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

رویکردی نوین مبتنی بر سیستم‌های تصمیم‌یار برای ارتقای بهره وری پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی در صنایع غذایی

بهاره دادلویی*

dadluie@ut.ac.ir

دانشجوی دکتری صنایع غذایی دانشگاه تهران، پردیس بین المللی ارس،ایران

چکیده

بخش کشاورزی، صنایع غذایی و صنایع وابسته سهم قابل‌توجهی در مصرف آب و انرژی، تولید ضایعات و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد و از این‌رو ارتقای بهره‌وری در این بخش به یکی از اولویت‌های اصلی توسعه پایدار تبدیل شده است. در این پژوهش، با تمرکز بر صنایع غذایی به‌عنوان حلقه کلیدی تصمیم‌گیری مدیریتی در سامانه‌های کشاورزی–غذایی، یک مدل تصمیم‌یار شش‌لایه داده‌محور (DSS) مبتنی بر کلان‌داده و هوش مصنوعی طراحی و تبیین شده است. پژوهش حاضر از نوع مروری–توسعه‌ای بوده و با اتکا به مقالات علمی و گزارش‌های معتبر بین‌المللی، چارچوبی مفهومی برای تحلیل، پیش‌بینی و بهینه‌سازی مصرف منابع، کاهش ضایعات و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه می‌دهد. مدل پیشنهادی امکان هم‌راستاسازی تصمیمات مدیریتی با اهداف بهره‌وری و الزامات محیط‌زیستی، اجتماعی و حاکمیتی (ESG) را فراهم می‌سازد. نتایج نشان می‌دهد به‌کارگیری سیستم‌های تصمیم‌یار داده‌محور می‌تواند نقش مؤثری در ارتقای بهره‌وری منابع، بهبود عملکرد زیست‌محیطی و پشتیبانی از سیاست‌گذاری پایدار در صنایع غذایی ایفا کند.

واژگان کلیدی: سامانه‌های کشاورزی–غذایی، صنایع غذایی، بهره‌وری، سیستم تصمیم‌یار، کلان‌داده، هوش مصنوعی، ESG

Abstract

The agricultural, food, and related industries account for a substantial share of global water and energy consumption, waste generation, and greenhouse gas emissions, making productivity improvement a key sustainability priority. This study focuses on the food industry as a critical managerial decision-making node within agri-food systems and proposes a six-layer data-driven Decision Support System (DSS) based on big data and artificial intelligence. Using a narrative review and conceptual development approach, the study draws on scientific literature and international reports to develop a framework for analyzing, predicting, and optimizing resource consumption, reducing waste, and mitigating greenhouse gas emissions. The proposed model also facilitates the alignment of managerial decisions with productivity objectives and Environmental, Social, and Governance (ESG) requirements. The findings suggest that data-driven DSS frameworks can significantly enhance resource efficiency, improve environmental performance, and support sustainable decision-making and policy development in food industries.

Keywords: Agri-food systems, Food industry, Productivity, Decision Support System, Big Data, Artificial Intelligence, ESG

۱-مقدمه

بخش کشاورزی، صنایع غذایی و صنایع وابسته که در ادبیات علمی از آن با عنوان سامانه‌های کشاورزی-غذایی (Agri-food systems) یاد می‌شود، نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی، اشتغال و رشد اقتصادی کشورها ایفا می‌کند ویکی از گسترده‌ترین و در عین حال پرچالش‌ترین بخش‌های اقتصادی جهان به‌شمار می‌رود. این سامانه‌ها سهم قابل‌توجهی از برداشت آب شیرین، مصرف انرژی، تولید ضایعات و انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را به خود اختصاص داده‌اند وبا چالش‌های فزاینده‌ای نظیر مصرف بالای انرژی، تولید ضایعات، نوسانات کیفیت و محدودیت منابع مواجه بوده و از این‌رو در کانون توجه سیاست‌گذاران، سرمایه‌گذاران و نهادهای بین‌المللی قرار دارند، افزایش رقابت‌پذیری و حرکت به سمت توسعه پایدار، نیازمند تصمیم‌گیری‌های دقیق، مبتنی بر داده ها و آینده‌نگرانه می‌باشد.(FAO, 2019; Crippa et al., 2021) .

در میان اجزای مختلف سامانه‌های کشاورزی–غذایی، صنایع غذایی به‌عنوان حلقه واسط بین تولید اولیه و مصرف‌کننده نهایی، جایگاهی کلیدی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و راهبردی دارد. تصمیمات اتخاذشده در این بخش، نه‌تنها بر مصرف آب و انرژی و میزان ضایعات تأثیرگذار است، بلکه نقش تعیین‌کننده‌ای در الگوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، هزینه‌های تولید و عملکرد کلی زنجیره تأمین ایفا می‌کند. ازاین‌رو، تمرکز این پژوهش بر صنایع غذایی است، در حالی که پیوند آن با بخش کشاورزی و صنایع

وابسته به‌عنوان بستر بالادستی تصمیم‌گیری به‌طور ضمنی لحاظ شده است. بر اساس گزارش‌های بین‌المللی، سامانه‌های کشاورزی–غذایی مسئول حدود ۷۰ درصد مصرف آب شیرین جهانی، نزدیک به ۳۰ درصد مصرف انرژی نهایی و حدود ۲۶ تا ۳۴ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای جهان هستند (FAO, 2019 FAO, 2017; FAO, 2020; Crippa et al., 2021; IEA, 2022).

