

اولین کنفرانس ملی انجمن علمی پارک‌های علم و فناوری و مراکز رشد ایران

انقلاب صنعتی چهارم و تحول دیجیتال در کشاورزی: وضعیت فعلی، فناوری‌های توانمندساز، کاربردها و چالش‌ها

مهدی فرتاش^{۱*}، راضیه گنجی^۲

۱- استادیار، مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک

۲- دانشجوی دکتری، هوش مصنوعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

* اراک، صندوق پستی ۹۱۳۱۱۳۸۳۶۱، پست الکترونیکی m-fartash@iau-arak.ac.ir

چکیده

سه انقلاب صنعتی قبلی، صنعت کشاورزی را از کشاورزی سنتی به کشاورزی مکانیزه و کشاورزی دقیق انتقال داد. اگر چه کشاورزی صنعتی بهره‌وری را بسیار بهبود می‌بخشد، اما به تدریج چالش‌هایی در این زمینه بوجود آمد که در سال‌های اخیر نیز بر شدت آن افزوده شد. با ظهور انقلاب صنعت 4.0 و تحول دیجیتال انتظار می‌رود یک بار دیگر صنعت کشاورزی متحول شود و کشاورزی 4.0 متولد و رواج یابد. در این مقاله با مروری بر تحقیقات منتشر شده در پایگاه داده‌های علمی معتبر وضعیت فعلی صنعت کشاورزی، مسائل و مشکلات الگوهای تولید، فرایندهای تولید، و زنجیره تأمین محصولات غذایی-زراعی در کشاورزی صنعتی بررسی می‌شود. از آنجایی که تمرکز این مطالعه بر روی انقلاب صنعتی 4.0 و کشاورزی 4.0 می‌باشد، آخرین مقالات منتشر شده در این دو حوزه به لحاظ کاربرد و فناوری‌های دخیل در تحقق آنها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در این مقاله، پنج فناوری در حال ظهور اعم از اینترنت اشیاء، رباتیک، هوش مصنوعی، تجزیه و تحلیل کلان داده و زنجیره بلوکی برای کشاورزی 4.0 مطالعه شده است، ضمن اینکه کاربردها و چالش‌های تحقیقاتی فناوری‌های نوظهور در صنعت کشاورزی و مواد غذایی شناسایی و معرفی می‌شود. همانطور که نتایج نشان می‌دهد اگرچه در حال حاضر، فرایند تولید محصولات کشاورزی و غذایی، مکانیزه و مبتنی بر فناوری اطلاعات است، اما کمبود دیجیتال‌سازی و هوشمندسازی از مهمترین موانع بهبود و توسعه اتوماسیون می‌باشد.

کلیدواژگان

انقلاب صنعتی 4.0، کشاورزی 4.0، کشاورزی دقیق، کشاورزی صنعتی

Industrial Revolution 4.0 and Digital Transformation in Agriculture: Current Status, Enabling Technologies, Applications and Challenges Mehdi Fartash^{1*}, Razieh Ganjee²

1- Department of Computer Engineering, Islamic Azad University, Arak, Iran.

2- The Faculty of Computer Science and Engineering, Shahid beheshti University, Tehran, Iran

* P.O.B. 9131138361 Arak, Iran, m-fartash@iau-arak.ac.ir

Abstract

Three previous industrial revolutions transferred agriculture from traditional to mechanized and precision agriculture. Although industrial agriculture significantly improves productivity, some of challenges have gradually emerged in this scope so that in recent years it has been intensified. By emerging industrial revolution 4.0 and digital transformation, it is expected that the agriculture industry evolved once again and agriculture 4.0 will be born and popularized. In this paper, we investigate issues and problems of production patterns, production processes, and agri-food supply chain in industrial agriculture by reviewing research published in valid scientific databases, the current state of the agricultural industry. Since the focus of this study is on the industrial revolution 4.0 and agriculture 4.0, the last papers published in these two scopes were investigated in terms of application and the technologies involved in their realization. Also, in this study, five emerging technologies Also in this paper, five emerging technologies including IoT, robotics, artificial intelligence, big data analytics and blockchain for agriculture 4.0 are studied. Moreover, the applications and research challenges of emerging technologies in the agricultural industry are identified and introduced. As the results show, although currently, the process of agricultural and food production is mechanized and based on the information technology, the lack of digitalization and intelligence is one of the most important obstacles to the improvement and development of automation.

Keywords

Industrial Revolution 4.0, Agriculture 4.0, Precision Agriculture, Industrial Agriculture

اولین کنفرانس ملی انجمن علمی پارک‌های علم و فناوری و مراکز رشد ایران

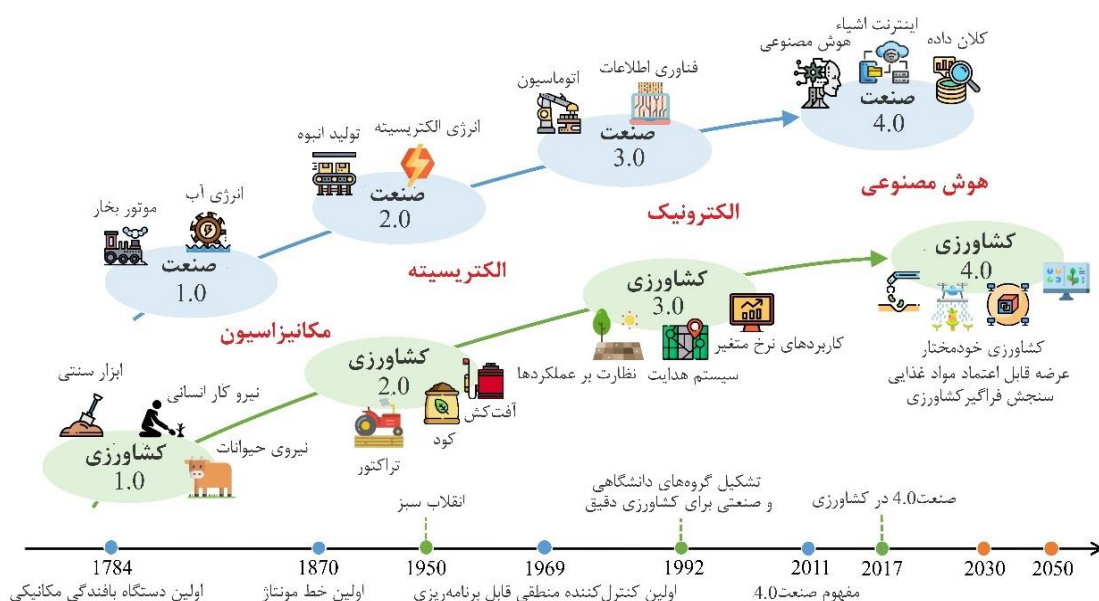
۱- مقدمه

نقشه راه انقلاب کشاورزی و انقلاب صنعتی در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است. روش‌های سنتی کشاورزی از دوران باستان، از زمانی که کشاورزان ابزارهای بومی مانند بیل، داس و چنگک برای کشت استفاده می‌کردند تا پایان قرن نوزدهم را به عنوان کشاورزی 1.0 نام می‌برند [۱]. این نوع از کشاورزی به کار دستی زیادی احتیاج داشت. در حالی که بهره‌وری آن بسیار پایین بود. با بهره‌گیری از مزایای اولین انقلاب صنعتی (صنعت 1.0) بین سال‌های ۱۷۸۴ تا ۱۸۷۰، تولیدات کشاورزی از اوایل آغاز قرن ۲۰ رو به افزایش گذاشت که به کشاورزی 1.0 معروف شد. در این دوران ماشین‌آلات کشاورزی جهت آماده سازی و تهیه بذر، کشت، آبیاری، علف کش‌ها و برداشت معرفی شد، و بدین ترتیب کشاورزی مکانیزه، تولید غذا را افزایش و کارهای دستی را کاهش داد.

