دومین کنفرانس بین المللی چالش ها و راهکارهای نوین در مهندسی صنایع، مدیریت و حسابداری
2nd International Conference on Challenges and New Solutions in Industrial Engineering, Management and Accounting
www.confima.ir
دانشگاه دامغان

نسل چهارم تکنولوژی و توسعه پایدار

مریم محمودی مسینه[a]، محسن شهریاری[b]

[a] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

[b] عضو هیئت علمی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

نویسنده مسئول: محسن شهریاری (آدرس الکترونیک: shahriari@iut.ac.ir و تلفن:۰۳۱۳۳۹۱۱۴۹۱)

چکیده: ظهور نسل چهارم تکنولوژی و فناوری‌های آن در سال‌های اخیر مزایای بسیاری برای صنایع مختلف به ارمغان آورده‌است. برخی از این فناوری‌ها همانند اینترنت اشیا، رایانش ابری، تولید افزودنی(چاپ سه بعدی) و بلاک‌چین باعث هوشمندسازی صنعت شده و تأثیر معنی‌داری بر عملکرد سازمان‌ها ایجاد می‌کنند. در کنار این مزایا، تاثیرات منفی این نسل از تکنولوژی بر روی پایداری محیط زیست از طریق آلودگی هوا، استفاده‌ی فشرده‌تر از مواد خام، اطلاعات و انرژی قابل توجه است. با توجه به محدود بودن منابع طبیعت و توجه به این نکته که آینده‌ی تمام صنایع از این نسل تکنولوژی عبور خواهد کرد، در این تحقیق تلاش شده‌است تا به بررسی تاثیرات فناوری‌های این نسل بر پایداری محیط زیست پرداخته شود. با توجه به نکات ارائه شده و اتخاذ سیاست‌های مشخصی جهت تطابق صنعت نسل ۴ با اهداف زیست محیطی توسط کسب و کارها، می توان به آینده‌ای پایدار در سایه‌ی تکنولوژی امیدوار بود.

کلمات کلیدی: نسل چهارم تکنولوژی؛ توسعه پایدار؛ پایداری محیط زیست.

۱. مقدمه

فرایند صنعتی شدن و توسعه‌ی سریع فناوری منجر به تحقق دستاوردها و تحولات بسیاری در جوامع انسانی شده‌است. در قلمرو صنعت، این سیر تکاملی فناوری به شکل چهارمین مرحله از صنعتی شدن یا صنعت نسل ۴[1] شناخته می‌شود. مشخصه‌ی بارز این مرحله از صنعتی شدن که از آن به عنوان انقلاب صنعتی نیز یاد می‌شود، پیشرفت نمایی (و نه خطی) آن در بازه زمانی کوتاه (از سال ۲۰۰۰ میلادی) است. چنین تغییر و تحولات سریعی در حوزه‌ی فناوری باعث شده است که جوامع امروزی، صرف نظر از سطح توسعه یافتگی آنها، در مورد آینده دیدگاه یکسانی داشته و از غافلگیر شدن بیزار باشند. تعداد زیادی از کسب و کارهای امروزی با مفهوم صنعت نسل ۴ آشنا هستند اما نکته‌ی شایان توجه این است که در کنار وفق دادن خود با این نسل از صنعت، باید به مدیریت چالش‌ها و تهدیدهایی که با به کارگیری این صنعت ایجاد می‌شود نیز توجه ویژه‌ای شود. یکی از این چالش‌ها که با پیدایش نسل چهارم تکنولوژی، و تکنولوژی‌های مرتبط با آن مانند اینترنت اشیا و سیستم‌های سایبر-فیزیکی، بیان شده است، تاثیر منفی بر روی پایداری محیط زیست از طریق آلودگی هوا، استفاده‌ی فشرده‌تر از مواد خام، اطلاعات و انرژی است[۱]. با توجه به اهمیت و سیر صعودی استفاده از تکنولوژی های نسل چهارم لزوم انجام فعالیت‌ها و مدیریت سبز در این حوزه غیر قابل اغماض است. به عبارت دیگر از آنجا که بخش قابل توجهی از صنعتی‌سازی با استفاده از نسل چهارم تکنولوژی، بر تولید و دستیابی به بالاترین سود متمرکز شده است، این مشکلات بسیاری را برای سایر ابعاد ایجاد کرده است. به عنوان مثال، کاهش منابع طبیعی، تأثیرات منفی بر محیط زیست، توزیع نابرابر ثروت، و شرایط نامناسب کار، از جمله عواملی هستند که ممکن است در نهایت منجر به یک الگوی مصرف ناپایدار از نظر زیست محیطی، اقتصادی و حتی اجتماعی شود[۲]. در سیستم‌های تولیدی، در زمینه پایداری محیط زیست، نمی‌توان تضمین کرد که منابع طبیعی با سرعت ثابت استفاده می‌شوند و میزان استفاده از آنها از میزان تجدید این منابع کمتر است. همچنین ظرفیت و گنجایش محیط زیست برای جذب پسماندهای این سیستم‌های تولیدی، نباید نادیده گرفته شود[۳]. با توجه به اینکه مدیریت سبز به کارگیری موثر و کارامد تمامی منابع مادی و انسانی جهت نیل به اهداف زیست محیطی با سازماندهی و برنامه ریزی را تضمین می‌کند[۴]، این مدیریت باید به گونه‌ای موثر در حوزه‌ی اجزای نسل چهارم تکنواوژی به کار گرفته شود. البته بکارگیری همزمان مدیریت سبز در نسل چهارم تکنولوژی تضمین کننده‌ی پایداری اقتصادی و اجتماعی علاوه بر جنبه‌های زیست محیطی نیز می‌شود[۲]. به طور کلی، حوزه‌ی فرایندهای سبز، طیف گسترده‌ای از توسعه‌ی محصولات و مدیریت چرخه‌ی محصول تا فرایندهای لازم برای ایجاد مشاغل و کسب و کارهای سبز را شامل می‌شود که هدف تمام آنها ایجاد یک الگوی پایدار از نظر زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی است[۵]. اما آنچه این مقاله قصد دارد به آن بپردازد، بررسی تاثیر اجزای مختلف نسل چهارم تکنولوژی بر پایداری محیط زیست و راهکارهای سبز در جهت کاهش تاثیرات منفی آنهاست. ساختار مقاله در ادامه به شرح زیر خواهد بود: ابتدا مروری بر تعریف نسل چهارم تکنولوژی و فناوری‌های آن و پس از آن مدیریت سبز انجام می‌شود و در ادامه پیشینه پژوهش و مفاهیم پایداری در نسل چهارم تکنولوژی مورد بحث قرار می گیرد. در انتها نیز نتیجه‌گیری بیان خواهد شد.

