DOI: 10.22059/ijaedr.2020.282000.668759

مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران

دوره ۲-۵۱، شماره ۴، ۱۳۹۹ (۷۵۹-۷۴۵)

Prioritizing the Applications of Internet of Things in the Agriculture by Using Sustainable Development Indicators

AYOUB MOHAMMADIAN[1], JALIL HEIDARY DAHOOIE[2], ALI REZA QORBANI[3]

1, Assistant Professor of Information Technology (IT) Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran

2, Associate Professor of Industrial Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran

3, MSc. Student of Information Technology (IT) Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: May. 30, 2019- Accepted: Jul. 5, 2020)

ABSTRACT

The agricultural sector is going to face enormous challenges in order to feed the 9.6 billion people that the FAO predicts are going to inhabit the planet by 2050: food production must increase by 70% by 2050, and this has to be achieved. The advent of Internet of Things (IoT) that is the hot points in the Internet field has shown a new direction of innovative research in agricultural domain. Hence, in this research we seek to identify the applications of IoT in smart agriculture. This research is an applied research in nature and it would be classified as qualitative regarding data collection. In order to identify the usages of IoT in smart agriculture with the help of meta-synthesis approach, at first we have examined 480 researches among which only 168 have been selected for the final analysis, then we categorized them in 8 area of agriculture that consist of “farming”, “greenhouse”, “urban agriculture”, “Smart Gardening”, “smart fishery”, “smart forestry”, “smart livestock” and “smart supply and distribution network”. based on data analysis applications in 6 categories of “monitoring”, “control”, “tracing”, “diagnosis” and “descriptive planning” are categorized. Finally, agricultural area based on sustainable development indicators are respectively: smart greenhouse, smart supply and distributions network of agriculture, smart livestock, smart Gardening, smart fishery, smart farming, smart forestry and smart urban agriculture.

Keywords: Internet of things, Smart agriculture, Innovation, Sustainable Development

Objectives

The agricultural sector is going to face enormous challenges in order to feed the 9.6 billion people that will inhabit on the planet by 2050. So, Food production must be increased by 70% by 2050, and this has to be achieved. The advent of Internet of Things (IoT) that is one of the hottest topics in the digital age has shown a new direction for doing innovative research in the agriculture domain. Hence, the purpose of this study is to identify and prioritize the use of Internet of things in agriculture based on sustainable development indicators. This research aims to answer the following questions:

• What are the innovative applications of Internet of things as one of the most transformative technologies in each agricultural field?

• What are prioritizations of innovative applications of Internet of things as one of the most transformative technologies in the agriculture domain based on sustainable development indicators?

* نویسنده مسئول: ایوب محمدیان

E-mail: mohamadian@ut.ac.ir

Method

Since the innovative applications of the Internet of things are not known as a whole in the research and different scientific journals considered it, so in this research a systematic review have been done to identify the innovative applications of the Internet of things in agriculture.

The method of this research is mixed method (qualitative-quantitative). In the first stage of the research, the method was meta-synthesis and in the second stage, the fuzzy TOPSIS method was used. By applying Meta-synthesis method, 480 related articles have been examined which only 168 article have been selected for the final analysis to identify the applications of IoT in smart agriculture and then by using fuzzy TOPSIS method prioritize them by considering sustainable development criteria.

Results

Given the fact that in Iran, the development of Internet of things in the field of agriculture has been in its early stages, and on the other hand, various innovative applications have been developed through the Internet of things in this sector, in order to prevent possible risks of its implementation, it's necessary for government to make decision based on global goals of Sustainable development. In this regard, in one hand, due to the complexity and multidimensionality of sustainability issues, and on the other hand, due to the novelty of Internet of things and the lack of complete information for policymakers 'decision making, use of experts' opinions and application of multi-criteria decision making techniques (MADM) are necessary.

IOT applications in agriculture have been categorized into 8 area of agriculture that consist of “farming”, “greenhouse”, “urban agriculture”, “Smart Gardening”, “smart livestock” and “smart supply and distribution network”. Furthermore results of this research shows that IOT data analytics applications in agriculture are included: “monitoring”, “control”, “tracking”, “diagnosis” and “prescriptive planning”. Finally, results of using fuzzy TOPSIS method shows that agricultural area based on sustainable development indicators are respectively: 1-smart greenhouse, 2-smart supply and distributions network of agriculture, 3-smart livestock, 4-smart horticulture, 5-smart fishery and aquaculture, 6-smart farming, 7-smart forestry and 8-smart urban agriculture.

Discussion

Despite using operations mechanization and automation that were an important step in developing agriculture but the agriculture sector continues to face the challenges such as feed the growing population of the world through sustainable development goals.One of the ways to overcome the existing gaps in achieving sustainable development goals in agriculture is to increase the use of digital innovations. The Internet of things paradigm, as one of these new digital innovations, has been able to connect objects to each other using a range of advanced and interrelated technologies such as mobile and wireless communications technology, RFID technology and sensor technology.

Today, internet of things technology is one of the leaders of the fourth industrial revolution that is able to make a disruptive change in society and is the enabler for attaining the goals of sustainable development. Since decision makers have been faced with different options for using Internet of things in the agricultural sector, it is useful to use multi-criteria decision-making techniques for prioritizing and selection of IOT applications that are aligned with the goals of sustainable development.

In order to implement Internet of things projects in agriculture, the most important factor is economic sustainability. However, one of the main challenges faced by the agricultural sector is the use of traditional agricultural production mechanisms. With considering trends such as globalization, climate change, the move from a fossil-fuel economy to an innovation-based economy, and competition for land, fresh water and labor, has led to more complexity and challenges to global nutrition and additional exploitation. Given the potential of Internet of things to meet the goals of sustainable development, it is proposed to focus more on the environmental aspect of IOT projects in agriculture.

اولویت‌بندی کاربردهای اینترنت‌اشیاء در کشاورزی با استفاده از شاخص‌های توسعهٔ پایدار

ایوب محمدیان[۱]*، جلیل حیدری دهویی[۲]، علیرضا قربانی[۳]
۱، استادیار گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲، دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳، دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۹- تاریخ تصویب: ۹۹/۴/۱۵)

چکیده

بخش کشاورزی با مشکلات متعددی برای تأمین غذای ۹٫۶ میلیارد نفر مواجه است که طبق پیش‌بینی‌های فائو در سال ۲۰۵۰ ساکن این سیّاره خواهند بود. تولید محصولات غذایی می‌بایست در سال ۲۰۵۰ به مقدار ۷۰ درصد افزایش یابد. ظهور اینترنت‌اشیاء که یکی از فناوری‌های دیجیتال نوظهور محسوب می‌شود، منجر به ایجاد مسیر جدیدی از تحقیقات ابتکاری در حوزهٔ کشاورزی شده است. بنابراین، در این پژوهش به شناسایی کاربردهای نوآورانه فناوری اینترنت‌اشیاء در کشاورزی پرداخته شده است. پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر نحوهٔ گردآوری داده‌ها از نوع پژوهش‌های کیفی به‌شمار می‌رود. برای شناسایی کاربردهای اینترنت‌اشیاء در کشاورزی به کمک روش فراترکیب، ابتدا ۴۸۰ مقاله بررسی شده که از این بین، ۱۶۸ مقاله برای تجزیه و تحلیل نهایی مورد استفاده قرار گرفته شده است، سپس، کلیه کاربردهای اینترنت‌اشیاء در کشاورزی در هشت حوزهٔ کشاورزی شامل زراعت، گلخانه، کشاورزی شهری، باغات، پرورش دام و طیور، پرورش ماهی و آبزیان، جنگل‌داری و شبکهٔ توزیع و تأمین دسته‌بندی شدند. در نهایت، با استفاده از روش تاپسیس فازی و بر اساس شاخص‌های توسعهٔ پایدار به‌ترتیب گلخانهٔ هوشمند، شبکهٔ تأمین‌وتوزیع هوشمند، پرورش هوشمند دام و طیور، باغداری هوشمند، پرورش هوشمند ماهی و آبزیان، زراعت هوشمند، جنگل‌داری هوشمند و کشاورزی شهری هوشمند اولویت‌بندی شدند.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی هوشمند، اینترنت‌اشیاء، نوآوری، توسعهٔ پایدار