دومین انقلاب صنعتی در قرن ۲۰ اتفاق افتاد که از آن به عنوان صنعت 2.0 یاد می‌شود. از طرف دیگر، منبع اصلی انرژی که تا کنون بخار بود، با نفت و گاز جایگزین شد. منابع جدید انرژی، همراه با نوآوری در صنعت حمل و نقل به توسعه زنجیره تأمین مواد غذایی-زراعی کمک بسیاری کرد، و باعث شد که محصولات کشاورزی را بتوان به مسافت‌های طولانی حمل کرد. در نتیجه، بازارهای جدید کشاورزی برای کشاورزان ایجاد شد. از طرف دیگر، تولید انبوه مبتنی بر خط مونتاژ، بهره‌وری را به طور قابل توجهی بهبود بخشید. این مدل تولید انبوه برای تولید دام نیز به کار گرفته شد. بطوری که، دامداری سنتی در خانه با دامپروری صنعتی در مقیاس بزرگ جایگزین شد.

در ادامه، با پیشرفت سیستم‌های جاسازی شده، مهندسی نرم‌افزار و فناوری‌های ارتباطی در عصر صنعت 3.0 قابلیت اتوماسیون تجهیزات تولیدی بیش از پیش بهبود یافت. انرژی تجدیدپذیر سبز مانند انرژی سلول‌های خورشیدی، برق آبی و نیروی باد نیز کشف شدند. این تحولات اشاره شده منجر به انقلاب کشاورزی اخیر موسوم به کشاورزی 3.0 شد. که هدف آن بکار بستن فناوری اطلاعات برای کشاورزی دقیق از طریق نظارت بر عملکرد، و سیستم‌های هدایت کشاورزی می‌باشد [۲].

به طور خلاصه، سه انقلاب صنعتی قبلی به تدریج شکل فعالیت‌های کشاورزی را اصلاح کردند و کشاورزی سنتی متمرکز بر کار، جای خود را به کشاورزی صنعتی داد. در حال حاضر، تولید و توزیع صنعتی فراورده‌های غذایی-زراعی، صنعت کشاورزی جهانی را تحت سلطه خود قرار داده است، زیرا این روش، بهره‌وری بالاتری دارد و مقرون به صرفه‌تر است.



شکل ۱ نقشه راه توسعه انقلاب صنعتی و انقلاب کشاورزی.

با این وجود، هنوز چندین مسئله مانند مشکلات زیست محیطی، فقدان دیجیتالی شدن، مسئله سلامت مواد غذایی و ناکارآمدی زنجیره تأمین مواد غذایی وجود دارد که باید در وضعیت حال حاضر کشاورزی صنعتی مورد توجه قرار گیرد. چهارمین انقلاب صنعتی (صنعت 4.0) در حال پیشرفت است و از هم جوشی فناوری های نوظهور مانند اینترنت اشیا، رباتیک، کلان داده، هوش مصنوعی و فناوری زنجیره بلوکی بوجود می‌آید. در حال حاضر، فرآیندهای تولید صنعتی و زنجیره‌های تأمین، خودمختار و هوشمند شده‌اند. به همین جهت، ادغام صنعت 4.0 و کشاورزی این فرصت را فراهم می‌کند تا کشاورزی صنعتی را به نسل بعدی یعنی کشاورزی 4.0 منتقل کرد [۳]. در این بستر، از طریق جمع‌آوری ریزترین مولفه‌ها در لحظه و پردازش و تحلیل داده‌های مکانی-زمانی در تمام جنبه‌های صنعت کشاورزی از تولید، فرآوری، توزیع تا تجربه مصرف کننده، کشاورزی صنعتی پایدار و هوشمند حاصل می‌شود. در چنین اکوسیستم کشاورزی صنعتی با مدیریت بلادرنگ مزارع، درجه بالایی از اتوماسیون و تصمیم‌گیری هوشمند مبتنی بر داده خلق می‌شود، که باعث بهبود در بهره‌وری زنجیره تأمین مواد غذایی-زراعی، سلامت مواد غذایی و استفاده از منابع طبیعی می‌شود. در این مقاله، مروری بر آخرین کارهای روز منتشر شده در پایگاه داده‌های علمی معتبر بر روی دو حوزه انقلاب صنعتی 4.0 و انقلاب کشاورزی 4.0 انجام شده است. برای پالایش نتایج جستجو، مقالات پر استناد، جدید و معتبر در این زمینه انتخاب شده‌اند که به طور خلاصه در جدول ۱ نشان داده شده است.

در [۴-۱۰] مطالعات جامعی در مورد چگونگی استفاده از فناوری‌های نوظهور جهت انتقال تولید، ساخت و مدیریت زنجیره تأمین به حوزه صنعت مدرن انجام شده است. جالب است که بدانیم فناوری‌های صنعت 4.0 در مبارزه با ویروس کرونا نیز استفاده شده است [۱۱]. در طول سه سال گذشته، مطالعات ارزشمند بسیاری در مورد استفاده از فناوری‌های

جدول ۱ خلاصه‌ای از مقالات مرتبط مرور شده در دو حوزه صنعت 4.0 و کشاورزی 4.0

مرجع	سال	زمینه کاربرد			تمرکز فناوری					
		ساخت	تولید	زنجیره تامین	اینترنت اشیا	رباتیک	هوش مصنوعی	کلان داده	زنجیره بلوکی	دیگر
صنعت 4.0										
Aceto et al. [4]	2019	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓
Lu [5]	2017	✓	✓		✓			✓		✓
Qi et al. [6]	2018	✓						✓		✓
Xu et al. [7]	2018	✓			✓					✓
Frank et al. [8]	2019	✓	✓	✓	✓			✓		✓
Raut et al. [9]	2020	✓		✓	✓			✓	✓	✓
Oztemel et al. [10]	2020	✓			✓	✓	✓	✓		✓
Javaid et al. [11]	2020				✓	✓	✓	✓		✓
صنعت 4.0 در کشاورزی (کشاورزی 4.0)										
Elijah et al. [12]	2018		✓		✓			✓		
Braun et al. [13]	2018			✓		✓				✓
Kovacs et al. [14] ’	2018			✓	✓			✓		✓
Belaud et al. [15]	2019			✓				✓		
Zambon et al. [16]	2019			✓						✓
Ayaz et al. [17]	2019		✓		✓	✓				✓
Farooq et al. [18]	2019		✓		✓					
Kim et al. [19]	2019		✓			✓				
Ruan et al. [20]	2019		✓		✓					
Miranda et al. [21]	2019		✓		✓	✓	✓			✓
Zhai et al. [22]	2020		✓				✓			
Ferrag et al. [23]	2020		✓						✓	
Rubio et al. [24]	2020		✓		✓	✓	✓	✓		
Lezoche et al. [25]	2020			✓	✓		✓	✓	✓	
Liu et al. [26]	2020		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

اولین کنفرانس ملی انجمن علمی پارک‌های علم و فناوری و مراکز رشد ایران

مدرن در صنعت کشاورزی انجام شده است [۱۲-۲۶]. که در آن نقش فناوری‌های نوظهور مانند اینترنت اشیا، رباتیک (شامل هواپیمای بدون سرنشین) و هوش مصنوعی در کشاورزی هوشمند بحث شده است. این مقاله همچنین وضعیت فعلی و تجربه‌های کسب شده از کشاورزی صنعتی را از نظر الگوی‌های تولید کشاورزی صنعتی، فرآیندهای تولید کشاورزی صنعتی و زنجیره تأمین محصولات غذایی-زراعی صنعتی در اختیار محققان قرار می‌دهد. علاوه بر این، هدف ما از این مطالعه فراهم کردن کاربردهای کلیدی و چالش‌های فنی کشاورزی 4.0 برای تحقیقات آتی است.

