Journal of Urban Management & Environmental Engineering

Journal homepage: https://jumee.kgut.ac.ir
Vol.2, No.2; 2024.pp: 70-91

Research paper

(Received May. 27, 2024 Accepted Jun. 11, 2024)

Prospects and Challenges of Internet of Things (IoT) Technologies in Circular Business Models

Setareh Ahmadi[1*], Arezoo Ghadiri[2]

[1] *Department of Computer Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran*
[2] *Department of Environmental Engineering, Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran*

Abstract

In recent times, there has been a growing recognition of the importance of circular business models (CBM) in advancing environmental sustainability. However, the relationship between CBM and the Internet of Things (IoT) has received little attention in current academic discussions. This paper seeks to fill this gap by initially identifying four key capabilities of IoT—namely monitoring, tracking, optimization, and design evolution—using the ReSOLVE framework to enhance the performance of CBM. Subsequently, through a systematic literature review employing the PRISMA approach, the paper examines how these IoT capabilities contribute to the principles of "Reduce, Reuse, Recycle, Redesign, Remanufacture, and Recover" (the 6R) and CBM. The analysis utilizes cross-section heatmaps and relationship frameworks to elucidate the interaction between CBM and IoT. Additionally, the paper evaluates the quantitative impact of IoT on potential energy savings within CBM contexts. The findings underscore a predominant focus on assessments related to Loop and Optimize business models, where IoT significantly aids through tracking, monitoring, and optimization capabilities. However, there is a noticeable scarcity of (quantitative) case studies concerning Virtualize, Exchange, and Regenerate CBM models, indicating the necessity for further research in these domains. Notably, IoT exhibits promise in reducing energy consumption by approximately 20–30% across referenced applications in the literature. Nonetheless, challenges such as IoT hardware, software and protocol energy consumption, interoperability, security, and financial investments may hinder its wider adoption in CBM practices.

Keywords: Sustainable supply chain, Circular economy, Internet of Things, Prisma, Circular business model

[*] Corresponding Author: Setareh Ahmadi
Email: *setareahmadi936@gmail.com*
Phone: 09166699179

Doi: 10.48306/jumee.2024.454521.1042

نشریه علمی مدیریت شهری و مهندسی محیط زیست

آدرس نشریه: https://jumee.kgut.ac.ir

سال دوم/شماره دوم/تابستان ۱۴۰۳/صفحه ۷۰-۹۱

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۴۰۳ /۲/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۴/۱۲

فرصت‌ها و ریسک‌های ناشی از فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء در مدل‌های کسب‌وکار چرخشی

ستاره احمدی[۱*]، آرزو قدیری[۲]

۱- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی سیستم‌های انرژی گرایش محیط‌زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

مدل‌های کسب‌وکار چرخشی به یک الزام گریزناپذیر برای ارتقای بهبود عملکرد محیط‌زیستی تبدیل شده‌اند. متون علمی کنونی بندرت رابطه میان اینترنت اشیاء و مدل کسب و کار چرخشی را مطرح کرده‌اند. در مقاله حاضر، ابتدا چهار قابلیت برای اینترنت اشیاء تعیین می‌شود که شامل نظارت، رهگیری، بهینه‌سازی و تکامل طراحی برای بهبود عملکرد کسب‌وکار چرخشی مبتنی بر چارچوب ReSOLVE بوده است. در مرحله دوم، در مرور سیستماتیک متون علمی با استفاده از رویکرد PRISMA، تکنیک نقشه رنگی هیت مپ برای ترسیم مقاطع مدل‌های کسب و کار چرخشی متفاوت و چارچوب‌های روابط آنها، به تحلیل این موضوع پرداخته شد که چگونه قابلیت‌های مذکور نقش خود را ایفا می‌کنند و پس از آن تأثیرات کمی اینترنت اشیاء بر روی قابلیت صرفه‌جویی انرژی در مدل‌های کسب و کار چرخشی ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که ارزیابی‌های مدل‌های کسب‌وکار از نوع حلقه و بهینه‌سازی در مطالعات کنونی بیش از همه به چشم می‌خورد. فناوری اینترنت اشیاء نقش مهمی در این دسته مدل‌های کسب‌وکار به ترتیب از طریق قابلیت‌های رهگیری، نظارت و بهینه‌سازی ایفا می‌کند. مطالعات موردی (کمی) برای مدل‌های کسب و کار چرخشی از نوع مجازی‌سازی، تبادل و باززایی نیاز است. فناوری اینترنت اشیاء ظرفیت کاهش مصرف انرژی را تا حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد برای کاربردهای اشاره شده در متون علمی نشان داده است. ولیکن، سخت افزار اینترنت اشیاء، نرم افزار و پروتکل مصرف انرژی، تعامل‌پذیری، امنیت و سرمایه مالی ممکن است به موانع عمده ای برای استفاده وسیع از فناوری اینترنت اشیاء در مدل کسب و کار چرخشی تبدیل شوند.

کلمات کلیدی: زنجیره تأمین پایدار، اقتصاد چرخشی، اینترنت اشیا، رویکرد PRISMA، مدل کسب‌وکار

* نویسنده مسئول: ستاره احمدی

پست الکترونیکی: *setareahmadi936@gmail.com*

شماره تماس: ۰۹۱۶۶۶۹۹۱۷۹

Doi: 10.48306/jumee.2024.454521.1042

۱-مقدمه

از بدو تولد اینترنت در اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی، تلاش‌هایی برای اتصال «اشیا» به اینترنت صورت گرفته است. در سال ۱۹۹۰ میلادی، آقای John Romkey اولین وسیله اینترنتی را بوجود آورد که یک دستگاه برشته‌سازی نان تست بود و می‌توانست از طریق اینترنت روشن و خاموش شود [۱]. آقای Paul Saffo اولین بحث را در خصوص حسگرها مطرح کرد و درباره نحوه استفاده از آنها به حالت متصل به اینترنت در سال ۱۹۹۷ توضیحاتی را ارائه داد [۲]. در سال ۱۹۹۹ میلادی، اصطلاح «اینترنت اشیا»- Internet of Things (IoT) توسط آقای Kevin Ashton برای شرح این نوع اتصال روبه‌رشد بین حسگرها و دستگاه های مشابه با هدف فراهم سازی اطلاعات زمان واقعی از طریق اینترنت مصطلح گردید؛ این محقق در زمینه بهینه‌سازی زنجیره تأمین تحقیق می‌کرد و فناوری جدیدی را به نام شناسایی کالا برپایه تکنیک شناسایی به کمک فرکانس رادیویی- Radio-Frequency Identification (RFID) در همان سال اختراع کرد [۳]. در سال ۲۰۰۳ میلادی، فروشگاه معروف والمارت از پیاده سازی فناوری RFID در کلیه شعب فروشگاه‌های خود در سراسر دنیا برای سنجش موجودی و فروش محصولات و نیز پشتیبانی از مدیریت زنجیره تأمین استفاده کرد [۴]. در سال ۲۰۰۵ میلادی، اتحادیه بین‌المللی مخابرات [۵] از فناوری اینترنت اشیاء به عنوان موج سوم دگرگونی و تحول صنعت اطلاعات در جهان یاد کرده است. بعدها، شرکت‌های غول فناوری مانند سیسکو، IBM و اریکسون به کمک فناوری اینترنت اشیاء فعالیت های آموزشی و تجاری بی‌شماری را راه اندازی کردند. در برخی کشورها مانند چین، این فناوری به عنوان یک فناوری نوظهور راهکاری در برنامه‌های بلندمدت دولت‌ها به شمار می‌آید [۶].

فناوری اینترنت اشیاء را می‌توان به‌سادگی به شکل اتصالی بین انسان‌ها - کامپیوترها - اشیاء توضیح داد. این فناوری از تکنیک RFID، حسگرهای مادون‌قرمز، سیستم‌های اعلام موقعیت جهانی، اسکنرهای لیزری و سایر تجهیزات حسگر اطلاعاتی برای اتصال هر شیء تحت پروتکل اینترنت (IP[1]) با یک نشانی IP منحصربه‌فرد برای تبادل اطلاعات و ارتباطات استفاده می‌کند و می‌تواند به تعیین موقعیت، رهگیری و مدیریت هوشمند اقلام کمک کند. برای مثال، معماری سیستم می‌تواند مبتنی بر عملیات‌ها و فرایندها در سناریوهای زمانی واقعی باشد. برای نمونه، در یک خانه هوشمند، هر کلید برق می‌تواند به تلفن هوشمند متصل باشد به‌این‌ترتیب قابلیت کار از راه دور فراهم می‌شود. سیستم عامل هارمونی HarmonyOS که به‌تازگی توسط شرکت هواوی ساخته شده است، از معماری جداسازی فول استک (full-stack) استفاده می‌کند که حتی امکان رفع مسائل مربوط به محدودیت‌ها در زمینه مرز نرم‌افزاری و سخت‌افزاری با آن میسر است، بنابراین سایر پرسنل می‌توانند به سیستم ملحق شوند و به صورت مشترک روی یک پروژه کار کنند [۷]. روی‌هم‌رفته، مرز استفاده از اینترنت اشیاء به طور قابل‌ملاحظه‌ای گسترش‌یافته است.

اجتناب از مصرف بیش از حد از منابع کره زمین[۸] و در مقابل روی‌آوردن به شیوه‌های پایدارتر استفاده از مواد و انرژی در زمره بزرگ‌ترین چالش‌های قرن ۲۱ ام به شمار می‌آید. هرگونه رویکردی برای کاهش فشارها مستلزم درنظرگیری همزمان جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و به‌ویژه محیط زیستی مربوط به فرایندهای صنعتی و نیز تعاملات مربوطه در سرتاسر زنجیره‌های ارزش محصولات و خدمات از نقطه آغازین تا پایانی می باشد [۹]. راهکارهای اصلی برای کاهش استفاده از مواد خام حیاتی شامل مدیریت زنجیره تأمین پایدار (SSCM[2]) و استفاده چرخشی از محصولات و مواد می باشد [۱۰ و ۱۱]. تعریفی را از مدیریت زنجیره تأمین پایدار مطرح کرده اند و آن‌را «مدیریت جریان مواد، اطلاعات و سرمایه در کنار همکاری میان شرکت‌ها در طول زنجیره تأمین ضمن درنظرگیری اهداف در سه جنبه -محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی- که برگرفته از الزامات مشتری و ذی‌نفعان می باشد» شرح داده اند.

