فصلنامه
سیاست‌نامهٔ علم و فناوری
دورهٔ ۱۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲

مقالهٔ ترجمه

صفحات ۶۴-۹۰

تحلیل چندرشته‌ای موج چهارم انقلاب صنعتی و تبیین فرصت‌های پیش‌روی مدیریت عملیات

: 20.1001.1.24767220.1402.13.2.4.8

اشکان گلدوز[۱]
خدیجه طبایی[۲]
حسین رجبی راوندی[۳]

چکیده

پیشرفت انقلاب صنعتی چهارم در دو عرصهٔ پژوهش و عمل، موضوعات بسیاری را ازجمله مدیریت عملیات تحت‌تأثیر قرار داده و مطالعهٔ ابعاد آن و فرصت‌های پیش‌رو به موضوعی نوظهور و درحال رشد در میان پژوهشگران تبدیل شده است. هدف این نوشتار تبیین همین نگرش‌ها و فرصتهای تحقیقاتی جدید در حوزهٔ مدیریت عملیات است که با مرور مطالعات موج چهارم انقلاب صنعتی در میان رشته‌های گوناگون انجام خواهد شد؛ بنابراین نخست به تحلیل مطالعات انجام‌شده در حوزهٔ انقلاب صنعتی چهارم پرداخته خواهد شد. برای آشنایی با دیدگاه‌های محققان در این زمینه، در نهمین کنفرانس IFAC MIM برلین در اوت ۲۰۱۹ از پژوهشگران مهندسی صنایع، مدیریت عملیات، تحقیق در عملیات، کنترل و علم داده نظرسنجی‌ای گسترده و بینرشته‌ای در سطح جهانی انجام شده است. با استفاده از یافته‌های نظرسنجی و تحلیل مبانی نظری، چهارچوب‌های ساختاری و مفهومی ادراک‌پذیر ارائه شده است که وضعیت فعلی انقلاب صنعتی را به تصویر کشیده است. درنهایت برپایهٔ این مبانی، فرصت‌های جذاب پژوهشی را در زمینهٔ مدیریت عملیات استخراج و در اختیار پژوهشگران و علاقه‌مندان قرار داده است.

واژگان کلیدی: انقلاب صنعتی چهارم، مدیریت عملیات، مهندسی صنایع، علم داده، تحقیق در عملیات، کنترل

تاریخ دریافت: ۱ بهمن ۱۴۰۰ **تاریخ بازنگری: ۱۹ اسفند ۱۴۰۰** **تاریخ پذیرش: ۲۱ اسفند ۱۴۰۰**

۱. کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات گرایش کسب‌وکار الکترونیک، دانشگاه علم و صنعت ایران (نویسندهٔ مسئول)؛ Goldoozashkan76@gmail.com
۲. کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات گرایش کسب‌وکار الکترونیک، دانشگاه علم و صنعت ایران.
۳. کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات گرایش کسب‌وکار الکترونیک، دانشگاه علم و صنعت ایران.

مقدمه

ترجمهٔ پیش‌رو برگرفته از یکی از مقالات معتبر و به‌روز در زمینهٔ مدیریت عملیات است. این پژوهش با توجه به ضرورت تبیین تغییر و تحولات فناوری‌های دیجیتال در شیوه‌های مدیریت عملیات در موج چهارم انقلاب صنعتی نگارش و در ۲۵ اوت سال ۲۰۲۰ در نشریهٔ بین‌المللی تحقیقات تولید[1] منتشر شده است. نکتهٔ درخور توجه آن است که این پژوهش هم از پژوهش‌های انجام‌شده در حوزهٔ موج چهارم انقلاب صنعتی و هم از نظرسنجی میان اساتید حوزه‌های متفاوت بهره برده است و از این حیث نتایج آن برمبنای تحلیلی چندرشته‌ای ارائه شده است. سعی بر آن بوده تا ترجمه‌ای مناسب از این مقالهٔ کاربردی ارائه شود تا علاقه‌مندان را با موضوع‌های جدید پژوهشی در زمینهٔ مدیریت عملیات، همگام با سیر تحولات فناورانهٔ عصر چهارم انقلاب صنعتی همسو سازد. گفتنی است که نویسندگان[2] این مقاله، از اساتید و صاحب‌نظران برتر حوزهٔ مدیریت عملیات و زنجیرهٔ تأمین هستند که شرح مختصر فعالیت‌هایشان در پایان مقالهٔ اصلی (زبان انگلیسی) در دسترس است.

موج چهارم انقلاب صنعتی به اصطلاحی رایج برای توصیف تحولات جاری در شبکه‌های تولید و زنجیرهٔ تأمین تبدیل شده است. بااین‌حال، تعریف دقیق آن به زمینهٔ کاری و محیط بستگی دارد؛ برای مثال آئودی[3] و زیمنس[4] را (به‌منزلهٔ دو نمونهٔ متأثر از تحولات فناورانه) در نظر بگیرید. کارخانهٔ هوشمند آئودی در بادن ـ وورتمبرگ[5] آلمان به‌جای ساختار مونتاژ سنتی، که دربرگیرندهٔ معماری غیرمنعطف است، از فرایندهای منعطف، سفارشی و درعین‌حال کارآمدتر استفاده می‌کند (Audi, 2019). زیمنس هم به‌منظور مدیریت یکپارچهٔ عملیات در کارخانه‌های خود، با استفاده از سیستم‌عامل باز اینترنت اشیا[6] و یک پلتفرم تولید ابری به‌نام ماینداسفر[7]، داده‌های سامانه‌ها و دستگاه‌های گوناگون را به‌گونه‌ای پیشرفته تحلیل می‌کند (Siemens, 2019).