مقدمه

کشاورزی، از طریق دستیابی به اهدافی مانند از بین بردن گرسنگی و فقر، تضمین الگوهای پایدار تولید و مصرف، اقدام فوری برای رویارویی با تغییر اقلیم و آثار آن، حفاظت و استفادهٔ پایدار از اقیانوس‌ها، دریاها، منابع‌طبیعی (FAO, 2017; Williams, Alter, & Shrivastava, 2018)، نقش مهمی را در تحقق اهداف ۱۷گانهٔ توسعهٔ پایدار که در سپتامبر ۲۰۱۵، توسط ۱۹۳ کشور به‌منظور بهبود اجتماعی، اقتصادی و محیط زیست جهان به تصویب رسید ایفا می‌کند (GeSI, 2016). طبق پیش‌بینی‌های فائو[1]برای تأمین غذای ۹٫۶ میلیارد نفر از مردم دنیا که تا سال ۲۰۵۰ ساکن این

1. Food and Agriculture Organization (FAO)

سیاره خواهند شد، تولید محصولات غذایی می‌بایست به مقدار ۷۰ درصد افزایش یابد، در صورتی که این بخش با مشکلات متعددی نظیر چالش امنیت غذایی، استفاده بی‌رویه از محیط زیست با توجه به شاخص ردپای اکولوژیک (میزان مصرف بشر و اثراتش بر محیط زیست دو برابر ظرفیت زمین گردیده است)، ایمنی غذایی، زنجیرۀتأمین ناکارآمد و از بین رفتن یک سوم محصولات کشاورزی در هنگام حمل و نقل مواجه است (Vermesan & Friess, 2016 (b)).

با وجود اینکه رشته‌هایی نظیر اتوماسیون و مکاترونیک از طریق توسعۀ فناوری‌های غیراینترنتی نظیر مکانیزاسیون عملیات مزرعه، پرورش بذرهای متنوع و تکنیک‌های کشت سازگار با محیط‌زیست توانسته‌اند در این حوزه گام مهمی را در بازدۀ تولید، بهبود کیفیت و پایداری بردارند (Gharoon et. al., 2013, Davoodi, et. al., 2014, Zarifian, 2018) همچنان بخش کشاورزی برای دستیابی به تغذیه جمعیت رو به رشد جهان به وسیلۀ اهداف توسعۀ پایدار با چالش‌هایی که ذکر گردید مواجه است (Christen & Heyer, 2010; Vermesan & Friess, 2016 (b)).

از جمله راه‌های غلبه بر شکاف‌های موجود جهت دستیابی به اهداف توسعۀ پایدار در حوزۀ کشاورزی افزایش استفاده از فناوری‌های نوین ارتباطاتی و اطلاعاتی (ICT) تحت عنوان نوآوری‌های دیجیتال است (Walter, Finger, Huber, & Buchmann, 2017; GeSI, 2016). پارادایم اینترنت‌اشیاء به‌عنوان یکی از این نوآوری‌های دیجیتال جدید، با استفاده از مجموعه‌ای از فناوری‌های پیشرفته و بهم مرتبط همچون فناوری ارتباطات سیّار و بی‌سیم، فناوری نانو، فناوری شناسایی از طریق امواج رادیویی و فناوری سنسور هوشمند توانسته است اشیاء را جهت اتصال در هر زمان، هر مکان توسط هر چیزی و یا فردی توانمند سازد (Biggs, Garrity, LaSalle, & Polomska, 2016). این واژه که اولین بار در سال ۱۹۹۹ توسط کوین اشتون مطرح شد، در سال ۲۰۰۵ به طور رسمی توسط اتحادیه بین‌المللی مخابرات (ITU) معرفی گردید (Rayes & Salam, 2017 و در سال ۲۰۱۱ به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوظهور به چرخۀ بلوغ فناوری گارتنر اضافه شد (Gartner, 2011). رشد تعداد دستگاه‌های اینترنت‌اشیاء در سال ۲۰۱۴ حدود ۱۴ میلیارد بوده و تا سال ۲۰۲۰ به ۵۰ میلیارد دستگاه خواهد رسید (Kocovic, Mihajlovic, 2017 & ,Behringer, Ramachandran)، از این‌رو، انتظار می‌رود مزایای اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی را از طریق صرفه‌جویی در هزینه، خلق ارزش، بهبود بهره‌وری و رشد اقتصادی بوجود آورد (Thierer & Castillo, 2015). در خصوص تعداد بازارهای عمودی اینترنت‌اشیاء در میان صنایع مختلف اتفاق‌آرا وجود ندارد (Rayes & Salam, 2017) و کاربردهای آن از تنوع و تعداد بسیار زیادی برخوردار است، به‌طوری‌که امروزه تاثیرگذاری آن را بر کلیه سطوح زندگی روزمره شامل افراد، کسب وکارها و جامعه می‌توان مشاهده نمود (Vermesan & Friess, Internet of Things From Research and Innovation to Market Deployment, 2014 (a)).

استفاده از فناوری اینترنت‌اشیاء در بخش کشاورزی نیز بسیار گسترده بوده و نوآوری‌هایی مانند نظارت پیشرفته بر محصول، کاشت بهینه، استفاده بهینه از آب، نظارت بر دام و ارایه کشاورزی به‌عنوان سرویس (Rayes & Salam, 2017; Dlodlo & Kalezhi, 2015; Elijah, Abdul Rahman, Orikumhi, Yen Leow, & Nour Hindia, 2018; Talavera, et al., 2017; N. Verdouw, Wolfert, & Tekinerdogan, 2016; Nukala, et al., 2016; Pratim Ray, 2017) به‌طرز چشمگیری منجر به افزایش بهره‌وری و پایداری گردیده‌اند (Vermesan & Friess, 2016 (b)).

ایران به‌عنوان یک کشور در حال گذر از اقتصاد عامل‌محور به اقتصاد کارایی‌محور[2]جهت دستیابی به چشم‌انداز اقتصادی **۱۴۰۴**[3]، نیازمند به‌کارگیری اینترنت‌اشیاء در صنایع مختلف و استفاده از مزایای آن در راستای اهداف توسعۀ پایدار است (Zarei, Mohammadian, & Ghasemi, 2016). با توجه به اینکه در ایران توسعه اینترنت‌اشیاء در حوزه کشاورزی

1. International Telecommunication Union

2. Transition from factor-driven economy to efficiency-driven economy

3. 1404 outlook (Iran's 2015 outlook)

در مراحل آغازین خود قرار داشته و از سوی دیگر، کاربردهای نوآورانه متنوعی از طریق اینترنت‌اشیاء در این حوزه پدید آمده است، به‌منظور جلوگیری از ریسک‌های احتمالی پیاده‌سازی آن، نیاز به برنامه‌ریزی بر مبنای اهداف جهانی توسعهٔ پایدار دارد. در این راستا، از یک طرف با توجه به پیچیدگی و چندوجهی بودن مسایل پایداری (Shen & Tzeng, 2018) و از طرف دیگر، با توجه به بدیع بودن اینترنت‌اشیاء و فقدان اطلاعات کامل جهت تصمیم‌گیری سیاست گذاران استفاده از نظرات خبرگان و بکارگیری تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه[1](MADM) ضرورت پیدا می‌کند (Luthra, Garg, Mangla, & Berwel, 2018; Kim & Kim, 2016; Mohammadzadeh, et al., 2018; Zarei, Mohammadian, & Ghasemi, 2016; Quaddus & Siddique, 2001; Vinodh, Mulanjur, & Thiagarajan, 2013). با استفاده از این روش بر اساس پارامترهای متعدد می‌توان بااولویت بندی گزینه های تصمیم گیری، بهترین گزینه را انتخاب نمود (Ribeiro , 1996).