در ادامه مقاله، در بخش دوم وضعیت فعلی، آموزه‌ها و تجربه‌های کسب شده از کشاورزی صنعتی ارائه می‌شود. در بخش سوم فناوری‌های توانمندساز کشاورزی 4.0 از نظر کاربردهای کلیدی و چالش‌های تحقیقاتی مورد بحث قرار می‌گیرد. در نهایت، نتایج و جمع‌بندی در بخش چهارم ارائه می‌شود.

۲- آموزه‌هایی از کشاورزی صنعتی امروزی

در این بخش الگوهای تولید، فرایندهای تولید و زنجیره تأمین در کشاورزی صنعتی مورد بحث قرار گرفته است. و به طور خاص، بر روی وضعیت فعلی و آموزه‌های کسب شده تمرکز شده است.

۲-۱- الگوهای تولید کشاورزی صنعتی

وضعیت فعلی: تک محصولی و دامپروری فشرده از ویژگی‌های معمول تولید محصولات کشاورزی در شیوه‌های مدرن است. تک محصولی یک الگوی صنعتی تولید مواد غذایی است، جایی که سالانه یک نوع خاص از غلات، سبزیجات و میوه در زمین کشاورزی کشت می‌شود. این الگو باعث افزایش بهره‌وری در کل چرخه کشاورزی می‌شود، زیرا کشاورزان فقط باید روی یک گونه گیاهی متمرکز شوند و یک برنامه یکسان برای بذر، باروری، آبیاری و برداشت داشته باشند. همچنین به دلیل داشتن یک مجموعه تخصصی از تجهیزات کشاورزی برای تولید یک محصول خاص سرمایه‌گذاری کاهش و سودآوری در مزرعه افزایش می‌یابد. دامپروری فشرده یا متمرکز که به دامپروری کارخانه‌ای نیز معروف است، پرورش هزاران مرغ، خوک یا گاو با بالاترین تراکم را شامل می‌شود تا مواد غذایی (به عنوان مثال گوشت، تخم مرغ و شیر) را با بازده بالا و صرفه اقتصادی تولید کند.

آموزه‌ها: کشاورزی تک محصولی مزیت خود را در افزایش عملکرد و افزایش سود طی سال‌های متمادی نشان داده است، اما منجر به بسیاری از مشکلات زیست محیطی شده است [۲۷]. رشد یک محصول در زمین‌های زراعی سال به سال باعث از بین رفتن بیش از حد مواد مغذی خاک می‌شود. کاهش مواد مغذی و فرسایش خاک زمین‌های کشاورزی باعث تشدید بیماری‌ها و آفات گیاهان می‌شود. برای محافظت از گیاهان زراعی، کشاورزان باید از کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها استفاده کنند که به نوبه خود باعث آسیب به مزارع کشاورزی، آلودگی آب و تهدیدی جدی برای سلامتی انسان است. دامپروری فشرده تأثیرات منفی [۲۸] در آلودگی محیط زیست، تغییرات آب و هوا، بهداشت عمومی و حتی رفاه حیوانات دارد. علاوه بر این، تولید دام‌های صنعتی به دلیل انتشار شدید گازهای گلخانه‌ای، یکی از دلایل عمده تغییرات آب و هوایی است.

۲-۲- فرایندهای تولید کشاورزی صنعتی

وضعیت فعلی: انقلاب مکانیزاسیون در تولید محصولات کشاورزی، در اکثر کشورها به پایان رسیده است یا در حال انتقال سریع است. ماشین آلات و تجهیزات کشاورزی اکنون در کل فرآیند تولید، از جمله آماده سازی زمین، کاشت محصولات، کوددهی، برداشت، تغذیه دام و فرآوری مواد غذایی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. مکانیزاسیون کشاورزی به طور قابل توجهی کار دست و نیروی انسانی را کاهش و بهره‌وری را بهبود بخشیده است. با ابداع فناوری اطلاعات و

اولین کنفرانس ملی انجمن علمی پارک‌های علم و فناوری و مراکز رشد ایران

ارتباطات و ادغام آن با ادوات کشاورزی تحول دیگری در کشاورزی رخ داده است، که در آن از سنسورها برای اندازه‌گیری وضعیت خاک و برگ‌های گیاهان و آب و هوا استفاده می‌شود [۲۹]. شبکه‌های گسترده کم مصرف و شبکه‌های مش بی‌سیم برای گزارش داده‌های تولید شده در طی تولید محصولات کشاورزی بکار گرفته می‌شود. و نظارت بر زمین‌های کشاورزی در مقیاس بزرگ و شناسایی محصولات و پیش‌بینی عملکرد را از طریق سنجش از راه دور، فراهم می‌سازد. **آموزه‌ها:** در مقایسه با فرآیندهای تولید صنعتی پیشرفته، به دلیل کمبود دیجیتالی شدن و فقدان هوش مصنوعی در کشاورزی، توانایی اتوماسیون در فرآیندهای تولید محصولات کشاورزی محدود شده است. بیشتر ماشین‌های کشاورزی مورد استفاده هنوز در مرحله پیش دیجیتالی هستند. تجهیزات آنها هنوز آنالوگ، مستقل (بدون قابلیت اتصال به دیگر ادوات) و توسط انسان به صورت دستی اداره می‌شوند. برای بهبود بیشتر قابلیت اتوماسیون، اتصال کامل ماشین آلات کشاورزی در کل فرآیند تولید حیاتی است. کشاورزی دقیق هنوز در مرحله مقدماتی است. نظارت بلادینگ زمین‌های کشاورزی، دام و سایر فعالیت‌های کشاورزی از طریق شبکه‌های حسگر بی‌سیم به دلیل هزینه استقرار و نگهداری بالا در حال حاضر در مقیاس کوچک و کوتاه مدت مورداستفاده قرار می‌گیرد. استفاده از کلان داده در کشاورزی چالش برانگیز است زیرا داده‌های کشاورزی از افراد، گروه‌های تحقیقاتی و شرکت‌هایی که از دستگاه‌های مختلف استفاده می‌کنند جمع‌آوری می‌شود. اکثر ماشین‌آلات و سیستم‌های کشاورزی مکانیزه پیشرفته برای مزارع بزرگ استفاده می‌شوند زیرا کشاورزی تک محصولی در مقیاس بزرگ الگوی اصلی تولید در کشاورزی صنعتی است. با این وجود، مزارع کوچک به طور گسترده در سراسر جهان به ویژه در کشورهای در حال توسعه وجود دارد. علاوه بر این، مزایای مزارع کوچک به تدریج در حال شناخته شدن هستند. احتمالاً، مزارع کوچک توزیع شده الگوی تولید کشاورزی برای کشاورزی پایدار در عصر صنعت 4.0 خواهد بود. بنابراین، به صنعتی شدن مزارع کوچک نیز، باید توجه زیادی شود [۳۰].

۳-۲- زنجیره تامین فراورده‌های غذایی-زراعی صنعتی

وضعیت فعلی: معمولاً از مزرعه تا سفره را می‌توان به پنج مرحله تولید غذا، فراوری صنعتی، توزیع، خرده فروشی و مصرف تقسیم کرد. در هر مزرعه چند نوع سبزی، میوه یا حیوان به صورت انبوه تولید می‌شود. محصولات غذایی-زراعی پس از برداشت توسط کشاورزان برای فراوری صنعتی مانند مرتب سازی، درجه بندی و بسته بندی به تعاونی‌های روستایی یا کارگزاران مواد غذایی ارسال می‌شوند. محصولات غذایی از طریق حمل و نقل و خدمات لجستیکی در عمده فروشی‌های برتر در هر منطقه جمع می‌شوند. هزاران خرده فروش مواد غذایی مانند سوپرمارکت‌ها، میوه فروش‌ها و فروشگاه‌های مواد غذایی، نیازهای خود را از عمده فروشان برتر تامین می‌کنند. سرانجام، مصرف کنندگان سبزیجات، میوه‌ها و گوشت‌های مورد علاقه خود را به راحتی از مراکز خرده فروشی خریداری می‌نمایند. این مدل معمولاً به مدل بنگاه-به-بنگاه-به-مشتري (B2B2C) معروف است. در سالهای اخیر، با نفوذ اینترنت مدل‌های جدید زنجیره تامین مانند آنلاین به آفلاین (O2O)، تجارت اجتماعی و مشتری-به-مشتري (C2C) ترویج یافته است. این مدل‌ها خرید را بسیار تسهیل می‌کنند [۳۱].

