

فناوری‌های دیجیتال؛ راهکاری عملی برای کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری در کشاورزی

* محمد برزعلی

استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
ایمیل: m.barzali@areeo.ac.ir

چکیده

افزایش ضایعات غذایی در زنجیره‌ی تأمین، بهره‌وری کشاورزی را با چالش جدی مواجه ساخته است. فناوری‌های نوین دیجیتال همچون هوش مصنوعی، بلاک‌چین، اینترنت اشیاء و بسته‌بندی هوشمند، ظرفیت بهبود پیش‌بینی تقاضا، ره‌گیری شفاف و افزایش ماندگاری محصولات را فراهم آورده‌اند. با این حال، کاربرد مؤثر این فناوری‌ها در کاهش ضایعات، در گرو چارچوب حقوقی و حاکمیتی مناسبی است که مسئولیت خطاهای الگوریتمی، مالکیت داده‌ها و نظارت بر عملکرد را تعیین نماید. در این مقاله، با رویکردی مروری-تحلیلی، ضمن بررسی تجارب کشورهای پیشرو و مطالعه‌ی نظام‌های حقوقی ایران، چین و اتحادیه‌ی اروپا، الگوی حکمرانی هوشمند داده‌محور برای کاهش ضایعات غذایی ارائه شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب هوش مصنوعی و بلاک‌چین، با پشتیبانی زیرساخت اینترنت اشیاء، بیشترین تأثیر را بر کاهش ضایعات (تا ۵۰ درصد) و افزایش بهره‌وری زنجیره‌ی تأمین دارد. در مقابل، خلاءهای حقوقی موجود در ایران از جمله نبود قوانین شفاف در زمینه‌ی مالکیت داده و مسئولیت مدنی الگوریتم‌ها، از موانع اصلی توسعه‌ی این فناوری‌ها به شمار می‌رود. بر این اساس، اصلاح قانون مدیریت پسماند، تدوین مقررات حمایتی برای فناوری‌های ردیابی و بازتعریف مسئولیت تولیدکنندگان بر مبنای ریسک، به‌عنوان پیش‌نیازهای تحقق حکمرانی هوشمند داده‌محور پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: کاهش ضایعات، هوش مصنوعی، بلاک‌چین، قوانین کشاورزی، بهره‌وری در مزرعه.

مقدمه

ضایعات غذایی، یکی از مسائل ساختاری نظام‌های تولید و توزیع مواد غذایی در سطح جهانی محسوب می‌شود. بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد^۱، درصد قابل توجهی از مواد غذایی تولیدشده در مراحل پس از برداشت تا مصرف، از چرخه‌ی مصرف خارج می‌شود. در ایران، سالانه حدود ۳۰ درصد از محصولات کشاورزی در بازه‌ی زمانی برداشت تا مصرف نهایی تلف می‌شود که با اتلاف آب، خاک، سرمایه و نیروی کار همراه است (Financial Tribune, 2022). سازمان ملل متحد در هدف ۳-۱۲ از اهداف توسعه‌ی پایدار، کاهش ۵۰ درصدی ضایعات غذایی را تا سال ۲۰۳۰ تعیین کرده است.

«حکمرانی دیجیتال» به عنوان یکی از رویکردهای مؤثر در کاهش ضایعات و ارتقای بهره‌وری مطرح شده است که به مجموعه‌ی قوانین و نهادهای تنظیم‌گر کاربست فناوری‌های دیجیتال در بخش‌های مختلف اطلاق می‌شود (UNEP, 2026^۲). فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، بلاک‌چین و اینترنت اشیاء، با امکان پیش‌بینی دقیق‌تر تقاضا و ردیابی شفاف، ظرفیت بهبود بهره‌وری زنجیره‌ی تأمین را دارند. با وجود این، اغلب پژوهش‌های موجود بر جنبه‌های فنی این فناوری‌ها متمرکز بوده و ابعاد حقوقی و حاکمیتی آنها کمتر مورد بررسی قرار گرفته است؛ عاملی که میزان پذیرش این فناوری‌ها را در بخش کشاورزی ایران با محدودیت مواجه کرده است.

از مهم‌ترین موانع توسعه‌ی فناوری‌های دیجیتال در کشاورزی ایران می‌توان به ابهام در مالکیت داده‌ها، فقدان چارچوب مسئولیت‌پذیری در قبال خطای الگوریتم‌ها و نبود حمایت قانونی کافی از ثبت اختراعات نرم‌افزاری اشاره کرد. این موانع

حقوقی، کاربست مؤثر فناوری‌های نوین را با تأخیر مواجه ساخته و کاهش ضایعات غذایی را با دشواری همراه کرده است. در این مقاله، با مرور فناوری‌های نوین و تحلیل تطبیقی ابعاد حقوقی آنها با تجارب کشورهای پیشرو (چین و اتحادیه‌ی اروپا)، دستورالعملی گام‌به‌گام و عملی ارائه شده است تا بهره‌برداران و کارشناسان، بدون نیاز به دانش تخصصی حقوقی، امکان اندازه‌گیری ضایعات، انتخاب فناوری مناسب و بهره‌گیری از قوانین موجود برای افزایش درآمد و بهره‌وری را فراهم آورد.