تعریف موج چهارم انقلاب صنعتی علاوه بر صنعت (عرصهٔ عمل و کاربرد) در رشته‌های دانشگاهی (حوزهٔ آکادمیک) نیز متفاوت است. در رشته‌هایی مانند مهندسی، مدیریت، کنترل و علم داده، موج چهارم انقلاب صنعتی با اصطلاحاتی همچون پیشرفت‌های فناورانه، طراحی مجدد معماری سازمانی، توسعهٔ مدیریت عملیات[8] و تحولات بازار شناخته شده است (Yin et al., 2018 Tang and Veelenturf, 2019; Oztemel and Gursev, 2020)؛ برای مثال در حوزهٔ مدیریت، پیکارزی[9] و همکاران (2018) بیان می‌کنند:

«موج چهارم انقلاب صنعتی به ادغام فناوری‌های اینترنت اشیا برای خلق ارزش در صنعت مدنظر اشاره دارد. این پدیده به تولیدکنندگان امکان می‌دهد از زنجیره‌های ارزش کاملاً دیجیتالی، متصل، هوشمند و غیرمتمرکز برای رقابت بهتر استفاده کنند. همچنین مدل‌های کسب‌وکار انعطاف‌پذیر و سازگارتری را در اختیارشان قرار می‌دهد؛ البته کسب توانایی لازم برای این تحولات تکاملی و تعامل با محیطی پویا نیازمند راهبردی هدفمند و مدون است که در طول زمان و با مداومت عملی خواهد بود.»

ازتمل و گورسو (2020) انقلاب صنعتی چهارم را «تحول از تولید ماشینی به تولید دیجیتال» تعریف می‌کنند. این تعاریفِ متفاوت از موج چهارم انقلاب صنعتی نشان می‌دهند که نتایج تحقیقات در هر رشته و هر بخش از صنعت متفاوت است (Ivanov et al., 2016; Liao et al., 2017; Panetto et al., 2019).

در حوزهٔ مدیریت عملیات، مطالعات اندکی دربارهٔ موج چهارم انقلاب صنعتی انجام شده است (Ivanov et al., 2019; Tang and Veelenturf, 2019; Calzavara et al., 2020; Olsen and Tomlin, 2020). پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که در چهارچوب انقلاب صنعتی چهارم، عمدهٔ تحقیقات مدیریت عملیات بر کاربردهای فناوری در زمینهٔ تولید تمرکز داشته است، مانند تولید افزوده،[10] اینترنت اشیا، بلاکچین، روباتیک پیشرفته و هوش مصنوعی. برخی تحقیقات موج چهارم را درحکم یک انقلاب معرفی کرده‌اند. از طرفی این موج، فناوری‌ها و اصول مدیریت سازمانی در زنجیره‌های تولید و تأمین در دهه‌های اول قرن بیست‌ویکم را به‌صورتی یکپارچه به هم مرتبط کرده است (Mittal et al., 2018; Xu et al., 2018; Frank et al., 2019). در این مقاله نیز بر همین رویکرد تمرکز شده است؛ بنابراین به علت نبود تعریفی منسجم، موج چهارم انقلاب صنعتی از دیدگاه مدیریت عملیات به‌صورت زیر تعریف شده است:

موج چهارم انقلاب صنعتی عبارت است از تمامی فناوری‌ها، مفاهیم سازمانی و اصول مدیریتی که زیربنایی مهم برای شبکه‌ای مقرون‌به‌صرفه، پاسخ‌گو، انعطاف‌پذیر و پایدار و مبتنی‌بر داده‌ها را فراهم می‌کند. بنابراین از نظر ساختاری، پویا بوده و با تغییرات در محیط عرضه و تقاضا سازگار است و همچنین ازطریق بازآراییِ سریع و تخصیص مجدد مؤلفه‌ها و قابلیت‌های خود پیش می‌رود.

1. International Journal of Production Research
2. Dmitry Ivanov, Christopher Tang, Alexandre Dolgui, Daria Battini, Ajay Das
3. Audi
4. Siemens
5. Baden-Württemberg
6. IoT
7. MindSphere
8. Operations management
9. Piccarozzi
۱۰. اصطلاح علمی جدیدی است که به فرایند نمونه‌سازی سریع و پرینت سه‌بعدی اطلاق می‌شود.

اگرچه تعریف ما از موج چهارم فناوری و مدیریت را نیز شامل شده است، اما شالودهٔ نظری و تلفیق فناوری و مدیریت هنوز در ابتدای راه است. مقالات تاکنون انقلاب صنعتی چهارم را، ادغام‌شده یا ترکیبی، از رویکردهای رشته‌های گوناگون (تحلیل چندرشته‌ای) اختصاصاً مطالعه نکرده‌اند؛ درحالی‌که دیدگاه‌های مهندسی، مدیریت، کنترل و علم داده ممکن است تفاوت‌های بسیاری با هم داشته باشند. بنابراین، بررسی رویکردهای رشته‌های متعدد در زمینهٔ مدیریت عملیات در چهارچوب موج چهارم ضروری و مهم به‌نظر می‌رسد.