هدف این پژوهش شناسایی و اولویت‌بندی کاربردهای اینترنت‌اشیاء در کشاورزی بر اساس شاخص‌های توسعهٔ پایدار است. از این‌رو، این پژوهش به دنبال پاسخ به سؤالات زیر است:

کاربردهای نوآورانه فناوری اینترنت‌اشیاء به عنوان یکی از فناوری‌های تحول‌آفرین در هر یک از حوزه‌های کشاورزی چه می‌باشد؟

اولویت کاربردهای نوآورانه فناوری اینترنت‌اشیاء به‌عنوان یکی از فناوری‌های تحول‌آفرین در هر یک از حوزه‌های کشاورزی براساس شاخص‌های توسعهٔ پایدار در کشور به چه صورت می‌باشد؟

پیشینهٔ پژوهش

کاربردهای اینترنت اشیاء در کشاورزی پایدار

مفهوم کشاورزی پایدار نشأت گرفته از مفهوم توسعهٔ پایداری است که طی گزارش کمیتهٔ برانتلند[2]در سال ۱۹۸۷ انتشار یافت. این مفهوم به‌منظور مقابله با مشکلاتی نظیر تغییرات آب‌وهوایی؛ از دست رفتن تنوع زیستی؛ تخریب زمین از طریق فرسایش، تراکم، شوری و آلودگی خاک؛ برداشت بی‌رویه و آلودگی منابع آبی؛ افزایش هزینه‌های تولید؛ کاهش پیوسته تعداد کشاورزان و در پی آن فقر و کاهش جمعیت روستایی، پدید آمده است (Velten, Leventon, Jager, & Newig, 2015). امروزه، اینترنت‌اشیاء که از آن به‌عنوان یکی از پیشران‌های انقلاب صنعتی چهارم یاد می‌شود (Geng, 2017) قادر است تحول شگرفی در جامعه و تحقق اهداف توسعه پایدار ایجاد کند (E. Benkhelifa, M. Abdel-Maguid, S. Ewenike, & D. Heatley, 2014; Biggs, Garrity, LaSalle, & Polomska, 2016). از آنجا که تصمیم‌گیرندگان برای تحقق اهداف توسعهٔ پایدار مبتنی بر شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی (Merad, Dechy, Serir, Grabisch, & Marcel, 2013) با کاربردهای نوآورانه متنوعی مبتنی بر اینترنت‌اشیاء در بخش کشاورزی مواجه هستند (Elijah, Abdul Rahman, Orikumhi, Yen Leow, & Nour Hindia, 2018; Pratim Ray, 2017; N. Verdouw, Wolfert, & Tekinerdogan, 2016)، بهره‌گیری از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به این مهم کمک نماید(Quaddus & Siddique, 2001) . با توجه به تنوع کاربردها، مهم‌ترین پژوهش‌هایی که به شناسایی و دسته‌بندی این کاربردها پرداخته اند عبارتند از پژوهش Nukala et al. (2016) که به دسته‌بندی کاربردهای اینترنت‌اشیاء در سه دسته تولید محصولات کشاورزی، حمل‌ونقل و خرده‌فروشی مواد غذایی پرداخته است. Verdouw et al. (2016) نیز با مرور تحقیقات گذشته کاربردهای فناوری اینترنت‌اشیاء در کشاورزی را در نهایت در نُه دسته معرفی کرده‌اند که عبارتند از: مزرعه‌داری، پرورش ماهی‌وآبزیان، زنجیرهٔ‌تأمین محصولات غذایی، کشاورزی عمومی، پرورش دام و طیور، مصرف محصولات غذایی، گلخانه، کشاورزی فراغت و باغداری. در آخرین پژوهش صورت گرفته نیز تالاورا و همکاران (Talavera, et al., 2017) بدون توجه به حوزه‌های کشاورزی در نهایت چهار دستهٔ نظارت، کنترل، پیش‌بینی و لجستیک را به‌عنوان کاربردهای اینترنت اشیا در کشاورزی معرفی کرده‌اند.

1. Multiple attribute decision making
2. Brundtland

به این ترتیب، با توجه به آنکه در تحقیقات قبلی هیچ‌یک از دسته‌بندی‌ها کامل نبوده و نیز با توجه به معیارهای توسعه پایدار اولویت‌بندی نگردیده‌اند؛ در این پژوهش نیاز به دسته‌بندی جامع و رتبه‌بندی کاربردهای اینترنت اشیا بر مبنای معیارهای توسعه پایدار می‌باشد.

معیارهای توسعه پایدار در حوزه کشاورزی

Quaddus & Siddique (۲۰۰۱) با مطرح کردن این موضوع که برنامه‌ریزی توسعهٔ پایدار، وظیفهٔ بسیار پیچیده‌ای است، استفاده از روش AHP را در این حوزه پیشنهاد کرده‌اند. آنها در بررسی خود برای انتخاب بهترین پروژه توسعهٔ کشاورزی در حوزه کشاورزی در کشور بنگلادش بر اساس ۱۵ معیار توسعه پایدار که عبارتند از تولید، هزینه، درآمد، سلامت، تغذیه، جایگاه زنان، سیلاب‌های مداوم، استهلاک جنگل، ضایعات صنعت، آب آشامیدنی، تأثیرات آفتی/ حاصلخیزی و کیفیت هوا ارزیابی و انتخاب را انجام داده اند. Chiou, Tzeng, & Cheng (۲۰۰۵) با به‌کارگیری روش AHP Fuzzy و انتگرال فازی غیر جمعی[1] به اتخاذ استراتژی مناسب مبتنی بر توسعهٔ پایدار در حوزهٔ فرآیند تولید محصولات دریایی در کشور تایوان پرداختند. در این پژوهش، از ۱۲ معیار توسعه پایدار استفاده کردند که شامل: امکان‌پذیری فنی، کارآیی هزینه/منفعت، توانایی مدیریتی، پذیرش فناوری جدید، پشتیبانی مالی و امتیاز مالیاتی، پشتیبانی فنی و آموزشی، تمامیت قانون‌گذاری، ارائه دانش، شبکه پردازش ضایعات، بارگذاری محیطی، خلق و حفظ شغل و تأثیر گروه‌های ذی‌نفوذ بوده است. Rezaei-Moghaddam & Karami (۲۰۰۸) برای انتخاب بین دو روش مدل سازی بر اساس تئوری‌های کشاورزی مدرنیته اکولوژیکی و کشاورزی غیرمدرنیته (سنتی)، مبتنی بر اهداف توسعه پایدار در ایران از روش AHP استفاده کرده‌اند. آنها دو گزینه مذکور را بر اساس ۹ معیار بهره‌وری، سودآوری، اشتغال، کیفیت زندگی، عدالت، مشارکت، حفاظت از محیط‌زیست، استفادهٔ عاقلانه از منابع و کیفیت محصولات، ارزیابی کرده‌اند. Poursaeed, Mirdamadi, Malekmohammadi, & Hosseini (۲۰۱۰) به ارزیابی مدل مشارکت در چهار نوع خصوصی، اجاره‌ای، اشتراکی و تعاونی مبتنی بر اهداف توسعهٔ پایدار با استفاده از روش AHP بر اساس ۹ معیار کاهش مهاجرت کشاورزان، تسهیم توسط مهندسین کشاورزی، یکپارچه‌سازی اراضی، افزایش آگاهی کشاورزان، کشت تناوبی، کاهش استفاده از کودهای شیمیایی، کاهش استفاده از دفع آفات شیمیایی، توصیه کودی و کارآیی تخصیص پرداختند. Veisi, Liaghati, & Alipour (۲۰۱۶) برای انتخاب استراتژی‌ها و اصول اخلاقی پایداری از ۹ معیار توسعه پایدار شامل انعطاف‌پذیری سیستم‌های کشاورزی، سیاست‌های حمایتی و اعتماد به نفس، عدالت، کیفیت زندگی، کیفیت زمین، سودآوری، استفادهٔ عاقلانه از منابع، امنیت غذایی و کیفیت محصولات با استفاده از روش AHP بهره جستند. Zarei, Mohammadian, & Ghasemi (۲۰۱۶) با استفاده از تکنیک‌های MADM به اولویت‌بندی صنایع مختلف به‌منظور پیاده‌سازی اینترنت‌اشیاء جهت تحقق اهداف توسعهٔ پایدار پرداختند. آنها در این پژوهش از سه معیار اقتصادی، اجتماعی و محیطی برای ارزیابی صنایع مختلف پرداختند.

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته در خصوص معیارهای توسعه پایدار در حوزه کشاورزی، در جدول (۱) کلیه معیارها وزیرمعیارهای نهایی کشاورزی مبتنی بر توسعه پایدار ارایه شده است.