پدیده چرخشی‌سازی دیدگاه متفاوتی را به مفهوم مدیریت زنجیره تأمین پایدار افزوده است و تلاش دارد تا مواد را در حلقه‌هایی بسته نگه دارد. برخلاف اقتصاد خطی که مبتنی بر مدل «دریافت مواد اولیه – تولید - دورانداختن» است، اقتصاد چرخشی به ترویج طول عمر، تعمیرپذیری، دوام و قابلیت بازیافت محصولات با هدف استفاده مجدد از منابع می‌پردازد [۱۲]. بنابراین، یکی از دلایل تغییر زنجیره‌های تأمین از مدل خطی به مدل چرخشی، بحث پایداری است [۱۳]. در عصر انقلاب چهارم صنعتی (I4.0)، فناوری اینترنت اشیاء فرصت‌هایی را برای شکوفایی اقتصاد چرخشی در زنجیره‌های ارزش از طریق پایش زمان واقعی مجموعه منابع در اختیار قرار داده است [۱۴]. این فناوری می‌تواند پدیده کمینه‌سازی جریان ضایعات را بر اساس شناسایی طول عمر محصول پشتیبانی نماید. در نتیجه، استفاده مجدد از مواد و فرایندهای بازیافت آن را می‌توان بهینه‌سازی نمود. به طور خلاصه، فناوری اینترنت اشیاء استفاده از

[1] Internet Protocol
[2] Sustainable Supply Chain Management

منابع را به صحیح‌ترین، کارآمدترین و عالی‌ترین شیوه ترویج می‌دهد و هدفش تغییر الگوی منابع دورریختنی به منابع تجدیدپذیر است و توسعه مدل‌های کسب و کار چرخشی را ممکن ساخته است [۱۵]. ازاین‌رو، پیشرفت مدل‌های کسب و کار چرخشی مبتنی بر اینترنت اشیاء پژوهش‌های دانشگاهی را معطوف به خود نموده است و این پژوهش‌ها اخیراً تأثیر فناوری‌های I4.0 نظیر اینترنت اشیاء را بر مدل‌های کسب و کار چرخشی ارزیابی نموده‌اند و به نتیجه‌گیری‌های متفاوتی رسیده‌اند [۱۶ و ۱۷]. آنها درباره مدل کسب و کار چرخشی و اینترنت اشیاء از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بحث کرده‌اند [۱۸]. در مطالعه دیگری یک بررسی مروری انجام شده مبنی بر اینکه چگونه فناوری اینترنت اشیاء در حوزه کسب و کار چرخشی اثرگذاری و چالش را به وجود آورده است [۱۹]. این حوزه‌ها سبب شناسایی محرک‌های مهم شده‌اند و یک چارچوب ساختارمند را فراهم کرده‌اند که راهکارهای اقتصاد چرخشی مبتنی بر کسب‌وکار و مدیریت را بر اساس فناوری‌های اینترنت اشیاء بررسی می‌کنند.

ولیکن، همچنان فاصله زیادی بین نظریه و عمل دیده می‌شود [۲۰]. به‌ویژه، اغلب کسب‌وکارهای کوچک و متوسط (SMEs[1]) با فشار بی‌سابقه‌ای برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی روبرو هستند. به این دلیل که هزینه به‌کارگیری فناوری اینترنت اشیاء می‌تواند سرسام‌آور باشد، این کسب‌وکارها ممکن است به دلیل وضعیت خاص خود در استفاده از فرصت‌های کاهش انتشار کربن که بر پایه فناوری اینترنت اشیاء میسر شده است، مردد مانده باشند [۲۱]. این امر مستلزم درک عمیقی نسبت به قابلیت‌های اینترنت اشیاء و ویژگی‌های مدل‌های کسب و کار چرخشی متفاوت با هدف یافتن بهترین نقطه مشترک آنهاست. همچنین، چرخشی‌سازی خود وسایل و تجهیزات اینترنت اشیاء هم باید مدنظر قرار گیرد [۲۲]. باتوجه‌به این خلأهای پژوهشی، مقاله حاضر به مطرح سازی پرسش‌های پژوهشی ذیل پرداخته است:

۱- نقش های (هم افزایی) قابلیت های اینترنت اشیاء در مدل‌های کسب و کار چرخشی چه می باشد؟

۲- قابلیت های کاهش انتشار کربن برای فناوری اینترنت اشیاء در مدل‌های کسب و کار چرخشی چه می باشد؟

۳-موانع پذیرش فناوری اینترنت اشیاء برای کسب و کارهای کوچک و متوسط در ترویج راهکارهای چرخشی چه می باشد؟

نقش پژوهشی این مقاله به این صورت بوده است که از یک چارچوب پیش‌فرض برای کسب‌وکار چرخه‌ای (ReSOLVE) استفاده شده که برای تحلیل زمینه مدل‌های کسب و کارهای چرخشی مبتنی بر اینترنت اشیاء کاربرد داشت و نیز این چارچوب را در ارتباط با اصول 6R مطرح نموده تا قابلیت‌های اینترنت اشیاء به هر یک از عملکردهای کسب‌وکار به طور خاص متناظرسازی شوند. این عمل مشخص می‌کند که چگونه اینترنت اشیاء در هر مدل کسب‌وکار نقش متفاوتی را ایفا می‌کند و اطلاعاتی را برای ما فراهم می‌کند تا بتوانیم رابطه بین قابلیت‌های اینترنت اشیاء، اصول 6R و کسب و کار چرخشی را شرح دهیم. همچنین، با روش کمّی به مرور متون علمی پرداخته شده که چگونه فناوری اینترنت اشیاء می‌تواند در کاهش اثرات زیست‌محیطی تحت مدل‌های کسب و کار چرخشی و شناسایی موانع آنها نقش داشته باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- رویکرد مرور مقالات توسط مدل Prisma

مدل PRISMA در ابتدای پیدایش خود برای موضوعات پزشکی استفاده می شد. با اینکه روش‌های دیگری هم برای انجام مرور متون علمی و آنالیز آنها وجود داشت [۲۵ و ۲۶]، خط مشی های PRISMA به عنوان رویکردی برای اجرای مرور متون علمی به نحو شفاف از پذیرش وسیعی برخوردار بوده است. به تازگی، این روش در موضوعات پژوهش‌های پایداری و اقتصاد چرخشی مورد استفاده قرار گرفته است [۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰]. آخرین نسخه ویرایشی PRISMA Abstract 2020 [۳۱ و ۳۲] توصیه کرده است که در یک گزارش مرور متون علمی باید ۵ گزینه اصلی در رابطه با ۱۰ زیرگروه مورد بحث قرار گیرد (جدول ۱). این جدول درباره مراحل تحلیل کمّی توضیحاتی را مطرح می‌کند که شامل جمع‌آوری داده‌ها از مقالات منتخب و هماهنگ‌سازی ارزش داده‌هاست. بر اساس چنین چارچوبی، مرور متون علمی در مقاله حاضر اجرا شده است.

[1] Small and medium enterprises

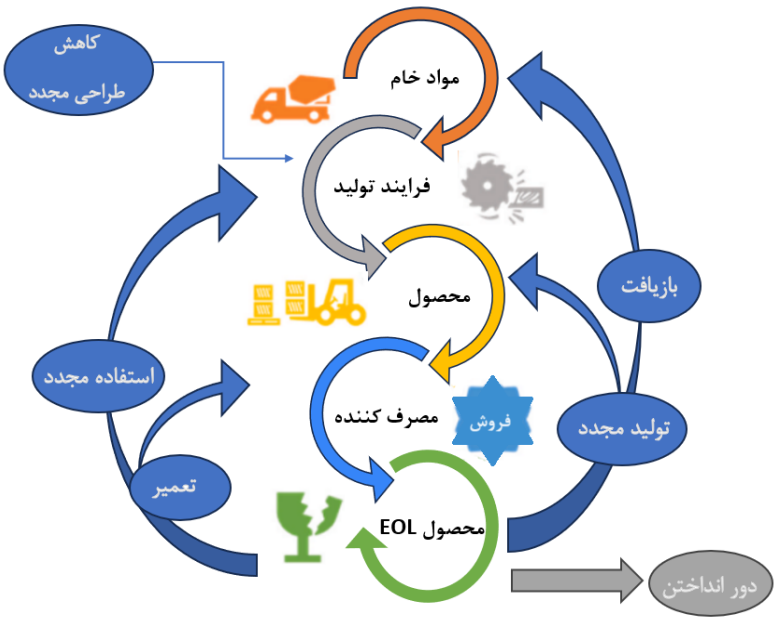
جدول ۱- مراحل اصلی در Prisma Abstract 2020

بخش مربوطه در مطالعه	گزینه	گزینه چک‌لیست
		عنوان مطالعه
عنوان	۱	گزارش را به‌عنوان یک مرور سیستماتیک شناسانده باشد.
		زمینه مطالعه
اهداف	۲	بیان مسئله روشنی را درباره اهداف اصلی یا پرسش‌ها فراهم کرده باشد.
		روش اجرا
معیارهای ورود به مطالعه	۳	معیارهای ورود به مطالعه و معیارهای خروج از مطالعه را برای مرور متون علمی ذکر کرده باشد.
منابع اطلاعات	۴	منابع اطلاعات (برای مثال، پایگاه‌های اطلاعاتی، واژه‌های جستجو) را برای شناسایی مطالعات ارائه داده باشد.
ریسک سوگیری مطالعه	۵	روش‌های به‌کاررفته را برای ارزیابی ریسک سوگیری در مطالعات وارد شده ذکر کرده باشد.
تولید نتایج	۶	روش‌های بکار رفته برای تولید و ارائه نتایج را ذکر کرده باشد.
		نتایج مطالعه
مطالعات وارد شده	۷	تعداد کل مطالعات وارد شده و شرکت‌کنندگان آنها را ذکر و خصوصیات مربوط به مطالعات را خلاصه‌سازی کرده باشد.
تولید نتایج	۸	نتایج را برای پیامدهای اصلی و ترجیحاً با نشان‌دادن تعداد مطالعات وارد شده و شرکت‌کنندگان هر یک از این مطالعات مطرح کرده باشد. اگر متاآنالیز صورت‌گرفته بود، خلاصه‌ای از برآوردها و فاصله اطمینان/بازه معتبر را گزارش کرده باشد. اگر گروه‌ها را مقایسه کرده بود، جهت اثر را ذکر کرده باشد (مثلاً کدام گروه قوی‌تر بوده است).
		بحث
محدودیت‌های شواهد	۹	خلاصه کوتاهی را از محدودیت‌های شواهد (برای مثال ریسک سوگیری مطالعه، ناهماهنگی و بی‌دقتی) وارده در مقاله مروری فراهم کرده باشد.
تفسیر	۱۰	تفسیر کلی را از نتایج و دلالت‌های مهم فراهم کرده باشد.

۲-۲- دسته‌بندی مقالات

ما از مفهوم 6R [۳۳] برای دسته‌بندی راهکارهای چرخشی و مدل‌های کسب‌وکار مربوطه در ابتدای کار استفاده کردیم که در شکل ۱ نشان داده شده است. مفهوم 6R شش اصل Reuse (استفاده مجدد)، Recycle (بازیافت)، Reduce (کاهش)، Repair (تعمیر)، Remanufacture (تولید مجدد) و Redesign (طراحی مجدد) را شناسایی کرده است. در مقاله [34]، چارچوب 6R به عنوان رویکردهای عملیاتی و اصول اقتصاد چرخشی فرض شده اند. مطالعه [۳۵] کشف مسیرهای جدیدی را برای پشتیبانی اقتصاد چرخشی تحت رهنمودهای 6R خاطر نشان کرده است. طبق دیدگاه مقالات متفاوت، الحاق رویکردهای عملیاتی شش گانه (اصل 6R) سبب پیاده سازی مدل‌های کسب‌وکار در اقتصاد چرخشی نوین در سطح کلان خواهد شد [۳۶].

بر اساس این خصوصیات، چارچوب ReSOLVE توضیح بیشتری را درباره اقتصاد چرخشی مطرح کرده است- یعنی حفاظت و تقویت سرمایه طبیعی، بهینه‌سازی بازدهی منابع، ارتقای کارایی سیستم و مدل‌هایی بر اساس تأثیرات اقتصادی بخش‌های اصلی و تأثیرات آن‌ها بر منابع گروه‌بندی کرده‌است [۲۳]. این چارچوب ابزاری را برای تدوین راهکارهای چرخشی و رشد دراختیار قرار می دهد. پس از آن در مقاله Jabbour و همکاران [۳۷]، فناوری‌های انقلاب صنعتی ۴,۰ به شش مدل کسب و کار چرخشی مطرح شده توسط چارچوب ReSOLVE شامل باززایی، به اشتراک گذاری، بهینه‌سازی، حلقه، مجازی سازی و تبادل، برای هدایت سازمان‌ها براساس پیاده سازی اصول اقتصاد چرخشی [۲۳] طبق جدول ۲ مرتبط شده است.