آموزه‌ها: سه درسی که از زنجیره تامین مواد غذایی فراگرفته می‌شود عبارتند از: مسئله سلامت مواد غذایی، اطلاعات نامتقارن و پراکنده، و یک زنجیره تامین ناکارآمد. بعضاً در دهه‌های گذشته حوادث آلودگی غذایی تصادفی و عمدی اتفاق افتاده است. این حوادث معمولاً به دلیل استفاده از مواد شیمیایی ممنوع، مواد اولیه ناسالم، مواد افزودنی تأیید نشده و همچنین ذخیره‌سازی نامناسب و شرایط نامناسب حمل و نقل رخ می‌دهد. تقلب در مواد غذایی و کیفیت پایین غذا منجر به تأثیرات منفی قابل توجهی بر سلامت عمومی و عدم اعتماد مصرف کننده می‌شود. بنابراین، اطمینان از شفافیت و ردیابی در کل زنجیره تامین مواد غذایی برای جلوگیری از تقلب در مواد غذایی، بهبود کیفیت غذا و در نهایت افزایش اعتماد مصرف کننده ضروری است. اطلاعات نامتقارن بین بخش‌های تولید غذا و مصرف کنندگان نهایی منجر به عدم تعادل بین عرضه و تقاضا، نوسان قیمت و کمبود مواد غذایی می‌شود. تبادل اطلاعات پراکنده در سراسر زنجیره تامین

اولین کنفرانس ملی انجمن علمی پارک‌های علم و فناوری و مراکز رشد ایران

مواد غذایی-زراعی باعث ایجاد ارتباط ناکافی بین بازیگران اصلی و عدم ردیابی مواد غذایی می‌شود. اینها، به نوبه خود، بر کارایی حمل‌ونقل، هزینه‌ها، مدیریت ریسک، صمیمیت مشتری و اعتماد مشتری تأثیر می‌گذارد. بنابراین، ضروری است که یک ارتباط متقابل بین همه عناصر برقرار شود. طبق اعلام سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، بیش از ۳۰٪ غذای تولید شده در جهان سالانه به دلیل اتلاف و ضایعات مواد غذایی مصرف نمی‌شود. اتلاف غذا در هر مرحله از زنجیره تأمین مواد غذایی-زراعی، به ویژه در هنگام برداشت، مرتب سازی، درجه بندی و فرآوری اتفاق می‌افتد. این امر به دلیل فقدان فناوری و مدیریت ناکافی مانند عدم تطابق در عرضه و تقاضا، کیفیت پایین غذا و عدم وجود تکنیک‌های فرآوری در زنجیره تأمین مواد غذایی-زراعی می‌باشد. ضایعات غذا معمولاً در مراحل بعدی توزیع، خرده فروشی و مصرف هم اتفاق می‌افتد. این امر عمدتاً به این دلیل است که غذا در طی روند آمایش و حمل و نقل آسیب دیده یا خراب می‌شود و یا در خرده فروشان و یا در دست مصرف کننده نهایی منقضی می‌شود. بر این اساس، بهبود بیشتر توانایی‌های فنی و مدیریتی در سراسر زنجیره تأمین برای جلوگیری از اتلاف مواد غذایی و ضایعات آنها ضروری است.

۳- فناوری‌های انقلاب صنعتی 4.0 در کشاورزی

استفاده از فناوری‌های نوظهور صنعت 4.0 در تولید محصولات کشاورزی و مدیریت زنجیره تأمین مواد غذایی-زراعی فرصتی را برای رفع محدودیت‌های بحث شده در بالا فراهم می‌سازد و کشاورزی 4.0 را محقق خواهد ساخت. پنج فناوری در حال ظهور و کاربردهای کلیدی و مهم آنها در کشاورزی 4.0 و همچنین چالش‌های تحقیقاتی آنها در زیر بحث شده است.

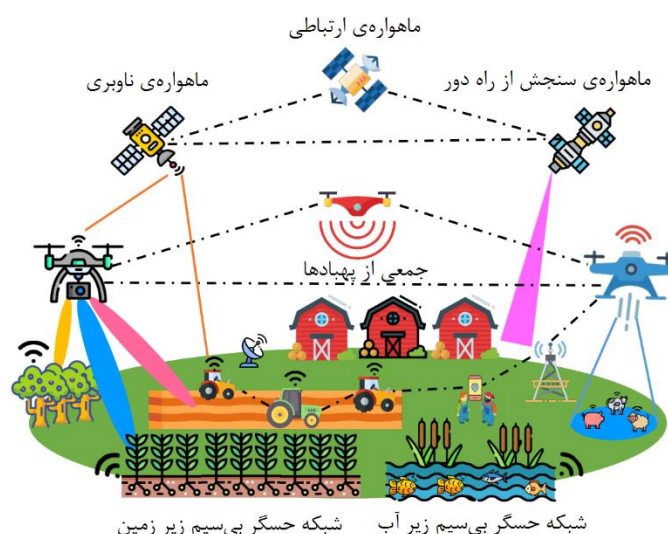
۳-۱- اینترنت اشیاء

کاربردهای کلیدی اینترنت اشیاء در کشاورزی: اینترنت اشیاء به عنوان یک فناوری کلیدی و مهم در صنعت 4.0 می‌باشد که بسیاری از جنبه‌های زندگی روزمره ما را با ایجاد یک دنیای که همه اشیاء آن به هم متصل شده‌اند، متحول می‌سازد. برخی موارد استفاده از آن را می‌توان خانه هوشمند، اینترنت صنعتی و وسایل نقلیه هوشمند متصل به هم نام برد. به همین دلیل، انتظار می‌رود بخش کشاورزی نیز به این سمت حرکت کند. از کاربردهای اینترنت اشیاء در کشاورزی را می‌توان کشاورزی دقیق، نظارت هوشمند بر دام، گلخانه هوشمند، مدیریت شیلات و پایش وضعیت آب و هوا نام برد. این کاربردهای اینترنت اشیاء در کشاورزی به صورت مبسوط در [۱۲، ۱۷، ۱۸] بررسی شده است. در این مقاله، در یک سطح جامع و کلی تمامی کاربردهای اشاره شده در بالا را در قالب شبکه یکپارچه فضا-هوا-زمین-زیرسطح^۱ (SAGUIN) که برای سنجش و شبکه سازی فراگیر کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مورد بحث قرار می‌دهیم. طرح SAGUIN در شکل ۲ نشان داده شده است. این طرح از طریق ترکیبی از سنجش از راه دور، هواپیماهای بدون سرنشین، وسایل نقلیه هوشمند کشاورزی، شبکه‌های حسگر بی‌سیم و انبوهی از حسگرهای تلفن همراه^۲ امکان پذیر است. بر اساس زیرساخت‌های فضایی ملی و تجاری، استقرار ماهواره‌های سنجش از دور می‌تواند اطلاعات کاملی از داده‌های کشاورزی را فراهم کند که به ویژه برای پیش بینی تولید محصولات زراعی، مدل سازی عملکرد، شناسایی آفات و غیره بسیار کارآمد است. علاوه بر این، هواپیماهای بدون سرنشین پیشرفته مجهز به سنسورهای فراطیفی، دوربین‌های چند طیفی و سایر ابزارهای جدید هستند که می‌توانند از طریق نظارت سه بعدی در مناطق مختلف، پاسخ‌های اضطراری فوری ارائه کنند و دقت مشاهده را بهبود بخشند. همچنین، انواع مختلف گره‌های حسگر کشاورزی، ماشین آلات خود مختار کشاورزی و انبوهی از حسگرهای تلفن همراه مسئول سنجش زمین و زیر سطح زمین هستند [۲۶].