۲. صنعت نسل ۴ و تکنولوژی های مرتبط با آن

گرچه اصطلاح صنعت نسل ۴، اخیراً به یک اصطلاح رایج تبدیل شده است اما به طور خاص برای اولین بار در صنایع آلمان در سال ۲۰۱۱ ذکر شد تا یک استراتژی برای تولید صنعتی در آن کشور باشد[۶]. طبق این چشم انداز، صنعت نسل چهارم، بخشی از یک کل یکپارچه و بهم پیوسته است که از طریق انقلاب فناوری

[1] Industry 4

اطلاعات و ارتباطات[2] تغییر و تکامل یافته است. اگرچه انقلاب صنعتی سوم نیز در سال ۱۹۶۹، با استفاده از فناوری IT و ICT شکل گرفت و تحولات عمیقی در تولید، ماهیت نیروی کار، ارتباطات و اطلاعات و ... به وجود آورد، اما تفاوت اصلی نسل چهارم تکنولوژی با نسل سوم را می‌توان در سرعت، تاثیر سیستمی و گستردگی و عمیق بودن تغییر فناوری دانست. این تغییر فناوری در صنعت نسل چهارم از طریق اجزای مختلف آن مانند اینترنت اشیا[3] و اینترنت خدمات[4] رخ می‌دهد که بخش‌های مختلف صنعت را از طریق یک شبکه زنجیره تامین به صورت داخلی و خارجی به روش الکترونیکی به هم متصل می‌کند[۲]. این باعث هوشمندسازی صنعت می‌شود و همه‌ی این‌ها توسط سیستم‌های سایبر- فیزیکی[5] پشتیبانی می‌شوند. منظور از سیستم‌های سایبر- فیزیکی مورد بحث سیستم‌هایی است که در آن قسمت‌های سخت افزاری و نرم افزاری بهم پیوسته شده‌اند تا در مقیاس وسیع نتایج را بدست آورند[۷].

با توجه به هوشمندسازی صنعت به کمک اینترنت در سال‌های اخیر، مطالعات قبلی مفاهیم مختلف صنعت نسل ۴ مرتبط به اینترنت را بیان کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به اینترنت خدمات، اینترنت اشیا، اینترنت همه چیز[6] و اینترنت مردم[7] اشاره کرد. از طرفی صنعت نسل چهارم، طیف وسیعی از تکنولوژی را در کنار سیستم‌های سایبر- فیزیکی و اینترنت همه چیز، مانند هوش مصنوعی[8]، رایانش ابری[9]، تولید افزودنی(چاپ سه بعدی)[10] [۸] و بلاکچین[11] [۹] در بر می‌گیرد. سیستم‌های سایبر- فیزیکی، عناصر فیزیکی صنعت مانند ماشین آلات و سایر اجزا را از طریق حسگرها و سایر دستگاه ها به یک لایه‌ی الکترونیکی از سیستم های اطلاعاتی متصل می‌کند. این فناوری امکان تبادل اطلاعات را فراهم کرده، فرایندها را انجام می‌دهد و به یک رابط بین انسان و ماشین آلات تبدیل می‌شود[۶]. اینترنت اشیا اصطلاح جدیدی است که به عنوان ارتباط دنیای فیزیکی مجهز به حسگرها و محرک‌ها توسط اینترنت تعریف می‌شود. در واقع با استفاده از اینترنت اشیا دستگاه‌های مختلف می‌توانند به یکدیگر از طریق اینترنت اتصال یابند و با یکدیگر و حتی انسان تعامل و صحبت کنند. از طریق این اتصال، می‌توان کلیه سیگنال‌های سیستم‌های تولیدی فیزیکی را تحت عنوان داده‌های بزرگ[12]، کنترل و ضبط کرد تا بعداً در فرآیندهای دیگر مانند ایجاد ارزش‌های جدید، به ویژه در زمینه‌ی تغییر تقاضا به منظور خدمات نوآورانه و حالت‌های جدید اشتغال آنها را به کار گرفت[۱۰]. از طرف دیگر هوش مصنوعی مجموعه‌ای از روش‌ها و الگوریتم ها می‌باشد که جهت شبیه‌سازی رفتار موجودات هوشمند توسط ماشین‌ها به کار می‌رود. به عبارت دیگر هوش مصنوعی مبتنی بر روش‌هایی‌ست که به ماشین ها و کامپیوترها امکان آموختن الگوهای پنهان در داده‌های خام را می‌دهد. استفاده از این تکنولوژی باعث هوشمندی تمامی فرایندها و انجام پروسه‌های تولیدی با حداقل دخالت انسان است[۱۱]. یکی دیگر از پیشران‌های نسل چهارم تکنولوژی، فناوری بلاکچین است. این فناوری تعبیری از یک سیستم نسخه دیجیتال غیر قابل تغییر می‌باشد. یک ویژگی مهم تکنولوژی بلاکچین، حالت پیاده سازی توزیعی آن می‌باشد. این ویژگی باعث جامعیت و هماهنگی در ذخیره سازی اطلاعات قسمت‌های مختلف متصل به یکدیگر می‌شود[۹]. استفاده‌ی همزمان از بلاکچین و هوش مصنوعی می‌نواند عمق و سطح انقلاب صنعتی چهارم را مشخص سازد. یکی دیگر از فناوری های مورد استفاده در انقلاب صنعتی چهارم رایانش ابری است که به عنوان منابع محاسباتی و خدمات تجسمی تعریف می‌شود، که در واقع ترکیبی از نوآوری و کاربرد فناوری‌هایی مانند نسل چهارم تکنولوژی است که تأثیر معنی‌داری بر عملکرد سازمان ها در جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر رایانش ابری یک اصطلاح کلی برای هر چیزی است که شامل ارائه‌ی خدمات میزبانی شده از طریق اینترنت باشد. در واقع مرجع یک نرم افزار، داده‌ها و پردازش‌های مربوط به آن به یک فضای بیرونی منتقل شده که این باعث قدرت پردازش بیشتر، امکان اشتراک داده‌ها و همکاری بیشتر با سایر افراد می‌شود[۱۲]. سرانجام، ادغام تمام اشکال فناوری‌های موجود با عناصر فیزیکی در تولید و با کلیه‌ی ذی نفعان مرتبط (تأمین کنندگان، مشتریان، مصرف کنندگان و کارکنان) مزایای بسیاری را برای صنعت نسل چهارم مانند اتوماسیون و دیجیتالی شدن، ایجاد می‌کند. ویژگی‌ها و امکانات جدید که نسل چهارم تکنولوژی در تولید را در دو قسمت اصلی ایجاد می‌کند: ارزش افزوده به مشتری نهایی و قابلیت های فرآیند تولید[۲]. در جدول۱ تعدادی از مهم ترین این عوامل ذکر شده‌اند.