شکل ۲- اصول ۶R برای دستیابی به اهداف CE [۳۸]

جدول ۲- توضیحات شش مدل کسب‌وکار در چارچوب ReSOLVE

مدل‌های کسب‌وکار	توضیحات
باززایی	این مدل کسب‌وکار مبتنی بر تغییر به‌سوی انرژی و مواد تجدیدپذیر است. چرخه‌های زیست‌شناختی برای میسرسازی گردش انرژی و مواد و تبدیل ضایعات آلی به منابع انرژی و مواد خام برای زنجیره‌های دیگر بکار می‌روند.
اشتراک	دارایی‌ها بین افراد به اشتراک گذاشته می‌شوند (اشتراک نظیر به نظیر برای محصولات با مالکیت خصوصی یا اشتراک مجموعه‌ای از محصولات برای عموم مردم). در نتیجه، محصولات باید به صورتی توسط تولیدکنندگان طراحی شوند که مدت‌زمان بیشتری دوام داشته باشند و تعمیر و نگهداری باید در دسترس قرار گیرد تا استفاده مجدد و افزایش عمر محصول میسر باشد.
بهینه‌سازی	این مدل کسب‌وکار مستلزم آن است که سازمان‌ها از فناوری‌های دیجیتالی نظیر اینترنت اشیاء، خودکارسازی و داده‌های کلان برای کاهش ضایعات در سیستم‌های تولید در سرتاسر زنجیره‌های تأمین استفاده کنند. در نتیجه، سازمان‌ها از عملکرد افزایش‌یافته بهره‌مند خواهند شد.
حلقه	این مدل کسب‌وکار باهدف ارتقای چرخه‌سازی مواد خام و انرژی تدوین شده است؛ بنابراین، تنظیمات و سازگاری طراحی، تولید، زنجیره تأمین باید ازنقطه‌نظر کل چرخه عمر محصول صورت گیرد.
مجازی‌سازی	این مدل کسب‌وکار مبتنی بر خدمات است که محصولات فیزیکی را با محصولات مجازی و غیرمادی جایگزین می‌کند.
تبادل	این مدل دررابطه با جانشینی کالاهای قدیمی و تجدیدناپذیر با کالاهای پیشرفته و تجدیدپذیر کار می‌کند.

اغلب فناوری‌ها در حیطه‌های خاصی فرصت‌هایی را در بردارند، درصورتی‌که اینترنت اشیاء می‌تواند نقش مهمی را در پایا نمودن چنین مدل‌های کسب‌وکاری ایفا کند [۳۷].

با اینکه اصطلاح دقیق برای شرح قابلیت‌های مرتبط به فناوری اینترنت اشیاء در شرح سناریوهای مختلف تنوع زیادی دارد، قابلیت‌های اصلی فناوری را طبق موارد ذکر شده در متون علمی تولید شده است. در مقاله Ingemarsdotter و همکاران [۳۹]، گفته شد که فناوری‌های اینترنت اشیاء می‌توانند از توسعه مدل های کسب‌وکار چرخشی از طریق قابلیت‌هایی همانند رهگیری، پایش و نظارت، کنترل، بهینه‌سازی و تکامل طراحی پشتیبانی کنند و چنین اظهار شد که بهینه‌سازی اغلب متکی به استفاده از قابلیت کنترل است. بنابراین قابلیت کنترل را به بهینه‌سازی اضافه کردیم تا فهرست قابلیت های مرتبط اینترنت اشیاء به چهار گزینه تقلیل یابد که در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- قابلیت های IoT که می توانند از پیاده سازی چارچوب ReSOLVE پشتیبانی کنند.

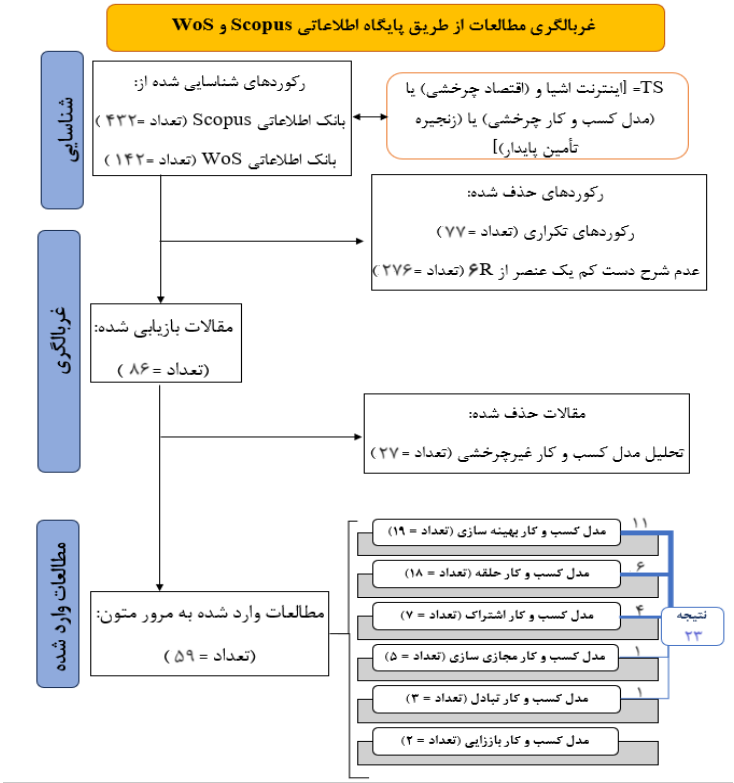
قابلیت‌های IoT	تعریف عملکردها
رهگیری	اطلاعات موجود برای هویت، محل، یا ترکیبات منحصربه‌فرد محصولات
پایش و نظارت	اطلاعات موجود برای شرایط زمان واقعی، یا محیط محصولات. این گزینه شامل اعلانات و اخطارهاست.
بهینه‌سازی	بهبودهای عملیات‌ها که مبتنی بر اهداف است با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته تحت کنترل و بهینه‌سازی است.
تکامل طراحی	طراحی یک محصول باید بر اساس بازخورد داده‌ها از سایر فازهای چرخه عمر ارتقا یابد. این گزینه شامل ارتقای عملی یا مسیریابی است.

۲-۲-۱- انتخاب مقالات

به منظور مرور سیستماتیک در زمینه نقش فناوری اینترنت اشیاء در مدل‌های کسب‌وکار اقتصاد چرخشی، از کلیدواژه‌های ذیل به‌عنوان پایه‌ای برای جستجوی متون علمی به کمک فرمول جستجوی لاتین ذیل استفاده شده است:

Title, Abstract, Keyword = [“internet of things” AND (“circular economy” OR “circular business model” OR “sustainable supply chain”)]

در کل، ۴۳۲ مقاله در پایگاه اطلاعاتی Scopus و ۱۴۲ مقاله در پایگاه اطلاعاتی Web of Science وجود داشت. رکوردهای تکراری و نیز مقالات نامرتبط به عناصر 6R به کمک مرور چکیده هایشان حذف شدند. پس از آن، مجدداً مقالاتی که بدون توضیحات مدل‌های کسب و کار چرخشی مرتبط به چارچوب RESOLVE بودند، پس از مرور فایل تمام متن آنها حذف شد. به این ترتیب، تعداد ۵۹ مقاله برای بررسی نقش فناوری اینترنت اشیاء در مدل‌های کسب و کار چرخشی مطابق با شکل ۲ باقی ماند. پس از آن، تحلیل کمی انجام شد. دراین‌خصوص که فناوری اینترنت اشیاء چگونه تأثیرات زیست‌محیطی را در مدل‌های کسب و کار چرخشی کاهش می‌دهد. برای این منظور، از مقالات وارد شده به مطالعه تعداد ۲۳ نتیجه را کسب کردیم که الف) تأثیرات را روی شاخص های مرتبط به انرژی در اقتصاد چرخشی (برای مثال مصرف انرژی یا انتشار CO_2) کمیت سنجی کرده و ب) این تأثیرات را قبل و بعد از استفاده از فناوری اینترنت کسب و کار چرخشی مقایسه کرده بودند.



شکل ۲- فلوچارت مقالات منتشره منتخب در مرور متون علمی (وضعیت در ژوئن ۲۰۲۲)

۳- بحث و نتایج

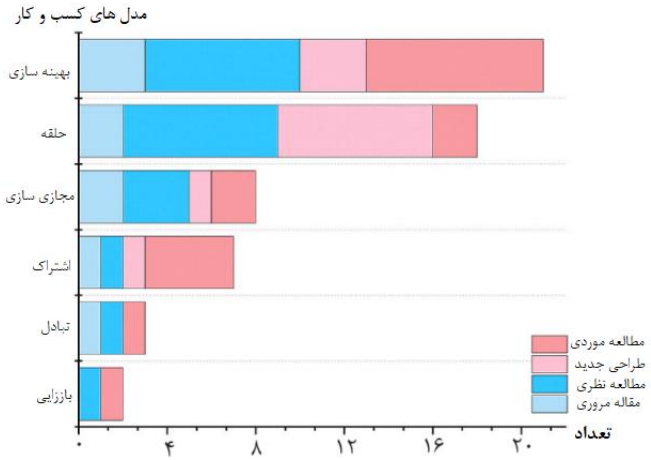
به نظر می رسد که تعداد مقالات منتشره در مجله Journal of Cleaner Production و مجله Sustainability and Computers in Industry از همه بیشتر بوده است. این مجلات ۲۵/۵ درصد از کل این سهم را دربر داشتند، که بسیار بالاتر از سایر مجلات بوده است. موضوعات و رشته‌های اصلی تحت پوشش این مجلات شامل علوم کامپیوتر، مهندسی و علوم محیط زیستی است. تعداد مقالات طی زمان به طور معنی‌داری افزایش یافته است. این مجلات در عرض دست کم ۳ سال توانستند بیش از دو سوم کل این سهم را به خود اختصاص دهند، که نشانگر علاقه رو به رشد به این موضوع پژوهشی است.

پس از آن، از چارچوب تدوین شده در مقاله Maroli و همکاران [۴۰] برای گروه بندی ۵۹ مقاله در ۴ گروه اصلی تحت عنوان: مقالات مروری، مطالعات نظری، طراحی‌های جدید و مطالعات موردی استفاده شد. مطالعات مروری شامل مقالات مروری محض است که مطالعات پیشین را گروه‌بندی و خلاصه‌سازی نموده‌اند. مطالعات نظری معمولاً به تحلیل و بحث درباره چارچوب جدید پیشنهادی برای مسائل خاص و عمدتاً براساس مصاحبه با متخصصین و کارشناسان (مدل دلفی) یا پرسشنامه‌ها پرداخته‌اند. طراحی‌های جدید مبین تدوین یک مدل ریاضی جدید یا یک طراحی پروتکل جدید به عناون یک راه حل اینترنت اشیاء ولیکن بدون مطالعات موردی واقعی برای تأیید امکان‌سنجی واقعی است. مطالعات موردی یک نمونه را مورد محاسبه بیشتر قرار می‌دهد و شبیه‌سازی می‌کند و نتایج مرجع را براساس موردهای واقعی یا پیش‌فرض مقایسه می‌کند.

سپس این مقالات گروه‌بندی‌شده به شش مدل کسب‌وکار مطرح شده توسط چارچوب ReSOLVE، مطابق با شکل ۳، گروه بندی شدند [۲۳].

بیش از ۶۰ درصد مقالات درباره نقش فناوری اینترنت اشیاء در مدل های حلقه و بهینه‌سازی توضیحاتی را ارائه کرده‌اند. هر دوی این مدل ها دارای تأثیرات محتمل بالاتری بر تولید و ساخت، حمل و نقل، و انبارداری و ذخیره سازی دارند و بنابراین فناوری اینترنت اشیاء تحول کسب‌وکار برجسته‌ای را در این بخش ها پیش می‌برد [۲۳].