حدود ۳۳ درصد از کل غذای تولیدشده در جهان به ضایعات تبدیل می‌شود که خود منجر به اتلاف منابع و انتشار غیرضروری گازهای گلخانه‌ای می‌گردد (FAO, ۲۰۱۱). بخش قابل‌توجهی از این اثرات، به مراحل فرآوری، نگهداری، بسته‌بندی و توزیع در صنایع غذایی بازمی‌گردد؛ جایی که تصمیمات مدیریتی، انتخاب فناوری و نحوه تخصیص منابع می‌تواند تأثیر مستقیمی بر بهره‌وری و پایداری داشته باشد. از منظر تغییرات اقلیمی، سیستم‌های غذایی جهانی مسئول ۲۱ تا ۳۷ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند (IPCC, 2019) . این ارقام، ضرورت بازنگری در الگوهای تصمیم‌گیری و مدیریت منابع در صنایع غذایی را بیش از پیش آشکار می‌سازد. در این راستا، بهره‌گیری از رویکردهای نوین مانند سیستم‌های تصمیم‌یار، کلان‌داده و هوش مصنوعی می‌تواند بستری مناسب برای ارتقای بهره‌وری، کاهش ضایعات و بهبود عملکرد زیست‌محیطی فراهم آورد.

در سال‌های اخیر، تشدید بحران‌های زیست‌محیطی، محدودیت منابع، تغییرات اقلیمی و افزایش الزامات قانونی و سرمایه‌گذاری، موجب شده است که صنایع غذایی با فشار فزاینده‌ای برای بهبود عملکرد خود مواجه شوند. در این میان، رویکردهای سنتی مدیریت منابع که عمدتاً واکنشی، جزیره‌ای و مبتنی بر تجربه فردی هستند، توان پاسخ‌گویی به پیچیدگی‌های کنونی سامانه‌های تولیدی را ندارند (Wamba et al., 2017). از سوی دیگر، گسترش فناوری‌های کلان‌داده(Big Data) ، هوش مصنوعی (Artificial Intelligence) و سیستم‌های اطلاعاتی پیشرفته، فرصت‌های نوینی را برای تحلیل داده‌های حجیم، ناهمگون و بلادرنگ در صنایع غذایی فراهم کرده است. این فناوری‌ها امکان پایش مستمر فرآیندها، شناسایی الگوهای پنهان، پیش‌بینی پیامدهای تصمیمات مدیریتی و بهینه‌سازی مصرف منابع را ایجاد می‌کنند و زمینه‌ساز گذار از مدیریت واکنشی به مدیریت پیش‌نگر و داده‌محور شده‌اند (Zhang et al., 2020) . در این چارچوب، سیستم‌های تصمیم‌یار (Decision Support Systems – DSS)به‌عنوان ابزارهایی کلیدی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های پیچیده مدیریتی مطرح می‌شوند. DSS با ترکیب داده‌ها، مدل‌های تحلیلی و دانش تخصصی، به مدیران کمک می‌کند تا تصمیماتی آگاهانه‌تر، سریع‌تر و هم‌راستا با اهداف بهره‌وری و پایداری اتخاذ کنند (Turban et al., 2011) .

هم‌زمان، گسترش چارچوب‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و حاکمیتی (ESG) و توجه روزافزون سرمایه‌گذاران و نهادهای نظارتی به این شاخص‌ها، صنایع غذایی را ملزم کرده است که عملکرد خود را نه‌تنها از منظر اقتصادی، بلکه از دیدگاه پایداری و مسئولیت‌پذیری نیز ارزیابی و گزارش کنند (UN PRI, 2023) . در چنین شرایطی، نیاز به مدل‌هایی که بتوانند تصمیم‌گیری مدیریتی را به‌صورت یکپارچه با شاخص‌های (ESG) پیوند دهند، بیش از پیش احساس می‌شود.

با وجود مطالعات متعدد در زمینه بهره‌وری منابع، کاهش ضایعات و بهبود عملکرد زیست‌محیطی در صنایع غذایی، بخش عمده‌ای

از این پژوهش‌ها یا به‌صورت موردی و بخشی انجام شده‌اند یا فاقد یک چارچوب تصمیم‌یار یکپارچه و داده‌محور بوده‌اند. شکاف اصلی ادبیات در فقدان مدلی جامع است که بتواند هم‌زمان مصرف آب، انرژی، ضایعات، انتشار گازهای گلخانه‌ای و الزامات (ESG) را در فرآیند تصمیم‌گیری مدیریتی صنایع غذایی لحاظ کند.تشدید بحران‌های زیست‌محیطی، تغییرات اقلیمی، محدودیت منابع و افزایش الزامات قانونی و سرمایه‌گذاری، صنایع غذایی را با چالش‌های بی‌سابقه‌ای مواجه کرده است. چارچوب‌های نوظهور محیط‌زیستی، اجتماعی و حاکمیتی(ESG) به‌ویژه از سوی سرمایه‌گذاران و نهادهای نظارتی، صنایع را ملزم می‌کنند که عملکرد خود را به‌صورت شفاف، قابل سنجش و مبتنی بر داده گزارش دهند (UN PRI, 2023). در چنین شرایطی، مفهوم بهره‌وری فراتر از افزایش تولید رفته و دیگر صرفاً یک مفهوم اقتصادی نیست، بلکه به‌عنوان یکی از ارکان اصلی پایداری و رقابت‌پذیری صنعتی مطرح می‌شود و (ESG) را نیز دربرگرفته است (OECD, 2020).