¹ Space-Air-Ground-Undersurface Integrated Network

² Mobile crowdsensing

اولین کنفرانس ملی انجمن علمی پارک‌های علم و فناوری و مراکز رشد ایران



شکل ۲ شبکه یکپارچه فضا-هوا-زمین-زیرسطح زمین برای سنجش و شبکه سازی فراگیر کشاورزی.

چالش‌های پژوهشی اینترنت اشیا در کشاورزی: هنگام استفاده از اینترنت اشیا در کشاورزی، چالش‌ها و مسائل فناوری وجود دارد که در ذیل به آن‌ها پرداخته شده است.

(الف) سنسورهای حرفه‌ای کشاورزی: در کشاورزی دقیق به تنوع بسیار زیادی از سنسورهای حرفه‌ای نیاز است که به کیفیت، دقت و قابلیت اطمینان بالا نیاز دارند که این مسئله طراحی و ساخت آن‌ها را پیچیده و دشوار می‌کند.
(ب) توان مصرفی انتقال داده‌های بی‌سیم و برداشت انرژی از محیط: سنجش کم مصرف در محیط‌های کشاورزی امری ضروری است زیرا تعداد زیادی سنسور در زیر زمین، زیر آب، روی درختان و دام‌ها قرار گرفته است و این مسئله تعویض باتری سنسورها را دشوار می‌سازد. هر چند با اختراع انتقال برق بصورت بی‌سیم امیدهای بوجود آمد، اما انتقال برق بی‌سیم در محیط‌های که قابل دسترس نیستند مانند زیر زمین و زیر آب نیز بسیار دشوار و چالش برانگیز هستند. برداشت انرژی از محیط، برای اینترنت اشیا راه حل دیگری است که اخیراً توسط محققین مورد توجه قرار گرفته است [۳۲].

(ج) فناوری‌ها و بسترهای مختلف ارتباطی: طبیعت متنوع محیط‌های کشاورزی بدان معنی است که یک راه حل شبکه استاندارد برای همه کاربردها کافی نیست. تنوع محیط به این معنی است که انواع مختلف روشهای ارتباطی بی‌سیم بر اساس فرکانس رادیویی، سونار، لرزش و سایر سیگنالها برای تبادل اطلاعات مورد نیاز است. از این رو، لازم است عملکرد روش‌های مختلف ارتباط بی‌سیم در وضعیت‌های مختلف بررسی شود تا فناوری‌های مناسب انتخاب شود. ارتباطات در بسترهای مختلف ارتباطی بین زیرزمینی، زیر آب و هوا برای اتصال کامل حسگرهای هوشمند در محیط‌های کشاورزی بسیار مهم و یک مسئله فناوری است.

(د) شبکه‌های بی‌سیم مقاوم: محیط پیچیده کشاورزی چالش‌های شدیدی را برای ارتباط بی‌سیم به وجود می‌آورد. نتایج تجربی نشان داده است که تغییرات دما، رطوبت، حضور انسان، حرکت حیوانات، گیاهان و سایر موانع منجر به نوسانات قدرت سیگنال دریافتی و قابلیت اطمینان شبکه‌های بی‌سیم می‌شود. همچنین استقرار متراکم شبکه‌های اینترنت اشیا باعث تداخل شدید بی‌سیم و افت کیفیت خدمات می‌شود.

۲-۳- رباتیک و سیستم‌های خودمختار

کاربردهای اصلی رباتیک و سیستم‌های خودمختار در کشاورزی: رباتیک و سیستم‌های خودمختار با ادغام بسیاری از فناوری‌های نوظهور (مانند رباتیک، بینایی ماشین، هوش مصنوعی و سیستم‌های کنترل) به طور گسترده‌ای در تولیدات

اولین کنفرانس ملی انجمن علمی پارک‌های علم و فناوری و مراکز رشد ایران

صنعتی برای افزایش بهره‌وری، بهبود قابلیت اطمینان محصولات و جایگزین کردن انسان برای انجام کارهای تکراری، مورد استفاده قرار گرفته است. بر همین اساس، استفاده از رباتیک و سیستم‌های خودمختار به طور اساسی سبک تولید کشاورزی را تغییر شکل خواهد داد. کارخانه‌های گیاهی، چاپ سه بعدی مواد غذایی و مزارع تنوع زیستی^۱ سه کاربرد اصلی الگوهای جدید تولید محصولات کشاورزی در کشاورزی صنعتی می‌باشند. در حال حاضر، گسترش زمین‌های کشاورزی جهان برای حفظ جنگل، کاری دشوار است. بیش از ۲۰٪ از زمین‌های کشاورزی در جهان به شدت تخریب شده‌اند و بقیه مناطق کشاورزی در معرض تهدید هستند. کارخانه‌های گیاهی برای تأمین تقاضای جهانی غذا و استفاده پایدار از منابع طبیعی امیدوار کننده است [۳۳]. چاپ سه بعدی مواد غذایی [۳۴] در حال تبدیل شدن به گزینه‌ای برای تولید مواد غذایی به روش تولید خودکار است. در مزارع تنوع زیستی، چندین محصول به طور همزمان در زمین‌های کشاورزی پرورش می‌یابد. با کمک رباتیک می‌توان محدودیت‌هایی مانند بهره‌وری پایین و کار دستی فشرده و پیچیده را برطرف کرد. از طرف دیگر، رباتیک و سیستم‌های خودمختار در حال تغییر فرایندهای تولید محصولات کشاورزی هستند، از جمله کاربردهای مهم آن کشاورزی خودمختار، سمپاشی و نظارت هوایی، دامداری خودکار و غیره را می‌توان نام برد. ماشین‌آلات کشاورزی کاملاً هوشمند و با یکدیگر در ارتباط هستند و در انجام کارها با یکدیگر همکاری می‌کنند [۳۵]. ربات‌های علف‌کش علف‌های هرز را از طریق بینایی ماشین از محصولات متمایز می‌کنند و سم علف‌کش را دقیقاً بروی علف‌های هرز می‌پاشند بدون اینکه به محصولات صدمه ای بزنند. روبات‌های برداشت به کشاورزان کمک می‌کنند تا گوجه فرنگی، مرکبات، سیب و توت فرنگی را به طور موثرتری جمع‌آوری کنند. رباتیک و سیستم‌های خودمختار همچنین می‌توانند در فعالیتهای دامپروری مانند تغذیه خودکار، شیردوشی و گله‌داری مورد استفاده قرار گیرند.

چالش‌های تحقیقاتی رباتیک و سیستم‌های خودمختار در کشاورزی: سه چالش تحقیقاتی در این زمینه را می‌توان ناوبری خودمختار، دقت تشخیص و اقدام هوشمند نام برد. جزئیات بحث به شرح زیر می‌باشد.

الف) ناوبری خودمختار: به صورت ابتدایی و اولیه ربات‌ها و سیستم‌های خودمختار باید توان دنبال کردن مسیر، مسیریابی و حرکت‌های جمعی برای هدف خود را در محیط کشاورزی داشته باشند [۳۶]. برای حفاظت از محصول، ایمنی انسان، هزینه‌های بهره‌برداری و بازده کار، ناوبری دقیق از اهمیت زیادی برخوردار است. در حال حاضر، سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی^۲، دوربین‌های نظارتی و اسکنرهای تشخیص و اندازه‌گیری لیزری^۳ سه روش محبوب برای رانندگی خودمختار می‌باشند. استفاده از آنها به تنهایی در محیط‌های کشاورزی محدودیت‌هایی بوجود می‌آورد، اما ترکیب این تکنیک‌ها با همجواری داده‌ها برای اطمینان از صحت و استحکام ناوبری می‌تواند بسیار مفید باشد.