هدف اصلی این مقاله بررسی وضعیت فعلی مطالعات موج چهارم در رشته‌های گوناگون است که بینش‌ها و فرصت‌هایی را برای تحقیقات آتی در حوزهٔ مدیریت عملیات ارائه داده است. پرسش‌های این پژوهش عبارت‌اند از:

۱) آخرین پیشرفت‌های علمی در تحقیقات مربوط به موج چهارم انقلاب صنعتی در رشته‌های مختلف چه بوده است؟

۲) تفاوت‌ها و شباهت‌های دیدگاه‌های رشته‌های گوناگون (مهندسی، مدیریت عملیات، کنترل و علم داده) در تحقیقات موج چهارم انقلاب صنعتی چیست؟

۳) موضوعات و فرصت‌های تحقیقاتی جدید برای مدیریت عملیات در عصر چهارم انقلاب صنعتی کدام‌اند؟

برای بررسی این پرسش‌ها، از روش اکتشافی همراه با تحلیل مبانی نظری استفاده شده است که مشابه رویکرد ارائه‌شده در مطالعات سهی[1] و همکاران (2012) و شونهر و اسپیروپرو[2] (2015) بوده است و برای توسعهٔ بینش خود، به دو منبع داده تکیه کرده است. نخست به‌منظور درک وضعیت فعلی پیشرفت‌های علمی در تحقیقات مدیریت عملیات در عصر چهارم انقلاب صنعتی، به بررسی مبانی نظری و پیشینهٔ تحقیقات انجام‌شده پرداخته خواهد شد. به همین منظور، محتوای اصلی آن‌ها شناسایی و گروه‌بندی (خوشه‌بندی) شده‌اند. سپس در نهمین کنفرانس IFAC-AC[3]، که دربارهٔ مدل‌سازی، مدیریت و کنترل تولید بود و از ۲۸ تا ۳۰ اوت ۲۰۱۹ برگزار شد، دربارهٔ موضوعات انقلاب صنعتی چهارم در میان محققان مهندسی صنایع، مدیریت عملیات، تحقیق در عملیات، کنترل و علم داده نظرسنجی بین‌رشته‌ای و بین‌المللی انجام شده است. در پایان هم به‌کمک ترکیب داده‌های نظرسنجی با خوشه‌های به‌دست‌آمده از تحلیل محتوای مبانی نظری، برخی فرصت‌های تحقیقاتی مدیریت عملیات در عصر چهارم انقلاب صنعتی شناسایی شده‌اند.

1. Sodhi

2. Schoenherr & Speier-Pero

۳. بیش از ۶۰ سال گروه مشاورهٔ IFAC فعالیت‌های گوناگونی از تئوری تا عملی در زمینهٔ فناوری انجام داده و در کنفرانس‌هایی ارائه و مقالاتی را منتشر کرده است. برای اطلاعات بیشتر به وبگاه این کنفرانس مراجعه کنید: www.ifac-control.org

در ادامه، مبانی نظری مربوط به موج چهارم انقلاب صنعتی به‌اختصار بیان خواهد شد. سپس نتایج نظرسنجی چندرشته‌ای کنفرانس شرح داده خواهد شد. بعد از آن، با تحلیل همکاری‌های چندرشته‌ای مربوطه به تبیین فرصت‌های تحقیقاتیِ نوظهور پرداخته خواهد شد. درنهایت نیز نتایج اصلی پژوهش بیان خواهند شد.

۱. جدیدترین تحقیقات در موضوع انقلاب صنعتی چهارم

ابتدا به مطالعهٔ مبانی نظری انقلاب صنعتی چهارم و سپس بر موضوع مدیریت عملیات تمرکز خواهد شد. همچنین هم‌زمان یک تحلیل کتاب‌سنجی نظام‌مند در پایگاه داده اسکاپوس[4] (در ۲۴ سپتامبر ۲۰۱۹) انجام خواهد شد و سپس با استفاده از تحلیل هم‌رخدادی VOS[5] (van Eck and Waltman, 2009) پیشینهٔ پژوهش پیرامون مطالعات عصر چهارم انقلاب صنعتی تجزیه‌وتحلیل خواهد شد.

۱-۱. جست‌وجوی ادبیات نظری انقلاب صنعتی چهارم

جست‌وجو در سایت اسکاپوس با استفاده از واژگان کلیدی «Industry4.0» با فیلتر «Literature Review» یا «Survey» انجام شده و ۶۹۲ نتیجه به‌دست آمده است. محدودکردن جست‌وجو به مقالات و مجلات نیز ۳۰۸ نتیجه را به همراه داشت و محدودکردن آن به زمینه‌های «کسب‌وکار و مدیریت»، «مهندسی»، «علوم تصمیم‌گیری» و «علوم کامپیوتر» آن را به ۱۹۱ نتیجه تقلیل داد. درنهایت تحلیل هم‌زمان VOS روی آن‌ها، ۸۰ واژهٔ کلیدی رایج با حداقل ۴ بار تکرار را نشان داد.