فناوری اینترنت اشیاء همان‌گونه که به مدل بهینه‌سازی کمک کرده است، برای تحقق ساخت و تولید هوشمند و مدیریت پایدار زنجیره تأمین از طریق بهبود برنامه‌های تصمیم‌گیری جهت کاهش مصرف انرژی و منابع کمک کرده است. اغلب مطالعات نظری در اینجا به بررسی و تدوین چارچوب‌هایی برای میزان ردپای کربن پایین در صنایع مختلف بر اساس قابلیت‌های گردآوری و پردازش اطلاعات به نحو مؤثرتر در فناوری اینترنت اشیاء پرداخته‌اند [۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴].



شکل ۳- گروه بندی مقالات در ۶ گروه مدل های کسب‌وکار CE مربوط به ReSOLVE

تعداد محدودی از مطالعات موردی و طراحی‌های جدید بهینه‌سازی‌ها را در کسب‌وکارهایی پردازش کرده‌اند که دراین‌ارتباط از اینترنت اشیاء برای ایجاد جدول زمانی تولید هوشمند و مدل‌های لجستیک تحویل جهت پیشبرد توسعه سبز پایدار برای تولید و ساخت هوشمند استفاده شده است [۴۵].

در مدل کسب‌وکار حلقه، اغلب مطالعات بر مدیریت ضایعات متمرکز بودند. فناوری اینترنت اشیاء عمدتاً برای تحقق بهینه‌سازی جمع‌آوری ضایعات و صحت بیشتر سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای بازیافت محصولات در پایان عمر مفیدشان بکار می‌رود [۴۶، ۴۷، ۴۸]. برخی مطالعات نظری به طراحی اکوسیستم‌های مبتنی بر اقتصاد چرخشی- اینترنت اشیاء پرداخته بودند [۴۹]. سایر مطالعات این مفهوم را با مدل ارزیابی چرخه حیات ادغام کرده‌اند تا به فرایندهای خود برای طراحی محصولات جدید با تأثیر محیط‌زیستی پایین کمک کنند [۵۰ و ۵۱]. مقالات طراحی‌های جدید و مطالعات موردی به روایی‌سازی راه‌حل‌های مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء بر اساس محصولات با خصوصیات فنی متفاوت، همانند ضایعات پلاستیکی و خودروهای قراضه و غیره پرداخته‌اند [۵۲ و ۵۳]. بااین‌حال نسبت مطالعات موردی نسبتاً پایین و تنها در حد ۱۱ درصد بوده است.

چهار مدل کسب‌وکار دیگر تنها بخش اندکی از مقالات را به خود اختصاص داده‌اند. از میان این مدل‌ها، مدل اشتراک عموماً مبتنی بر پلتفرم‌های آنلاین یا اپلیکیشن‌های پشتیبانی شده با فناوری اینترنت اشیاء است که کانالی را برای اشتراک محصولات یا اطلاعات میان ذی‌نفعان مختلف به ارمغان آورده است [۵۴]. مدل‌های مجازی‌سازی و تبادل معمولاً به فناوری‌های بیشتری برای تحقق‌پذیری همانند ابزارهای دنیای مجازی و چاپگرهای سه‌بعدی نیاز دارند [۵۵، ۵۶، ۵۷].

۳-۱- ارتباط چارچوب ReSOLVE با 6R و قابلیت‌های اینترنت اشیاء

مقالات به تعدادی ماتریس با درنظرگیری اصول 6R، قابلیت‌ها و گروه‌های مدل کسب‌وکار چرخشی که در بخش ۲ مورد بحث قرار گرفت، گروه‌بندی شدند. این امر منجر به ساخت یک نقشه رنگی هیت مپ برای ترسیم مقاطع مدل کسب و کار چرخشی- اینترنت اشیاء و کسب و کار چرخشی-6R شد. نمونه مورد مطالعه متشکل از ۵۹ مقاله مطابق با شکل ۴ تشکیل گردید. باید یادآور شد که تعریف گروه ها به شکل مستقل و منحصر به فرد بوده است، ولیکن انحصاری نیستند. در ذیل، به بررسی الگوها برای هر یک از مدل‌های کسب و کار چرخشی پرداخته شده است.

۳-۱-۱- مدل کسب‌وکار حلقه

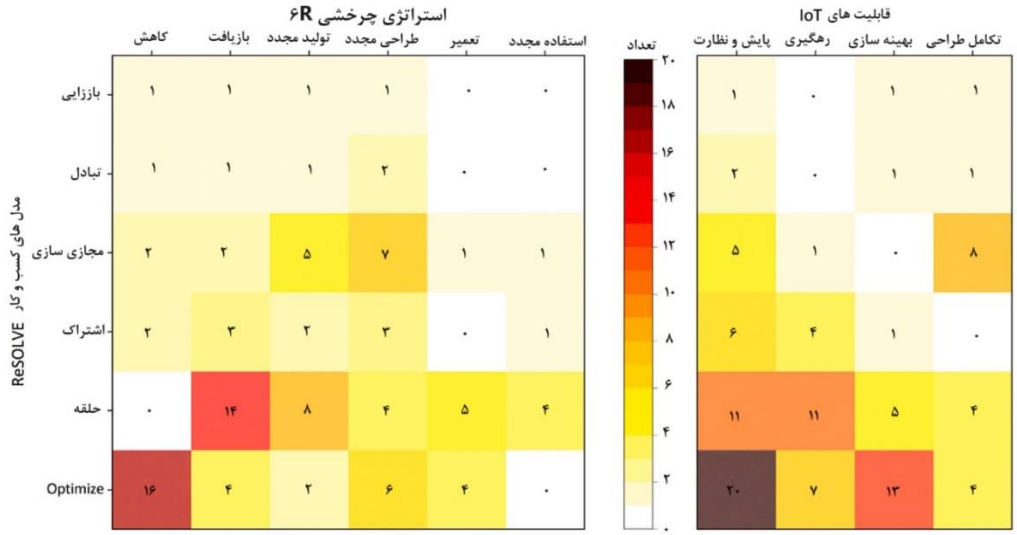
یافته‌ها نشان می‌دهد که «بازیافت» مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء فراوانی بیشتری نسبت به همه داشته است و پس از آن «تولید مجدد» و «تعمیر» قرار دارند. مقالات نشان دادند که مدل Loop معمولاً مبتنی بر قابلیت‌های رهگیری و پایش و نظارت است، درصورتی‌که تقریباً درباره بهینه‌سازی و تکامل طراحی هیچ بررسی صورت نگرفته است.

دررابطه با بازیافت، تولید مجدد و تعمیر، استفاده از تعاملات نوین مبتنی بر اینترنت می‌تواند از اطلاعات برای گردآوری سریع‌تر و پایدارتر محصولات پس از مصرف بهره‌مند شود و این گروه محصولات را می‌توان به کمک حسگرها، برچسب‌های تگ RFID، و بارکدها رهگیری نمود [۴۸]. در نتیجه، سازمان‌ها قادر به تولید مجدد، یا بازیافت اجزای تشکیل‌دهنده محصولات و بسته‌بندی خواهند بود [۵۸، ۵۹].

در راستای دیدگاه طراحی مجدد، طراحان محصولات باید از معیارهای محیط‌زیستی در تصمیمات طراحی خود استفاده کنند. طراحان باید داده‌ها را به کمک یک سیستم مدیریت چرخه عمر محصول مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء به دست آورند تا به فرایندهای طراحی و توسعه پایدار ایشان کمک شود [۴۳، ۵۰، ۵۱]. مطالعات موردی نمونه در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- شرح استفاده از قابلیت های IoT در مدل حلقه

قابلیت‌های IoT	مثال‌های نمونه
رهگیری	یک پروژه تحقیقاتی به نام POIROT که از فناوری‌های اینترنت اشیاء باهدف تحقق یک پلتفرم برای قابلیت رهگیری ضایعات آلی و تبدیل آنها به مواد بی‌اثر، بی بو و ضدعفونی شده بهداشتی بهره‌برداری کرده است [۶۰].
پایش و نظارت	یک سیستم پشتیبانی از تصمیم‌گیری مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء برای یک مدل اقتصاد چرخشی که عدم قطعیت ارزش باقیمانده یک محصول را بر اساس چرخه عمر پایش شده توسط حسگرهای اینترنت اشیاء مطرح می‌کند [۶۱].
بهینه‌سازی	یک سیستم که ترکیبی از سیستم‌های نقل‌وانتقال هوشمند (فناوری RFID، حسگرها، دوربین‌ها، سیستم‌های راه‌انداز و سیستم‌های نظارت) و یک سیستم تصمیم‌گیری پیشرفته (اشتراک داده‌های الحاقی بین راننده‌های کامیون در زمان واقعی برای انجام بهینه‌سازی مسیر دینامیک) برای گردآوری کارآمد ضایعات است [۴۷].



شکل ۴- تکنیک نقشه رنگی هیت مپ برای نشان دادن مقاطع کسب و کار چرخشی- اینترنت اشیاء و کسب و کار چرخشی-R۶

۳-۱-۲- مدل کسب‌وکار بهینه‌سازی

اغلب مقالات که به بررسی مدل‌های بهینه‌سازی پرداخته‌اند به‌شدت مرتبط به «کاهش» مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء هستند که عمدتاً با دو قابلیت پایش و نظارت و نیز بهینه‌سازی تحقق می‌یابد. با اتکا به پایش و نظارت داده‌های ناشی از فرایندها و عامل‌هایی نظیر ماشین‌آلات، فناوری اینترنت اشیاء سبب افزایش احتمال شناسایی خصوصیات محتمل می‌شود و تعمیر و نگهداری مبتنی بر پیش‌بینی می‌تواند ضایعات محصولات غیراجرایی را کاهش بدهد [۶۲ و ۶۳]. همچنین بر اساس تقاضای تولید و مصرف منابع، مدیران می‌توانند میزان تولید را پایش و نظارت و نیز بهینه‌سازی کنند و استفاده از حسگرها و نیز الگوریتم‌ها سبب می‌شود که مدیران بتوانند به طور خودکار در فرایندهای کاهش فهرست موجودی حد واسط مداخله کنند [۴۱، ۶۴، ۶۵، ۶۶]. فناوری اینترنت اشیاء در ترکیب با محاسبه‌گری ابری و یادگیری ماشینی امکان وجود مدل‌های پیچیده و ادغام شده تولید فرایند مبتنی بر داده‌ها را از لحاظ استحکام و دقت فراهم کرده است [۶۷]. فهرست موردهای نمونه در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- شرح استفاده از قابلیت های اینترنت اشیاء در مدل بهینه‌سازی

قابلیت‌های IoT	مثال‌های نمونه
رهگیری	فناوری RFID برای برچسب‌زنی و رهگیری شیر تازه توانست باعث تقلیل حجم محصول شود [۶۸].
پایش و نظارت	بر اساس حسگرهای اینترنت اشیاء، صرفه‌جویی در انرژی و هزینه در صورتی حاصل خواهد شد که وضعیت ایده‌ال آسیاب ساچمه‌ای تحت تحلیل تخصصی قرار گیرد و به سایر آسیاب‌های ساچمه‌ای بسط یابد [۶۹].
بهینه‌سازی	هر گره (از جمله تأمین‌کنندگان، عمده‌فروشی‌ها و خرده‌فروشی‌ها) می‌تواند در مدیریت و بهینه‌سازی عملکرد خودش از لحاظ تولید، تحویل‌ها و پیروی از قوانین زیست‌محیطی با استفاده از برچسب‌های تگ RFID و شبکه‌های حسگر بی‌سیم شرکت کند[۷۰ و ۷۱].

