود. (استیر^۹ و همکاران، ۲۰۰۲).

^۶ Portocarrero

^۷ Carrere

^۸ Beyene

^۹ Steyer



در مرحله تولید، منطقه طراحی و دستگاه‌های حسی به واحد تصفیه نصب شده بستگی دارد. سوزاندن، امکان احتراق کامل زباله و تولید خاکستر به عنوان باقیمانده نهایی را ممکن می‌سازد. فرآیند پیرولیز، مواد آلی را برای تولید بیوجار، بیونفت و گاز می‌سوزاند و به گاز تبدیل می‌کند. هضم بی‌هوازی، مواد آلی را در غیاب اکسیژن تجزیه می‌کند و تولید بیوگاز و مایع محتوی مواد هضم‌شده را ممکن می‌سازد. بیوگاز تولیدی ممکن است نیاز به پس‌تصفیه داشته باشد، از جمله برای حذف آمونیاک، ارتقاء با غنی‌سازی، حذف گوگرد و موارد دیگر، که فرآیند انجام شده به محصول نهایی بستگی دارد. هضم مایع برای تثبیت و غیرفعال کردن به یک مرحله پخت نیاز دارد. دستگاه‌های حسی (ابزار مورد استفاده برای نظارت و پایش متغیرها) و برچسب‌های هوشمند مجهز به اینترنت اشیا نیاز به سرمایه‌گذاری بالا و هزینه عملیاتی دارند. نیاز به تعویض برچسب مادون قرمز سطوح زباله به دلیل استفاده مداوم، دقت حسگرها و ظرفیت ذخیره‌سازی اطلاعات از محدودیت‌های اصلی هستند. نگرانی عمده دیگر در این ارتباط، مصرف انرژی است (ون و همکاران، ۲۰۱۸).

سکو یا نرم‌افزار مجهز به اینترنت اشیا برای کشاورزی هوشمند و پایش زیست‌بوم

این سکو یا نرم‌افزار با جمع‌آوری داده‌ها و نمونه‌سازی اولیه توابع تحلیلی کاربر نهایی^{۱۰} (پاشش و آبیاری هوشمند)، بررسی محیط‌زیست دریایی را امکان‌پذیر می‌کند. نرم‌افزار مدیریت برای مدیریت ضایعات مواد غذایی تجاری شامل نمایش داده‌ها در زمان واقعی، آمار و تحقیقات، پردازش تحلیلی، نظارت محلی، هشدار ناهنجاری و روند فرآیند می‌شود (ون و همکاران ۲۰۱۸). دریافت و تجمیع داده‌ها در زمان واقعی (در لحظه) در این پنج مؤلفه اصلی مجاز است:

- ارزیابی، مانند تجزیه و تحلیل هزینه-فایده و ارزیابی چرخه عمر؛
- نظارت یا پایش برای جمع‌آوری اخبار، حمل و نقل و دفع ضایعات کشاورزی هوشمند؛
- شناسایی امکان دفع غیرقانونی یا اضطراری، مانند ریختن زباله، تعمیر و نگهداری سامانه؛
- تصمیم‌گیری و سهولت اولویت‌بندی برای سرمایه‌گذاری؛
- طراحی زنجیره تأمین، مدل‌سازی بهینه‌سازی، زمان‌بندی بهینه و موارد دیگر (بنگو همکاران، ۲۰۱۸).

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

سالانه بخش عظیمی از محصولات کشاورزی به‌ویژه میوه و سبزی در جهان از بین می‌رود. بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، هر سال حدود ۴۳ درصد از محصولات کشاورزی اساسی در کشورهای غیر توسعه‌یافته و حدود ۱/۶ میلیارد تن از کل محصولات کشاورزی تولیدی در جهان در مراحل مختلف تولید تا مصرف از بین می‌رود. در ایران سالانه حدود ۱۶ درصد از محصولات زراعی و ۲۸ درصد از محصولات باغی از تولید تا مصرف از دست می‌روند. این میزان از ضایعات برای محصولات زراعی و باغی به ترتیب بیش از ۴/۵ و ۱۱/۵ میلیون تن تخمین زده می‌شود. با توسعه روش‌های نوین جمع‌آوری و فرآوری این ضایعات، ضمن جلوگیری از هدررفت منابع می‌توان از فرآورده‌های حاصل از فرآوری ضایعات استفاده کرد. فرآورده‌های حاصل از فرآوری نظیر فرآورده‌های کودی، نقش مهمی در جلوگیری از آلودگی و تخریب محیط زیست ایفاء می‌کنند. مدیریت هوشمند ضایعات در کشور، به دلیل فراهم‌نبودن زیرساخت‌ها، در آینده نزدیک ممکن نیست. با

¹⁰ Prototyping end-user analytic functions

توجه به اهمیت موضوع، برنامه‌ریزی برای طراحی و اجرای مدیریت هوشمند ضایعات در کشاورزی هوشمند در کشور ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

فهرست منابع

- ۱- جمشیدی، بهاره و حسین دهقانی سانج. ۱۳۹۹. کلان داده‌های مبتنی بر اینترنت اشیا از چشم‌انداز کشاورزی هوشمند. فصلنامه رشد فناوری، ۶۳، ص ۱۲-۲۲.
- ۲- فرخی، غلامرضا و محبوبه گاپله. ۱۳۹۸. کشاورزی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا. فصلنامه رشد فناوری، ۵۹، ص ۲۹-۳۶.
3. Andrieu, N., B. Sogoba, R. Zougmore, F. Howland, O. Samake, O. Bonilla-Findji, M. Lizarazo, A. Nowak, C. Dembele and C. Corner-Dolloff. 2017. Prioritizing investments for climate-smart agriculture: Lessons learned from Mali. *Agricultural Systems*, 154: 13-24.
4. Beyene, H.D., A.A. Werkneh and T.G. Ambaye. 2018. Current updates on waste to energy (WtE) technologies: A review. *Renewable Energy Focus*, 24: 1-11.
5. Bong, C.P.C, L.Y. Lim, C. T. Lee, Y.V. Fan and J. Klemeš. 2018. The Role of Smart Waste Management in Smart Agriculture, *Chemical Engineering Transactions*, 70, 937-942
6. Carrere, H., G. Antonopoulou, R. Affes, F. Passos, A. Battimelli, G. Lyberatos and I. Ferrer. 2016. Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application. *Bioresource Technology*, 199: 386-397.
7. Ojha, T., S. Misra and N.S. Raghuwanshi. 2015. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118: 66-84.
8. Portocarrero, J.M.T., L.E. Tobón, J.A.G. Escobar, M. Culman, J.M. Aranda, D.T. Parra Sanchez, L. Quiroz, A. Hoyos and L.E. Garreta. 2017. Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142: 283-297.
9. Steyer, J.P., J.C. Bouvier, T. Conte, P. Gras, J. Harmand and J.P. Delgenes. 2002. On-line measurements of COD, TOC, VFA, total and partial alkalinity in anaerobic digestion processes using infra-red spectrometry. *Water Science and Technology*, 45: 133-138.
10. Wen, Z., S. Hu, D. De Clercq, M.B. Beck, H. Zhang, H. Zhang, F. Fei and J. Liu. 2018. Design, implementation and evaluation of an internet of things (IoT) network system for restaurant food waste management. *Waste Management*, 73: 26-38.