معرفی دستاوردها و راهکارها

۱- هوش مصنوعی و پیش‌بینی تقاضا

هوش مصنوعی، یکی از کارآمدترین ابزارهای کاهش ضایعات غذایی محسوب می‌شود. بر اساس یافته‌های پژوهش‌ها، این فناوری در شرایط مطلوب قادر به کاهش هدررفت تا ۳۰ تا ۳۵ درصد است (Kim et al., 2025). کاربردهای اصلی هوش مصنوعی در این حوزه عبارت است از:

پیش‌بینی تقاضا: الگوریتم‌های یادگیری ماشین با تحلیل داده‌های فروش ادوار گذشته، شرایط جوی و الگوهای مصرف، میزان تقاضای روزهای آتی را برآورد می‌کنند. این پیش‌بینی، امکان تنظیم به موقع موجودی را فراهم می‌آورد و از انباشت محصولات زودفاسد جلوگیری می‌کند.

بهینه‌سازی حمل‌ونقل: سیستم‌های هوشمند با انتخاب مسیرهای بهینه، مدت زمان حمل و احتمال فساد محصول را کاهش می‌دهند.

^۲. United Nations Environment Programme (UNEP)

^۱. Food and Agriculture Organization (FAO)

کنترل دما و نگهداری: سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، دما و رطوبت سردخانه‌ها را پایش و تنظیم می‌کنند و از فساد زودهنگام جلوگیری می‌نمایند.

تشخیص کیفیت محصول: سامانه‌های بینایی ماشین، محصولات نزدیک به فساد را شناسایی و امکان مصرف یا فرآوری سریع‌تر آن‌ها را فراهم می‌کند (Rahman & Torres, 2025).

هوش مصنوعی همچنین مصرف انرژی در زنجیره‌ی سرد را کاهش می‌دهد. با این حال، پیاده‌سازی آن با موانعی همچون کمبود داده‌های باکیفیت، هزینه‌های بالای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، کمبود نیروی انسانی متخصص و چالش‌های حقوقی مرتبط با حریم خصوصی داده‌ها و شفافیت الگوریتم‌ها مواجه است. با وجود این، نمونه‌هایی از کاربرد موفق این فناوری در برخی واحدهای تولیدی ایران در زمینه‌ی بهینه‌سازی تولید و کنترل کیفیت گزارش شده است.

۲- بلاک‌چین و ردیابی زنجیره‌ی تأمین

بلاک‌چین، دفتر ثبت دیجیتالی غیرمتمرکز و غیرقابل دستکاری است که اطلاعات مربوط به جابه‌جایی محصولات را در قالب بلوک‌هایی ثبت و ذخیره می‌کند. این ویژگی، ردیابی شفاف و قابل استناد محصولات را از مزرعه تا مصرف‌کننده ممکن می‌سازد. کاربردهای اصلی آن عبارت است از:

ردیابی منشأ محصول: ثبت اطلاعات تولید، حمل و توزیع در بلاک‌چین، شناسایی سریع منبع آلودگی یا مشکل کیفی را تسهیل می‌کند.

قراردادهای هوشمند: این قراردادها به صورت خودکار شرایط نگهداری، زمان تحویل و کیفیت محصول را بررسی و در صورت تخلف، اقداماتی نظیر هشدار یا لغو معامله را اجرا می‌کنند.

گزارش‌دهی شفاف ضایعات: ثبت غیرقابل تغییر داده‌های مربوط به ضایعات، نظارت‌پذیری و پاسخگویی در زنجیره‌ی تأمین را افزایش می‌دهد.

افزایش شفافیت برای مصرف‌کننده: دسترسی به اطلاعات شفاف، امکان تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر را برای مصرف‌کننده فراهم می‌آورد.

پیاده‌سازی بلاک‌چین، نظیر طرح «گذرنامه‌ی دیجیتالی محصول» در اتحادیه‌ی اروپا، به بهبود گزارش‌پذیری کمک می‌کند. با این حال، موانعی از جمله نبود استانداردهای تبادل داده، ابهام در مالکیت داده‌ها و حمایت قانونی ناکافی از توسعه‌دهندگان فناوری، فراگیری آن را با محدودیت مواجه کرده است (Farhadi & Mohammadi, 2025).