۳-۱-۳- مدل کسب‌وکار اشتراک

پایش، نظارت و رهگیری از جمله قابلیت‌های اصلی فناوری اینترنت اشیاء هستند که در مدل کسب‌وکار اشتراک نقش دارند، آنها به «طراحی مجدد» و «بازیافت» محصول برای رسیدن به افزایش طول عمر محصول کمک می‌کنند. اطلاعات در زمینه رفتار مصرف‌کنندگان از طریق وب‌سایت‌ها و اپلیکیشن‌ها گردآوری می‌شود، بنابراین سازمان‌ها می‌توانند طراحی محصول را بهبود دهند و یک خدمات دیجیتالی را برای مصرف بهتر یا جایگزینی تجهیزات، و افزایش رضایت مشتری فراهم کنند [۵ و ۷۲]. همچنین، استفاده از حسگرها در محصولات امکان پایش و نظارت عملکرد را (برای نمونه، نظارت و پایش الزامات تعمیر و نگهداری) میسر می‌کند و در نتیجه سبب می‌شود تا سازمان‌ها یک کیفیت خدمات بالایی را برای مشتریان به طور مستمر فراهم کنند. در نتیجه پایش و نظارت محصولات طی استفاده مصرف‌کننده، سازمان‌ها می‌توانند روی افزایش طول عمر محصول با به‌کارگیری راهکار 3R (تعمیر، استفاده مجدد، و بازیافت) سرمایه‌گذاری کنند. فهرست موردهای نمونه در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶- شرح استفاده از قابلیت های IoT در مدل اشتراک

قابلیت‌های IoT	مثال‌های نمونه
رهگیری	دانشگاه Cranfield یک پروژه بازیافت کفش را راه‌اندازی کرده است: این پروژه شامل یک مؤلفه هوشمند است که شرایط کفش‌ها را رهگیری می‌کند و نیاز به جایگزینی/ارتقا را شناسایی می‌کند. طراحی مودولار کفش‌ها باعث می شود تا جداسازی آسان آنها برای نوسازی یا بازیافت میسر شود [۷۳].
پایش و نظارت	یک پروتکل ارتباطات اینترنت اشیاء بین سازمانی دارای قابلیتی برای فراهم‌سازی اکوسیستم مذاکرات خودکارسازی شده بین تولیدکنندگان فلزات قراضه و شرکت‌های جمع‌آوری ضایعات بر اساس هزینه، تقاضا و غیره است [۵۴].
بهینه‌سازی	فناوری اینترنت اشیاء کمک می‌کند تا یک فهرست موجودی قابل رویت برای طرفین تحت مدل‌های تجارت الکترونیک تجارت به تجارت (B2B) زمان واقعی به دست آید که دارای فهرست متوسط موجودی مواد غذایی، مقدار ضایعات مواد غذایی و سفارش از انبار اصلی است؛ سطح خدمات مشتری در شبکه بهینه‌سازی می شود [۷۴].

۳-۱-۴- مدل کسب‌وکار مجازی‌سازی

ازآنجایی‌که خدمات به منزله محور اصلی تمرکز مجازی‌سازی است، استفاده از داده‌های زمان واقعی برای پایش و نظارت فعالیت‌های تأمین برای بهبود تجربه مصرف‌کننده از اهمیت برخوردار است. همچنین قابلیت مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء «طراحی مجدد» محصول یا خدمات را به کمک قابلیت تکامل طراحی راه‌اندازی می‌کند. با استفاده از طراحی مجازی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم و تبدیل آن به دنیای واقعی، امکان دستیابی به قابلیت پیکربندی مجدد از طریق تغییر منابع ویژه سخت‌افزاری (تغییر ابزار ربات برای انجام فعالیت های جداسازی) و نرم‌افزاری (کدنویسی برنامه ربات) میسر شده است [۷۵]. فناوری اینترنت اشیاء امکان ارتباطات بین سازمان‌ها، تأمین‌کنندگان و مشتریان را برای فراهم‌سازی خدمات به‌جای محصولات فیزیکی میسر می‌کند [۳۷]. همچنین، فناوری اینترنت اشیاء قادر به گردآوری اطلاعات در زمینه رفتار مصرف‌کنندگان و خصوصیات طراحی‌های گذشته است که طراحان می‌توانند از آنها برای بهبود کیفیت خدمات استفاده کنند. فهرست موردهای نمونه در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷- شرح استفاده از قابلیت های اینترنت اشیاء در مدل مجازی سازی

قابلیت‌های IoT	مثال‌های نمونه
پایش و نظارت	در مقاله [۵۵]، ابزار جهانی مجازی سه‌بعدی با منابع متعددی داده‌های «جریان یافته» که از فناوری اینترنت اشیاء به‌وجود آمده است تا مشخص کند که آیا اشتراک دانش و یادگیری درون یک زنجیره تأمین افقی از کارایی برخوردار است و انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به مسافرت‌های تجاری کاهش‌یافته است یا خیر.
تکامل طراحی	یک پلتفرم که فناوری اینترنت اشیاء و بلاک‌چین را با هم ترکیب می‌کند و نوآوری تعاملی را در ساخت‌وساز مسکن پیش‌ساخته، برای ذی‌نفعان فعال این امر طراحی در ارزش چرخه عمر از طریق کانال های آنلاین (برای مثال، اپلیکیشن گوشی همراه) به ارمغان می‌آورد [۷۶].
	یک پلتفرم نصب‌کننده دستگاه‌های اینترنت اشیاء در یک ساختمان هوشمند برای اندازه‌گیری مصرف انرژی و فراهم‌سازی خدمات مشاوره در امر بهینه‌سازی انرژی برای کاربران نهایی و مدیران ساختمان [۷۷].
	فناوری اینترنت اشیاء توانست یک شرح سناریو را برای تجربه خرید از یک تصویر آینه فراهم کند و هدف آن برطرف‌سازی انحراف تجربه مصرف‌کننده در مغازه آنلاین قدیمی بوده است [۷۸].

۳-۱-۵- مدل کسب‌وکار تبادل

این مدل می‌تواند قدرت را با استفاده از اتخاذ تولید افزوده و سیستم‌های اینترنت اشیاء با قابلیت نظارت و پایش کسب کند [۵۶]. چاپگرهای سه‌بعدی قادر به پردازش تولید تجدیدپذیر و پایدار هستند. بر اساس تعامل بین سازمان‌ها و مشتریان، برخی شرکت‌ها قادر به تولید محصولات سفارشی‌سازی با استفاده از پایگاه‌داده‌های ترکیب شده با چاپگرهای سه‌بعدی هستند که فناوری اینترنت اشیاء در این میان به‌صرفه جویی در زمان و صرفه‌جویی در استفاده از مواد در روش تولید افزوده کمک می‌کند. این انواع کارکردها باعث می‌شود که فناوری اینترنت اشیاء راحت‌تر بتواند به اصول اقتصاد چرخشی دست یابد. فهرست موردهای نمونه در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸- شرح استفاده از قابلیت های IoT در مدل تبادل

قابلیت‌های IoT	مثال‌های نمونه
پایش و نظارت	تولید مواد افزودنی سبب کاهش استفاده از مواد می‌شود، چاپگرهای سه‌بعدی مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء باعث می‌شوند که بازیافت مقدار کمی از ضایعات میسر شود [۵۶].
بهینه‌سازی	فناوری‌های اینترنت اشیاء برای شناسایی جداکننده‌های مهندسی شده و نیز شناسایی وضعیت زمان واقعی منابع قابل‌تولید مجدد برای ساخت برنامه‌ریزی تولید کارآمد باهدف چندگانه در زمان واقعی به کمک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده شده است [۳۸].

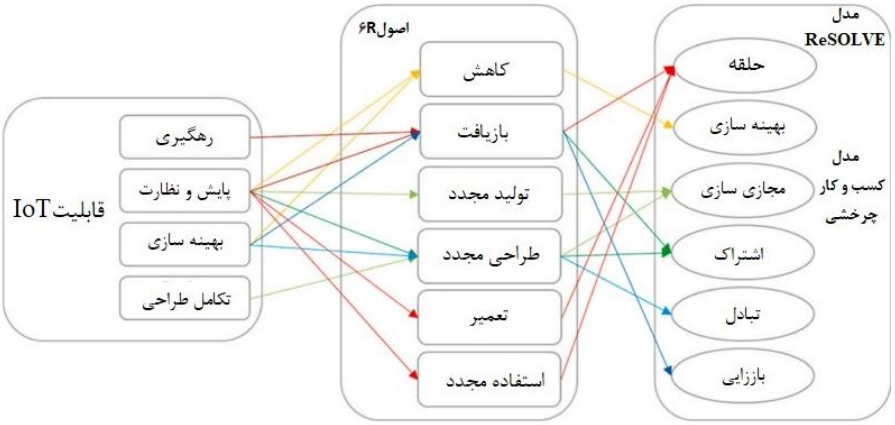
۳-۱-۶- مدل کسب‌وکار باززایی

امکان بهره‌مندی این مدل از فناوری اینترنت اشیاء به شکل حسگرها و شبکه‌ها میسر گردید. تنظیمات برای تصمیمات طراحی، تولید و تأمین انجام شده در اقتصاد چرخشی بر اساس داده‌های فراهم شده توسط فناوری اینترنت اشیاء میسر گردید [۷۹]. فناوری اینترنت اشیاء امکان کاهش مصرف منابع غیرضروری را برای بهبود بهره‌وری برداشت محصولات از زمین و افزایش چرخه عمر استفاده از اراضی را میسر کرده است. فهرست موردهای نمونه در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹- شرح استفاده از قابلیت های اینترنت اشیاء در مدل باززایی

قابلیت‌های IoT	مثال‌های نمونه
پایش و نظارت	برای پایش و نظارت و کنترل عوامل مرتبط به مدیریت واقعی بین چرخش غلات، برای خودکارسازی سیستم‌های آبیاری مبتنی بر شرایط آب‌وهوایی در زمان واقعی، و برای مدیریت استفاده از آفت‌کش‌ها طبق سلامت نباتات [۷۹].
بهینه‌سازی	فناوری اینترنت اشیاء امکان اندازه‌گیری زمان واقعی تولید کاشی سرامیک را میسر کرده است و قابلیت اصلاح و تغییر ترکیبات اجسام سرامیکی و مخلوط منتقله را برای به‌حداکثررسانی استفاده از مواد خام محلی و کاهش فاصله بین معادن و کارخانه و با بهره‌گیری از نقل‌وانتقال ریلی فراهم کرده است [۸۰].

در کلیه موارد، مفهوم اصول 6R به‌تدریج تحت پشتیبانی فناوری اینترنت اشیاء قرار گرفته است. فناوری اینترنت اشیاء باعث ترویج الحاق اصول 6R به انواع مختلف کارکردهای کسب‌وکار چرخشی گردیده است [۳۶ و ۸۱]، و هر مدل کسب‌وکار نمایانگر یک فرصت اصلی چرخشی سازی است که با فناوری اینترنت اشیاء میسر شده است و کاملاً متفاوت از رشد موجود در اقتصاد خطی است؛ بنابراین، ما تأثیرات عمده اصول 6R و مدل کسب و کار چرخشی را از روی نتایج تکنیک نقشه رنگی «هیت مپ» انتخاب کردیم و پس از آن یک چارچوب رابطه‌ای را تدوین کردیم که حاوی مفهوم‌سازی چهار قابلیت فناوری اینترنت اشیاء، 6R و چارچوب ReSOLVE بودند و در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- چارچوب رابطه برای ۶R و مدل کسب و کار چرخشی مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء

همانند قابلیت‌های اینترنت اشیاء، پایش و نظارت هم نقش مهمی را ایفا کرده است که اغلب مدل‌های کسب‌وکار چرخشی را با تسهیل مشترک کلیه اصول 6R و پس از آن با قابلیت بهینه‌سازی پیش برده است و برای گره‌های حد واسط عملکردهای اصول 6R، بازیافت و طراحی مجدد از اصول اصلی اقتصاد چرخشی هستند که قابلیت‌های اینترنت اشیاء بالادستی و راهکارهای چرخشی پایین‌دستی را به یکدیگر مرتبط می‌سازند. این عملکردها به طرق مختلفی همگی باعث افزایش استفاده از دارایی‌های فیزیکی، افزایش طول عمر این دارایی‌ها و تغییر استفاده از منابع از حالت منابع پایان‌پذیر به تجدیدپذیر شده‌اند. آنها قابلیت تقویت و تسریع اجرای سایر عملکردها و ایجاد اثرات مرکب را دارند.