با این حال، بسیاری از تصمیمات مدیریتی در صنایع غذایی همچنان جزیره‌ای و مبتنی بر داده‌های ناقص اتخاذ می‌شوند که اثربخشی اقدامات بهره‌وری را محدود می‌کند. توسعه سیستم‌های تصمیم‌یار یکپارچه که بتوانند داده‌های متنوع را تحلیل و گزینه‌های بهینه را پیشنهاد دهند، ضرورتی انکارناپذیر است.

در این بستر، سیستم‌های تصمیم‌یار (Decision Support Systems – DSS) به‌عنوان ابزارهایی کلیدی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های پیچیده مدیریتی در صنایع مختلف مورد توجه قرار گرفته است .با توجه به پیچیدگی فرآیندهای تولید در صنایع غذایی،DSS با ترکیب داده‌های عملیاتی، مدل‌های تحلیلی و دانش تخصصی، این امکان را فراهم می‌کند که مدیران صنعتی اثرات تصمیمات خود را پیش از اجرا ارزیابی کرده و سناریوهای مختلف را از منظر بهره‌وری، پایداری و الزامات ESG مورد بررسی قرار دهند (Turban et al., 2011).

تمرکز این پژوهش در ادامه، بر بخش فرآوری و صنایع غذایی به‌عنوان حلقه کلیدی تصمیم‌گیری مدیریتی خواهد بود هدف این پژوهش، ارائه یک مدل شش‌لایه تصمیم‌یار متناسب با شرایط صنایع غذایی است که بتواند مدیران را در اتخاذ تصمیم‌های بهینه و پایدار یاری رساند. با توجه به پیچیدگی فرآیندهای تولید در صنایع غذایی، طراحی یک چارچوب جامع تصمیم‌یار می‌تواند به ارتقای بهره‌وری و کاهش عدم قطعیت‌ها کمک کند.

۲- مرور ادبیات

بهره وری در صنایع غذایی

بهره وری، نسبت خروجی به ورودی‌ها است و شاخصی کلیدی در ارزیابی عملکرد صنعتی محسوب می‌شود (Sink & Tuttle, 1989).در صنایع غذایی، بهره‌وری شامل مصرف بهینه منابع، کاهش ضایعات، و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

۲-۱ بهره وری مصرف آب در صنایع غذایی

مصرف بالای آب در فرآیندهای شست‌وشو، فرآوری و خنک‌سازی، صنایع غذایی را به یکی از مصرف‌کنندگان عمده آب صنعتی

تبدیل کرده است. مطالعات نشان می‌دهد پایش هوشمند و تحلیل داده‌ها می‌تواند مصرف آب را به‌طور معناداری کاهش دهد (Cristóbal et al., 2018).

۲-۲ بهره وری انرژی و کاهش شدت انرژی

انرژی سهم بالایی از هزینه تولید دارد. ادغام سیستم‌های مدیریت انرژی با ابزارهای تصمیم‌یار، کاهش شدت انرژی و افزایش کارایی را گزارش کرده‌اند.(Garcia et al., 2019)

۲-۳کاهش ضایعات غذایی

ضایعات غذایی یکی از چالش‌های اساسی پایداری است. تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی تقاضا نقش مؤثری در کاهش ضایعات ایفا می‌کند.(Gustavsson et al., 2011)

۲-۴ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای(GHG)

کاهش مصرف انرژی و مدیریت ضایعات، همبستگی مستقیم با کاهش انتشار (GHG) دارد (Frontiers in Nutrition, 2019).

۲-۵ نقشDSS ، کلان‌داده و هوش مصنوعی

DSSهای مبتنی بر کلان‌داده و هوش مصنوعی امکان تحلیل چندمعیاره، شبیه‌سازی سناریوها و تصمیم‌گیری پیش‌نگرانه را فراهم می‌کنند.(Govindan et al., 2018; Zhang et al., 2020)

۲-۶ESG و پایداری

ESG شامل سه حوزه کلیدی است: محیط زیست(E) ، اجتماعی (S) و حکمرانی.(G)

محیط زیست: کاهش مصرف منابع، کاهشGHG ، استفاده از انرژی تجدیدپذیر.

اجتماعی: ارتقای شرایط کارکنان، سلامت و ایمنی، مسئولیت اجتماعی.

حکمرانی: شفافیت، گزارش‌دهی دقیق، رعایت استانداردها.