۳- بسته‌بندی هوشمند و نظارت بر کیفیت

بسته‌بندی هوشمند با به کارگیری سنسورها و نشانگرهای مختلف، وضعیت کیفی محصول را به صورت مستمر پایش می‌کند. انواع رایج آن عبارت است از:

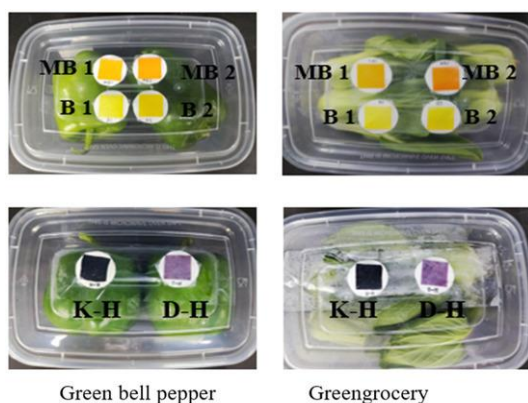
برچسب‌های زمان-دما: ثبت تاریخچه‌ی دمایی محصول و نمایش تاریخ انقضای واقعی بر اساس شرایط نگهداری.

نشانگرهای فساد: تغییر رنگ در واکنش به فساد شیمیایی، به عنوان هشدار اولیه.

سنسورهای اینترنت اشیاء: ارسال لحظه‌ای داده‌های دما و رطوبت برای نظارت از راه دور.

بسته‌بندی هوشمند، افزون بر نقش حفاظتی، ابزاری مدیریتی مبتنی بر داده محسوب می‌شود. چالش‌های آن شامل هزینه‌های بالای تولید انبوه، فقدان استانداردهای یکپارچه برای داده‌های حسگری، مسائل حقوقی مرتبط با مالکیت داده و میزان پذیرش از سوی مصرف‌کننده است. از نمونه‌های

رنگ برچسب‌های حاوی این ماده دستخوش تغییر می‌شود. این ویژگی، امکان تشخیص تازگی یا فساد محصول را بدون گشودن بسته‌بندی فراهم می‌آورد و آنتوسیانین‌ها را به یکی از حسگرهای طبیعی قابل کاربرد در بسته‌بندی‌های هوشمند تبدیل کرده است. شکل (۳) نمونه کاربرد این برچسب‌ها را بر روی بسته‌بندی سبزی‌ها نشان می‌دهد. این برچسب‌ها معمولاً از ترکیب آنتوسیانین با پلیمرهایی نظیر کیتوسان (مشتق شده از پوسته‌ی سخت‌پوستان) یا نشاسته ساخته می‌شوند. در طول نگهداری در شرایط سرد، تغییر رنگ این برچسب‌ها هشدار بر کاهش تازگی محصول محسوب می‌شود. این روش، به‌عنوان راهکاری غیر مخرب، لحظه‌ای و قابل مشاهده برای پایش کیفیت مواد غذایی در زنجیره‌ی سرد کاربرد دارد (Feng et al. , 2023).



شکل ۳: نمونه‌ای از بسته‌بندی هوشمند مجهز به برچسب حساس به اسیدیت (پی‌اچ) برای پایش تازگی فلفل دلمه‌ای سبز و سبزی‌های برگ‌ی در زنجیره‌ی سرد

شناخته‌شده در این حوزه، سامانه «رایپ‌سنس»^۱ است که با استفاده از حسگرهای حساس به ترکیبات فرار ناشی از رسیدگی میوه، کیفیت واقعی محصول را از طریق تغییر رنگ نمایش می‌دهد (Fuertes et al., 2016). چنانکه در شکل (۱) مشاهده می‌شود، تغییر رنگ حسگر از قرمز (سفت و نارس) به نارنجی (نیمه‌رس) و سپس زرد (رسیده) بیانگر مراحل مختلف رسیدگی محصول است. این فناوری، انتخاب زمان مناسب مصرف را برای مصرف‌کننده تسهیل می‌کند و از دورریز زود هنگام یا دیرهنگام محصول جلوگیری می‌نماید. شکل (۲) نیز نمونه کاربرد این فناوری را بر روی بسته‌بندی گلابی رقم آنژو نشان می‌دهد. بسته‌بندی هوشمند با کاهش ابهام در تشخیص کیفیت محصول، به مدیریت بهینه زنجیره‌ی تأمین و کاهش ضایعات غذایی کمک می‌کند.



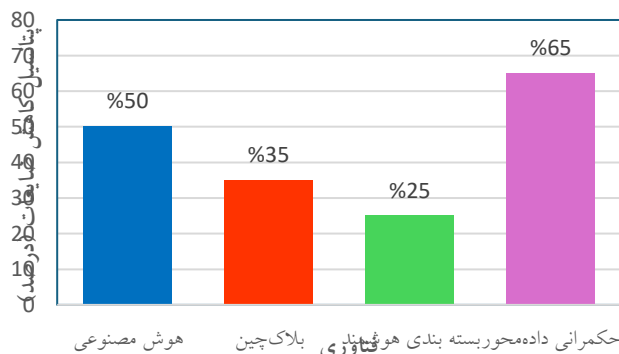
آنتوسیانین‌ها، از مواد طبیعی پرکاربرد در ساخت بسته‌بندی‌های هوشمند محسوب می‌شوند. این ترکیبات، رنگ‌دانه‌های محلول در آب هستند که مسئول ایجاد طیف رنگی قرمز، بنفش و آبی در میوه‌ها و سبزی‌ها هستند. ویژگی اصلی آنتوسیانین‌ها، حساسیت به تغییرات اسیدیته است؛ به‌گونه‌ای که با تغییر اسیدیته محیط ناشی از فساد مواد غذایی،