ب) دقت تشخیص: ربات‌هایی که در مزارع استفاده می‌شوند باید قادر به شناسایی انواع مختلف میوه‌ها و سبزیجات باشند. محیط مزرعه به دلیل تغییر شکل ظاهری، مرحله رشد، شرایط آب و هوایی و همپوشانی بسیار پویا می‌باشد. تشخیص و دسته‌بندی گیاهان در چنین شرایطی بسیار پیچیده و دشوار است.

ج) عمل هوشمند: کارهای مانند فنوتیپ گیاه به کمک ربات، شمارش و برداشت میوه، لایه برداری از برگ، محلول پاشی گزینشی و نقشه برداری سه بعدی نمونه عمل‌های هستند که یک ربات در کشاورزی انجام می‌دهد. سه مسئله، موقعیت اشیاء، تخصیص وظیفه و تعامل انسان و ربات در انجام یک عمل توسط ربات بسیار اهمیت دارد. تشخیص موقعیت اشیاء برای اطمینان از عملیات غیر مخرب و به حداقل رساندن تأثیرات خارجی بر روی محیط اطراف مهم می‌باشد. برنامه‌ریزی بهینه توالی انجام کار در یک ربات و یا بین چندین ربات که همکارانه فعالیت می‌کنند، برای بهبود عملکرد از نظر بهره‌وری انرژی، صرف زمان و قابلیت اطمینان اهمیت دارد، و تعامل مناسب بین کشاورزان و ماشین‌آلات خودمختار کشاورزی برای سودآوری و جلوگیری از حوادث احتمالی ضروری است [۳۷].

¹ Biodiverse farming

² Global navigation satellite system

³ Laser imaging detection and ranging

اولین کنفرانس ملی انجمن علمی پارک های علم و فناوری و مراکز رشد ایران

۳-۳- هوش مصنوعی

کاربردهای کلیدی هوش مصنوعی در کشاورزی: همانطور که در بالا اشاره شد، هوش مصنوعی نقش مهمی در رباتیک و سیستم‌های خودمختار دارد. سیستم‌های هوشمند نظارت بر سلامت حیوانات، تمرکز اصلی تحقیقات امروز است. سنسورهای قرار گرفته در پوشیدنی‌های حیوانات، سیستم‌های بینایی ماشین و سایر دستگاه‌های سنجش می‌توانند وضعیت حیوانات را در لحظه ثبت و نهایتاً با استفاده از سیستم‌های هوشمند موجود، سلامت دام، رفاه حیوانات، تولید و غیره را تجزیه و تحلیل کنند [۳۸]. در حال حاضر کشاورزان می‌توانند به راحتی از تلفن‌های هوشمند برای شناسایی آفات و بیماری گیاهان کمک بگیرند. علاوه بر این، فناوری کلان داده با قابلیت هوش مصنوعی قادر به پیش بینی شرایط آب و هوایی، پیش‌بینی بازده محصول، مدل‌سازی نوسانات بازار کشاورزی و انجام برآورد قیمت می‌باشد.

چالش‌های تحقیقاتی هوش مصنوعی در کشاورزی: اگرچه کاربردهای اشاره شده در بالا امیدوار کننده می‌باشد، اما تحقق عملی هوش مصنوعی در کشاورزی بنابر دلایل زیر یکی از چالش برانگیزترین موضوعات است:

الف) یافتن یک راه حل استاندارد دشوار است: برخلاف محیط صنعتی استاندارد، شرایط در زمینه کشاورزی به طور مداوم در حال تغییر است و کمی‌سازی آماری آن را دشوار می‌کند. همه عواملی مانند آب و هوا، کیفیت خاک و آفات در عملکرد هوش مصنوعی تأثیر دارند. در نتیجه، الگوریتم یادگیری ماشین ممکن است برای یک زمین کشاورزی عملکرد خوب و برای دیگری به شکست منجر شود.

ب) فاصله بین کشاورزان و محققان هوش مصنوعی: کشاورزان اغلب در فرآیند تولید محصولات کشاورزی با مشکلات زیادی روبرو می‌شوند، اما محققان هوش مصنوعی از این مشکلات که می‌تواند توسط فناوری هوش مصنوعی رفع شود، آگاهی ندارند. از همه مهم‌تر، هوش مصنوعی تنها پس از درک ماهیت این مشکلات و راه حل‌های کشاورزی آن عملی می‌شود. با این حال، محققان هوش مصنوعی معمولاً اطلاعات زیادی در مورد دانش حرفه‌ای کشاورزی ندارند.

ج) یادگیری ماشین امن توزیع شده: برای پیاده سازی موفقیت آمیز مدل‌های هوش مصنوعی معمولاً به مقدار زیادی داده برای آموزش مدل نیاز است. اما متأسفانه به دلایل عدم دیجیتال شدن، غیرقابل دسترس بودن و حافظت از حریم خصوصی، داده‌های مربوط به حوزه کشاورزی بسیار کم می‌باشد. به کمک استقرار زیرساخت‌های G5 در مناطق روستایی، SAGUIN و حسگرهای جدید، می‌توان داده‌های عظیم کشاورزی را در آینده جمع آوری کرد. همچنین انتظار می‌رود تکنیک‌های جدید یادگیری ماشین مانند یادگیری فدراسیون برای حفاظت از داده‌های مزرعه در کاربردهای هوش مصنوعی کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد [۳۹].

۳-۴- تجزیه و تحلیل کلان داده

کاربردهای کلیدی کلان داده در کشاورزی: اینترنت اشیاء در هر مرحله از تولید محصولات کشاورزی و مدیریت زنجیره تأمین مواد غذایی به جمع‌آوری داده‌ها کمک می‌کند. بنابراین، انجام تجزیه و تحلیل کلان داده در هنگام تولید، فرآوری، حمل و نقل و بازاریابی مواد غذایی بسیار مفید خواهد بود. صنعت کشاورزی مبتنی بر داده، می‌تواند رفتارهای تولید کننده و مصرف کننده را به شدت تغییر دهد [۱۲]. به عنوان مثال سیستم‌های خبره کشاورزی، سیستم‌های تجزیه و تحلیل پیش‌بینی کشاورزی و سیستم‌های ارزیابی دقیق ریسک به شدت به قدرت کلان داده متکی هستند. علاوه بر این، کلان داده نقش اساسی در مدیریت زنجیره تأمین مواد غذایی-زراعی برای رسیدن به حل مسئله سلامت مواد غذایی، عدم تعادل در عرضه و همچنین اتلاف و ضایعات مواد غذایی دارد [۱۵، ۲۵].

چالش‌های پژوهشی کلان داده در کشاورزی: مطالعات اخیر [۲۵، ۴۰، ۴۱] بحث‌های جامعی را در مورد چالش‌های استفاده از تجزیه و تحلیل کلان داده در کشاورزی ارائه داده‌اند. مشاهدات و بررسی ما در زیر خلاصه شده است.

اولین کنفرانس ملی انجمن علمی پارک‌های علم و فناوری و مراکز رشد ایران

الف) مسائل فنی: اینترنت اشیا می‌تواند نظارت دقیق و ریزی را در تمامی مراحل رشد، فرآوری، حمل و نقل و خرده‌فروشی فراهم کند. این بدان معناست که مشکل کمبود داده‌های کشاورزی می‌تواند حل شود. با این حال، ادغام داده‌های متفرقه که از هزاران مزرعه شخصی، کارخانه‌های تولید حیوانات و برنامه‌های شرکتی به دست می‌آید، چالش برانگیز است. بنابراین، قابلیت همکاری داده‌ها برای به حداکثر رساندن ارزش داده‌های پراکنده پس از جمع‌آوری سیستماتیک، ذخیره‌سازی، پردازش و دانش‌کاوی امری ضروری است. از طرف دیگر، عدم وجود یادگیری ماشین غیرمتمرکز و سیستم‌های مدیریت داده غیرمتمرکز، تمایل بازیگران اصلی را برای به اشتراک گذاشتن داده‌های کشاورزی، کاهش می‌دهد.