۳-۲- مشکلات و موانع برای استفاده از فناوری اینترنت اشیاء در مدل‌های کسب و کار چرخشی

ضمن مرور متون علمی، طبق توضیحات فوق راه‌های زیادی پیدا شد مبنی بر اینکه چگونه فناوری اینترنت اشیاء می‌تواند از پیاده‌سازی مدل‌های کسب و کار چرخشی پشتیبانی کند. ولیکن، برخی از این منابع استنادی بر ریسک‌های زیست‌محیطی فناوری اینترنت اشیاء نیز تأکید داشتند و یا سایر موانع پیاده‌سازی و استفاده از اینترنت اشیاء را خاطرنشان کرده‌اند. این یافته‌ها از جمله منابع استنادی مرتبط در ذیل موردبحث قرار گرفته‌اند و جدول ۱۰ خلاصه ای از آنها را آورده است.

۳-۲-۱- مشکلات زیست‌محیطی

یکی از مشکلات مدل‌های کسب‌وکار مبتنی بر اینترنت اشیاء شامل مصرف انرژی در فناوری اینترنت اشیاء و انتشار کربن مربوطه همانند سخت‌افزار اینترنت اشیاء، نرم‌افزار گره‌ای و مصرف انرژی پروتکل است [۸۲].

جدول ۱۰- مشکلات زیست محیطی و سایر موانع بر سر پیاده سازی فناوری اینترنت اشیاء

نمونه	مشکلات و موانع
زیست‌محیطی	استفاده از مواد زیان‌بخش و منابع غیرقابل‌تجزیه
	مصرف برق سخت‌افزاری
	مصرف انرژی نرم‌افزاری گره اینترنت اشیاء
	کارایی انرژی پروتکل اینترنت اشیاء
سایر موارد	فقدان استانداردسازی و دانش فناوری در میان شرکا
	دسترس‌پذیری داده‌ها
	سرمایه مالی بالا
	امنیت پلتفرم مجازی
	اتصال به اینترنت در وضعیت نامناسب

سخت‌افزار بخش اساسی برای شبکه اینترنت اشیاء است و هر دو قسمت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری باید در کنار یکدیگر بهینه‌سازی شوند تا بارهای محیط‌زیستی کاهش یابد. چنین عملیات بهینه‌سازی بالاخص برای برخی عملیات پردازش سیگنال دیجیتالی از جمله فشرده‌سازی، استخراج ویژگی یا آموزش یادگیری ماشینی اهمیت دارند. فناوری اینترنت اشیاء باز وابسته به پروتکل‌هایی است که سبب ارتباطات بین انواع گره‌های مختلف و دستگاه‌های مسیریابی موجود در یک شبکه اینترنت اشیاء می‌شوند. از لحاظ پیاده‌سازی نرم‌افزاری، این پروتکل‌ها باید در وضعیت انرژی بسنده باشند و باید استفاده از صفحه مشترک‌های ارتباطات را به حداقل خود برسانند.

علاوه‌برآن، تجهیزات اینترنت اشیاء می‌تواند منجر به فراوری مشکل ضایعات الکترونیک شود. یک نمونه شامل برچسب‌های تگ RFID است که برای محیط‌زیست خطرناک هستند و بازیافت آنها امری دشوار است [۸۳]. مسئله دیگر آن است که فناوری اینترنت اشیاء امکان سفارشی‌سازی توده‌ای را میسر می‌کند. سفارشی‌سازی سبب دشوارتر شدن استفاده مجدد از یک کالا یا بازیافت آن توسط کاربر دیگری می‌شود [۸۴].

یک مشاهده مهم آن بوده است که بسیاری مطالعات چنین مشکلات محیط‌زیستی را برای پیاده‌سازی فناوری اینترنت اشیاء (یعنی تأثیر تولید دستگاه‌های اینترنت اشیاء یا استفاده از آنها و غیره) مدنظر قرار نداده‌اند. برای نمونه، در مطالعه Mataloto و همکاران [۸۵] مشخص گردید که دستگاه‌های اینترنت اشیاء برای سیستم های مدیریت انرژی در صورت نصب در ساختمان های کوچک (به

مساحت ۱۶ الی ۴۰ مترمربع) به مصرف انرژی سالیانه برابر با ۲/۵ kWh نیاز دارند. Bottani و همکاران [۶۸] به ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی و مشکلات استفاده از برچسب های تگ RFID در زنجیره تأمین شیر تازه براساس ارزیابی چرخه عمر پرداختند و دریافتند که هزینه‌های زیست‌محیطی مربوط به تعداد ۱ میلیون برچسب تگ RFID شامل ۳۲۹۰۰ کیلوگرم CO2-eq (معادل دی اکسید کربن) در پتانسیل تغییر آب و هوا، معادل ۲۳/۹ کیلوگرم P-eq معادل فسفر در فرایند مردابی شدن آب شیرین و معادل ۱۵۶ مول معادل یون هیدروژن (molc H+ -eq) در قابلیت اسیدی‌سازی است. در مقایسه با مطالعات موجود، کمبود مقالات حاوی بررسی نقش‌های مثبت و منفی فناوری اینترنت اشیاء در مدل کسب و کار چرخشی به کمک مطالعات موردی یا شبیه‌سازی‌ها دیده می‌شود. این امر مستلزم بررسی کامل هم‌افزایی‌ها بین تولید، نقل و انتقال، دوراندازی و استفاده مجدد از آن است و نیز به ارزیابی چرخه حیات برای مؤلفه های اینترنت اشیاء نیاز دارد.

۳-۲-۲- سایر موانع

علاوه بر مشکلات محیط‌زیستی، در متون علمی که بررسی کردیم برخی موانع پیاده‌سازی کلی‌تری از لحاظ استفاده از فناوری اینترنت اشیاء در مدل‌های کسب و کار چرخشی مطرح شده است. اول اینکه، اغلب فقدان فرایندهای مدیریت داده‌های ساختارمند در رابطه با تضمین گردآوری داده‌ها باکیفیت عالی برای تحلیل صنعتی به چشم می‌خورد [۳۹]. به دلیل دسترس‌پذیری محدود به داده‌های صنعتی و تنوع این داده‌ها، ارزیابی و روایی‌سازی مدل‌های نمونه مربوط به سیستم‌های زمان واقعی می‌تواند امری دشوار باشد، یعنی تعیین اینکه چه زمانی داده‌های کافی گردآوری شده‌اند تاحدی‌که ویژگی نمونه بودن چارچوب شبیه‌سازی تضمین شود [۶۷].

دوم اینکه، فقدان استانداردسازی و راهنمایی در زمینه پیاده‌سازی اینترنت اشیاء در کسب‌وکارهای مختلف به یک مشکل بدل شده است. ممکن است فقدان قوانینی به چشم بخورد که مالکیت داده‌ها را در میان ذی‌نفعان مطرح می‌کند [۸۶]. پیاده‌سازی وسیع راهکارهای اقتصاد چرخشی منوط به حل چنین مسائلی بر سر مالکیت داده‌ها است.

همچنین، طراحی سریع محصولات مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء برای تعامل‌پذیری، سازگاری پذیری و انتقادپذیری امری چالش‌آور است [۳۹]. در حال حاضر، راه‌حل‌های محتمل معمولاً در فناوری بلاک‌چین نهفته‌اند. ولیکن اضافه‌کردن بلاک‌چین به چارچوب فناوری اینترنت اشیاء نیز مشکلات فنی، فراساختاری، مصرف انرژی، تعامل‌پذیری و قوانین اجتماعی را تحمیل می‌کند [۶۳، ۵۱، ۸۷]. آخرین مانع مربوط به منابع محدودی است که کسب‌وکارهای مقیاس کوچک می‌توانند به طور سیستماتیک در فناوری‌های اینترنت اشیاء در کل زنجیره‌های تأمین خود سرمایه‌گذاری کنند [۸۸].

۴- نتیجه‌گیری

این مقاله مروری به ارزیابی تازه‌ترین رابطه بین فناوری اینترنت اشیاء و مدل کسب و کار چرخشی از دیدگاه‌های مختلف پرداخته است. بر اساس رویکرد PRISMA، این مقاله به‌مرور متون علمی در زمینه فناوری اینترنت اشیاء و مدل‌های کسب و کار چرخشی پرداخته است که در سال‌های اخیر رشد قابل‌توجهی داشته‌اند. با گروه‌بندی روش‌ها و محتوای آنها، این مقاله یک چارچوب متناظرسازی را تدوین کرده و ساخته است که مفهوم ReSOLVE را با چهار قابلیت اینترنت اشیاء و چارچوب 6R مرتبط ساخته است. این مقاله تصویری از وضعیت پژوهشی کنونی را در زمینه مدل‌های کسب و کار چرخشی پشتیبانی شده با فناوری اینترنت اشیاء مطرح کرده است و نقش آنها را در کسب‌وکارها از دیدگاه 6R به کمک مطالعات موردی نمونه توضیح داده است.

فناوری اینترنت اشیاء با پشتیبانی از تعامل مشترک برای بهینه‌سازی سیستم، پایش و نظارت به‌موقع و رهگیری، در بهبود کارایی صنعتی، بازیافت و کاهش مواد غیرضروری و مصرف انرژی تأثیر خود را برجای نهاده است. این خصوصیات فناوری اینترنت اشیاء از پیاده‌سازی و موفقیت مدل‌های کسب و کار چرخشی به‌ویژه از نوع حلقه‌ای و بهینه‌سازی پشتیبانی کرده است. این نتیجه‌گیری‌ها مشابه با نتیجه‌گیری‌های مطالعات منتشره قبلی است. جهت محتمل پژوهش‌های آتی بر اساس این مطالعات مقدماتی ترسیم می‌شود: برای نمونه، در رویکرد اشتراک، فناوری اینترنت اشیاء کمک می‌کند تا یک پلتفرم مشترک فراهم شود که مصرف‌کنندگان را قادر به اشتراک محصولات، ضرورتاً با فراهم‌سازی همان میزان خدمات نهایی به کمک مجموعه کوچک‌تری از محصولات، ساخته است.

مرور و بررسی ارزیابی‌های کمّی حاکی از آن است که فناوری اینترنت اشیاء دارای قابلیت کاهش مصرف انرژی مدل کسب‌وکار بهینه‌سازی و حلقه تا حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد است. با طراحی مجدد و اضافه کردن الگوریتم های اینترنت اشیاء با عملیات کسب‌وکار،

کارایی انرژی سیستم می‌تواند تا حد زیادی افزایش یابد. همچنین، فناوری اینترنت اشیاء می‌تواند به حداقل‌سازی تولید ضایعات و بهبود کارایی استفاده از منابع کمک کند. ولیکن، استفاده گسترده از فناوری اینترنت اشیاء و فعالیت‌های مرتبط پردازش داده ها به تنهایی می‌تواند سبب مصرف انرژی بالاتر و تولید ضایعات الکترونیک شود که اغلب بازیافت مشکلی دارد. همچنین فناوری اینترنت اشیاء شامل موانع تحمیلی بر سر کاربرد آن درون کسب و کارهاست که شامل مشکلات پیاده سازی استانداردهای همگانی برای پردازش داده‌ها، مسائل مسئولیت‌پذیری امنیت سایبری و هزینه‌های نسبتاً بالای سرمایه‌گذاری است. این ارزیابی های نقاط قوت و چالش‌های فناوری اینترنت اشیاء می‌تواند اطلاعات عمیق‌تری را برای سرمایه گذاران شرکت‌های کوچک متوسط مقیاس علاقمند به فناوری‌های نوآورانه و توسعه چرخشی فراهم کند.