۴-تحلیل مقایسه‌ای کارایی فناوری‌ها در کاهش ضایعات و ارتقای بهره‌وری
 انتخاب آگاهانه فناوری‌های نوین دیجیتال برای کاهش ضایعات غذایی و افزایش بهره‌وری زنجیره‌ی تأمین، مستلزم درک مقایسه‌ای از عملکرد اصلی، میزان اثربخشی، مزایا و چالش‌های هر فناوری است. در جدول (۱)، راهنمای انتخاب فناوری مبتنی بر نوع مسئله و دستاورد مورد انتظار ارائه شده است.

جدول (۱)- راهنمای انتخاب فناوری برای کاهش ضایعات غذایی

فناوری	مسئله قابل حل	دستاورد مورد انتظار
هوش مصنوعی	خطای پیش‌بینی تقاضا، مدیریت نادرست موجودی، برنامه‌ریزی نامناسب	پیش‌بینی دقیق تقاضا، بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها، کاهش تا ۵۰ درصد ضایعات (Khanna & Moradi, 2025).
بلاک‌چین	عدم شفافیت زنجیره‌ی تأمین، تقلب، نبود ردیابی قابل استناد	ردیابی کامل و شفاف از مزرعه تا مصرف‌کننده، افزایش شفافیت و کاهش هدررفت (Senarathna, 2025).
اینترنت اشیاء (سنسورهای دما، رطوبت و گاز)	فساد در سردخانه، اختلال در زنجیره‌ی سرد، نگهداری طولانی‌مدت	نظارت لحظه‌ای، تشخیص زودهنگام فساد، کاهش قابل توجه ضایعات
سیستم‌های هوشمند (ترکیب هوش مصنوعی + اینترنت اشیاء)	نیاز به نظارت یکپارچه، اطلاع‌رسانی سریع و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده	نظارت مداوم، افزایش عمر مفید محصول، بهینه‌سازی مصرف انرژی (Martínez & Kim, 2025).

همزمان از هوش مصنوعی و بلاک‌چین (حکمرانی داده‌محور) به نتایج بهتری نسبت به کاربرد مجزای هر یک منجر می‌شود (Khanna & Moradi, 2025).



نمودار ۱- کارایی نسبی فناوری‌های نوین دیجیتال در کاهش ضایعات غذایی، بهبود شفافیت زنجیره‌ی تأمین و کاهش مصرف انرژی (Khanna & Moradi, 2025; Martínez & Kim, 2025; Senarathna, 2025)

پیاده‌سازی مؤثر این فناوری‌ها، نیازمند زیرساخت‌های دیجیتال مناسب، کیفیت داده‌ها و دسترسی به آن‌هاست. از منظر بهره‌وری سبز، هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء بیشترین تأثیر را بر کاهش مصرف انرژی و افزایش کارایی نهاده‌ها دارند، درحالی‌که بلاک‌چین عمدتاً بهره‌وری اطلاعاتی (کاهش عدم تقارن اطلاعاتی و هزینه‌های مبادله) را ارتقا می‌دهد. بسته‌بندی هوشمند با وجود مزایای کیفی، به دلیل هزینه‌های بالا، در شرایط کنونی بازده اقتصادی کم‌تری دارد. نمودار (۱) میزان کارایی نسبی فناوری‌های مختلف را در سه شاخص کاهش ضایعات، بهبود شفافیت زنجیره‌ی تأمین و کاهش مصرف انرژی نشان می‌دهد. بر اساس یافته‌ها، استفاده

مواجه می‌سازند. در ادامه، مهم‌ترین ابعاد به‌صورت خلاصه بررسی می‌شود.

۱- مالکیت داده‌ها و حریم خصوصی

داده‌های تولیدشده توسط حسگرها، سامانه‌های ردیابی و پلتفرم‌های دیجیتال، در نظام حقوقی ایران از مالکیت مشخصی برخوردار نیستند (مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۲). این خلأ حقوقی، ابهام در زمینه‌ی حریم خصوصی، کنترل دسترسی و تبادل امن داده‌ها میان کشاورز، پردازشگر و توزیع‌کننده را به دنبال دارد. در این زمینه، تدوین قوانین مشابه مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها^۱ در اتحادیه اروپا برای داده‌های صنعتی و تجاری در ایران قابل‌بررسی است.