---

[2] ICT
[3] Internet of Things (IoT)
[4] Internet of Service (IoS)
[5] Cyber-Physical Systems (CPSs)
[6] Internet of Everything
[7] Internet of People
[8] Artificial Intelligence
[9] Cloud Computing
[10] Additive Manufacturing (3D Printing)
[11] Blockchain
[12] Big Data

جدول۱. مزایای نسل چهارم تکنولوژی برای مشتریان و شرکت‌ها[۲]

ارزش های افزوده به شرکت‌ها	ارزش‌های افزوده به مشتریان
کارایی بهبود یافته.	سفارشی سازی پیشرفته‌تر
	تجربه‌ی بهتر مشتری
هم افزایی تقویت شده (هنگامی که ساختار به سیستم‌های فرعی با وابستگی متقابل بسیار کمی جدا شود).	افزایش اشتراک دانش در میان مشتریان
	پشتیبانی از تغییر نیازهای مشتریان
ادغام پیشرفته از طریق جریان داده، در نتیجه ایجاد ساختار انعطاف پذیرتر و مبادله‌ی داده در بین تمام قسمت‌ها.	هزینه‌ی کاهش داده شده
	انطباق آسان تر
بهبود بهره‌وری و کارایی، ایجاد فرصت‌های جدید از طریق نوآوری، انعطاف‌پذیری و چابکی.	محصولات با کیفیت تر و درنتیجه سطح بالای زندگی
	فرصت‌های شغلی ایجاد شده
تجزیه و تحلیل و یادگیری هوشمند، که به دستگاه‌ها و ماشین آلات امکان می‌دهد ظرفیت های یادگیری را توسعه دهند و در پاسخ به موقعیت های مختلف بر اساس تجربیات قبلی عمل کنند.	ظهور مدل‌های کسب و کار جدید که روش‌های جدید خلق ارزش را ایجاد می‌کنند. این مدل های کسب و کار مبتنی بر فضای ابری، خدمات و پردازش هستند
تاثیرات مدل‌سازی و شبیه‌سازی شده از گام‌های فرایند، امکان طراحی و آزمایش کارخانه‌ی جدید قبل از راه اندازی توسط مجازی سازی.	یکپارچه سازی عددی از پایان به پایان، که اجازه‌ی ادغام فرایندهای تجاری در کل زنجیره ارزش، از جمله کف کارخانه و خدمات را با استفاده ازسیستم‌های سایبر- فیزیکی مهیا می‌کند

۳. نسل چهارم تکنولوژی و توسعه‌ی پایدار

مفهوم مدیریت سبز به معنای مجموعه‌ای از مطالعات و اقدامات جامع، هدفمند و مستمری است که سعی در به کارگیری موثر و کارامد تمامی منابع مادی و انسانی برای هدایت و کنترل سازمان جهت نیل به اهداف زیست محیطی با سازماندهی و برنامه‌ریزی دارد[۴]. البته تاثیرات این مدیریت علاوه بر محیط زیست، جلوه‌های اقتصادی و اجتماعی نیز دارد. در واقع مدیریت سبز مدیریتی برای همگرایی بیشتر مسئولیت های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی است. امروزه این رویکرد باتوجه به افزایش جمعیت و افزایش نگرانی‌ها در جهت مصرف انرژی در سراسر جهان در حال گسترش می‌باشد[۱۳]. طبق تعریف فوق، مدیریت سبز را می‌توان متناظر با توسعه‌ی پایدار دانست. چرا که از دیدگاه توسعه‌ی پایدار تضادی بین رشد اقتصادی و حفظ و بهبود وضعیت محیط زیست وجود ندارد، در واقع تحقق اهداف توسعه پایدار با نهادینه نمودن نگاه خردمندانه و پایدار به فعالیت‌ها در ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی و در پرتو مصرف بهینه منابع و حفاظت محیط زیست، واقعیت می‌یابد[۴]. از طرفی، توسعه‌ی پایدار نیازمند حرکت به سمت انقلاب صنعتی در جهان است و نسل چهارم تکنولوژی نیز بعنوان انقلاب صنعتی کنونی در جهان شناخته شده‌است. اما استفاده از صنعت نسل۴ در کنار تمام مزیت‌های آن، تاثیرات منفی در بخش‌های مختلف از جمله پایداری محیط زیست از طریق آلودگی هوا، استفاده‌ی فشرده‌تر از مواد خام، اطلاعات، انرژی و تخلیه‌ی نامناسب پسماندها دارد. بطور مثال اتوماسیون و دیجیتالی شدن که از ارکان نسل چهارم تکنولوژی هستند، نیازمند تجهیزات جدید برای انجام فرایندهای تولید است که این باعث افزایش نیاز به مواد و انرژی برای تولید تجهیزات جدید و از طرف دیگر بازیافت(دوباره استفاده کردن) تجهیزات قدیمی و هزینه‌های انرژی مصرفی برای حمل و انتقال آنها دارد[۲]. به همین دلیل اهمیت مدیریت سبز در نسل چهارم تکنولوژی غیرقابل انکار است. اگرچه تاثیرات منفی دیگر استفاده از این تکنولوژی در سایر بخش‌های اجتماعی و اقتصادی، نیز به چشم می‌خورد و مدیریت سبز گستره‌ای از ابعاد اقتصادی و اجتماعی همانند ایجاد مشاغل سبز، اقتصاد سبز، فرایندهای سبز و... را در بر می‌گیرد، اما در این نوشته سعی بر بررسی تاثیر فناوری‌های نسل چهارم تکنولوژی و مدیریت سبز در مسائل محیط زیست وجود دارد. چرا که پایداری محیط زیست به نوبه‌ی خود باعث رشد اقتصادی و اجتماعی پایدار نیز می‌شود.