1. non-additive fuzzy integral technique

جدول ۱- شاخص‌های نهایی توسعه پایدار

معیار اصلی	زیرمعیار	نوع شاخص	منبع
اقتصادی	بهره‌وری	+	(Veisi, Liaghati, & Alipour, 2016; Chiou, Tzeng, & Cheng, 2005; Quaddus & Siddique, 2001; Rezaei-Moghaddam & Karami, 2008)
	سودآوری	+	(Rezaei-Moghaddam & Karami, 2008; Quaddus & Siddique, 2001)
	اشتغال	+	(Rezaei-Moghaddam & Karami, 2008)
اجتماعی	کیفیت زندگی	+	(Rezaei-Moghaddam & Karami, 2008)
	عدالت	+	(Quaddus & Siddique, 2001; Rezaei-Moghaddam & Karami, 2008)
	مشارکت	+	(Rezaei-Moghaddam & Karami, 2008)
زیست محیطی	حفاظت از محیط زیست	+	(Rezaei-Moghaddam & Karami, 2008; Zarei, Mohammadian, & Ghasemi, 2016)
	استفاده عاقلانه از منابع	+	(Rezaei-Moghaddam & Karami, 2008)
	کیفیت محصولات	+	(Rezaei-Moghaddam & Karami, 2008; Poursaeed, Mirdamadi, Malekmohammadi, & Hosseini, 2010)

مواد و روش‌ها

روش این پژوهش از نوع آمیخته (کیفی – کمی) می‌باشد. در مرحله اول پژوهش از روش فراترکیب و در مرحله دوم از روش تاپسیس فازی استفاده شده است که در ادامه هر یک از دو روش استفاده شده به ترتیب شرح داده شده است:

مرحله اول- روش فراترکیب

از آنجا که کاربردهای نوآورانه اینترنت‌اشیاء به‌صورت پراکنده و در حال توسعه است (Kim & Kim, 2016) و در حوزه کشاورزی دارای دامنه کاربردهای مختلفی است (Elijah, Abdul Rahman, Orikumhi, Yen Leow, & Nour Hindia, 2018) در این پژوهش برای شناسایی کاربردهای نوآورانه اینترنت‌اشیاء در کشاورزی همانطور که در نمودار سمت چپ شکل (۲) مشاهده می‌گردد از روش کیفی فراترکیب براساس متدولوژی هفت مرحله‌ای Sandelowski & Barroso (2006) استفاده شده است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، با استفاده از ابزار CASP[1] که دارای ۱۰ معیار ارزیابی جهت بررسی روایی مقالات بود، در مجموع ۱۶۸ مقاله نهایی از تعداد ۴۸۰ مقاله انتخاب شدند. برای بررسی پایایی پژوهش از ضریب توافق دو کدگذار با شاخص کاپا استفاده شد. با استفاده از این متدولوژی که یک روش مناسب برای مرور سیستماتیک ادبیات است در مجموع تعداد ۸ حوزه اصلی کاربردهای نوآورانه اینترنت اشیا در کشاورزی شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل و تفسیر قرار گرفت که نتایج آن در بخش یافته‌های پژوهش ارایه شده است.

مرحله دوم-روش تاپسیس فازی

از آنجا که هدف نهایی این پژوهش اولویت‌بندی کاربردهای نوآورانه اینترنت‌اشیاء در حوزه‌های مختلف کشاورزی بر اساس اهداف توسعهٔ پایدار در ایران است؛ در مرحله دوم این پژوهش- همانطور که در نمودار سمت راست شکل ۲ نشان داده شده است- ابتدا معیارهای مربوط به هر یک از اهداف توسعهٔ پایدار شناسایی و استخراج شده است و سپس، با کمک خبرگان این حوزه معیارهای نهایی انتخاب شده‌اند. برای این منظور از طریق روش گلوله برفی خبرگان مورد نظر از سازمان‌های فعال در این حوزه مانند سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، شرکت زمین هوشمند و استارت‌آپ‌های کشاورزی دقیق انتخاب شدند که دارای تجربه و دانش هم در حوزه کشاورزی و هم در حوزه اینترنت اشیاء بودند. در ادامه، با استفاده از روش تاپسیس فازی مبتنی بر مقادیر فاصله‌ای فازی به ترتیب، عملیات وزن‌دهی معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها صورت گرفت. در گام آخر، پس از بررسی و تفسیر نتایج حاصل

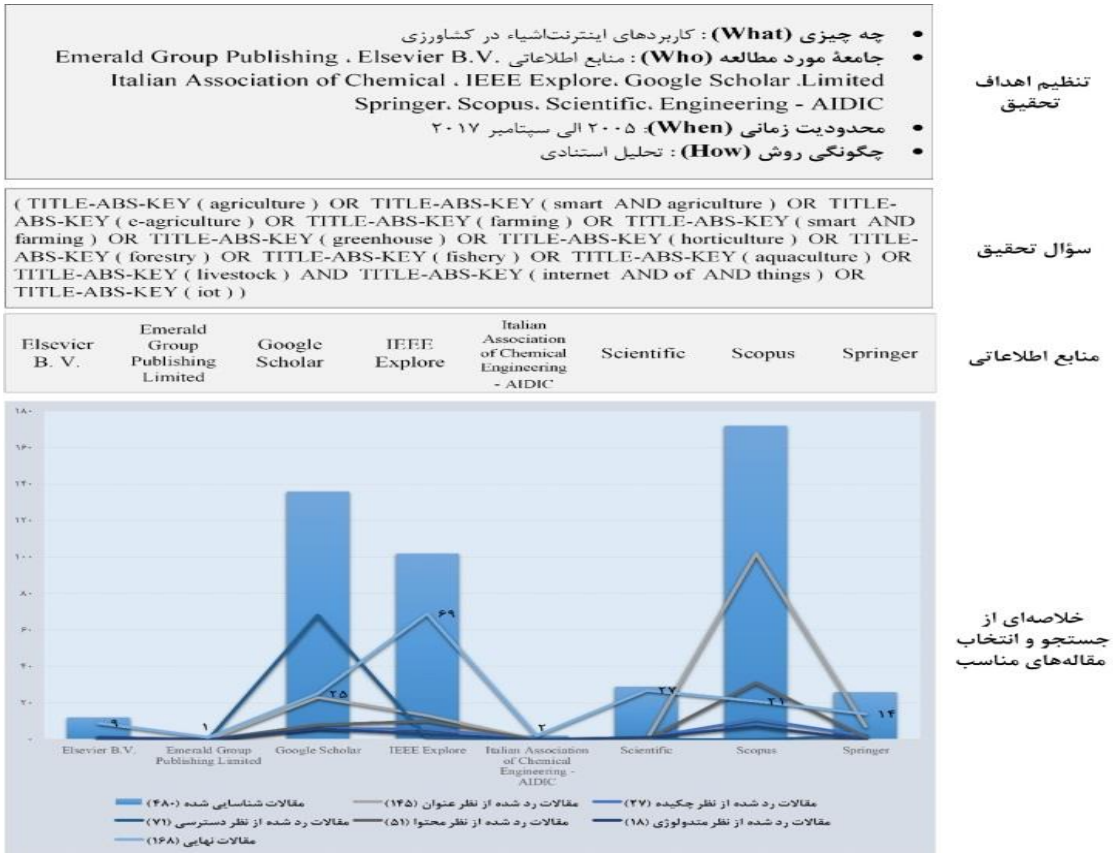
1. Critical Appraisal Skills program (CASP)

از اولویت‌بندی، بهترین گزینه انتخاب شد. در میان روش های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)[1] روش ترجیح

1. Multiple criteria decision making

بر اساس مشابهت به راه‌حل (TOPSIS)[2] یکی از تکنیک های عملی و مفید برای رتبه‌بندی و انتخاب تعداد گزینه های ممکن از طریق فاصله اقلیدسی است.

2. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution



شکل ۱- فرآیند شناسایی کاربردهای اینترنت‌اشیاء در حوزه‌های مختلف

TOPSIS در ابتدا توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ توسعه یافت. منطق این تکنیک به این صورت است که گزینه‌ای انتخاب می‌شود که کوتاه‌ترین فاصله را نسبت به راه حل ایده‌آل مثبت (به عنوان مثال برای معیارهای مثبت بزرگترین مقدار و برای معیارهای منفی (هزینه) کوچکترین مقدار ممکن) و بیشترین فاصله را نسبت به راه‌حل ایده‌آل منفی (به‌عنوان مثال، بزرگ‌ترین مقدار برای معیار منفی (هزینه) و کوچکترین مقدار را برای معیار مثبت) داشته باشد(Wang & Lee, 2009) .