۲- مسئولیت حقوقی و مدنی (الگوریتمی)

کاربرد سیستم‌های هوشمند، پرسش‌هایی را در زمینه‌ی مسئولیت مدنی مطرح می‌سازد، ازجمله: در صورت پیش‌بینی اشتباه الگوریتم هوش مصنوعی و ایجاد ضایعات، مسئولیت متوجه توسعه‌دهنده، اپراتور یا کاربر نهایی است؟

نقص نرم‌افزاری، نقض امنیت داده یا خرابی سنسور دما، کدام‌یک از بازیگران زنجیره‌ی تأمین را مسئول می‌شناسد؟ قواعد مندرج در قانون مدنی (مواد ۳۲۸ به بعد) پاسخ روشنی به این موارد ارائه نمی‌دهد (مجلس شورای اسلامی، ۱۳۳۹).

۳- حاکمیت محیط‌زیستی و مسئولیت تولیدکنندگان

قانون مدیریت پسماند (مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۳) رویکردی سستی دارد و فناوری‌های دیجیتال را در بر نمی‌گیرد. بازتعریف مسئولیت تولیدکنندگان از الگوی

مقایسه‌ی کارایی نسبی فناوری‌های مختلف بر اساس شاخص ظرفیت کاهش ضایعات نشان می‌دهد که هوش مصنوعی بیشترین تأثیر را بر کاهش ضایعات مستقیم (تا ۵۰ درصد در این مطالعه) و کاهش مصرف انرژی (از طریق بهینه‌سازی حمل‌ونقل و سردخانه) دارد اما در شفافیت زنجیره‌ی تأمین نسبت به بلاک‌چین عملکرد کم‌تری ارائه می‌دهد. در مقابل، بلاک‌چین بالاترین اثربخشی را در شفافیت و گزارش‌پذیری نشان می‌دهد، درحالی‌که تأثیر مستقیم آن بر کاهش فیزیکی ضایعات، از هوش مصنوعی کمتر است. اینترنت اشیاء به‌عنوان لایه‌ی زیرساختی، عملکرد متوازنی در هر سه شاخص دارد اما به‌تنهایی قادر به کاهش چشمگیر ضایعات نیست. بر این اساس، استفاده همزمان از هوش مصنوعی و بلاک‌چین (حکمرانی داده‌محور) نتایج موثرتری نسبت به کاربرد مجزای هر یک به همراه دارد؛ چراکه هوش مصنوعی الگوهای فساد را پیش‌بینی می‌کند و بلاک‌چین صحت داده‌های ورودی را تضمین می‌نماید. بنابراین برای ارتقای بهره‌وری کل زنجیره‌ی تأمین، سرمایه‌گذاری بر ترکیب هوش مصنوعی و بلاک‌چین (با اولویت پیاده‌سازی اینترنت اشیاء به‌عنوان لایه جمع‌آوری داده) در مقایسه با توسعه‌ی یک فناوری خاص، اولویت بالاتری دارد.

ابعاد حقوقی و حاکمیتی

پیاده‌سازی فناوری‌های نوین (هوش مصنوعی، بلاک‌چین و اینترنت اشیاء) برای کاهش ضایعات غذایی، با چالش‌های حقوقی و حاکمیتی همراه است. این چالش‌ها در صورت عدم مدیریت، بهره‌وری و پایداری زنجیره‌ی تأمین را با مخاطره

1. General Data Protection Regulation (GDPR)

«تقصیر» به «مبتنی بر ریسک» و در نظر گرفتن چرخه‌ی حیات کامل محصول، ضروری به نظر می‌رسد. در جدول (۲)، نظام‌های حقوقی ایران، چین و اتحادیه اروپا به‌منظور استخراج الگوی مناسب برای «حکمرانی هوشمند داده‌محور ضایعات غذایی» مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که موفقیت فناوری‌های نوین در کاهش ضایعات غذایی، نیازمند سه عنصر کلیدی مسئولیت مبتنی بر ریسک، ارزیابی پیش‌از

اجرای آثار الگوریتم‌ها و حاکمیت مشارکتی داده‌هاست. در حال حاضر، چارچوب حقوقی یکپارچه‌ای در ایران که مسئولیت مدنی، حکمرانی داده و قانون مدیریت پسماند را با فناوری‌های دیجیتال تلفیق کند، وجود ندارد. اتحادیه اروپا و چین قوانین جامع‌تری برای ردیابی دیجیتال محصولات تدوین کرده‌اند، درحالی‌که ایران همچنان در مراحل ابتدایی این مسیر قرار دارد.