۱،۳. پیشینه پژوهش

پایداری محیط زیست در صنعت نسل ۴ یک موضوع مهم است که تا حد زیادی در ادبیات پژوهش به ویژه از سال ۲۰۰۰ میلادی به بعد به آن پرداخته شده‌است. فورد و دسپیس[۱۴] و یلونک و اوربانیس[۱۵] مزایای استفاده از فناوری در ساخت و تولید(مانند چاپ سه بعدی) را برای پایداری محیط زیست در کنار چندین چالش آن نشان داده‌اند؛ زیرا این فناوری‌ها هنوز در مرحله نابالغ قرار دارند. از سوی دیگر، استوک و سلیگر استدلال کرده‌اند که ارزش صنعت باید بر محوریت پایداری باشد و صنعت نسل چهارم فرصت های فوق العاده‌ای برای دست‌یابی به این پایداری فراهم می‌کند[۱۶]. در مطالعه‌ی دیگری، نویسندگان با سنجیدن برخی از شرکت های آلمانی و چینی، تأثیرات مورد انتظار نسل چهارم تکنولوژی بر پایداری محیط زیست را، با در نظرگیری ابعاد زیست محیطی مانند بهره وری

انرژی و منابع، بررسی کرده‌اند[۲]. به گفته بوریت و کریست، پایداری محیط زیست به گونه‌ای مثبت تحت تأثیر صنعت نسل ۴ است. این ارتباط از طریق دیجیتالی سازی جامع ایجاد می‌شود که مدیریت دقیق‌تر، با کیفیت بالاتر و مدیریت رویدادهای بی درنگ(در زمان واقعی) را برای محیط خارجی، فراهم می‌کند[۱۷]. در مطالعه‌ی دیگری توسط مولر و هاپف، نویسندگان مدلی را بر اساس خط پایین سه گانه[۱۳] پیشنهاد کرده‌اند، که مدلی شامل چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط با کاربرد صنعت نسل ۴ است. نویسندگان نتیجه گرفتند که بین استفاده از نسل چهارم تکنولوژی و مزایای زیست محیطی آن رابطه‌ی مهم و مثبتی وجود دارد، به طوری که شرکت‌ها با توجه به مزایای آن و صرف نظر از اندازه‌ی شرکت و بخش صنعت، تمایل بیشتری به استفاده از این فناوری دارند[۱۸]. در مطالعات دیگر، تیم و همکاران[۱۹] و مولر و هاپف[۱۸] نقشه‌ی راهی را برای ارتقای استفاده‌ی بهینه و پایدار از منابع طبیعی با ترویج اصول اقتصاد چرخشی در سازمان ها در رویکرد نسل چهارم تکنولوژی برای بازیافت زباله پیشنهاد کرده‌اند، که نتایج آن برای محیط زیست مثبت بوده‌است. در مطالعات دیگر، جونیور و همکاران[۲۰]، کاریلو و همکاران[۲۱] و لینگام[۲۲] دریافتند که ایجاد ارزش از طریق فرآیندهای جدید و ایجاد چشم انداز چرخه‌ی زندگی[۲۳] و مدل های تجاری جدید به توسعه‌ی پایدار کمک مثبت می‌کند. در مطالعه‌ای توسط کومار و لوترا[۲۴]، نویسندگان ۱۸ چالشی را شناسایی کردند که نسل چهارم تکنولوژی، می‌تواند هنگام توسعه‌ی پایداری زنجیره تأمین با آن روبرو شود. در مطالعه‌ی دیگری توسط اولاه و همکاران[۲]، بیان شده‌است که برای کاهش آلودگی زیست محیطی و دستیابی به پایداری، می توان از ۴R استفاده کرد که کاهش[۱۴]، استفاده مجدد[۱۵]، بازیافت[۱۶] و جایگزینی[۱۷] در منابع به کار رفته را شامل می‌شود. از این رو، کارآیی و نوآوری زیست محیطی در صنعت نسل چهارم و محیط زیست تحقق خواهد یافت. همچنین چگونگی ادغام و استفاده‌ی کارآمد از منابع کمیاب، مواد اولیه، اطلاعات، مصرف مسئولانه و انرژی با اهداف توسعه پایدار بعنوان یک راه حل بلندمدت نیز در این اثر مورد بررسی قرار گرفته‌است. با وجود مطالعات قبلی اما همچنان تمامی چالش‌ها و فرصت های مرتبط با اجرای صنعت نسل ۴ نامشخص است و فن‌آوری های مرتبط با این صنعت از نظر پایداری محیط زیست به اندازه کافی مورد بررسی قرار نگرفته‌اند، چرا که هنوز فن‌آوری های جدیدی هستند. از این رو در این تحقیق سعی شده‌است که به بیان ارتباط فن‌آوری های مرتبط با نسل چهارم تکنولوژی و مسائل مربوط به پایداری محیط زیست در جهت افزایش کارایی استفاده از این تکنولوژی‌ها توسط کسب و کارها و دستیابی به اهداف توسعه‌ی پایدار انجام شود.