مرور ادبیات نشان می‌دهد که اگرچه مطالعات متعددی در زمینه کاهش مصرف آب و انرژی، کاهش ضایعات و بهبود عملکرد زیست‌محیطی در صنایع غذایی انجام شده است، اما بخش قابل‌توجهی از این پژوهش‌ها یا به‌صورت موردی و تک‌بُعدی بوده‌اند یا فاقد یک چارچوب تصمیم‌یار جامع و یکپارچه هستند که بتواند هم‌زمان ابعاد مختلف بهره‌وری و پایداری را پوشش دهد. این امر نشان‌دهنده وجود یک شکاف پژوهشی در زمینه طراحی مدل‌های تصمیم‌یار داده‌محور و چندلایه برای صنایع غذایی است.

۳-مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بهره وری به‌عنوان نسبت خروجی به ورودی، یکی از شاخص‌های کلیدی ارزیابی عملکرد سازمان‌ها محسوب می‌شود (Sink & Tuttle, 1989). در صنایع غذایی، بهره‌وری نه‌تنها شامل عوامل اقتصادی، بلکه جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی را نیز در بر می‌گیرد.

مطالعات متعددی بر نقش فناوری‌های نوین، داده‌کاوی و هوش مصنوعی در بهبود بهره‌وری صنعتی تأکید کرده‌اند (Kamble et al., 2020). همچنین، پژوهش‌ها نشان می‌دهد که سیستم‌های تصمیم‌یار چندلایه می‌توانند با یکپارچه‌سازی داده‌ها و تحلیل سناریوها، کیفیت تصمیم‌گیری را به‌طور قابل توجهی افزایش دهند.(Power, 2007)

با این وجود، اغلب مدل‌های ارائه‌شده فاقد چارچوبی جامع و متناسب با ویژگی‌های خاص صنایع غذایی هستند. این پژوهش تلاش می‌کند این خلأ را با ارائه یک مدل ساختاریافته شش‌لایه برطرف نماید.

۴- روش‌شناسی پژوهش و منطق طراحی مدل تصمیم‌یار شش‌لایه

این پژوهش از نوع کاربردی–توسعه‌ای بوده و با استفاده از روش توصیفی–تحلیلی انجام شده است. ابتدا با مرور ادبیات علمی، اجزای اصلی سیستم‌های تصمیم‌یار و شاخص‌های بهره‌وری در صنایع غذایی استخراج گردید. سپس، بر اساس نیازهای عملی صنعت، یک مدل شش‌لایه تصمیم‌یار طراحی و تشریح شد.

۴-۱ نوع پژوهش و رویکرد کلی

این پژوهش از نظر هدف، **کاربردی–توسعه‌ای** و از نظر ماهیت، **ترکیبی (کیفی–تحلیلی)** است. رویکرد اصلی پژوهش مبتنی بر **مطالعه مروری نظام‌مند** (Systematic Literature Review) همراه با **تحلیل مفهومی و مدل‌سازی تصمیم‌یار** می‌باشد. هدف اصلی، استخراج ابعاد کلیدی بهره‌وری پایدار در کشاورزی، صنایع غذایی و صنایع وابسته و یکپارچه‌سازی آن‌ها در قالب یک مدل داده‌محور تصمیم‌یار با رویکرد ESG است.

۴-۲ روش‌شناسی مقاله مروری نظام‌مند

برای اطمینان از جامعیت و اعتبار علمی، مرور ادبیات بر اساس چارچوب PRISMA و رویکرد مرور نظام‌مند انجام شده است.

۴-۲-۱ پایگاه‌های اطلاعاتی

منابع علمی از پایگاه‌های معتبر زیر استخراج شده‌اند:

- ✓ Scopus
- ✓ Web of Science

- ✓ ScienceDirect
- ✓ SpringerLink
- ✓ IEEE Xplore
- ✓ Google Scholar (برای تکمیل)

۴-۲-۲ کلیدواژه‌ها و استراتژی جستجو

کلیدواژه‌ها به‌صورت ترکیبی و هدفمند انتخاب شدند، از جمله:

- ✓ Productivity Improvement
- ✓ Decision Support System (DSS)
- ✓ Big Data Analytics
- ✓ Artificial Intelligence
- ✓ Food Industry
- ✓ Agriculture and Agri-food Systems
- ✓ Sustainability
- ✓ ESG
- ✓ Industry

جستجو به‌صورت ترکیب بولی انجام شد، مانند:

("Big Data" AND "Decision Support System" AND "Food Industry" AND "Sustainability")

۴-۳ تحلیل مفهومی و استخراج مؤلفه‌ها

پس از پالایش منابع، تحلیل محتوا به روش Thematic Analysis انجام شد. در این مرحله:

- ✓ بیش از **120 مفهوم اولیه** استخراج گردید؛
- ✓ مفاهیم مشابه تجمیع و در نهایت به **مؤلفه‌های کلیدی بهره‌وری پایدار** کاهش یافتند؛
- ✓ مؤلفه‌ها در سه بعد اصلی **محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی** (ESG) طبقه‌بندی شدند.(Elkington, 2018)

۴-۴ منطق طراحی مدل تصمیم‌یار شش‌لایه

منطق طراحی مدل پیشنهادی بر سه اصل اساسی استوار است:

۴-۴-۱ اصل داده‌محوری

با توجه به نقش کلان‌داده در تصمیم‌گیری‌های مدرن، مدل به‌صورت **پایین به بالا** (Bottom-up) طراحی شده و لایه داده به‌عنوان پایه اصلی مدل در نظر گرفته شده است.(Wang et al., 2018)

۴-۴-۲ اصل یکپارچگی تصمیم

مدل‌های موجود غالباً تک‌بعدی هستند. در این پژوهش، منطق مدل به‌گونه‌ای طراحی شده که:

- ✓ داده‌ها،
- ✓ تحلیل‌ها،
- ✓ تصمیم‌ها،
- ✓ و پیامدهای پایداری

در یک چارچوب منسجم به هم متصل شوند.(Zarte et al., 2019)

۴-۴-۳ اصل هم‌راستایی باESG

تمام لایه‌های مدل به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با شاخص‌های محیط‌زیستی(E) ، اجتماعی (S) و حاکمیتی (G) هم‌راستا شده‌اند تا مدل قابلیت استفاده در ارزیابی‌های سرمایه‌گذاری، سیاست‌گذاری و بهره‌وری پایدار را داشته باشد.(UNEP, 2021)

۴-۵ فرآیند توسعه مدل

فرآیند توسعه مدل در چهار گام اصلی انجام شده است:

۱. مرور نظام‌مند ادبیات و استخراج مفاهیم
۲. خوشه‌بندی مفاهیم و تعیین لایه‌های عملکردی

۳. طراحی ساختار منطقی ارتباط بین لایه‌ها

٤. اعتبارسنجی مفهومی مدل با تطبیق با مطالعات پیشین

پژوهش‌های منتخب (مروری)

جدول ۱ – خلاصه پژوهش‌های منتخب بهره‌وری در صنایع غذایی

محور	منبع	روش	دستاورد کلیدی
آب	Cristóbal et al., 2018	تحلیل داده	کاهش ۲۰–۳۰٪
انرژی	Garcia et al., 2019	مدیریت انرژی	کاهش ۱۵–۲۰٪
ضایعات	Gustavsson et al., 2011	پیش‌بینی	کاهش ۱۸–۲۵٪
GHG	Frontiers, 2019	بهینه‌سازی	کاهش غیرمستقیم

هدف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش طراحی و تبیین یک مدل تصمیم‌یار شش‌لایه داده‌محور برای ارتقای بهره‌وری در سامانه‌های کشاورزی–غذایی با تمرکز بر صنایع غذایی است. این مدل با بهره‌گیری از کلان‌داده و هوش مصنوعی، چارچوبی مفهومی برای تحلیل، پیش‌بینی و بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی، کاهش ضایعات، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و هم‌راستاسازی تصمیمات مدیریتی با شاخص‌های ESG ارائه می‌دهد.

۵- مدل تصمیم‌یار شش‌لایه پیشنهادی (طراحی پژوهش)

مدل پیشنهادی یک چارچوب مفهومی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری است و ادعای پیاده‌سازی صنعتی ندارد.

۶- تشریح تفصیلی مدل تصمیم‌یار شش‌لایه

معرفی مدل شش‌لایه تصمیم‌یار پیشنهادی

۱- لایه داده‌ها(Data Layer)

این لایه شامل جمع‌آوری داده‌های مربوط به تولید، مصرف انرژی، میزان ضایعات، نیروی انسانی و شاخص‌های زیست‌محیطی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

۲- لایه پیش‌پردازش و یکپارچه‌سازی

در این لایه، داده‌ها نرمال‌سازی، پالایش و خطاهای انسانی حذف می‌شوند تا کیفیت داده برای تحلیل افزایش یابد.

۳- لایه تحلیل و مدل‌سازی

تحلیل شاخص‌های بهره‌وری و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در این لایه انجام می‌شود.

۴- لایه هوشمندسازی و بهینه‌سازی

این لایه از الگوریتم‌های هوشمند برای پیش‌بینی عملکرد، کاهش ضایعات و بهینه‌سازی مصرف منابع بهره می‌برد.