جدول ۲- تحلیل تطبیقی نظام‌های حقوقی ایران، چین و اتحادیه اروپا در حکمرانی هوشمند داده‌محور ضایعات غذایی

مؤلفه	ایران	چین	اتحادیه اروپا
تنظیم‌گری هوش مصنوعی	فاقد قانون خاص	دستورالعمل‌های اداری	قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا ^۱ (EU Artificial Intelligence Act, 2024) - مبتنی بر طبقه‌بندی ریسک
حکمرانی داده	پراکنده	قانون امنیت داده	مقررات عمومی حفاظت از داده و قانون داده‌های اتحادیه اروپا (EU Data Act, 2024)
رهگیری دیجیتال	چارچوب تکامل نیافته	بلاک چین کشاورزی دولتی	گذرنامه دیجیتال محصول ^۲ (ESPR, 2024)
مسئولیت زیست‌محیطی	مبتنی بر تقصیر	مدل ترکیبی دولتی	مسئولیت توسعه تولیدکننده ^۳ (EPR, 2008)

مدل حکمرانی هوشمند داده‌محور برای کاهش ضایعات

غذایی و ارتقای بهره‌وری

مدل حکمرانی داده‌محور، رویکردی نظارتی مبتنی بر جمع‌آوری، تحلیل و توزیع لحظه‌ای داده‌های زنجیره‌ی تأمین (از تولید تا مصرف) در اختیار نهادهای ناظر است که امکان پایش مستمر بهره‌وری و کاهش ضایعات را فراهم می‌آورد. این مدل بر پایه شش اصل شفافیت (ثبت و گزارش تمام داده‌های مربوط به تولید، توزیع و ضایعات غذایی با رعایت حریم خصوصی)، مسئولیت‌پذیری (تعیین مسئولیت مشخص

برای هر حلقه از زنجیره‌ی تأمین در قبال کاهش ضایعات)، قابلیت تبادل (برقراری ارتباط سیستم‌های مختلف و تبادل داده با یکدیگر)، حفظ امنیت و حریم خصوصی (محافظت از داده‌ها در برابر دسترسی‌های غیرمجاز)، قابلیت اندازه‌گیری (ارزیابی نتایج اقدامات کاهش ضایعات) و انعطاف‌پذیری (توانمندی مدل در تطبیق با تغییرات فناوری و نیازهای مختلف) استوار است. برای اجرای مؤثر این مدل، چارچوب حقوقی پیشنهادی مشتمل بر مؤلفه‌هایی چون قانون حاکمیت داده‌های زنجیره‌ی تأمین غذا (شامل تعریف مالکیت و حقوق

۱. این مفهوم در چارچوب دستورالعمل چارچوب پسماند تعریف شده است و بر اساس^۳ آن، تولیدکنندگان محصولات مسئولیت مالی یا مالی و سازمانی برای مدیریت مرحله پسماند چرخه‌حیات محصول خود را بر عهده دارند.

۱. این مقررات، سیستم‌های هوش مصنوعی را بر اساس رویکرد مبتنی بر ریسک به چهار سطح «غیرقابل قبول»، «پرریسک»، «ریسک محدود» و «ریسک حداقلی» طبقه‌بندی می‌کند.

۲. گذرنامه دیجیتال محصول، سابقه‌ای الکترونیکی و اجباری است که اطلاعات مربوط به پایداری و چرخه‌حیات محصول را در طول چرخه‌حیات آن ثبت می‌کند و تحت مقررات طراحی سبز برای محصولات پایدار تعریف شده است.

توصیه ترویجی

برای کاهش ضایعات کشاورزی و غذایی، نیازی به انتظار برای تصویب قوانین جدید نیست و با بهره‌گیری از قوانین و ابزارهای موجود، امکان اقدام عملی فراهم است. در این راستا، شش توصیه‌ی عملی قابل اجرا ارائه می‌شود.

۱- **اندازه‌گیری ضایعات:** بهره‌برداران می‌توانند با تهیه دفترچه یادداشت و ثبت روزانه سه رقم (مقدار محصول برداشت‌شده، مقدار فروش‌رفته و مقدار دورریز)، درصد ضایعات را پس از یک ماه محاسبه کنند. برای نمونه، اگر از ۱۰۰۰ کیلوگرم محصول برداشت‌شده، ۸۰ کیلوگرم دور ریخته شود، میزان ضایعات برابر با ۸ درصد خواهد بود. این اندازه‌گیری، امکان شناسایی مراحل پُر ضایعات و برنامه‌ریزی برای کاهش آن را فراهم می‌کند.

۲- **کاربرد حسگرهای پایش دما در زنجیره‌ی سرد:** حسگرهای دمای بلوتوثی با قیمت تقریبی ۳۰۰ تا ۵۰۰ هزار تومان در بازار موجود هستند. نصب این حسگرها بر روی سردخانه یا یخچال و اتصال آن‌ها از طریق بلوتوث به گوشی همراه، امکان پایش دمای محصول را از هر مکان فراهم می‌آورد. این روش می‌تواند نرخ فساد محصولات تازه را از ۲۰ درصد به زیر ۵ درصد کاهش دهد (Zawya, 2026).