نتیجه پس از حذف واژگان کلیدی غیرمرتبط («نظرسنجی» و «پیشینهٔ پژوهش») در شکل ۱ آمده است. در شکل ۱ خوشه‌های اصلی مقالات موج چهارم[6] نشان داده شده است. تحلیل واژگان کلیدی در هریک از خوشه‌های شناسایی‌شده در شکل ۱ در رنگ‌های مختلف آمده است که امکان تفکیک موضوعات مختلف موج چهارم را فراهم کرده است. همچنین سه جریان اصلی تحقیقات به‌صورت مشخص در شکل ۱ مشاهده می‌شود که عبارت‌اند از:

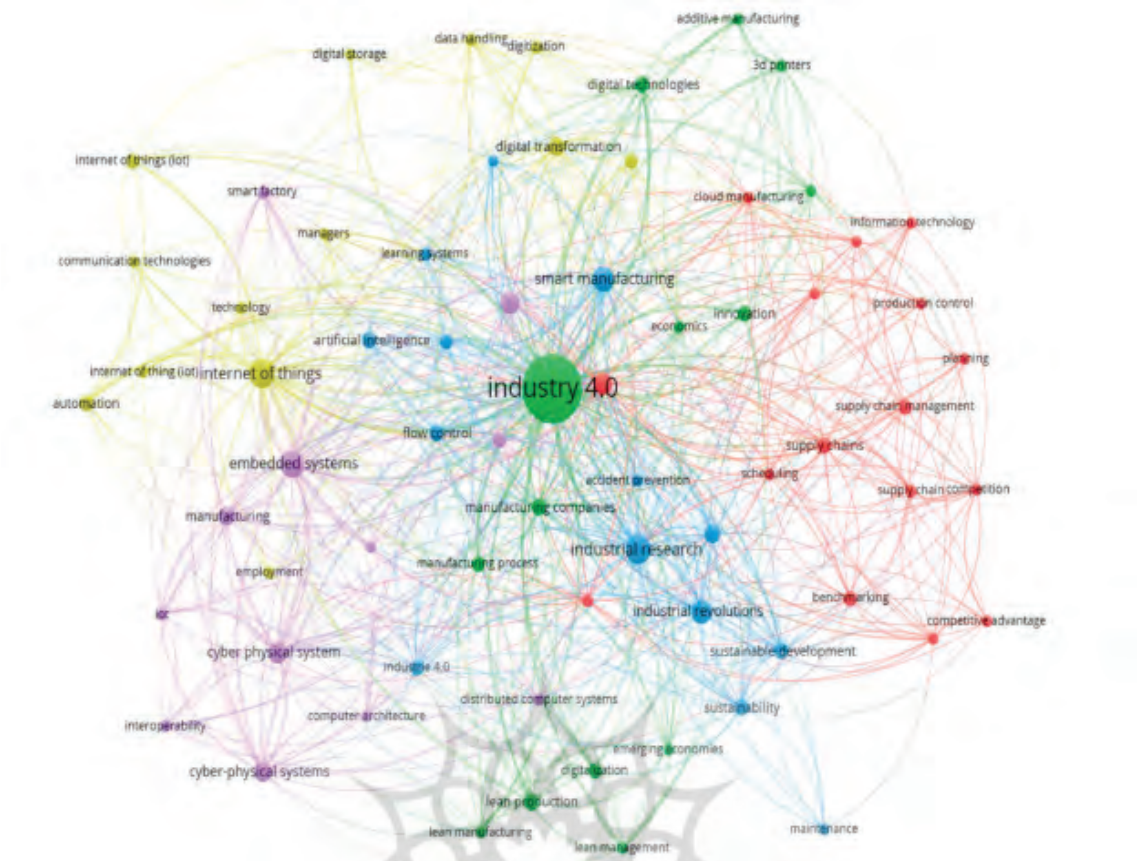
۱) جریان مدیریت (به رنگ قرمز): زنجیره تأمین، مدیریت عملیات و تحقیق در عملیات (مانند مدیریت ناب،[7] مدیریت زنجیرهٔ تأمین، زمان‌بندی، برنامه‌ریزی و نگه‌داری)؛

4. SCOPUS

5. VCA; www.vosviewer.com

۶. برای روان‌ترشدن متن، به‌جای موج چهارم انقلاب صنعتی به‌اختصار از واژهٔ موج چهارم یا عصر چهارم استفاده کرده‌ایم.

۷. مدیریت ناب (Lean Management): در اواخر دههٔ ۱۹۴۰، شرکت تویوتا اساس تولید ناب را پایه‌ریزی کرد و هدفش کاهش فرایندهایی بود که برای محصول نهایی ارزشی ندارند؛ بنابراین مدیریت ناب به سه اصل اساسی اشاره دارد: دیدن ارزش از نگاه مشتری، حذف زوائد محصول نهایی، و پیشرفت مداوم



شکل ۱: نقشهٔ داده‌های هم‌رخدادی کتاب‌شناختی

۲) جریان سازمانی (به رنگ آبی): برای مثال تولید ابری، زنجیرهٔ تأمین دیجیتال، پایداری و نوآوری؛

۳) جریان فناوری (به رنگ‌های بنفش، سبز و زرد): موضوعات علم داده (مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، سیستم‌های یادگیرنده و مدیریت داده‌ها)، مباحث مهندسی صنایع و مکانیک (مانند اتوماسیون، تولید مواد افزودنی، کنترل تولید و فرایندهای تولید)، موضوعات کنترل (مانند سیستم‌های فیزیکی ـ سایبری[1] و سامانه‌های مربوط به کنترل فرایندها).