این پژوهش دارای محدودیت‌هایی نیز هست. اول اینکه، با درنظرگیری این واقعیت که پژوهش حاضر در زمینه تعامل بین فناوری اینترنت اشیاء و اقتصاد چرخشی هنوز در اوایل راه خود به سر می‌برد، اغلب منابع استنادی درباره چارچوب‌های مفهومی، مدل‌ها و ارزیابی‌های نظری بحث کرده‌اند و فقط چند مطالعه موردی معدود وجود داشته است. اغلب مطالعات موردی تنها به بررسی یک یا چند کاربرد فنی اینترنت اشیاء اکتفا کرده‌اند، این امر سبب محدودسازی ارزش متاآنالیز طبق اهداف موردنظر در این مقاله شده است. به‌ویژه برای مدل‌های کسب و کار مجازی‌سازی، تبادل و باززایی، تعداد مطالعات موردی قابل‌دسترس در حد کمی بوده است؛ بنابراین، توصیه می‌شود که یک تحلیل سیستماتیک و کمّی از مطالعات موردی صورت گیرد در این زمینه که فناوری اینترنت اشیاء چگونه در مدل‌های کسب و کار چرخشی و بهبودهای محیط زیستی نقش دارد.

دوم اینکه، متون علمی صرفاً اطلاعات محدودی را در زمینه مشکلات محیط‌زیستی مربوط به فناوری اینترنت اشیاء مطرح کرده‌اند. برخی مطالعات در زمینه برای مثال در زمینه RFID چنین مطرح کرده‌اند که تولید و استفاده از این‌ها تنها صدمات محدودی برای محیط‌زیست به وجود آورده است [۸۹]. ولیکن برای تحلیل مزیت‌ها و مشکلات زیست‌محیطی فناوری اینترنت اشیاء به طور جامع، تحقیقات بیشتری موردنیاز است که باید شرح سناریوهای خاص کاربرد اینترنت اشیاء، انتخاب مواد و قابلیت‌های محتمل بهبود آتی را به دلیل مقیاس‌پذیری و اثرات یادگیری مدنظر قرار دهند.

۵- منابع

1. Romkey, j., 2017. Toast of the IoT: the 1990 interop internet toaster. IEEE Consum. Electron. Mag. 6 (1), 116–119. https://doi.org/10.1109/MCE.2016.2614740
2. Saffo, P., 1997. Sensors: the next wave of innovation. Commun. ACM 40 (2), 92–97. https://doi.org/10.1145/253671.253734
3. Suresh, P., Daniel, J.V., Parthasarathy, V., Aswathy, R.H., 2014. A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. 2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR 1–8). https://doi.org/10.1109/ICSEMR.2014.7043637
4. Pazoki, M. and Ghasemzadeh, R., 2020. Municipal landfill leachate management. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50212-6
5. Ingemarsdotter, E., Jamsin, E., Balkenende, R., 2020. Opportunities and challenges in IoT-enabled circular business model implementation – a case study. Resources. Conserv. Recycl. 162, 105047. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105047 ITU (International Telecommunication Union), 2005. ITU internets reports 2005: The Internet of Things. pp. 4-5
6. MIIT (Ministry of Industry and Information Technology), 2012. Internet of things "twelfth five-year" development plan. http://www.gov.cn/zwgk/2012-02/14/content_2065999.htm
7. Chen, C., Matt, H., 2021. Will Huawei’s Harmony operating system end the global duopoly of Google’s Android and Apple’s iOS? South. China Morning Post, 4 June. Retrieved from.

https://www.scmp.com/tech/big-tech/article/3136017/will-huaweis-harmony-operating-system-end-global-duopoly-googles

8. Rockstrom, J., Steffen, W., Noone, K., et al., 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. Ecology and Society 32 (2), 14. http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/
9. Ren, J., Manzardo, A., Toniolo, S., Scipioni, A., 2013. Sustainability of hydrogen supply chain. Part I: identification of critical criteria and cause-effect analysis for enhancing the sustainability using DEMATEL. Int. J. Hydrogen Energy 38, 14159–14171. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.08.126.
10. Manavalan, E., Jayakrishna, K., 2019. An analysis on sustainable supply chain for circular economy. Procedia Manuf. 33, 477–484. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.059
11. Seuring, S., Müller, M., 2008. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. J. Clean. Prod. 16 (15), 1699–1710. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020
12. Elisha, O.D., 2020. Moving beyond take-make-dispose to take-make-use for sustainable economy. International Journal of Scientific Research in Education 13 (3), 497–516 http://refhub.elsevier.com/S0301-4797(23)00450-4/sref24
13. Schroder, ¨ P., Bengtsson, M., Cohen, M., Dewick, P., Hofstetter, J., Sarkis, J., 2019. Degrowth within—aligning circular economy and strong sustainability narratives. Resour. Conserv. Recycl. 146, 190–191. https://doi.org/10.1016/j. resconrec.2019.03.038
14. Mohammadian, H.D., 2019. IoE – a Solution for Energy Management Challenges. 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). http://refhub.elsevier.com/S0301-4797(23)00450-4/sref73
15. Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S., 2016. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. J. Clean. Prod. 114, 11–32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007
16. Rosa, P., Sassanelli, C., Terzi, S., 2019. Towards Circular Business Models: a systematic literature review on classification frameworks and archetypes. J. Clean. Prod. 236, 117696. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117696
17. Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., Terzi, S., 2020. Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. Int. J. Prod. Res. 58 (6), 1662–1687. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896
18. Govindan, K., Hasanagic, M., 2018. A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. Int. J. Prod. Res. 56 (1–2), 278–311. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402141
19. Rejeb, A., Suhaiza, Z., Rejeb, K., Seuring, S., Treiblmaier, H., 2022. The Internet of Things and the circular economy: a systematic literature review and research agenda. J. Clean. Prod. 350, 131439. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131439

20. Gorissen, L., Vrancken, K., Manshoven, S., 2016. Transition thinking and business model innovation–towards a transformative business model and new role for the reuse centers of limburg, Belgium. Sustainability 112 (2). https://doi.org/10.3390/su8020112
21. Ding, S., Ward, H., Tukker, A., 2023. How Internet of Things can influence the sustainability performance of logistics industries – a Chinese case study. Cleaner Logistics and Supply Chain 6, 100094. https://doi.org/10.1016/j. clscn.2023.100094
22. Beier, G., Niehoff, S., Xue, B., 2018. More sustainability in industry through industrial internet of things? Applied Sciences 219 (2). https://doi.org/10.3390/app8020219
23. EMF (Report of Ellen MacArthur Foundation), 2015. Growth within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe, pp. 25–26 http://refhub.elsevier.com/S0301-4797(23)00450-4/sref27
24. Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L.A., Group, P., 2015. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. Syst. Rev. 4, 1–9. https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1
25. Horvathova, E., 2012. The impact of environmental performance on firm performance: short-term costs and long-term benefits? Ecol. Econ. Times 84, 91–97. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.10.001
26. Luederitz, C., Meyer, M., Abson, D.J., Gralla, F., Lang, D.J., Rau, A.L., Von Wehrden, H., 2016. Systematic student-driven literature reviews in sustainability science – an effective way to merge research and teaching. J. Clean. Prod. 119, 229–235. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.005
27. Blanco, C.F., Cucurachi, S., Peijnenburg, W.J.G.M., Beames, A., Vijver, M.G., 2020. Are technological developments improving the environmental sustainability of photovoltaic electricity? Energy Technol. 1901064 https://doi.org/10.1002/ente.201901064
28. Jin, Y., Behrens, P., Tukker, A., Scherer, L., 2019. Water use of electricity technologies: a global meta-analysis. Renew. Sustain. Energy Rev. 115, 109391. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109391
29. Zalk, J., Behrens, P., 2018. The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: a review and meta-analysis of power densities and their application in the U.S. Energy Pol. 123, 83–91. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.023
30. G. Aguilar-Hernandez, J. Rodrigues, A. Tukker Macroeconomic, social and environmental impacts of a circular economy up to 2050: a meta-analysis of prospective studies. J. Clean. Prod., 278 (2021), p. 123421, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123421
31. Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., et al., 2021a. Updating guidance for reporting systematic reviews: development of the PRISMA 2020 statement. J. Clin. Epidemiol. 134, 103–112. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003
32. Nejatian, N., abbaspour, M., Javidan, P., Nia, M.Y., Shacheri, F., Azizi, H., Nia, M.Y., Pazoki, A., Pazoki, M., Amiri, M.J. and Abbasi, S., 2023. Evaluation of the vulnerability and pathways

of groundwater pollution in the Zanjanrud river basin by an integrated modeling approach. Modeling Earth Systems and Environment, pp.1-14. https://doi.org/10.1007/s40808-023-01897-x

33. Joshi, K., Venkatachalam, A., Jawahir, I.S., 2006. A New Methodology for Transforming 3R Concept into 6R Concept for Improved Product Sustainability. in: Proceedings of the IV Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, Sao Carlos http://refhub.elsevier.com/S0301-4797(23)00450-4/sref57
34. EMF (Report of Ellen MacArthur Foundation), 2013. Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. pp. 24-25 http://refhub.elsevier.com/S0301-4797(23)00450-4/sref26
35. Sihvonen, S., Ritola, T., 2015. Conceptualizing ReX for aggregating end-of-life strategies in product development. Procedia CIRP 29, 639–644. https://doi.org/10.1016/j. procir.2015.01.026
36. Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M., 2017. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. Resources. Conserv. Recycl. 127, 221–232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005
37. Jabbour, A.B., Jabbour, C.J.C., Godinho Filho, M., et al., 2018. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. Ann. Oper. Res. 270, 273–286. https://doi.org/10.1007/s10479-018- 2772-8
38. Chau, M.Q., Nguyen, X.P., Huynh, T.T., Chu, V.D., Le, T.H., Nguyen, T.P., Nguyen, D.T., 2021. Prospects of application of IoT-based advanced technologies in remanufacturing process towards sustainable development and energy-efficient use, Energy Sources, Part A: recovery, Utilization, and Environmental Effects. https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1994057
39. Pazoki, M., Ghasemzadeh, R., Yavari, M. and Abdoli, M.A., 2018. Analysis of photocatalyst degradation of erythromycin with titanium dioxide nanoparticle modified by silver. Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran, 37(1), pp.63-72.
40. Maroli, A., Narwane, S.V., Gardas, B.B., 2021. Applications of IoT for achieving sustainability in agricultural sector: a comprehensive review. J. Environ. Manag. 298, 113488. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113488.
41. Ghoreishi, M., Happonen, A., 2022. The case of fabric and textile industry: the emerging role of digitalization, internet-of-things and industry 4.0 for circularity. Proceedings of Sixth International Congress on Information and Communication Technology 216, 189–200. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1781-2_18
42. Gruˇzauskas, V., Baskutis, S., Navickas, V., 2018. Minimizing the trade-off between sustainability and cost-effective performance by using autonomous vehicles. J. Clean. Prod. 184, 709–717. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.302
43. Chit, T.W., Ning, L., Paliath, N.A., Long, Y.M., Akhtar, H., Shanshan, Y., 2021. IIoT enabled and data-driven sustainability evaluation framework for textile supply chain. 2021 IEEE 16th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 297–304). https://doi.org/10.1109/ICIEA51954.2021.9516314