۳- **بهره‌گیری از تجارب موفق داخلی:** برخی سردخانه‌ها و واحدهای بسته‌بندی محصولات باغی در استان‌های آذربایجان شرقی، خراسان رضوی و مازندران با استفاده از سامانه‌های پایش دما و رطوبت، کیفیت نگهداری محصولات را بهبود بخشیده و خسارت ناشی از فساد را کاهش داده‌اند. بهره‌برداران می‌توانند از طریق مراکز جهاد کشاورزی، مدیریت ترویج استان یا تعاونی‌های تولید با این تجربه‌ها آشنا شده و از مشاوره فنی آن‌ها بهره‌مند شوند. همچنین، مشابه

استفاده از داده‌ها، الزامات حفاظت از حریم خصوصی و استانداردهای امنیت داده)، آیین‌نامه‌ی گزارش‌دهی ضایعات غذایی (الزام به گزارش‌دهی منظم، فرمت‌های استاندارد و مجازات‌های عدم گزارش یا گزارش نادرست)، مقررات مسئولیت مدنی در سیستم‌های هوشمند مبتنی بر تعیین مسئولیت‌ها در سناریوهای مختلف و رویکرد مسئولیت مبتنی بر ریسک، ممیزی و ارزیابی پیشینی الگوریتمی، مالکیت مشارکتی داده، تسریع ثبت اختراعات سبز، اصلاح قانون مدیریت پسماند با رویکرد پیشگیری دیجیتال، مشوق‌های مالیاتی برای فناوری‌های کاهش ضایعات، الحاق فصل «مسئولیت الگوریتمی» به قانون مسئولیت مدنی، الزامات بیمه و مکانیسم‌های جبران خسارت و استانداردهای فنی (شامل استانداردهای قابلیت تبادل داده، امنیت سایبری و کیفیت الگوریتم‌ها) است.

جدول (۳) با عنوان «چارچوب راهبردی گذار از حکمرانی سنتی به حکمرانی هوشمند داده‌محور در کاهش ضایعات غذایی»، الگویی چندسطحی را ارائه می‌دهد که چگونگی حرکت از رویکردهای متداول و بخش‌نگری‌شده به‌سوی نظامی یکپارچه، شفاف و مبتنی بر داده را نشان می‌دهد. این چارچوب در سه سطح محلی، ترویجی-آموزشی و سیاستی-نهادی تدوین شده است و برای هر سطح، راهبرد کلیدی، نهادهای مسئول و اثر مورد انتظار بر بهره‌وری تعیین شده است. هدف اصلی، هماهنگ‌سازی اقدامات از مزرعه تا سطح کلان سیاست‌گذاری است تا فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، بلاک‌چین و اینترنت اشیاء در بستری حقوقی و نهادی مناسب، بیشترین تأثیر را بر کاهش ضایعات و ارتقای بهره‌وری آب، خاک، انرژی و سرمایه داشته باشند.

همچنین بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهادهایی حقوقی تفصیلی برای ارتقای حکمرانی دیجیتال و چارچوب حقوقی فناوری‌های نوین در کاهش ضایعات غذایی در پیوست آمده است.

کاهش ضایعات، افزون بر جنبه زیست‌محیطی، یک فرصت اقتصادی محسوب می‌شود. با سه اقدام ساده‌ی اندازه‌گیری، قانون بودجه هر سال، تسهیلات بخش کشاورزی به درخواست‌کنندگان طبق ضوابط اختصاص می‌یابد و می‌توان کاربرد سنسورهای ارزان‌قیمت و همکاری گروهی، امکان افزایش درآمد تا ۲۰ درصد فراهم است (WRAP, 2024).

تجربه تعاونی گندم‌کاران دشت مغان که با خرید گروهی نهاده‌ها و تجهیزات، هزینه‌ها را کاهش دادند، می‌توان از تعاونی یا مرکز ترویج برای خرید گروهی حسگرها و نرم‌افزارها راهنمایی دریافت کرد. افزون بر این، بر اساس از جهاد کشاورزی برای دریافت تسهیلات خرید تجهیزات کاهش ضایعات درخواست نمود.

۴- **تبدیل ضایعات به درآمد:** ضایعات میوه و سبزی قابل‌استفاده در تغذیه دام هستند و می‌توان با قرارداد با دامداری‌ها یا استفاده مستقیم، آن‌ها را به درآمد تبدیل کرد. ضایعات دامی نیز با استفاده از مخازن ساده بیوگاز، قابلیت تبدیل به گاز و کود را دارند. آموزش ساخت مخزن بیوگاز ساده از طریق منابع معتبر اینترنتی در دسترس است.

۵- **استفاده از معافیت‌های مالیاتی:** بر اساس ماده ۸۱ قانون مالیات‌های مستقیم، درآمد حاصل از فعالیت‌های کشاورزی، دامپروری، دامداری و پرورش ماهی از پرداخت مالیات معاف است. همچنین بر اساس بند (ب) ماده ۱۳۲ قانون یادشده، واحدهای تولیدی و معدنی در بخش‌های تعاونی و خصوصی مشمول معافیت‌های مالیاتی هستند. بهره‌برداران می‌توانند با بررسی وضعیت مالیاتی خود و مشورت با اداره امور مالیاتی، از معافیت‌ها و مشوق‌های قانونی موجود بهره‌مند شوند.