۲,۳. پایداری محیط زیست و نسل چهارم تکنولوژی

از آنجایی که محیط زیست، منابع طبیعی محدودی را تأمین می‌کند، چگونگی برنامه‌ریزی برای استفاده‌ی کارآمد از این منابع و حفظ پایداری نه تنها برای شرکت ها بلکه برای جامعه و ابعاد رشد اقتصادی از اهمیت زیادی برخوردار است[۲۵]. اهمیت این موضوع با توجه به افزایش روز افزون جمعیت و استفاده‌ی بی‌رویه از منابع بیشتر مشخص می‌شود. بدون صرفه جویی و حفاظت از این منابع، شرکت‌ها به زودی ماده‌ی اولیه‌ای برای تولید نخواهند داشت. وضعیت ایده آل پایداری محیط زیست جایی است که منابع طبیعی بتوانند خود را بازسازی کرده و بدون محدود کردن چرخه‌ی تولید مورد استفاده قرار گیرند. اما در عمل چنین وضعیتی وجود ندارد. همچنین شایان ذکر است که وضعیت پایداری را نمی‌توان بصورت کمی مورد اندازه‌گیری قرار داد؛ بلکه با تاثیراتی که در جهت کاهش یا افزایش پایداری محیط زیست ایجاد می‌شود می‌توان آن را بررسی کرد. فناوری های فعلی به کار رفته در صنعت نسل ۴، یک رابطه‌ی علت و معلولی را بین بخش تولید و فعالیت‌هایی که به پایداری محیط زیست مرتبط هستند، ایجاد می‌کنند[۲].

در سال‌های اخیر، عملکرد نسل چهارم تکنولوژی توسعه یافته و از حد انتظار فراتر رفته است. این صنعت، ارزش‌های پایدار را برای مدیریت و کسب وکارهای امروزی، حتی با وجود تمام چالش‌ها و ریسک‌ها، افزایش داده و آنها را بسیار رقابتی می‌کند[۲۶]. فناوری‌های به کار رفته در این صنعت، به طور خودکار اطلاعات و داده های سیستم را به یکدیگر متصل کرده و به اشتراک می‌گذارد و باعث هوشمندسازی ماشین آلات به منظور پیش‌بینی، انجام عملکرد و حفظ وضعیت آنها برای نظارت بر روند تولید می‌شود[۲]. یکی از این فناوری‌ها، اینترنت اشیا است که جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های گسترده، بررسی آنها و استخراج روندها برای دستیابی به یک عملکرد ایده آل توسط این فناوری پاسخ داده می‌شود. اینترنت اشیا در به دست آوردن داده‌های مربوط به مصرف انرژی در زمان واقعی از اهمیت زیادی برخوردار است. برای کسب کارایی بالاتر انرژی، پذیرش و انطباق اینترنت اشیا با صنعت نسل ۴ در بخش تولید مهم است[۲۷]. با استفاده از این تکنولوژی، می‌توان ابزارهای نرم افزاری را بهینه کرد، که منجر به کاهش ۳۰ درصدی در مصرف انرژی خواهد شد[۲۸]. همچنین کارخانه‌ها و شرکت‌ها می‌توانند با استفاده از یکپارچه سازی افقی[۱۸]، از تخصیص انرژی هوشمند استفاده کنند. الگوریتم های بهینه‌سازی هوشمند جهت بهینه سازی و صرفه جویی در مصرف انرژی در بخش تولید و مدیریت، از طریق پردازش داده ها، به کار گرفته می‌شوند[۲۹]. نظارت بر داده‌ها در زمان واقعی[۱۹] نیز، میزان مصرف منابع را نشان داده و به مدیریت تولید پاسخ می‌دهد. علاوه بر این، تکامل فن‌آوری های جدید به کارخانه‌ها کمک خواهد کرد تا با استفاده از تولید افزودنی (چاپ سه بعدی) در

[13] Big Data
[14] Reduce
[15] Reuse
[16] Recycle
[17] Replace
[18] Horizontal integration
[19] Real time data

اســتفاده از مواد صــرفه جویی کنند[۳۰]. تولید افزودنی لایه به لایه در زمینه‌ی مصــرف انرژی موثر بوده و نســبت به روش‌های معمولی، منابع کمتری را هدر می‌دهد[۲]. اما فرآیندهای تولید افزودنی همچنان اســتفاده‌های ناکارآمد از انرژی داشته و نیاز به بررسی بیشتر دارند. با این وجود، این تکنیک‌ها مزایای مثبتی نیز دارند. به طور مثال، تکنیک های تولید افزودنی تأثیر مثبتی در نگهداری و تدارکات دارند. در واقع با استفاده از این روش، حمل و نقل غیر متمرکز می‌شود، از این رو در ســوخت و انرژی صــرفه جویی می‌شود و انتشار کربن کاهش می‌یابد[۳۱]. یکی دیگر از فناوری های به کار رفته در نسل چهارم تکنولوژی داده‌های حجیم اســت که تجزیه و تحلیل این داده های حجیم می‌تواند از طریق نگهداری پیشــگیرانه[۲۰] و پیش‌گویانه[۲۱]، عمر مفید ماشــین آلات را افزایش داده و باعث کاهش ضــایعات و دوباره‌کاری ها شــود[۳۲]. ادغام صــنعت نســل ۴ با فناوری بلاکچین ممکن اســت با نگهداری و ایجاد سوابق و اجرای قراردادها، امکان طراحی مجدد مدل های کسب و کار بین صنایع را فراهم کند. علاوه بر این، انرژی و منابع به دلیل امنیت تبادل داده و شفافیتی که توسط این زیرساخت‌ها ارائه شده‌اند، تمرکز بیشــتری پیدا می‌کنند[۳۳]. بنابراین، مسئولیت و کنترل مکانیسم مصرف بدست خواهد آمد. به طور کلی می‌توان گفت که مزایای نسل چهارم تکنولوژی بیشــتر از چالش‌های پایداری ایجاد شــده توســط آن اســت. در جدول۲ تعدادی از معایب ایجاد شــده توسط نسل چهارم تکنولوژی از دیدگاه محیط زیست آورده شــده‌اســت. به عنوان نمونه، سفارشی سازی در نسل چهارم تکنولوژی منجر به بهره‌گیری از روباتیک و هوشمندسازی تولید شده که هم جهت با اهداف پایداری محیط زیست است اما نیازمند سرمایه‌ی زیادی است که جزو معایب آن به شمار می‌آید. همچنین کنترل کیفیت مبتنی بر داده های بزرگ، یکی از مزایای نسل چهارم صــنعت در جهت پایداری محســوب می‌شود و منجر به بهینه‌سازی عملیات می‌شود اما مشکل امنیت داده‌ها در آن، جزو معایب آن به شمار می‌رود. یکی دیگر از فناوری‌های به کار رفته در نسل چهارم تکنولوژی به منظور تولیدات هوشمند، ادغام سیستم‌های سایبر- فیزیکی با اینترنت اشیا و کاربرد داده‌های زمان واقعی است که به داده های گسترده نیاز دارد و باعث بالارفتن جریان و میزان استفاده از انرژی می‌شود و تاثیر آن بر پایداری محیط زیست منفی است. از طرف دیگر، تولید و ســفارشــی ســازی در نســل چهارم تکنولوژی نیازمند فرآیندهای پیکربندی پویا اســت که این نیز نیازمند داده‌های حجیم و گســترده می‌باشد و با افزایش اســتفاده از انرژی، تاثیری منفی بر روی محیط زیست خواهد داشت. تولید افزودنی و چاپ سه بعدی نیز که یکی از فناوری های مهم به کاررفته در نسل چهارم تکنولوژی اســت، با نمونه ســازی اولیه باعث کاهش ضــایعات می‌شــود و بوسیله‌ی ساخت با تغییر شکل و ابزار باعث کاهش جریان مواد اولیه به کار رفته می‌شــود اما با هوشــمندســازی بخشــی از صنعت و افزایش نیاز به انرژی مورد استفاده، تاثیری منفی بر پایداری محیط زیست می‌گذارد. تولید و سفارشی سازی درخواستی در نسل چهارم تکنولوژی باعث حذف محصولات نامطلوب و درنتیجه کاهش مواد و انرژی به کار رفته می‌شود و همچنین باعث ایجاد مدل‌های کسب و کار مختل کننده می‌شــود که منجر به چرخه عمر طولانی محصولات شده و تاثیر مثبتی بر پایداری محیط زیست می‌گذارد. تکنولوژی بلاکچین نیز با شفافیت، عدم تمرکز و اطلاعات قابل اعتماد باعث بالارفتن جریان‌های انرژی و میران استفاده از آنها می‌شود[۲].