برای تحلیل دقیق‌تر، بررسی مبانی نظری مدنظر به ۴۹ مقاله محدود شده است که هم شامل تحقیقات اخیر و هم پژوهش‌های کلاسیک (زیربنایی) بوده است. انتخاب مقالات زیربنایی براساس چهارچوب‌بندی دیدگاه‌ها و ابزارهای گوناگون عصر چهارم انقلاب صنعتی (مانند علم داده، مهندسی، کنترل) در زمینهٔ مدیریت عملیات صورت گرفته است.

جریان مدیریت از ۴ پژوهش پیمایشی و ۱۷ مقالهٔ کلاسیک تشکیل شده است. دوبی[2] و همکاران (2019b) و ایوانف و همکاران (2019) به چندین وجه اشتراک عصر چهارم انقلاب صنعتی با مدیریت ریسک در حوزهٔ زنجیرهٔ تأمین اشاره کردند. تانگ (2019) بر مسائل لجستیک در عصر چهارم انقلاب صنعتی تمرکز و تولید افزوده، روباتیک پیشرفته، هوش مصنوعی، وسایل نقلیهٔ خودران، بلاکچین، هواپیماهای بدون سرنشین و اینترنت اشیا را به‌منزلهٔ فناوری‌های اصلی برای پیاده‌سازی موج چهارم شناسایی کردند. برخی از کاربردهای تحقیق در عملیات، مهندسی صنایع و کنترل، برای مدیریت عملیات در عصر چهارم برای کنترل تراکنش‌های فروشگاهی[3] (Zhong et al., 2017; Yang et al., 2019)، زمان‌بندی (Ivanov et al., 2016, 2018; Dolgui et al., 2019; Rossit et al., 2019)، طراحی خط تولید با استفاده از ربات‌های متحرک (Fragapane et al., 2020)، طراحی قرارداد هوشمند توسط بلاکچین (Dolgui et al., 2020) و درنهایت

۱. سیستم‌های فیزیکی سایبری (CPS: Cyber-Physical System): با استفاده از پایش مداوم داده‌های حاصل از حسگرهای هوشمند و معمولی، که در شبکه‌های صنعتی قرار می‌گیرند، و با پردازش و تفسیر آن‌ها اطلاعات باارزشی برای خلق یک نسخهٔ مجازی از فرایندهای مزبور ایجاد و مدیریت را قادر می‌سازد برای کنترل بهینهٔ کارخانه و زنجیرهٔ ارزش خود تصمیم‌های غیرمتمرکز بگیرند.

2. Dubey

۳. کنترل طبقهٔ فروشگاه (Shop Floor Control) اصطلاح جدیدی است که به مجموعه‌ای از نرم‌افزارها و ابزارهایی اشاره دارد که معمولاً بخشی از یک سفارش یا عملیات تکمیل‌شده را در یک فروشگاه ارزیابی می‌کنند.

برای انعطاف‌پذیری بیشتر زنجیرهٔ تأمین (Ivanov et al., 2019; Ivanov and Dolgui, 2020a) مفید خواهد بود.

به‌زعم ین[1] و همکارانش (2018) و بیوئر[2] و همکاران (2017) در عصر چهارم انقلاب صنعتی، ساختارهای تولید انعطاف‌پذیر و قابل تنظیم و تولید ناب، با اینترنت اشیا، داده‌های کلان، وسایل نقلیهٔ الکتریکی، چاپ سه‌بعدی، محاسبات ابری، هوش مصنوعی و سیستم‌های فیزیکی سایبری ترکیب شده‌اند. جانسون[3] و همکاران (2016) کاربرد تحلیل داده را در خرده‌فروشی برای بهبود مدیریت مالی بررسی کردند. مطالعات اوستریش و توتبرگ[4] (2016)، نایاک[5] و همکاران (2016)، مقدم و نوف[6] (2018) استفاده از فناوری‌های موج چهارم را عامل افزایش انعطاف‌پذیری عرضه و تقاضا، تنوع محصول، پاسخ‌گویی بیشتر به بازار، زمان کوتاه‌تر و استفادهٔ بهتر از ظرفیت معرفی کردند.