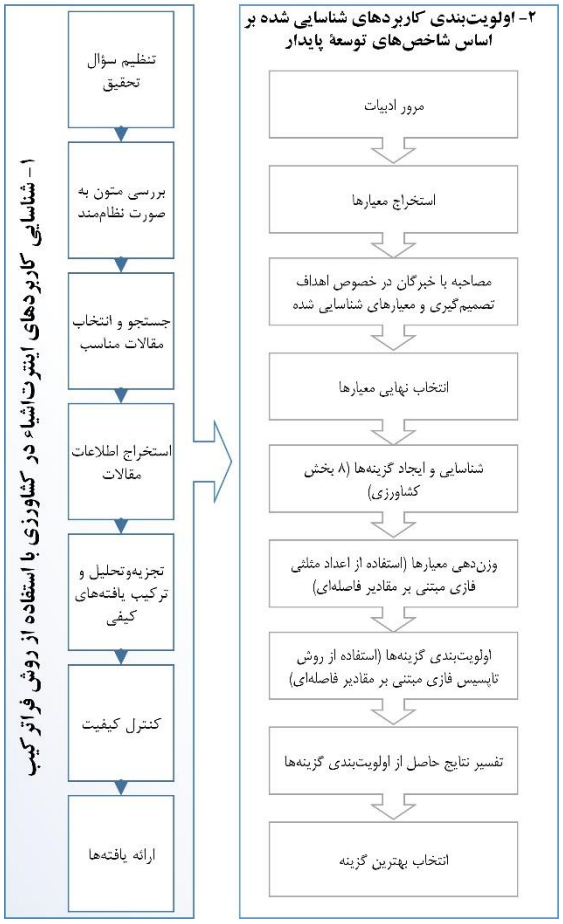
3. Hwang
4. Yoon

در این پژوهش، از روش تاپسیس فازی[5] که توسط چن ارایه شده است، برای تصمیم‌گیری چندمعیاره در مسایل تحت شرایط عدم قطعیت به کار گرفته شده است (Rodrigues Lima Junior, Osiro, & Cesar Ribeiro Carpinetti, 2014) که در آن از اعداد فازی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده است. در ادامه، مراحل روش تاپسیس فازی آورده شده است (Wang & Lee, 2009):

۱) ایجاد ماتریس تصمیم
۲) نرمال‌سازی ماتریس تصمیم
۳) به‌دست آوردن ماتریس وزین

5. Fuzzy TOPSIS

۴) به‌دست آورد مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی
۵) محاسبه فاصله نسبت به راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی
۶) محاسبهٔ نسبت دوری

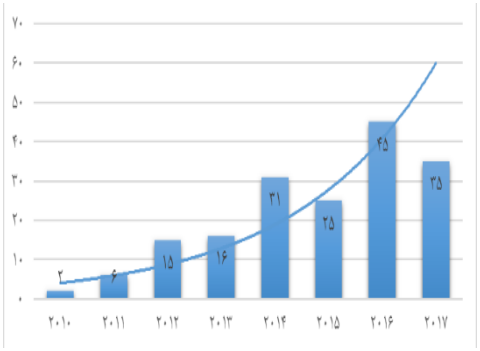


شکل ۲- فرآیند اجرایی تحقیق

یافته‌های پژوهش

تحلیل داده‌های کیفی پژوهش

با تحلیل سالیانه مقالات انتشار یافته طی سال‌های ۲۰۱۰ الی سپتامبر ۲۰۱۷ (شکل ۳شکل ۳) می‌توان شاهد روند افزایشی استفاده از فناوری اینترنت‌اشیاء در بخش کشاورزی بود.



شکل ۳- روند انتشار مقالات اینترنت اشیاء در حوزهٔ کشاورزی طی سال‌های ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۷

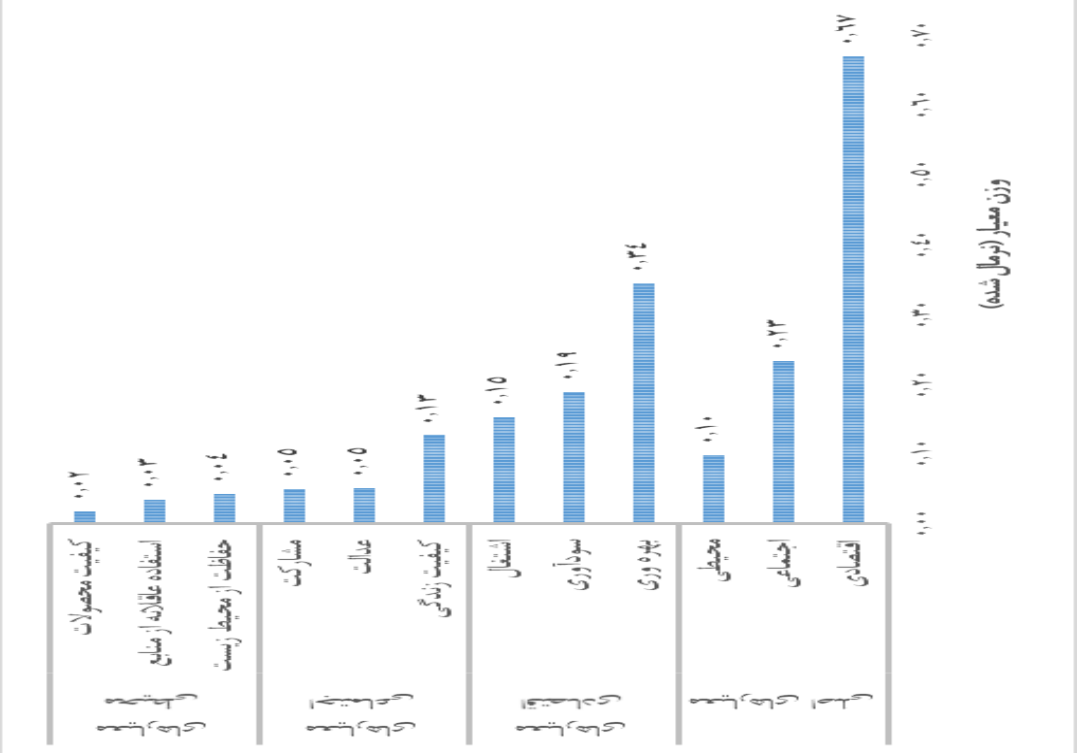
در این پژوهش، کاربردهای نوآورانه اینترنت اشیا در ۸ حوزهٔ کشاورزی شامل زراعت، گلخانه، پرورش دام و طیور، باغداری، کشاورزی شهری، پرورش ماهی و آبزیان و شبکهٔ تأمین و توزیع شناسایی گردید که در جدول (۲) به برخی از کاربردهای این هیئت حوزه اشاره شده است.