جدول۲. معایب نسل چهارم تکنولوژی با توجه به پایداری محیط زیست[۲]

معایب نسل چهارم تکنولوژی با توجه به پایداری محیط زیست
آلودگی بالای محیط زیست
ایجاد اختلال در اکوسیستم
دفع زباله های مضر برای محیط و جامعه
حداقل انطباق با مقررات و قوانین شرکت‌ها
جنگل زدایی با توجه به شدت استفاده از صنعت نسل ۴
بیماری های مرتبط با سلامتی
آلودگی زمین و آب‌های زیر زمینی

[20] Preventive maintenance
[21] Predictive maintenance

شواهد روشنی وجود دارد که نشان می‌دهد اگر صنعت نسل ۴ با اهداف توسعه‌ی پایدار[۲۲] ادغام شود، پایداری محیط زیست ارتقا می‌یابد[۲]. طبق اسناد کنفرانس ریو ۲۰ در سال ۲۰۱۲ توسعه پایدار شامل۱۷ هدف می‌باشد که چهار مورد آن یعنی اهداف شماره های ۷، ۹، ۱۲و ۱۳ مرتبط با پایداری زیست محیطی هستند که به ترتیب انرژی مقرون به صرفه و تمیز؛ صنعت، نوآوری و زیرساخت ها؛ تولید و مصرف مسئولانه و تغییرات آب و هوایی را شامل می‌شود[۳۴]. گریگز و همکاران[۳۵] اظهار داشتند که این اهداف توسعه‌ی پایدار، به یکدیگر مرتبط و وابسته‌اند و به همین ترتیب یکدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین، باید دقت کرد تا توازن و تعادل بین آنها رعایت شود، که در نهایت منجر به پایداری کره‌ی زمین، جامعه‌ی جهانی و کسب و کارها خواهد شد. با تلفیق دیجیتالی‌سازی(اینترنت اشیا و سیستم‌های سایبر- فیزیکی)، نظارت و جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌های حجیم با هدف هفتم توسعه‌ی پایدار اجرای شبکه‌های هوشمند بدست می‌آید که باعث کاهش جریان انرژی می‌شود. همچنین این امر، منجر به اجرای ارزیابی‌های چرخه‌ی طول عمر شده که باعث ذخیره‌سازی بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود. تلفیق هدف نهم توسعه‌ی پایدار با دیجیتالی سازی(اینترنت اشیا و سیستم‌های سایبر فیزیکی)، نظارت و جمع‌آوری داده‌ها، تولید افزودنی و مدل‌های کسب و کار جدید باعث بهبود نقاط ضعف تولید افزودنی (انرژی و قابلیت بازیافت) شده که خود منجر به کاهش جریان انرژی و مواد اولیه به کار رفته می‌شود. همچنین این تلفیق باعث ادغام گسترده‌تر نسل چهارم تکنولوژی با اقتصاد چرخشی شده که منجر به کاهش جریان ضایعات و کاهش چرخه‌ی عمر محصولات می‌شود. تلفیق هدف دوازدهم توسعه‌ی پایدار با دیجیتالی سازی(اینترنت اشیا و سیستم‌های سایبر فیزیکی)، نظارت و جمع آوری داده‌ها و تولید درخواستی منجر به ایجاد گزارش‌های پایداری قابل اعتماد و شفاف در صنعت نسل ۴ در بخش تولید می‌شود. این باعث افزایش داده‌ها و اطلاعات قابل اعتماد، کاهش جریان مواد و ضایعات می‌شود. تلفیق هدف سیزدهم توسعه‌ی پایدار با دیجیتالی سازی[۲۳](اینترنت اشیا و سیستم‌های سایبر- فیزیکی)، نظارت و جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌های حجیم و فناوری بلاک‌چین نیز اجرای شبکه‌های هوشمند را بدست می‌دهد که باعث کاهش جریان انرژی مصرفی می‌شود. همچنین منجر به اجرای ارزیابی‌های چرخه طول عمر شده که باعث افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود. بعلاوه، تجارت انتشار برمبنای بلاک‌چین فعال می‌شود که باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود[۲].