همان‌طور که بیان شد، جریان سازمانی شامل سه پیمایش و هشت مقالهٔ زیربنایی است. میتال و همکاران (2018) بر اهمیت نقش رهبری و قابلیت‌های عملیاتی لازم برای پذیرش انقلاب صنعتی چهارم تأکید کردند. آن‌ها الگوی بلوغ انتقال به این عصر را پیشنهاد کردند که فرایندهای تولید و لجستیک را با اینترنت اشیا و زیرساخت‌های مهندسی ترکیب می‌کند. پانتو و همکاران (2019) چشم‌اندازی فیزیکی ـ سایبری از عصر چهارم ارائه کردند که شامل سطوح گوناگونی مانند کارخانه، زنجیرهٔ تأمین و شبکه است. آن‌ها به لزوم بازتعریف مدل‌های جدید کسب‌وکار (از نظر انعطاف‌پذیری، سیستم‌های باز و کنترل پویا) مختص عصر چهارم انقلاب صنعتی اشاره کردند. راج و همکاران (2020) دربارهٔ موانع پذیرش عصر چهارم مطالعه‌ای بین‌المللی انجام دادند. آن‌ها سرمایه‌گذاری پرخطر در پیاده‌سازی الزامات عصر چهارم، شفاف نبودن منافع اقتصادی، مشکلات یکپارچه‌سازی زنجیرهٔ ارزش و فقدان زیرساخت مناسب، بی‌کفایتی شایستگی‌های نیروی انسانی را مشکلات اصلی بر سر راه پذیرش الزامات عصر چهارم انقلاب صنعتی دانستند. این نتایج را فرانک و همکاران (2019) نیز در پژوهش خود تأیید کردند. جابور و همکاران (2018) در بحث توسعهٔ پایدار تأثیرات مثبت و منفی محیطی و اجتماعی موج چهارم انقلاب صنعتی را بررسی کردند. به ترکیب مفاهیم سازمانی با برخی از عناصر موج چهارم (مانند تحلیل کلان‌داده) در مطالعات وامبا[7] و همکاران (2017) و دوبی و همکاران (2019a, 2019b) توجه شده است. ایوانف و همکاران (2019) مفاهیم زنجیرهٔ تأمین دیجیتال و دوقلوهای دیجیتال[8] را ارائه کردند؛ مفاهیمی که بازتعریفی از شکل جدید زنجیرهٔ تأمین و عملیات در شرکت‌های فیزیکی ـ سایبری با قابلیت تخصیص پویای فرایندها و ساختارهای زنجیرهٔ تأمین پویا را ارائه داده است.

به‌نظر می‌رسد که جریان فناوری عمدتاً در رشته‌های «علم داده»، «مهندسی مکانیک و صنایع» و «کنترل» وجود داشته باشد. این جریان از تحقیقات تا حدودی فنی است و بر تحولات فناوری در عصر مذکور تأکید دارد. مقالاتی که به توسعهٔ فناوری‌های عصر چهارم می‌پردازند بسیار گسترده‌اند و دامنهٔ مشخصی در این جریان وجود ندارد؛ به همین علت سه مقالهٔ اصلی برای نیل به اهداف این پژوهش انتخاب شدند (Alcácer and Cruz-Machado, 2019; Li et al., 2017; Xu et al., 2020). این سه مقاله نشان‌دهندهٔ جدیدترین پیشرفت‌ها در خوشه‌های تحقیقاتی فناورانه هستند (یعنی به‌ویژه بر جنبه‌های فناوری موج چهارم انقلاب صنعتی تمرکز می‌کنند) که در جدول ۱ آمده است.

۲-۱. سیر زمانی توسعهٔ انقلاب صنعتی چهارم از دیدگاه مدیریت عملیات

براساس تجزیه‌وتحلیل تحقیقات فوق، دو نتیجه حاصل می‌شود: اول آنکه مزایای بالقوهٔ موج چهارم انقلاب صنعتی مستقیماً با مدیریت عملیات مرتبط است (برای توضیح بیشتر جدول ۱ را مشاهده کنید که مزایا و نتایج مدنظر در استفاده از فناوری‌های گوناگون موج چهارم را نشان داده است) و معیارهای سنجش عملکرد مدیریت عملیات شامل میزان بهره‌وری، انعطاف‌پذیری و دسترسی به بازارند. دوم، در کنار مطالعات پراکندهٔ انقلاب صنعتی چهارم که محققان در رشته‌های مختلف انجام داده‌اند (همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده)، مطالعاتی پیرامون مدیریت عملیات در این موج در عمل وجود ندارد. این دو مشاهده ما را ترغیب می‌کنند چهارچوبی از شکل‌گیری انقلاب صنعتی چهارم را از منظر رشته‌های مختلف برای مدیریت عملیات تنظیم کنیم (شکل ۲).