جدول ۲- کاربردهای نوآورانه اینترنت اشیاء در کشاورزی

حوزه	زمینهٔ کاربرد	منبع
زراعت هوشمند	سیستم آبیاری	(Arun Gnanaraj & Gnana Jayanthi, 2016; Bo & Wang, 2011b; Chen, Hu, Wu, Si, & Lin, 2014; Dlodlo & Kalezhi, 2015; Gondchawar & Kawitkar, 2016; Mehta & Patel, 2016; Rajalakshmi & Devi Mahalakshmi, 2016; Ray, 2017; Sharma, Shukla, Bhondekar, Ghanshyam, & Ojha, 2016; Sreekantha & Kavya A.M., 2017; Verdouw, Wolfert, & Tekinerdogan, 2016)
	سیستم تشخیص بیماری و آفات	(Bo & Wang, 2011b; Dlodlo & Kalezhi, 2015; Mehta & Patel, 2016; Ray, 2017; Sreekantha & Kavya A.M., 2017; Verdouw et al., 2016)
	سیستم مدیریت تولید محصول	(Arun Gnanaraj & Gnana Jayanthi, 2016; Bo & Wang, 2011a; Dlodlo & Kalezhi, 2015; Ray, 2017; Sreekantha & Kavya A.M., 2017; Verdouw et al., 2016)
	سیستم نظارت بر پارامترهای محیطی	(Arun Gnanaraj & Gnana Jayanthi, 2016; Gondchawar & Kawitkar, 2016; Rajalakshmi & Devi Mahalakshmi, 2016; Ray, 2017; Sreekantha & Kavya A.M., 2017)
گلخانه هوشمند	سیستم نظارت بر پارامترهای محیطی	(Chen et al., 2014; Mehta & Patel, 2016; Ray, 2017; Sharma et al., 2016; Sreekantha & Kavya A.M., 2017; Verdouw et al., 2016)
	سیستم آبیاری	(I. Mat, Mohd Kassim, Harun, & Mat Yusoff, 2017; Ibrahim Mat, Mohd Kassim, Harun, & Mat Yusoff, 2016)
کشاورزی شهری هوشمند	سیستم نظارت بر پارامترهای محیطی (باغ‌های خانگی)	(Kodali & Sahu, 2016)
	سیستم نظارت بر پارامترهای محیطی (هیدروپونیک)	(Ferrández-Pastor, García-Chamizo, Nieto Hidalgo, & Mora-Martínez, 2017; Pitakphongmetha et al., 2017)
	سیستم نظارت بر پارامترهای محیطی (کشاورزی عمودی)	(Sivamani, Bae, & Cho, 2013)
	سیستم نظارت بر کیفیت آب (سیستم آکواپونیک)	(De Silva & De Silva, 2016; Tu et al., 2016)
باغبانی هوشمند	سیستم آبیاری	(Popović et al., 2017)
	سیستم تشخیص کود مورد نیاز برای رشد محصول	(Popović et al., 2017)
	سیستم تشخیص بیماری و آفات	(Popović et al., 2017)
پرورش هوشمند دام و طیور	سیستم شناسایی و ردیابی حیوانات	(Dlodlo & Kalezhi, 2015; Sharma et al., 2016)
پرورش هوشمند ماهی و آبزیان	نظارت بر کیفیت آب و شرایط محیطی	(Popović et al., 2017; Sreekantha & Kavya A.M., 2017; Verdouw et al., 2016)
جنگل‌داری هوشمند	سیستم ردیابی درختان	(Bo & Wang, 2011b; Dlodlo & Kalezhi, 2015)
شبکهٔ تأمین و توزیع هوشمند	سیستم ردیابی ایمنی محصولات کشاورزی	(Dlodlo & Kalezhi, 2015; Verdouw et al., 2016)
	سیستم مدیریت اطلاعات (ردیابی محصولات کشاورزی در طول زنجیرهٔ تأمین	(Bo & Wang, 2011b; Chen et al., 2014; Ray, 2017; Sharma et al., 2016; Verdouw et al., 2016)

رتبه‌بندی کاربردها با استفاده از روش تاپسیس فازی

همانطور که در بخش پیشینه پژوهش اشاره شد، ۹ معیار توسعه پایدار با توجه به مرور پیشینهٔ ادبیات شناسایی گردید. سپس، ارزیابی معیارها و اولویت‌بندی گزینه‌ها، توسط خبرگان شناسایی شده که از دانش فنی و تجربهٔ اجرایی در حوزهٔ اینترنت‌اشیاء کشاورزی برخوردار بودند، صورت گرفت. وزن هر یک از شاخص‌های اصلی پس از محاسبات در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴- وزن شاخص‌های پایداری

با توجه به **Error! Reference source not found.**، حوزه گلخانهٔ هوشمند به عنوان برترین گزینه انتخاب شده است، که نشان‌دهندهٔ توانایی این حوزه برای دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار بر اساس معیارهای بهره‌وری، سودآوری، اشتغال، کیفیت زندگی، عدالت، مشارکت، حفاظت از محیط‌زیست، استفاده عاقلانه از منابع و کیفیت محصولات است. شبکهٔ تأمین و توزیع هوشمند و پرورش دام و طیور به‌ترتیب رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص دادند.

جدول ۳- امتیاز و اولویت کاربردهای نوآورانه اینترنت‌اشیاء در کشاورزی

حوزه	d^+	d^-	CC_i	رتبه
زراعت هوشمند	۰۷۵.۰	۰۷۴.۰	۴۹۷.۰	۶
گلخانه هوشمند	۰۳۲.۰	۱۹۵.۰	۸۵۹.۰	۱
کشاورزی شهری هوشمند	۱۳۹.۰	۰۱۰.۰	۰۶۶.۰	۸
باغداری هوشمند	۰۶۶.۰	۰۸۲.۰	۵۵۴.۰	۴
پرورش هوشمند دام و طیور	۰۵۷.۰	۰۹۲.۰	۶۱۸.۰	۳
پرورش هوشمند ماهی و آبزیان	۰۷۲.۰	۰۷۷.۰	۵۱۸.۰	۵
جنگل‌داری هوشمند	۱۲۷.۰	۰۲۲.۰	۱۴۶.۰	۷
شبکه تأمین و توزیع هوشمند	۰۲۳.۰	۱۲۶.۰	۸۴۶.۰	۲

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه، بخش کشاورزی با مسایل عمده‌ای مانند امنیت غذایی، ایمنی غذایی، استفادهٔ بیش از حد از محیط‌زیست و تأثیرات مخرب بر آن، ناکارآمدی زنجیرهٔ تأمین و از بین رفتن محصولات کشاورزی حین حمل‌ونقل روبرو است. از آنجا که علوم نوین نظیر اتوماسیون، مکاترونیک و کشاورزی دقیق توانسته‌اند تأثیرات مثبتی در بازدهٔ تولید، بهبود کیفیت و پایداری ایجاد کنند، همچنان این بخش برای فائق آمدن بر چالش‌های موجود ناتوان است.

اینترنت‌اشیاء از طریق همگرایی فناوری‌هایی نظیر عظیم‌داده، رایانش ابری، بلاک‌چین و غیره توانسته است روی بازارهای عمودی از طریق خلق محصولات و سرویس‌های داده‌محور، خلق مدل‌های کسب‌وکار جدید و بهبود تصمیم‌گیری‌ها از طریق تحلیل های کلان داده تأثیر شگرفی بر آنها بگذارد. بنابراین، می‌توان ادعا کرد که اینترنت‌اشیاء از طریق ارایه راه‌کارهایی همسو با شاخص‌های توسعهٔ پایدار، قادر است بخش کشاورزی را در جهت غلبه بر چالش‌های ذکر شده، توانمند سازد.

با توجه به پتانسیل فناوری اینترنت‌اشیاء در ایجاد مسیر جدیدی از تحقیقات ابتکاری در حوزهٔ کشاورزی و توجه به اینکه سرعت تولید منابع علمی رو به افزایش است، ضرورت ترکیب و یکپارچه سازی یافته‌های موجود، امری اجتناب‌ناپذیر کرده است. بنابراین، در این پژوهش به کمک روش فراترکیب با انجام مرور سیستماتیک، ابتدا به شناسایی کاربردهای نوآورانه اینترنت‌اشیا در کشاورزی پرداخته شده است. براساس این روش، ابتدا ۴۸۰ مقاله استخراج شده است که از این بین ۱۶۸ مقاله برای بررسی نهایی مورد استفاده قرار گرفت. براساس تحلیل های صورت گرفته هشت حوزه اصلی از کاربردهای نوآورانه اینترنت‌اشیا در کشاورزی شناسایی گردید.

در گام بعد، کاربردهای نوآورانه شناسایی شده بر اساس شاخص‌های توسعهٔ پایدار اولویت‌بندی شدند. وزن‌های شاخص‌های توسعهٔ پایدار، اقتصادی (۶۷٪)، اجتماعی (۲۳٪) و زیست‌محیطی (۱۰٪) نشان می‌دهد که برای پیاده‌سازی پروژه‌های مبتنی بر اینترنت‌اشیاء در کشاورزی بایستی بیشتر به پایداری اقتصادی اهمیت داد. این در حالیست که یکی از چالش‌های اصلی که بخش کشاورزی با آن روبرو است استفاده از روش‌های تولید کشاورزی سنتی است که باعث شده بیش از ظرفیت سیارهٔ زمین استفاده کند. علاوه بر آن جهانی شدن، تغییرات آب‌وهوایی، حرکت از اقتصاد مبتنی بر سوخت فسیلی به سوی اقتصاد مبتنی بر محیط‌زیست و رقابت بر سر زمین، آب تازه و نیروی کار منجر به پیچیدگی‌های بیشتر و ایجاد چالش تغذیه در جهان و بهره‌برداری اضافی شده است. با توجه به پتانسیل بالقوهٔ اینترنت‌اشیاء در تحقق اهداف توسعهٔ پایدار، پیشنهاد می شود که بیشتر بر روی جنبه زیست‌محیطی پروژه‌ها تمرکز شود.