۵- لایه پشتیبانی تصمیم

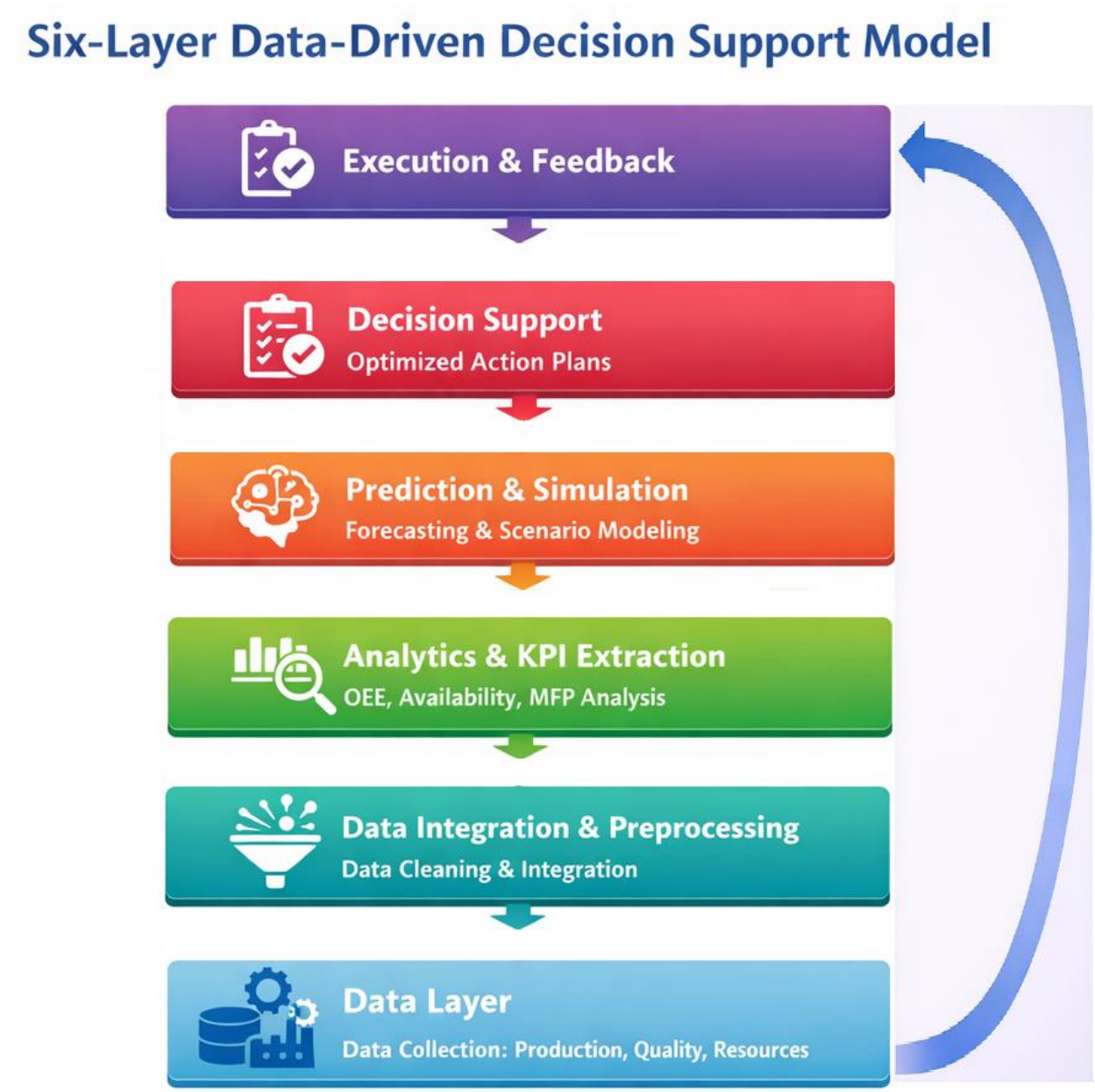
در این بخش، گزینه‌های تصمیم‌گیری مختلف رتبه‌بندی شده و تحلیل هزینه–فایده ارائه می‌شود.

۶- لایه خروجی و سیاست‌گذاری

خروجی‌ها شامل داشبوردهای مدیریتی و پیشنهادهای سیاستی برای مدیران صنعتی و تصمیم‌گیران کلان می‌باشد.

شکل ۱ – نمودار مفهومی مدل تصمیم‌یار شش‌لایه پیشنهادی

"داده ⟶ تحلیل ⟶ پیش‌بینی ⟶ بهینه‌سازی ⟶ ارزیابی ⟶ بازخورد"



۷- بحث و نتیجه‌گیری

بخش کشاورزی، صنایع غذایی و صنایع وابسته به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سامانه‌های تولیدی، سهم قابل‌توجهی در مصرف منابع طبیعی، تولید ضایعات و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد و از این‌رو ارتقای بهره‌وری در این بخش، نقشی کلیدی در دستیابی به توسعه پایدار ایفا می‌کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که گذار از رویکردهای سنتی و واکنشی به سمت تصمیم‌گیری داده‌محور و پیش‌نگر، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای صنایع غذایی است.

در این پژوهش، یک مدل تصمیم‌یار شش‌لایه داده‌محور برای ارتقای بهره‌وری در سامانه‌های کشاورزی–غذایی با تمرکز بر صنایع غذایی طراحی و تبیین شد. این مدل با یکپارچه‌سازی داده‌های مصرف آب و انرژی، تولید ضایعات، انتشار گازهای گلخانه‌ای و شاخص‌های پایداری، امکان تحلیل جامع و هم‌زمان ابعاد مختلف بهره‌وری را فراهم می‌سازد. بهره‌گیری از کلان‌داده و هوش مصنوعی در این چارچوب، زمینه پیش‌بینی پیامدهای تصمیمات مدیریتی و انتخاب گزینه‌های بهینه را فراهم می‌کند.