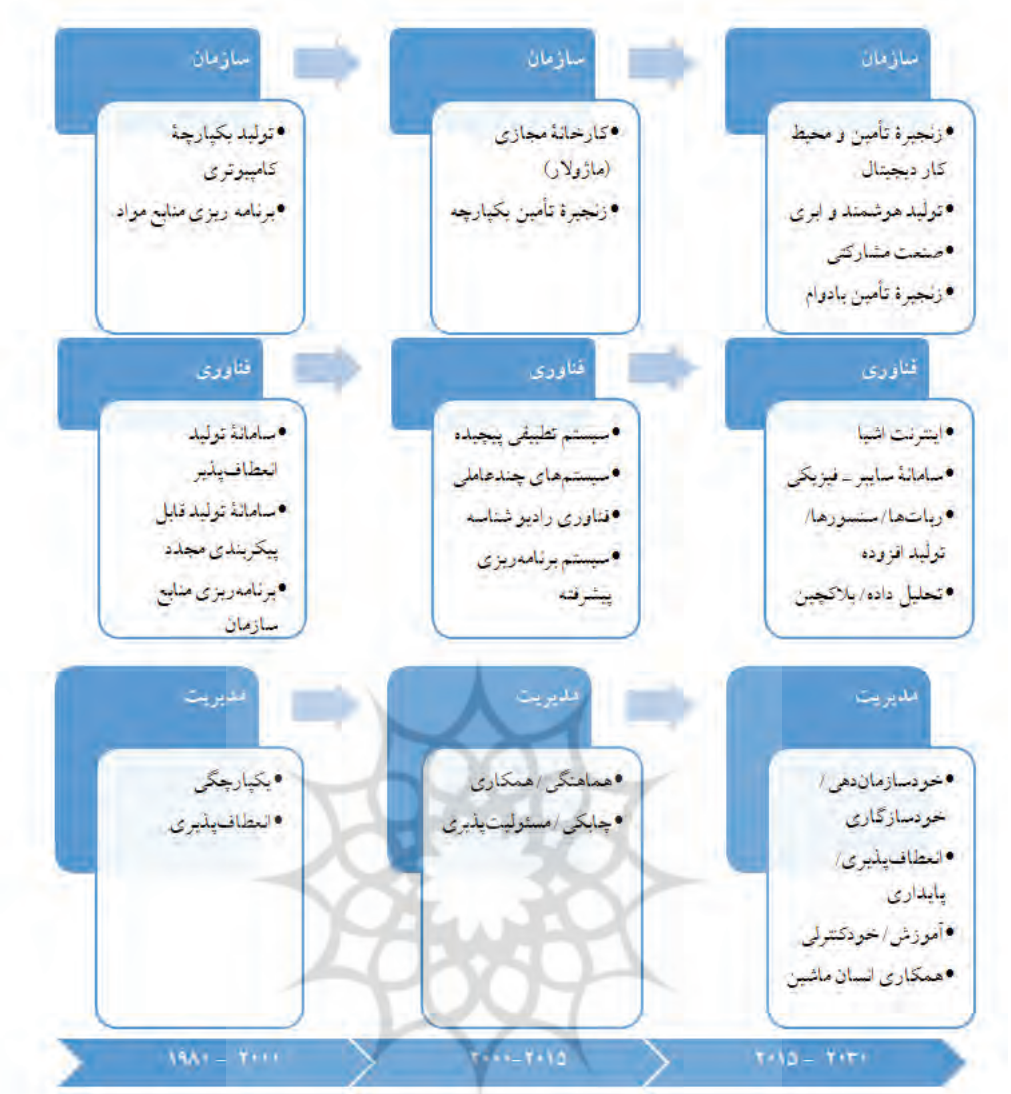
1. Yin, Stecke, and Li
2. Buer
3. Johnson
4. Oesterreich and Teuteberg
5. Nayak
6. Nof
7. Wamba

۸. دوقلوی دیجیتال نمایش دیجیتالی یک جسم فیزیکی، فرایند یا سرویس است. یک همزاد دیجیتال می‌تواند یک کپی دیجیتالی از یک شیء در دنیای فیزیکی مانند موتور جت، نیروگاه‌های بادی، یا حتی موارد بزرگ‌تر مانند ساختمان‌ها یا حتی کل شهر باشد.