ب) مسائل اجتماعی: مشارکت کشاورزان عامل اصلی موفقیت کلان داده در کشاورزی است. بنابراین لازم است مزایای عملی برای کشاورزان نشان داده شود، به طوری که آنها مایل به مشارکت در زنجیره تبادل داده‌ها در کشاورزی شوند. مانع دیگر کمبود کارشناسان داده‌های بزرگ کشاورزی است. پرورش استعدادها بین رشته‌ای با دانش غنی از کشاورزی و تجزیه و تحلیل کلان داده می‌تواند یک راه حل مناسب برای رفع این فاصله باشد.

۵-۳- زنجیره بلوکی

کاربردهای کلیدی زنجیره بلوکی در کشاورزی: قرارداد هوشمند (یا فناوری دفترکل توزیع شده) و امنیت سایبری دو کاربرد اصلی زنجیره بلوکی در کشاورزی هستند. قرارداد هوشمند یک پروتکل تراکنشی برای ایجاد یا بهبود قرارداد است. با قرارداد هوشمند، تمام معاملات به صورت غیرمتمرکز ثبت می‌شوند. سابقه معاملات از تولیدکننده تا مصرف‌کننده قابل پیگیری و غیرقابل تغییر است این امر به بهبود کنترل کیفیت غذا، افزایش قابلیت ردیابی و در نهایت غلبه بر مسئله سلامت غذا کمک می‌کند.

نقش امنیت سایبری در همه وجوه جامعه از جمله زندگی روزمره، مدیریت بازرگانی، تولید صنعتی مهم است، و نیازی به اشاره کردن به آن در بخش کشاورزی نیست. حملات جامعیت داده از طریق دستکاری داده‌ها و تزریق داده‌های اشتباه، اولین تهدید در کشاورزی دقیق است. به عنوان مثال یک سیستم آبیاری هوشمند به واسطه ورود داده‌های جعلی، زمانبندی نادرست در آبیاری انجام می‌دهد. دومین تهدید، حملات محرمانگی است. اگر اطلاعات حساس کشاورزی مانند بازده محصول، روش کشت و غیره برای اشخاص ثالثی فاش شود، کشاورز متحمل خسارات مالی و احساسی خواهد شد. تهدید سوم حملات محروم‌سازی از سرویس می‌باشد. به عنوان مثال، دستگاه‌های حسگر تعبیه شده در اثر حمله محروم‌سازی از خواب، به سرعت انرژی خود را از دست می‌دهند و از دسترس خارج می‌شوند. یا دستورهای گزارش‌های نادرست از گره‌های مخرب می‌تواند منجر به عواقب جدی و حتی فاجعه‌باری در کشاورزی خودمختار و دامپروری‌های هوشمند شود. این مشاهدات نشان می‌دهد که پدافند شبکه بی‌سیم و محافظت از حریم خصوصی در حوزه کشاورزی بسیار مهم است [۲۳].

چالش‌های تحقیق زنجیره بلوکی در کشاورزی: پذیرش زنجیره بلوکی در تولید و مدیریت زنجیره تأمین محصولات غذایی فرصتی را برای بهبود قابلیت ردیابی، شفافیت و اعتماد بین فراهم‌کنندگان، کشاورزان، تأمین‌کنندگان، خرده‌فروشان و مصرف‌کنندگان فراهم می‌سازد. با این وجود، بسیاری از تنگنای فنی برای اتخاذ فناوری زنجیره بلوکی در کشاورزی باید حل شود. این گلوگاه‌ها به شرح زیر ذکر شده‌اند:

الف) قابلیت همکاری: در حال حاضر، هزاران پروژه زنجیره بلوکی فعال می‌باشد. که در طیف گسترده‌ای از پلتفرم‌ها توسعه یافته‌اند. عدم قابلیت همکاری منجر به مشکلات انزوا و جدایی شبکه‌های زنجیره بلوکی می‌شود. برای ایجاد ارتباط بین شبکه‌های زنجیره بلوکی موجود، ارائه معماری جدید، پروتکل ارتباطی قابل همکاری و میان‌افزار بهبودیافته ضروری است.

اولین کنفرانس ملی انجمن علمی پارک‌های علم و فناوری و مراکز رشد ایران

ب) مقیاس پذیری: سرعت تراکنش در شبکه‌های قرارداد هوشمند مبتنی بر زنجیره بلوکی مانند بیت کوین و اتریوم کمتر از ۲۰ ثانیه است [۴۲]. زمان پاسخ سریع و توان گزینشی بالا در قراردادهای هوشمند امری ضروری است. زیرا معاملات بی‌شماری باید پردازش شوند.

ج) مصرف انرژی: جدا از مقدار زیادی انرژی که توسط استخراج بیت کوین مصرف می‌شود، سازوکارهای اجماع پیچیده، در اعتبار سنجی معاملات نیز منجر به مصرف زیاد انرژی می‌شود. بنابراین، لازم است که از پیچیدگی شبکه‌های زنجیره بلوکی برای صرفه جویی در هزینه‌ها کاسته شود.

د) امنیت و حریم خصوصی: ذخیره سازی داده‌های تغییرناپذیر، شبکه غیرمتمرکز و ارتباطات نظیر به نظیر سه ویژگی اصلی فناوری زنجیره بلوکی است که تقویت امنیت و حریم خصوصی اینترنت اشیاء را فراهم می‌سازد. با این حال، مانند سایر فناوری‌های محبوب شبکه، زنجیره بلوکی نیز به هدفی برای هکرها تبدیل شده است [۴۳].

۴- نتیجه گیری

تک محصولی و دامپروری فشرده اصلی‌ترین الگوی تولید کشاورزی در کشاورزی صنعتی امروز است. با این حال، آسیب رساندن به محیط زیست، بهداشت عمومی و رفاه حیوانات بزرگ‌ترین محدودیت‌های این صنعت است. اگرچه در حال حاضر، فرآیند تولید محصولات کشاورزی، مکانیزه و مبتنی بر فناوری اطلاعات می‌باشد، اما کمبود دیجیتال‌سازی و هوش مصنوعی مهمترین موانع بهبود توانایی در اتوماسیون این صنعت می‌باشد.

علاوه بر این، در شرایط فعلی زنجیره تامین مواد غذایی-زراعی به طور هوشمند، مدیریت نمی‌شود. برای پرداختن به این مسائل، بکار بستن فناوری‌های نوظهور صنعت 4.0 در کشاورزی ضروری است. از این رو، در این مطالعه، بحث‌های مفصلی راجع به کاربردهای اصلی و چالش‌های تحقیقاتی فناوری‌های انقلاب صنعتی 4.0 در صنعت کشاورزی ارائه شده است.

۵- تقدیر و تشکر

این مطالعه با حمایت طرح رشد پارک فاو انجام شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مسئولان پارک فاو و پارک علم و فناوری استان مرکزی که ما را در انجام پژوهش مورد حمایت قرار دادند، تشکر نمایند.