یافته‌های حاصل از مرور ادبیات و تحلیل مفهومی مدل نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های تصمیم‌یار داده‌محور می‌تواند به کاهش معنادار مصرف آب و انرژی، کاهش ضایعات، بهبود عملکرد زیست‌محیطی و افزایش شفافیت مدیریتی منجر شود. افزون بر این، مدل پیشنهادی قابلیت هم‌راستاسازی تصمیم‌گیری‌های صنعتی با الزامات محیط‌زیستی، اجتماعی و حاکمیتی (ESG) را داراست و می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای پاسخ‌گویی به انتظارات سرمایه‌گذاران و نهادهای نظارتی مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۱ دستاوردهای کلیدی پژوهش

مهم‌ترین دستاورد این پژوهش، ارائه یک چارچوب مروری–مفهومی منسجم و طراحی یک مدل تصمیم‌یار شش‌لایه داده‌محور برای ارتقای بهره‌وری و کاهش اثرات زیست‌محیطی در صنایع غذایی است. این مدل با پوشش کامل چرخه تصمیم‌گیری، امکان یکپارچه‌سازی شاخص‌های آب، انرژی، ضایعات و GHG را فراهم کرده و با ادغام مفاهیمESG ، چارچوبی راهبردی برای هدایت تصمیم‌گیری داده‌محور ارائه می‌دهد.

دستاوردهای اصلی این پژوهش را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

ارائه یک چارچوب مفهومی نوین برای تصمیم‌گیری داده‌محور در صنایع غذایی با رویکرد چندلایه و یکپارچه

تلفیق بهره‌وری و پایداری در قالب یک مدل تصمیم‌یار عملیاتی

ایجاد پیوند میان مدیریت صنعتی و شاخص‌هایESG

قابلیت تعمیم مدل به صنایع غذایی مختلف و سایر صنایع وابسته در سامانه‌های کشاورزی–غذایی

پشتیبانی از تصمیم‌سازی سیاست‌گذاران در حوزه بهره‌وری و پایداری صنعتی

۸-چالش‌ها، ملاحظات اخلاقی و محدودیت‌های مدل تصمیم‌یار شش‌لایه داده‌محور

۸-۱ضرورت طرح چالش‌ها و محدودیت‌ها

هرچند مدل‌های تصمیم‌یار داده‌محور ظرفیت بالایی برای ارتقای بهره‌وری پایدار دارند، اما پیاده‌سازی آن‌ها در سامانه‌های کشاورزی–غذایی با چالش‌های فنی، سازمانی و اخلاقی همراه است.

۸-۲ .چالش‌های فنی و داده‌ای

۸-۲-۱کیفیت و یکپارچگی داده‌ها

- ✓ ناهمگونی داده‌های تولید، انرژی، آب وHSE
- ✓ فقدان استانداردهای یکپارچه ثبت داده در صنایع غذایی
- ✓ داده‌های ناقص یا دارای خطا

مطالعات نشان می‌دهد بیش از ۶۰٪ شکست پروژه‌های داده‌محور ناشی از کیفیت پایین داده‌هاست (IBM, 2019) .

۸-۲-۲ زیرساخت دیجیتال و هزینه‌های پیاده‌سازی

- ✓ نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه در زیرساخت‌های دیجیتال
- ✓ محدودیت دسترسی صنایع کوچک و متوسط به فناوری‌های پیشرفته

بر اساس گزارش(2021) World Bank ، شکاف دیجیتال یکی از موانع اصلی تحول هوشمند در صنایع غذایی کشورهای در حال توسعه است.

۸-۳ چالش‌های سازمانی و مدیریتی

۸-۳-۱ مقاومت سازمانی در برابر تصمیم‌گیری داده‌محور

- ✓ ترجیح تصمیم‌گیری شهودی به تحلیل داده
- ✓ نگرانی مدیران از شفافیت عملکرد

McAfee & Brynjolfsson (2012)تأکید می‌کنند که فرهنگ سازمانی نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت DSS دارد.

۸-۳-۲ کمبود مهارت‌های تحلیلی

- ✓ کمبود نیروی متخصص در تحلیل داده و هوش مصنوعی
- ✓ فاصله میان دانش فنی و نیازهای مدیریتی

۸-۴ .ملاحظات اخلاقی و حکمرانی داده

۸-۴-۱ حریم خصوصی و امنیت داده‌ها

- ✓ ریسک نشت داده‌های تولیدی و نیروی انسانی
- ✓ ضرورت انطباق با چارچوب‌های حکمرانی داده

مطابق با اصول(2021) OECD ، شفافیت، پاسخ‌گویی و امنیت از الزامات اصلی سامانه‌های داده‌محور هستند.

۸-۴-۲ سوگیری الگوریتمی و تصمیم‌گیری ناعادلانه

- ✓ امکان بازتولید سوگیری‌های تاریخی در داده‌ها
- ✓ تأثیر تصمیمات الگوریتمی بر نیروی کار
- ✓ European Commission (2020)بر ضرورت ارزیابی اخلاقی الگوریتم‌ها تأکید دارد.