۶- **بهره‌گیری از آموزش‌های رایگان مدیریت ضایعات:** سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراکز جهاد کشاورزی و دانشگاه‌ها دوره‌ها، کارگاه‌ها و محتوای آموزشی رایگان در زمینه مدیریت پس از برداشت، نگهداری محصولات و کاهش ضایعات ارائه می‌دهند. شرکت در این برنامه‌ها با هزینه اندک، موجب افزایش دانش فنی و کاهش خسارت محصول می‌شود.

جدول ۳- چارچوب راهبردی گذار از حکمرانی سنتی به حکمرانی هوشمند داده‌محور در کاهش ضایعات غذایی

سطح اقدام	راهبرد کلیدی	توضیح عملی و هدف	نهاد/بازیگر مسئول	اثر مورد انتظار
سطح محلی (مزرعه و روستا)	اندازه‌گیری و گزارش‌دهی ساده ضایعات	ارائه اپلیکیشن ساده و کم‌هزینه برای ثبت روزانه ضایعات توسط کشاورز	مراکز ترویج، تعاونی‌های روستایی	افزایش آگاهی و کاهش ۱۰-۱۵ درصدی ضایعات در مبدأ (بهره‌وری نهاده‌ها)
سطح ترویجی-آموزشی	کارگاه‌های هم‌آفرینی فناوری و کشاورز	آموزش استفاده از سنسورهای دمای ارزان‌قیمت و تفسیر داده‌ها	سازمان ترویج، دانشگاه‌ها	کاهش فساد در زنجیره سرد (بهره‌وری انرژی)
سطح سیاستی و نهادی	اصلاح قوانین (مالکیت داده، مسئولیت الگوریتمی، ثبت اختراعات سبز)	تدوین پیش‌نویس قانون حمایت از داده‌های کشاورزی و مقررات هوش مصنوعی	مجلس، وزارت جهاد، سازمان محیط زیست	رفع موانع حقوقی و جذب سرمایه‌گذاری (بهره‌وری کل عوامل)

منابع

۱. مجلس شورای اسلامی. (۱۳۸۲). قانون تجارت الکترونیکی. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. <https://rc.majlis.ir/fa/law/show/93997>
۲. مجلس شورای اسلامی. (۱۳۷۹). قانون حمایت از حقوق پدیدآورندگان نرم‌افزارهای رایانه‌ای. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. <https://rc.majlis.ir/fa/law/show/93463>
۳. مجلس شورای اسلامی. (۱۳۸۶). قانون ثبت اختراعات، طرح‌های صنعتی و علائم تجاری. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. <https://rc.majlis.ir/fa/law/show/133809>
۴. مجلس شورای اسلامی. (۱۳۸۳). قانون مدیریت پسماندها. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. <https://rc.majlis.ir/fa/law/show/94060>
۵. مجلس شورای اسلامی. (۱۳۳۹). قانون مسئولیت مدنی. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. <https://rc.majlis.ir/fa/law/show/95202>
6. Farhadi, F., and Mohammadi, L. (2025). Legal challenges of AI and blockchain in food waste management: A case study in Iran. *Journal of Food Law and Technology*, 12(1), 45-67.
7. Feng, T., Chen, H., and Zhang, M. (2023). Applicability and freshness control of pH-sensitive intelligent label in cool chain transportation of vegetables. *Foods*, 12(18), 3489. <https://doi.org/10.3390/foods12183489>
8. Financial Tribune. (2022). 30% of agro production go to waste: Official. <https://financialtribune.com/articles/domestic-economy/114441/30-of-agro-production-go-to-waste-official>
9. Fuertes, G., Soto, I., Carrasco, R., Vargas, M., Sabattin, J., & Lagos, C. (2016). Intelligent packaging systems: Sensors and nanosensors to monitor food quality and safety. *Journal of Sensors*, 2016, Article 4046061. <https://doi.org/10.1155/2016/4046061>
10. Khanna, A., and Moradi, M. (2025). Generative AI and blockchain-integrated multi-agent framework for resilient and sustainable fruit cold-chain logistics. *Foods*, 14(17), e 3004. <https://doi.org/10.3390/foods14173004>
11. Martínez, P., and Kim, H. (2025). IoT-enabled smart packaging for cold chain monitoring in dairy supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 210, 107890.

15. WRAP. (2024). Tackling farm food waste is key to increasing profits by a fifth. WRAP. Retrieved from <https://www.wrap.ngo/media-centre/press-releases/tackling-farm-food-waste-key-increasing-profits-fifth>.
16. Zawya. (2026). Aberdeen Technical School Students' Cold Chain Monitoring System "Eye of the Fresh Environment" Granted Patent. <https://www.zawya.com>
12. Rahman, A., and Torres, M. (2025). Integrating computer vision and machine learning for perishable inventory optimization. *Waste Management*, 182, 45-58.
13. Senarathna, I. (2025). Smart food waste management platform for sustainable university cafeterias using blockchain technology. <https://doi.org/10.20944/preprints202507.2275.v1>
14. UNEP. (2026). Digitalization and circular economy. Report No. 2026.