به طور کلی می‌توان گفت صنعت، نوآوری و زیرساخت‌ها به منظور شکل‌گیری نسل چهارم تکنولوژی دست به دست یکدیگر داده‌اند تا کارخانه‌های هوشمندی را ایجاد کنند که از طریق روش‌های نوآورانه، باعث توسعه‌ی فناوری برای افزایش کارایی و اثربخشی شوند. برای تحقق صنعت نسل ۴، سه مرحله باید انجام شود: دیجیتالی سازی، اتوماسیون[۲۴] و ادغام[۲۵]. در این سه مرحله و در طی فرایند تولید، ماشین آلات فرسودگی دارند و در یک زمان مشخص از رده خارج می‌شوند و باید ماشین های جدید جایگزین آنها شوند. علاوه بر این، سطح بالایی از مصرف مواد اولیه و انرژی برای تولید ماشین‌آلات و تجهیزات جدید وجود دارد. حمل و نقل و جابجایی تجهیزات و ماشین‌های قبلی و حمل و جایگزینی ماشین‌های جدید نیز به نوبه‌ی خود، نیازمند انرژی است[۳۶]. از طرفی گنجایش محیط زیست با درنظر گرفتن میزان پسماندهای تولید شده در حال نزدیک شدن به انتهای آن می‌باشد. از این رو برای جلوگیری از این اثرات منفی زیست محیطی، بازیافت بسیار اهمیت دارد و با انجام آن صرفه جویی بیشتری در مصرف انرژی حاصل خواهد شد. یکی دیگر از اهداف توسعه‌ی پایدار، انرژی پاک است و این را می‌توان در مرحله‌ی تولید و همچنین در هنگام حمل کالا به مصرف کننده نهایی با نسل چهارم تکنولوژی تلفیق کرد. به عنوان مثال استفاده از بیومتان که به عنوان یک راه حل برای کربن زدایی استفاده می‌شود. شرکت‌های سرمایه گذاری‌کننده در تحقیق و توسعه، آگاهی بیشتری از راه حل‌های پایدار پیدا می‌کنند که فناوری را قادر می‌سازند که به گونه‌ای بهتر مورد استفاده‌ی مجدد، کاهش، بازیافت و جایگزینی قرار گیرد. بنابراین استفاده‌ی موثر و مسئولانه از مواد اولیه، اطلاعات و انرژی طبق اهداف توسعه‌ی پایدار، همانطور که مصرف نیز مسئول است، تشویق می‌شود. با این کار از اثرات منفی بر روی تغییرات محیط زیستی با استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر جلوگیری می‌شود. با این حال، برای دستیابی به بالاترین سطح مزایای صنعت نسل ۴، باید سیاست‌های مشخصی برای محافظت از محیط زیست و اکوسیستم های آن در برابر تأثیرات منفی صنعت نسل ۴ استفاده شود. این باید دغدغه‌ی تمام ذینفعان باشد. در واقع باید سیاست های سازگار با صنعت نسل ۴ و فناوری های آن و همچنین صرفه جویی در مصرف انرژی در هنگام تولید، حمل و نقل و مصرف، برای دستیابی به یک آینده‌ی پایدار ارائه شود[۲].

۴. نتیجه‌گیری

پیش‌بینی ها نشان داده‌اند که در آینده‌ای نزدیک با توجه به افزایش جمعیت و روند صعودی مصرف انرژی، منابع طبیعت به پایان خود نزدیک می‌شوند. بنابر این اهمیت به کارگیری مدیریت سبز و اتخاذ سیاست‌هایی جهت حرکت به سمت پایداری محیط زیست بیش از پیش احساس شده‌است. از طرف دیگر با توسعه‌ی فناوری و ظهور نسل چهارم تکنولوژی، پیش‌بینی شده‌است که آینده‌ی تمام صنایع از این نسل فناوری عبور خواهد کرد. به همین دلیل بررسی تاثیرات این صنعت بر پایداری محیط زیست جهت افزایش کارایی و بهره‌وری استفاده از آن، اهمیت زیادی دارد. فناوری‌های به کار رفته شده در این صنعت و مزایای استفاده از آنها در سال‌های اخیر مشهودتر شده‌است. هوش مصنوعی، رایانش ابری، تولید افزودنی(چاپ سه بعدی) و بلاک‌چین از جمله‌ی فناوری‌های به کار رفته در این صنعت محسوب می‌شوند که منجر به تولید هوشمند، استفاده از داده‌های زمان واقعی، اتوماسیون و دیگر تاثیرات مثبت خواهند شد. با این حال، صنعت نسل ۴ با چالش های پایداری محیط زیستی قابل توجهی روبرو است. زیرساخت های مورد نیاز برای فعال سازی نسل چهارم تکنولوژی، بسیار وابسته به ماشین آلات، نرم افزارها

[22] Sustainable Development Goals(SDGs)
[23] digitization
[24] automation
[25] integration

و سخت افزارهای جدید است که ممکن است در آغاز کار بسیار پرهزینه باشد، اگرچه در طولانی مدت، مزایای آن بیشتر از هزینه‌ها خواهد بود. بعنوان مثال، سفارشی سازی مصرف کننده به ویژه در جوامع با بهره‌وری اقتصادی بالاتر و همچنین جوامع در حال توسعه، باعث ایجاد انگیزه شده و مصرف مسئولانه را برای مشتریان فراهم می‌کند. یعنی صنعت نسل ۴ بر رفتار مصرف کننده و توسعه‌ی سرمایه انسانی نیز تأثیر می‌گذارد. درنتیجه اگر از صنعت نسل ۴ به خوبی استفاده شود، می‌تواند با اهداف توسعه پایدار سازگار باشد، و همچنین منجر به کارایی و استفاده‌ی موثر از منابع تجدیدپذیر و همچنین تجدیدناپذیر شود[۳۷]. پیش‌بینی شده پایداری محیط زیست در آینده، در مقایسه با تأثیرات نسل‌های قبلی، مستقیماً تحت تأثیر صنعت نسل ۴ قرار نخواهد گرفت[۲]. اما آنچه اهمیت دارد این است که تمامی کسب و کارها و ذی نفعان آنها، باید از تاثیرات مثبت و منفی فناوری‌های به کار رفته در نسل چهارم تکنولوژی آگاه باشند و سیاست‌های مشخصی جهت تطابق نسل چهارم تکنولوژی با اهداف زیست محیطی را در حوزه‌ی خود به کار بگیرند.