۹- پیشنهادها

۹-۱ پیشنهادها برای مدیران صنایع غذایی

-توسعه زیرساخت‌های داده‌ای و سامانه‌های پایش مصرف آب، انرژی و ضایعات

-استفاده از ابزارهای تحلیل داده و هوش مصنوعی در تصمیم‌گیری‌های عملیاتی و راهبردی

-به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌یار به‌منظور پیش‌بینی پیامدهای تصمیمات مدیریتی پیش از اجرا

-هم‌راستاسازی شاخص‌های بهره‌وری با شاخص‌های ESG در گزارش‌دهی عملکرد

۹-۲ پیشنهادها برای سیاست‌گذاران و نهادهای حاکمیتی

-تدوین سیاست‌های حمایتی برای توسعه و استقرار سیستم‌های تصمیم‌یار داده‌محور در صنایع غذایی

-تشویق صنایع به گزارش‌دهی شفاف مبتنی بر شاخص‌های بهره‌وری وESG

-ایجاد چارچوب‌های ملی برای پایش مصرف منابع و کاهش اثرات زیست‌محیطی در سامانه‌های کشاورزی–غذایی

-حمایت از پروژه‌های پایلوت جهت اعتبارسنجی مدل‌های تصمیم‌یار در مقیاس صنعتی

۹-۳ پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی

-پیاده‌سازی و اعتبارسنجی تجربی مدل پیشنهادی در صنایع غذایی کشور

-توسعه نسخه‌های بومی‌شده مدل با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و ساختار صنعتی

-بررسی اقتصادی و تحلیل هزینه–فایده اجرای مدل

-گسترش مدل به کل زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی و صنایع وابسته

توصیه می‌شود نهادهای متولی بهره‌وری، توسعهDSS های داده‌محور و ادغام شاخص‌های ESG را در برنامه‌های ملی ارتقای بهره‌وری صنایع غذایی لحاظ کنند.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی بر اعتبارسنجی مدل با داده‌های واقعی، توسعه شاخص‌های کمی ESG و بررسی نقش فناوری‌های نوین هوش مصنوعی تمرکز کنند.

این پژوهش با ارائه یک مدل تصمیم‌یار شش‌لایه داده‌محور، چارچوبی مرجع برای ارتقای بهره‌وری و کاهش اثرات زیست‌محیطی در صنایع غذایی پیشنهاد می‌کند. نتایج نشان می‌دهد DSS می‌تواند کاهش مصرف منابع و بهبود شاخص‌های پایداری را هم‌زمان محقق سازد. این یافته‌ها هم‌راستا با اهداف کنفرانس ملی بهره‌وری، بر بهینه‌سازی مصرف منابع، کاهش اتلاف و افزایش کارایی تأکید دارد.

منابع

FAO. (2021). Climate Change and the Food System. Rome: FAO.

FAO. (2020). Water use in agri-food systems.

FAO. (2019). The State of Food and Agriculture: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2017). Energy-smart food systems.

FAO. (2011). Global food losses and food waste.

IEA. (2022). Energy Efficiency Report.

Crippa, M., et al. (2021). Food systems are responsible for a third of global GHG emissions. Nature Food.

IPCC. (2021). Climate Change 2021.

Wamba, S. F., et al. (2017). Big data analytics and firm performance. Journal of Business Research.

Zhang, Y., et al. (2020). AI applications in food manufacturing. Trends in Food Science & Technology.

UN PRI. (2023). ESG Integration in Industry.

Turban, E., et al. (2011). Decision Support Systems and Intelligent Systems.

OECD. (2020). Innovation, Productivity and Sustainability in Food and Agriculture. Paris: OECD Publishing.

Sink, D. S., & Tuttle, T. C. (1989). Planning and Measurement in Your Organization of the Future. Industrial Engineering and Management Press.

Cristóbal, J., et al. (2018). Journal of Cleaner Production, 183, 42–55.

Garcia, D. J., et al. (2019). Energy, 172.

Gustavsson, J., et al. (2011). FAO.

Frontiers in Nutrition. (2019).

Govindan, K., et al. (2018). Resources, Conservation & Recycling.

Zhang, Y., et al. (2020). Sustainability, 12(6).

Power, D. J. (2007). A brief history of decision support systems. DSS Resources.

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2020). Sustainable Industry. framework. International Journal of Production Research, 58(12), 1–20.

Tseng, M. L., et al. (2019). Journal of Cleaner Production.

Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2020). Decision Support and Business Analytics Systems. Pearson.

Klemeš, J. J., et al. (2019). Applied Energy, 239, 1320–1337.

European Commission. (2020). A Farm to Fork Strategy for a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System. Brussels.

World Bank. (2020). Food Systems 2030: Transforming Food Systems for Inclusive and Sustainable Development. Washington, DC.

McAfee,A and Brynjolfsson,E. (October 2012). Decision making and problem solving. Big Data: The Management Revolution.
Van Fan, Y., et al. (2021). Renewable & Sustainable Energy Reviews.

ISO 14040. (2006).

ISO 50001. (2018).

European Commission. (2020). Farm to Fork Strategy.

WRAP. (2020). Food Waste Reduction Roadmap.

Van der Vorst, J., et al. (2018). Supply Chain Management.

Nestlé. (2022). Sustainability Report.

IPCC. (2019). Climate Change and Land. Geneva.

UNEP. (2021). Food Waste Index Report. Nairobi.