بر اساس شاخص‌های توسعهٔ پایدار، کاربردهای نوآورانه اینترنت‌اشیا در حوزه کشاورزی به ترتیب اولویت عبارت بودند از: ۱- گلخانهٔ هوشمند،۲- شبکهٔ تأمین‌وتوزیع هوشمند، ۳-پرورش هوشمند دام و طیور، ۴-باغداری هوشمند، ۵-پرورش هوشمند ماهی و آبزیان،۶- زراعت هوشمند، ۷-جنگل‌داری هوشمند، ۸- کشاورزی شهری هوشمند. از آنجا که کشور ایران امروزه با مشکلات جدی مانند تغییرات آب‌وهوایی؛ از دست رفتن تنوع زیستی؛ تخریب زمین از طریق فرسایش، تراکم، شوری و آلودگی خاک؛ برداشت بی‌رویه و آلودگی منابع آبی؛ افزایش هزینه‌های تولید؛ کاهش پیوسته تعداد کشاورزان و در پی آن، فقر و کاهش جمعیت روستایی روبرو است، پیاده‌سازی و توسعه راه‌کارهای اینترنت‌اشیاء نظیر سیستم آبیاری، سیستم تشخیص بیماری و آفات، سیستم مدیریت تولید محصول (بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌ها و بهبود کیفیت محصول از طریق جمع‌آوری داده‌های میزان بارندگی، رطوبت برگ، دما، رطوبت هوا و خاک، شوری، تابش خورشید، آفات و فعالیت‌های انسانی)، سیستم کوددهی، سیستم مدیریت انرژی در حوزه‌های قابل کنترل گلخانه و باغداری، کاربردهایی نظیر سیستم ردیابی ایمنی محصولات کشاورزی، سیستم مدیریت اطلاعات (شفافیت بیشتر در زنجیرهٔ تأمین، بهبود کیفیت و کاهش زمان تدارکات از طریق پایش و پیگیری محصولات کشاورزی)، مکانیسم قیمت‌گذاری بلادرنگ محصولات کشاورزی (بر اساس ویژگی‌های کیفی محصولات حاصل از پایش کیفیت آنها

در حین تولید، انتقال و توزیع) در حوزه شبکهٔ تأمین و توزیع هوشمند و در نهایت، کاربردهایی نظیر سیستم نظارت بر رفتار، تغذیه و ردیابی حیوانات جهت بهبود روش‌های تغذیه مطلوب حیوانات، شرایط محیطی، وضعیت سلامت و جلوگیری از دزدیده شدن آنها در حوزه پرورش هوشمند دام و طیور می‌تواند تا حد زیادی بر این مشکلات در بخش کشاورزی غلبه کند. علاوه بر این، حوزه‌های مذکور با توجه به نظرات خبرگان از چالش‌های کمتری از نظر پیاده‌سازی کاربردهای اینترنت‌اشیاء مواجه هستند. بنابراین، این حوزه‌ها بایستی به‌عنوان اولویت‌های اصلی در زمینهٔ پیاده‌سازی راه‌کارهای مبتنی بر اینترنت‌اشیاء در نظر گرفته شوند.

از جمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به همپوشانی حوزه‌های مختلف کشاورزی با یکدیگر اشاره نمود، که مانع ارزیابی دقیق هر یک از راه‌کارهای اینترنت‌اشیاء شده بود. همچنین، به‌دلیل تخصصی بودن موضوعات مرتبط با کاربردهای اینترنت اشیاء در بخش کشاورزی، برخی خبرگان توانمندی ارزیابی دقیق تمام گزینه ها را بعضاً نداشته و لذا، از فرآیند ارزیابی کنار گذاشته شدند. این در حالی است که بهره‌گیری از روش‌های محاسباتی مقابله با تردید همچون مجموعه-های مردد می‌تواند در تحقیقات آتی مدنظر محققین قرار گیرد.

REFERENCES

1. Arun Gnanaraj, A., & Gnana Jayanthi, J. (2016). Smart, connected IoT applications for maximizing agricultural business performance. *International Journal of Control Theory and Applications*, *9*(27), 313–319. Retrieved from http://www.serialsjournals.com/serialjournalmanager/pdf/1477480165.pdf
2. Benkhelifa, E., Abdel-Maguid, M., Ewenike, S. & Heatley, D. (2014). The Internet of Things: the Eco-System for Sustainable Growth. *Computer Systems and Applications (AICCSA), 2014 IEEE/ACS 11th International Conference on*, 836-842.
3. Biggs, P., Garrity, J., LaSalle, C., & Polomska, A. (2016). *Harnessing the The Internet of Things for Global Development.* Switzerland: International Telecommunication Union .
4. Bo, Y., & Wang, H. (2011b). The Application of Cloud Computing and the Internet of Things in Agriculture and Forestry. In *2011 International Joint Conference on Service Sciences* (pp. 168–172). IEEE. https://doi.org/10.1109/IJCSS.2011.40
5. Chen, J., Hu, T., Wu, J. H., Si, H. P., & Lin, K. Y. (2014). Applications of Internet of Things in Facility Agriculture. *Applied Mechanics and Materials*, *685*, 517–523. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.685.517
6. Chiou, H.-K., Tzeng, G.-H., & Cheng, D.-C. (2005). Evaluating sustainable fishing development strategies using fuzzy MCDM approach. *Omega*, 223-234.
7. Christen, O., & Heyer, W. (2010). Sustainable Development of Agriculture, Fisheries, and Forestry. In O. Christen, V. Squires, R. Lal , & R. Hudson, *Interdisciplinary and Sustainability Issues in Food and Agriculture* (pp. 68-96). EOLSS Publications.
8. Davoodi H., Shabanali Ghomi, H., ; Kalantari, Kh.,(2014). Strategies to improve the functions of Science and Technology Parks in Agricultural Technology Development. I*ranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 45(2), 351-361(in Farsi)
9. De Silva, P. C. P., & De Silva, P. C. A. (2016). Ipanera: An Industry 4.0 based architecture for distributed soil-less food production systems. In *2016 Manufacturing & Industrial Engineering Symposium (MIES)* (pp. 1–5). IEEE. https://doi.org/10.1109/MIES.2016.7780266
10. Dlodlo, N., & Kalezhi, J. (2015). The internet of things in agriculture for sustainable rural development. In *2015 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC)* (pp. 13–18). IEEE. https://doi.org/10.1109/ETNCC.2015.7184801
11. Elijah, O., Abdul Rahman, T., Orikumhi, I., Yen Leow, C., & Nour Hindia, M. (2018). An *Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. IEEE Internet of Things Journal, 3758-3773. doi:10.1109/JIOT.2018.2844296*
12. FAO. (2017). *Ending poverty and hunger by investing in agriculture and rural areas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
13. Ferrández-Pastor, F.-J., García-Chamizo, J.-M., Nieto Hidalgo, M., & Mora-Martínez, J. (2017). User-centered design of agriculture automation systems using internet of things paradigm. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 10586 LNCS). https://doi.org/10.1007/978-3-319-67585-5_7
14. Gartner. (2011). *Internet of Things added to the 2011 hype cycle*. Retrieved from Postscapes: https://www.postscapes.com/internet-of-things-added-to-the-2011-hype-cycle/