منابع

[۱]McWilliams, A., Parhankangas, A., Coupet, J., Welch, E., & Barnum, D. T. (2016). Strategic decision making for the triple bottom line. *Business Strategy and the Environment, 25*(3), 193-204 .

[۲]Oláh, J., Aburumman, N., Popp, J., Khan, M. A., Haddad, H & ,.Kitukutha, N. (2020). Impact of Industry 4.0 on Environmental Sustainability. *Sustainability, 12*(11), 4674 .

[۳]Zhu, D., Zhang, S., & Sutton, D. B. (2015). Linking Daly's Proposition to policymaking for sustainable development: indicators and pathways . *Journal of cleaner production, 102*, 333-341 .

[٤]Dwyer, R., Lamond, D., & Lee, K. H. (2009). Why and how to adopt green management into business organizations? *Management decision* .

[٥]Vrchota, J., Pech, M., Rolínek, L., & Bednář, J. (2020). Sustainability Outcomes of Green Processes in Relation to Industry 4.0 in Manufacturing: Systematic Review. *Sustainability, 12*(15), 5968 .

[٦]Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0: Are we ready? *Polish Journal of Management Studies, 17* .

[۷]Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. d. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *International journal of production research, 55*(12), 3609-3629 .

[۸]Zawadzki, P., & Żywicki, K. (2016). Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept. *Management and Production Engineering Review* .

[۹]Fu, B., Shu, Z., & Liu, X. (2018). Blockchain enhanced emission trading framework in fashion apparel manufacturing industry. *Sustainability, 10*(4), 1105 .

[۱۰]Chan, H. C. (2015). Internet of things business models. *Journal of Service Science and Management, 8*(04), 552 .

[۱۱]Korostyshevskaya, E., & Pokrovskaia, N. (2017). Diversity regulation for industry ,۰ .٤ artificial intelligence and smart cities. *Инновации* ٦) .((۲۲٤)

[۱۲]Malik, A., & Nazir, M. M. (2012). Security framework for cloud computing environment: A review. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, 3*(3), 390-394 .

[۱۳]Donald S, S. (2009). Green Management Matters Only if it Yieds More Green: An Economic/Strategic Perspective. *Academy of management perspectives, 23*(3), 5-16 .

[۱٤]Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of cleaner production, 137*, 1573-1587 .

[۱٥]Jelonek, M., & Urbaniec, M. (2019). Development of sustainability competencies for the labour market: An exploratory qualitative study. *Sustainability, 11*(20), 57 .١٦

[۱٦]Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia Cirp, 40*, 536-541 .

[۱۷]Burritt, R., & Christ, K. (2016). Industry 4.0 and environmental accounting: a new revolution? *Asian Journal of Sustainability and Social Responsibility, 1*(1), 23-38 .

[۱۸]Müller, E., & Hopf, H. (2017). Competence center for the digital transformation in small and medium-sized enterprises. *Procedia Manufacturing, 11*, 1495-1500 .

[۱۹]Stock, T., Obenaus, M., Kunz, S., & Kohl ,H. (2018). Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. *Process Safety and Environmental Protection, 118*, 254-267 .

[۲۰]Junior, J. A. G., Busso, C. M., Gobbo, S. C. O., & Carreão ,H. (2018). Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process Safety and Environmental Protection, 117*, 372-382 .

[۲۱]Carrillo, J. E., Vakharia, A. J., & Wang, R. (2014). Environmental implications for online retailing. *European Journal of Operational Research, 239*(3), 744-755 .

[۲۲]Lingam, Y. K. (2018). The role of Artificial Intelligence (AI) in making accurate stock decisions in E-commerce industry. *Int. J. Adv. Res. Ideas Innov. Technol, 4*, 2281-2286 .

[۲۳]Beier, G., Ullrich, A., Niehoff, S., Reißig, M., & Habich, M. (2020). Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes–A literature review. *Journal of cleaner production*, 120856 .

[۲٤]Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection, 117*, 168-179 .

[۲٥]Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N & ,.Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews, 24*, 38-50 .

[۲٦]Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K.-I. (2017). Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *International Journal of Innovation Management, 21*(08), 1740015 .

[۲۷]Sheppard, P., & Rahimifard, S. (2019). Improving energy efficiency in manufacturing using peer benchmarking to influence machine design innovation. *Clean Technologies and Environmental Policy, 21*(6), 1213-1235 .

[۲۸]Li, G., Wang, H., & Hardjawana, W. (2020). New advancement in information technologies for industry 4.0: Taylor & Francis.

[۲۹]Sreenivasan, R., Goel, A., & Bourell, D. L. (2010). Sustainability issues in laser-based additive manufacturing. *Physics Procedia, 5*, 81-90 .

[۳۰]Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Procedia Cirp, 52*, 173-178 .

[۳۱]Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., & Popp ,J. (2018). The role and impact of Industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain—the case of Hungary. *Sustainability, 10*(10), 3491 .

[۳۲]Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., & Saccani, N. (2018). Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability, 10*(3), 639 .

[۳۳]Sikorski, J. J., Haughton, J., & Kraft, M. (2017). Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market . *Applied energy, 195*, 234-246 .

[۳٤]Assembly, U. G. (2017). Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development. *Resolution Adopted by the General Assembly on, 6* .

[۳٥]Griggs, D., Smith, M. S., Rockström, J., Öhman ,M. C., Gaffney, O., Glaser, G., . . . Shyamsundar, P. (2014). An integrated framework for sustainable development goals. *Ecology and Society, 19* .(٤)

[۳٦]Bonilla, S. H., Silva, H. R., Terra da Silva, M., Franco Gonçalves, R., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability, 10*(10), 3740 .

[۳۷]Zhou, Y. M., & Wan, X. (2017). Product variety and vertical integration. *Strategic Management Journal, 38*(5), 1134-115 .٠