44. Maleki Delarestaghi, R., Ghasemzadeh, R., Mirani, M. and Yaghoubzadeh, P., 2018. The comparison between different waste management methods of Tabas city with life cycle assessment assessment. Journal of Environmental Science Studies, 3(3), pp.782-793.
45. Liao, W., Wang, T., 2019. A novel collaborative optimization model for job shop production–delivery considering time window and carbon emission. Sustainability 11(10) 2781. https://doi.org/10.3390/su11102781.
46. Heidary, R., 2017. Effect of temperature on hydrothermal gasification of paper mill waste, case study: the paper mill in North of Iran. Journal of Environmental Studies, 43(1), pp.59-71. DOI: 10.22059/JES.2017.62061
47. Velvizhi, G., Shanthakumar, S., Bhaskar, D., Pugazhendhi, A., Priya, T.S., Ashok, B., Nanthagopal, K., Vignesh, R., Karthick, C., 2020. Biodegradable and nonbiodegradable fraction of municipal solid waste for multifaceted applications through a closed loop integrated refinery platform: paving a path towards circular economy. Sci. Total Environ. 731, 138049. https://doi.org/10.1016/j. scitotenv.2020.138049
48. Al-Masri, E., Diabate, I., Jain, R., Lam, M.H., Nathala, S.R., 2018. Recycle.io: an IoTenabled framework for urban waste management. In: 2018 IEEE International Conference on Big Data. IEEE, pp. 5285–5287. https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622117
49. Miaoudakis, A., et al., 2020. Pairing a circular economy and the 5G-enabled internet of things: creating a class of looping smart assets? IEEE Veh. Technol. Mag. 15 (3), 20–31. https://doi.org/10.1109/MVT.2020.2991788
50. Oliveira, De, S, F., Soares, A.L., 2017. A PLM vision for circular economy. IFIP Adv. Inf. Commun. Technol. 506, 591–602. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65151-4_52.
51. Tajfar, I., Pazoki, M., Pazoki, A., Nejatian, N. and Amiri, M., 2023. Analysis of heating value of hydro-char produced by hydrothermal carbonization of cigarette butts. Pollution, 9(3), pp.1273-1280. DOI: 10.22059/POLL.2023.335704.1293
52. Plakas, G., Ponis, S.T., Agalianos, K., Aretoulaki, E., 2020. Reverse logistics of end-of-life plastics using industrial IoT and LPWAN technologies – a proposed solution for the bottled water industry. Procedia Manuf. 51, 1680–1687. https://doi.org/10.1016/j. promfg.2020.10.234
53. Zhou, Z., Cai, Y., Xiao, Y., Chen, X., Zeng, H., 2018. The optimization of reverse logistics cost based on value flow analysis - a case study on automobile recycling company in China. J. Intell. Fuzzy Syst. 34, 807–818. https://doi.org/10.3233/JIFS-169374
54. Mastos, T.D., Nizamis, A., Vafeiadis, T., Alexopoulos, N., Ntinas, C., Gkortzis, D., Papadopoulos, A., Ioannidis, D., Tzovaras, D., 2020. Industry 4.0 sustainable supply chains: an application of an IoT enabled scrap metal management solution. J. Clean. Prod. 269, 122377. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122377.
55. Gustafson-Pearce, O., Grant, S.B., 2017. Supply chain learning using a 3D virtual world environment. Smart innovation. Systems and Technologies 68, 386–397. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_37

56. Despeisse, M., Baumers, M., Brown, P., Charnley, F., Ford, S.J., Garmulewicz, A., et al., 2017. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: a research agenda. Technol. Forecast. Soc. Change 115, 75–84. https://doi.org/10.1016/j. techfore.2016.09.021
57. Rocca, R., Rosa, P., Sassanelli, C., Fumagalli, L., Terzi, S., 2020. Integrating virtual reality and digital twin in circular economy practices: a laboratory application case. Sustainability 12 (2286). https://doi.org/10.3390/su12062286
58. Gligoric, N., Krco, S., Hakola, L., Vehmas, K., De, S., Moessner, K., Jansson, K., Polenz, I., Van Kranenburg, R., 2019. Smarttags: IoT product passport for circular economy based on printed sensors and unique item-level identifiers. Sensors 586 (3). https://doi.org/10.3390/s19030586
59. Pazoki, M., Pari, M.A., Dalaei, P. and Ghasemzadeh, R., 2015. Environmental impact assessment of a water transfer project. Jundishapur Journal of Health Sciences, 7(3). https://doi.org/10.17795/jjhs-27238
60. Fazio, De, et al., 2019. Sensors-based treatment system of the organic waste with RFID identification and on-cloud traceability. 2019 IEEE 8th International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI 245–250. https://doi.org/10.1109/IWASI.2019.8791339
61. Mboli, J.S., Thakker, D., Mishra, J.L., 2020. An Internet of Things-enabled decision support system for circular economy business model. Software Pract. Ex. 1–16. https://doi.org/10.1002/spe.2825
62. Laskurain-Iturbe, I., Arana-Landín, G., Landeta-Manzano, B., Uriarte-Gallastegi, N., 2021. Exploring the influence of industry 4.0 technologies on the circular economy. J. Clean. Prod. 321, 128944. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128944.
63. Venkatesh, V.G., Kang, K., Wang, B., Zhong, R.Y., Zhang, A., 2020. System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability. Robot. Comput. Integrated Manuf. 63, 101896. https://doi.org/10.1016/j. rcim.2019.101896
64. Roy, M., Roy, A., 2019. Nexus of internet of things (IoT) and big data: roadmap for smart management systems (SMgS). IEEE Eng. Manag. Rev. 47 (2), 53–65. https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2915961
65. Awan, U., Sroufe, R., Bozan, K., 2022b. Designing value chains for industry 4.0 and a circular economy: a review of the literature. Sustainability 14 (7084). https://doi.org/10.3390/su14127084
66. Awan, U., Golgeci, ¨ I., Makhmadshoev, D., Mishra, N., 2022a. Industry 4.0 and circular economy in an era of global value chains: what have we learned and what is still to be explored? J. Clean. Prod. 371, 13362. https://doi.org/10.1016/j. jclepro.2022.133621
67. Fisher, O.J., Watson, N.J., Escrig, J.E., et al., 2020. Considerations, challenges and opportunities when developing data-driven models for process manufacturing systems. Comput. Chem. Eng. 140, 106881. https://doi.org/10.1016/j. compchemeng.2020.106881

68. Pazoki, M., Ghasemzadeh, R., Pazoki, M. and Ghasemzadeh, R., 2020. Leachate quality. Municipal Landfill Leachate Management, pp.101-127. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50212-6_3
69. Ma, S., Zhang, Y.F., Liu, Y., Yang, H.D., Lv, J.X., Ren, S., 2020. Data-driven sustainable intelligent manufacturing based on demand response for energy-intensive industries. J. Clean. Prod. 274, 123155. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123155.
70. Hofmann, E., Rüsch, M., 2017. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. Comput. Ind. 89, 23–34. https://doi.org/10.1016/j. compind.2017.04.002
71. Hasanova, H., Romanovs, A., 2020. Best practices of technology management for sustainable digital supply chain. 2020 61st International Scientific Conference on Information Technology and Management Science of Riga Technical University (ITMS 1–6). https://doi.org/10.1109/ITMS51158.2020.9259319
72. Rymaszewska, A., Helo, P., Gunasekaran, A., 2017. IoT powered servitization of manufacturing: an exploratory case study. Int. J. Prod. Econ. 192, 92–105. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.016
73. Ghasemzadeh, R., Abdoli, M.A., Bozorg-Haddad, O. and Pazoki, M., 2022. Optimizing the effect of hydrochar on anaerobic digestion of organic fraction municipal solid waste for biogas and methane production. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 20(1), pp.29-39. https://doi.org/10.1007/s40201-021-00751-5
74. Ekren, B.Y., Mangla, S.K., Turhanlar, E.E., Kazancoglu, Y., Li, G., 2021. Lateral inventory share-based models for IoT-enabled E-commerce sustainable food supply networks. Comput. Oper. Res. 130, 105237. https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105237.
75. Sassanelli, C., Rosa, P., Terzi, S., 2021. Supporting disassembly processes through simulation tools: a systematic literature review with a focus on printed circuit boards. J. Manuf. Syst. 60, 429–448. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.009
76. Li, C.Z., Chen, Z., Xue, F., et al., 2021. A blockchain- and IoT-based smart product-service system for the sustainability of prefabricated housing construction. J. Clean. Prod. 286, 125391. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125391.
77. Sharma, M., Singla, M.K., Nijhawan, P., Dhingra, A., 2021. Sensor-based optimization of energy efficiency in internet of things: a review. Sustainable Development Through Engineering Innovations 113, 153–161. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9554- 7_14
78. Gao, X., Han, H., 2021. Five senses' experience model for mirroring online shopping in IoT. International Conference on Artificial Intelligence and Electromechanical Automation (AIEA 286–289) https://doi.org/10.1109/AIEA53260.2021.00067
79. EMF (Report of Ellen MacArthur Foundation), 2016. Intelligent assets:Unlocking the circular economy potential, pp. 13–14 http://refhub.elsevier.com/S0301-4797(23)00450-4/sref28
80. Garcia-Muina, ˜ F.E., Gonz´ alez-Sanchez, ´ R., Ferrari, A.M., Volpi, L., Pini, M., Siligardi, C., Settembre-Blundo, D., 2019. Identifying the equilibrium point between sustainability goals and

circular economy practices in an industry 4.0 manufacturing context using eco-design. Social Sciences 241 (8). https://doi.org/10.3390/socsci8080241

81. Spaltini, M., Poletti, A., Acerbi, F., Taisch, M., 2021. A quantitative framework for Industry 4.0 enabled Circular Economy. Procedia CIRP 98, 115–120. https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.015
82. Fraga-Lamas, P., Lopes, S.I., Fern´ andez-Caram´es, T.M., 2021. Green IoT and edge AI as key technological enablers for a sustainable digital transition towards a smart circular economy: an industry 5.0 Use case. Sensors 21 (5745). https://doi.org/10.3390/s21175745
83. Yu, Z., Khan, S., Mathew, M., Umar, M., Hassan, M., Sajid, M.J., 2022. Identifying and analyzing the barriers of Internet-of-Things in sustainable supply chain through newly proposed spherical fuzzy geometric mean. Comput. Ind. Eng. 169, 108227. https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108227.
84. Abdoli, M.A. and Ghasemzadeh, R., 2024. Evaluation and optimization of hydrothermal carbonization condition for hydrochar and methane yield from anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). Fuel, 355, p.129531. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129531
85. Mataloto, B., Ferreira, J.C., Cruz, N., 2019. Lobems—IoT for building and energy management systems. Electronics 8(7) 763. https://doi.org/10.3390/electronics8070763
86. Astill, J., Dara, R.A., Campbell, M., et al., 2019. Transparency in food supply chains: a review of enabling technology solutions. Trends Food Sci. Technol. 91, 240–247. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.024
87. Feng, H.H., Wang, X., Duan, Y.Q., Zhang, J., Zhang, X.S., 2020. Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: a review of development methods, benefits and challenges. J. Clean. Prod. 260, 121031). https://doi.org/10.1016/j. jclepro.2020.121031
88. Tan, B.Q., Wang, F.F., Liu, J., Kang, K., Costa, F., 2020. A blockchain-based framework for green logistics in supply chains. Sustainability 12 (4656). https://doi.org/10.3390/su12114656
89. Jia, X., Feng, Q., Fan, T., Lei, Q., 2012. RFID technology and its applications in internet of things (IoT). 2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet) 1282–1285. https://doi.org/10.1109/CECNet.2012.6201508