15. Geng, H. (2017). *Internet of Things and Data Analatics Handbook*. John Wiley & Sons.
16. GeSI. (2016). *How Digital Solutions Will Drive Progress Towards The Sustainable Development Goals.* Brussels: Global e-Sustainability Initiative (GeSI).
17. Gharoon, Z., Shabanalifomi, H., Kalantari, Kh, Masoomianasl, A., (2013). Factors Influencing Use of Information Technology (IT) in Management of Dairy Farms (A Case of: Western Part of Tehran Province), *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 43(4), 561-572(in Farsi)
18. Gondchawar, N., & Kawitkar, R. S. (2016). IJARCCE IoT based Smart Agriculture. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 5(6), 838-842. https://doi.org/10.17148/IJARCCE.2016.56188
19. Kim, S., & Kim, S. (2016). A multi-criteria approach toward discovering killer IoT application in Korea. *Technological Forecasting & Social Change*, 102, 143-155. doi:https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.05.007
20. Kocovic, P., Behringer, R., Ramachandran, M., & Mihajlovic, R. (2017). *Emerging Trends and Applications of the Internet of Things.* Hershey, PA: IGI Global. doi:10.4018/978-1-5225-2437-3
21. Kodali, R. K., & Sahu, A. (2016). An IoT based soil moisture monitoring on Losant platform. In *Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2016* (pp. 764–768). https://doi.org/10.1109/IC3I.2016.7918063
22. Luthra, S., Garg, D., Mangla, S., & Berwel, Y. (2018). Analyzing challenges to Internet of Things (IoT) adoption and diffusion: An Indian context. *Procedia Computer Science*, 125, 733-739. doi:doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.094
23. Mat, I., Mohd Kassim, M. R., Harun, A. N., & Mat Yusoff, I. (2016). IoT in Precision Agriculture applications using Wireless Moisture Sensor Network. In *2016 IEEE Conference on Open Systems (ICOS)* (pp. 24–29). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICOS.2016.7881983
24. Mehta, A., & Patel, S. (2016). IOT based smart agriculture research opportunities and challenges. *International Journal For Technological Research In Engineering ISSN*, *4*(3), 2347–4718. Retrieved from www.ijtre.com
25. Merad, M., Dechy, N., Serir, L., Grabisch, M., & Marcel, F. (2013). Using a multi-criteria decision aid methodology to implement sustainable development principles within an organization. *European Journal of Operational Research*, 224(3), 603-613. doi:10.1016/j.ejor.2012.08.019
26. Mohammadzadeh, A., Ghafoori, S., Mohammadian, A., Mohammadkazemi, R., Mahbanooei, B., & Ghasemi, R. (2018). A Fuzzy Analytic Network Process (FANP) approach for prioritizing internet of things challenges in Iran. *Technology in Society*, 53, 124-134. doi:doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.01.007
27. N. Verdouw, C., Wolfert, S., & Tekinerdogan, B. (2016). Internet of Things in Agriculture. *CAB Reviews*. 11(35),1-12. doi:10.1079/PAVSNNR201611035
28. Nukala, R., Panduru, K., Shields, A., Riordan, D., Doody, P., & Walsh, J. (2016). Internet of Things: A review from 'Farm to Fork'. *2016 27th Irish Signals and Systems Conference (ISSC).* Londonderry, UK: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. doi:10.1109/ISSC.2016.7528456
29. Pitakphongmetha, J., Boonnam, N., Wongkoon, S., Horanont, T., Somkiadcharoen, D., & Prapakornpilai, J. (2017). Internet of things for planting in smart farm hydroponics style. In *20th International Computer Science and Engineering Conference: Smart Ubiquitos Computing and Knowledge, ICSEC 2016* (pp. 1–5). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICSEC.2016.7859872
30. Popović, T., Latinović, N., Pešić, A., Zečević, Ž., Krstajić, B., & Djukanović, S. (2017). Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study. *Computers and Electronics in Agriculture*, *140*, 255–265. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.008
31. Poursaeed, A., Mirdamadi, M., Malekmohammadi, I., & Hosseini, J. (2010). The partnership models of agricultural sustainable development based on Multiple Criteria Decision Making (MCDM) in Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 5(23), 3185-3190.
32. Pratim Ray, P. (2017). Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9, 395-420.
33. Quaddus, M., & Siddique, M. (2001). Modelling sustainable development planning: A multicriteria decision conferencing approach. *Environment International*, 27(2-3), 89-95. doi:doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00066-6
34. Rajalakshmi, P., & Devi Mahalakshmi, S. (2016). IOT based crop-field monitoring and irrigation automation. In *Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Systems and Control, ISCO 2016* (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/ISCO.2016.7726900
35. Ram, V., Vishal, H., Dhanalakshmi, S., & Vidya, P. (2015). Regulation of water in agriculture field using Internet Of Things. *2015 IEEE Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)* (pp. 112-115). Chennai: IEEE.

36. Rayes, A., & Salam, S. (2017). *Internet of Things—From Hype to Reality.* Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-44860-2
37. Rezaei-Moghaddam, K., & Karami, E. (2008). A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP. *Sustainable Agricultural Development Models*, 10(4), 407-426.
38. Ribeiro , R. (1996). Fuzzy multiple attribute decision making: a review and new preference elicitation techniques. *Fuzzy sets and systems*, 78(2), 155-182.
39. Rodrigues Lima Junior, F., Osiro, L., & Cesar Ribeiro Carpinetti, L. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods tosupplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194-209.
40. Sandelowski, M., & Barroso, J. (2006). *Handbook for Synthesizing Qualitative Research.* New York: Springer Publishing Company, Inc.
41. Sharma, D., Shukla, A. K., Bhondekar, A. P., Ghanshyam, C., & Ojha, A. (2016). A Technical Assessment of IOT for Indian Agriculture Sector. *IJCA Proceedings on National Symposium on Modern Information and Communication Technologies for Digital India*, *MICTDI 2016*(1), 1–5. Retrieved from http://www.ijcaonline.org/proceedings/mictdi2016/number1/26543-1601
42. Shen, K.-Y., & Tzeng, G.-H. (2018). Advances in multiple criteria decision making for sustainability: Modeling and applications. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(5), 1-7. doi:10.3390/su10051600
43. Sivamani, S., Bae, N., & Cho, Y. (2013). A smart service model based on ubiquitous sensor networks using vertical farm ontology. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, *2013*(12), 161495. https://doi.org/10.1155/2013/161495
44. Sreekantha, D. K., & Kavya A.M. (2017). Agricultural crop monitoring using IOT - a study. In *2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)* (pp. 134–139). IEEE. https://doi.org/10.1109/ISCO.2017.7855968
45. Talavera, J., Tobón, L., Gómez, J., Culman, M., Aranda, J., Parra, D., . . . Garreta, L. (2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 104, 283-297.
46. Thierer, A., & O'Sullivan, A. (2015). Projecting the growth and economic impact of the internet of things. *George Mason University, Mercatus Center, VA, USA*, 1-10, Retrieved December 6 2020 from http://mercatus.org/publication/projecting-growth-and-economic-impact-internet-things
47. Tu, D. T. C., Duong, P. B., Vuong, N. T. H., Luan, P. H., Nghia, N. H., Dien, P. N., … Buu, C. H. (2016). The Cactus Device-An Ultimate Solution for Irrigation. In *Proceedings - 3rd International Conference on Green Technology and Sustainable Development, GTSD 2016* (pp. 270–273). IEEE. https://doi.org/10.1109/GTSD.2016.67
48. Veisi, H., Liaghati, H., & Alipour, A. (2016). Developing an ethics-based approach to indicators of sustainableagriculture using analytic hierarchy process (AHP). *Ecological Indicators*, 60, 644-654.
49. Velten, S., Leventon, J., Jager, N., & Newig, J. (2015). What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review. *sustainability*, 7, 7833-7865. doi:10.3390/su7067833
50. Verma, N., & Usman, A. (2016). Internet of Things (IoT): A relief for Indian farmers. *2016 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* (pp. 831-835). Seattle: IEEE.
51. Vermesan, O., & Friess, P. (2014 (a)). *Internet of Things From Research and Innovation to Market Deployment.* River Publishers.
52. Vermesan, O., & Friess, P. (2016 (b)). *Degitising the Industry Internet of Things Connecting the Physical, Digital and Virtual Worlds.* River Publisher.
53. Vinodh, S., Mulanjur, G., & Thiagarajan, A. (2013). Sustainable concept selection using modified fuzzy TOPSIS: a case study. *International Journal of Sustainable Engineering*, 6(2), 109–116.
54. Walter, A., Finger, R., Huber, R., & Buchmann, N. (2017). Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(24) 6148–6150. doi:www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1707462114
55. Wang, T.-C., & Lee, H.-D. (2009). Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8980–8985.
56. Williams, J., Alter, T., & Shrivastava, P. (2018). Systemic governance of sustainable agriculture: Implementing sustainable development goals and climate-friendly farming. *Outlook on Agriculture*, 47(3), 192-195. doi:10.1177/0030727018795907
57. Zarei, M., Mohammadian, A., & Ghasemi, R. (2016). Internet of Things in Industries: a Survey for Sustainable Development. *Innovation and Sustainable Development*, 10(4), 419-442.
58. Zarifian., Sh., (2018).Factors Affecting the Adoption of Trickle Irrigation by Palm Cultivators of Dashtestan, Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 48(4), 647-655 (In Farsi).