۶- مراجع

- [1] M. A. Rapela, "Fostering innovation for agriculture 4.0: A comprehensive plant germplasm system," *Fostering Innovation for Agriculture 4.0*, 2019.
- [2] F. Yandun Narvaez, G. Reina, M. Torres-Torriti, G. Kantor, and F. A. Cheein, "A survey of ranging and imaging techniques for precision agriculture phenotyping," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 22, no. 6, pp. 2428–2439, Dec 2017.
- [3] M. De Clercq, A. Vats, and A. Biel, "Agriculture 4.0: The future of farming technology," *Proceedings of the World Government Summit*, Dubai, UAE, pp. 11–13, 2018.
- [4] G. Aceto, V. Persico, and A. Pescapé, "A survey on information and communication technologies for industry 4.0: State-of-the-art, taxonomies, perspectives, and challenges," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3467–3501, Fourthquarter 2019.
- [5] Y. Lu, "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues," *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 6, pp. 1–10, 2017.
- [6] Q. Qi and F. Tao, "Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3585–3593, 2018.
- [7] L. D. Xu, E. L. Xu, and L. Li, "Industry 4.0: state of the art and future trends," *International Journal of Production Research*, vol. 56, no. 8, pp. 2941–2962, April 2018.
- [8] A. G. Frank, L. S. Dalenogare, and N. F. Ayala, "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies," *International Journal of Production Economics*, vol. 210, pp. 15–26, 2019.
- [9] R. D. Raut, A. Gotmare, B. E. Narkhede, U. H. Govindarajan, and S. U. Bokade, "Enabling technologies for industry 4.0 manufacturing and supply chain: concepts, current status, and adoption challenges," *IEEE Engineering Management Review*, pp. 1–1, 2020.
- [10] E. Oztemel and S. Gursev, "Literature review of Industry 4.0 and related technologies," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 31, no. 1, pp. 127–182, January 2020.
- [11] M. Javaid, A. Haleem, R. Vaishya, S. Bahl, R. Suman, and A. Vaish, "Industry 4.0 technologies and their applications in fighting covid-19 pandemic," *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, vol. 14, no. 4, pp. 419–422, 2020.

- [12] O. Elijah, T. A. Rahman, I. Orikumhi, C. Y. Leow, and M. N. Hindia, "An overview of internet of things (iot) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 5, pp. 3758–3773, Oct 2018.
- [13] A. T. Braun, E. Colangelo, and T. Steckel, "Farming in the era of industrie 4.0," in *51st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, vol. 72, 2018, pp. 979–984.
- [14] I. Kovacs and I. Husti, "The role of digitalization in the agricultural 4.0 – how to connect the industry 4.0 to agriculture?" *Hungarian Agricultural Engineering*, pp. 38–42, 2018.
- [15] J. P. Belaud, N. Prioux, C. Vialle, and C. Sablayrolles, "Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain," *Computers in Industry*, vol. 111, pp. 41–50, 2019.
- [16] I. Zambon, M. Cecchini, G. Egidi, M. G. Saporito, and A. Colantoni, "Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for smes," *Processes*, vol. 7, no. 1, p. 36, 2019.
- [17] M. Ayaz, M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, A. Mansour, and E. M. Aggoune, "Internet-of-things (iot)-based smart agriculture: Toward making the fields talk," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129 551–129 583, 2019.
- [18] M. S. Farooq, S. Riaz, A. Abid, K. Abid, and M. A. Naeem, "A survey on the role of iot in agriculture for the implementation of smart farming," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 156 237–156 271, 2019.
- [19] J. Kim, S. Kim, C. Ju, and H. I. Son, "Unmanned aerial vehicles in agriculture: A review of perspective of platform, control, and applications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 105 100–105 115, 2019.
- [20] J. Ruan, H. Jiang, C. Zhu, X. Hu, Y. Shi, T. Liu, W. Rao, and F. T. S. Chan, "Agriculture iot: Emerging trends, cooperation networks, and outlook," *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 6, pp. 56–63, December 2019.
- [21] J. Miranda, P. Ponce, A. Molina, and P. Wright, "Sensing, smart and sustainable technologies for agri-food 4.0," *Computers in Industry*, vol. 108, pp. 21–36, 2019.
- [22] Z. Zhai, J. F. Mart'inez, V. Beltran, and N. L. Mart'inez, "Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 170, p. 105256, 2020.
- [23] M. A. Ferrag, L. Shu, X. Yang, A. Derhab, and L. Maglaras, "Security and privacy for green iot-based agriculture: Review, blockchain solutions, and challenges," *IEEE Access*, pp. 1–1, 2020.
- [24] V. Saiz-Rubio and F. Rovira-Mas, "From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management," *Agronomy*, vol. 10, no. 2, 2020.
- [25] M. Lezoche, J. E. Hernandez, M. del Mar Eva Alemany D'iaz, H. Panetto, and J. Kacprzyk, "Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture," *Computers in Industry*, vol. 117, p. 103187, 2020.
- [26] Y. Liu, X. Ma, L. Shu, G. P. Hancke, A. M. Abu-Mahfouz, "From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, doi: 10.1109/TII.2020.3003910, 2020.
- [27] S. B. Brodt, N. M. Fontana, and L. F. Archer, "Feasibility and sustainability of agroforestry in temperate industrialized agriculture: preliminary insights from california," *Renewable Agriculture and Food Systems*, pp. 1–9, 2019.
- [28] L. A. Smit and D. Heederik, "Impacts of intensive livestock production on human health in densely populated regions," *GeoHealth*, vol. 1, no. 7, pp. 272–277, 2017.
- [29] W. Chen, Y. Lin, Y. Lin, R. Chen, J. Liao, F. Ng, Y. Chan, Y. Liu, C. Wang, C. Chiu, and T. Yen, "Agritalk: Iot for precision soil farming of turmeric cultivation," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 5209–5223, June 2019.
- [30] G. P. Paudel, H. Gartaula, D. B. Rahut, and P. Craufurd, "Gender differentiated small-scale farm mechanization in nepal hills: An application of exogenous switching treatment regression," *Technology in Society*, vol. 61, p. 101250, 2020.
- [31] J. W. Peltier, A. J. Dahl, and E. L. Swan, "Digital information flows across a b2c/c2c continuum and technological innovations in service ecosystems: A service-dominant logic perspective," *Journal of Business Research*, 2020.
- [32] Y. Liu, T. Voigt, N. Wirstrom, and J. H. oglund, "Ecovibe: On-demand sensing for railway bridge structural health monitoring," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 1068–1078, Feb 2019.
- [33] Y. Fujimoto, S. Murakami, N. Kaneko, H. Fuchikami, T. Hattori, and Y. Hayashi, "Machine learning approach for graphical model-based analysis of energy-aware growth control in plant factories," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 32 183–32 196, 2019.
- [34] J. I. Lipton, M. Cutler, F. Nigl, D. Cohen, and H. Lipson, "Additive manufacturing for the food industry," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 43, no. 1, pp. 114–123, 2015.
- [35] F. A. Auat Cheein and R. Carelli, "Agricultural robotics: Unmanned robotic service units in agricultural tasks," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 7, no. 3, pp. 48–58, Sep. 2013.
- [36] C. Ju and H. I. Son, "Modeling and control of heterogeneous agricultural field robots based on ramadge-wonham theory," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 5, no. 1, pp. 48–55, Jan 2020.
- [37] J. P. Vasconez, G. A. Kantor, and F. A. A. Cheein, "Human-robot interaction in agriculture: A survey and current challenges," *Biosystems Engineering*, vol. 179, pp. 35–48, 2019.
- [38] S. Neethirajan, S. K. Tuteja, S. T. Huang, and D. Kelton, "Recent advancement in biosensors technology for animal and livestock health management," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 98, pp. 398–407, 2017.
- [39] Q. Yang, Y. Liu, T. Chen, and Y. Tong, "Federated machine learning: Concept and applications," *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 12:1–12:19, 2019.
- [40] S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, and M. J. Bogaardt, "Big data in smart farming – a review," *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69–80, 2017.
- [41] A. Weersink, E. Fraser, D. Pannell, E. Duncan, and S. Rotz, "Opportunities and challenges for big data in agricultural and environmental analysis," *Annual Review of Resource Economics*, vol. 10, no. 1, pp. 19–37, 2018.
- [42] G. Kaur and C. Gandhi, "Chapter 15 - scalability in blockchain: Challenges and solutions," in *Handbook of Research on Blockchain Technology*, S. Krishnan, V. E. Balas, E. G. Julie, Y. H. Robinson, S. Balaji, and R. Kumar, Eds. Academic Press, 2020, pp. 373–406.
- [43] X. Zhang, P. Sun, J. Xu, X. Wang, J. Yu, Z. Zhao, and Y. Dong, "Blockchain-based safety management system for the grain supply chain," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 36 398–36 410, 2020.