جدول ۱: آخرین پیشرفت‌های انقلاب صنعتی چهارم در جریان فناوری

پژوهشگران و رشته	تعریف موج چهارم انقلاب صنعتی	بخش‌های متأثر از موج چهارم	تأثیر مثبت موج چهارم در بخش مدنظر	محدودیت‌های پذیرش موج چهارم	فناوری‌های مرتبط	انتظارات اصلی از فناوری‌های موج چهارم	حوزه‌های مناسب برای تحقیقات آتی
Alcácer and CruzMachado (2019) (مهندسی مکانیک و صنایع)	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نامشخص	• اینترنت اشیا • رایانش ابری • کلان‌داده • واقعیت‌افزوده • تولید افزوده • ربات خودمختار • امنیت سایبری • سامانهٔ سایبر ـ فیزیکی	• خود پیکربندی • خود بهینه‌سازی • پاسخ در لحظه • تعمیرات قابل‌پیش‌بینی • سفارشی‌سازی • انعطاف‌پذیری • دیجیتالی‌شدن	نامشخص
Oztemel and Gursev (2020) (مهندسی صنایع)	روشی برای ایجاد تحول از تولید سنتی (ماشینی) به تولید هوشمند (دیجیتال)	• انرژی • الکترونیک • مکاترونیک	• بهبود قابلیت نوآوری • نظارت و تشخیص آسان سیستم‌ها • افزایش توانایی‌های خودآگاهی و نگه‌داری • بهره‌وری بالا با محصولات سازگار با محیط‌زیست. • بهبود انعطاف‌پذیری با کاهش هزینه‌ها. • توسعه سریع‌تر تولید با مدل‌های خدمات تبلیغاتی جدید کسب‌وکار. • تصمیم‌گیری بی‌طرفانه، در لحظه و مبتنی بر دانش. • افزایش تجارت الکترونیک با دسترسی به بازارهای جهانی • شهرهای هوشمند/ کارخانه‌ها و کنترل فاصله • محصولات سفارشی • دسترسی آسان به اطلاعات شخصی	• مسئلهٔ حریم خصوصی • کاهش امنیت اطلاعات. • حواس‌پرتی (منجر به تصادفات خطرناک می‌شود) • مشکل در حفظ مالکیت معنوی. • محدود کردن دسترسی به دانش. • تقاضای بیشتر برای خدمات در حال اجرا ۲۴/۷. • عدم امکان حذف یا پنهان کردن جریان اطلاعات ناخواسته	• سامانهٔ سایبر ـ فیزیکی • رایانش ابری • فناوری ماشین به ماشین • کارخانهٔ هوشمند • واقعیت افزوده • شبیه‌سازی • داده‌کاوی • اینترنت اشیا • سیستم برنامه‌ریزی منابع سازمان (ERP) • تولید مجازی • رباتیک هوشمند	• ایجاد استاندارد مرجع برای سیستم‌ها • معماری سازمانی صحیح • ایجاد صنعتی جامع و اطمینان‌بخش • زیرساخت پهنای باند • تنظیم محیطی امن و مطمئن • سازمان‌دهی و طراحی کار • آموزش کارکنان • ایجاد چهارچوب سازمانی • افزایش کارایی • تعامل محصول با فرایند • تجزیه و تحلیل کلان‌داده‌ها • سازگاری و انعطاف‌پذیری	نامشخص
Xu et al. (2018) (فناوری اطلاعات و علوم تصمیم‌گیری)	نامشخص	نامشخص	نامشخص	• زیرساخت‌های فناوری اطلاعات موجود • توسعه‌پذیری • ظرفیت پردازش داده‌ها • مشکلات فنی امنیت اطلاعات	• اینترنت اشیا • رایانش ابری • سامانهٔ سایبر ـ فیزیکی	نامشخص	• سامانهٔ سایبر فیزیکی • بلاکچین • دستگاه هوشمند • کارخانهٔ هوشمند انعطاف‌پذیر

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۲: چهارچوب سه‌بعدی از شکل‌گیری موج چهارم انقلاب صنعتی

در توضیح شکل ۲ گفتنی است: ابتدا از شکل ۱ سه خوشهٔ تحقیقاتی اصلی (سازمان، فناوری و مدیریت) را به یاد آورید که از پیشینهٔ پژوهش شناسایی شدند. سپس هر خوشه یک «بُعد» در نظر گرفته می‌شود که دربرگیرندهٔ مجموعه‌ای از «عناصر» برای هر بُعد است (این عناصر نیز از گره‌های مشخص‌شده در شکل ۱ شناسایی شده‌اند). درنهایت، عناصر مرتبط با هر خوشه مطرح شده‌اند و سپس چگونگی تکامل این عناصر در طول زمان با استفاده از چهارچوبی سه‌بعدی (3D)، همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مشخص شده است. چهارچوب سه‌بعدی پژوهش حاضر براساس یکپارچگی سیستم‌های مدیریتی، فیزیکی و فناورانه تنظیم شده است (Amaral and Uzzi, 2007). اکنون با بررسی شکل‌های ۱ و ۲ و جدول ۱، وضعیت فعلی تحقیق مشخص و به اولین پرسش (آخرین پیشرفت‌ها در انقلاب صنعتی چهارم در رشته‌های مختلف چگونه است؟) پاسخ داده خواهد شد.

بوئر و همکاران (2017)، لیائو و همکاران (2017)، کوسیاک (2018)، یین و همکاران (2018)، فرانک و همکاران (2019)، تانگ و ویلنتورف (2019) تحولات سازمان، فناوری و مدیریت در چهار دههٔ گذشته (که در انقلاب صنعتی چهارم به اوج خود رسیدند) را بررسی کردند.

با نگاهی به دهه‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ می‌توان تبدیل بازارهای باثبات با تولید انبوه را به بازارهای متنوع‌تر (با حجم متغیر و محیطی پویاتر) مشاهده کرد که مستلزم تولید سازگارتر با استفاده از بسیاری از فناوری‌های کوچک‌تر (مانند سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر (FMS) و سیستم‌های تولیدی که قابلیت تنظیم مجدد[1] (RMS) دارند) است (Stecke, 1983; Slack, 1987;

۱. زمانی که شمارگان تولید و تنوع تولید هم‌زمان مدنظر باشد، سیستم تولید که قابلیت تنظیم مجدد (Reconfigurable manufacturing system) دارد، بهترین گزینه به‌شمار می‌رود.

Bordoloi et al., 1999; Koren et al., 1999; D'souza and Williams, 2000).

هم‌زمان پیشرفت‌های تولید و بهره‌گیری از فناوری اطلاعات، به ایجاد فرایندهای تولید یکپارچهٔ رایانه‌ای (CIM) و فرایندهای تولید خودکار منجر شد که از پشتیبانی ساختارهای جدیدی مانند برنامه‌ریزی منابع سازمانی (ERP) و کارخانه‌های ماژولار و فراکتال[۱] برخوردارند (Tully, 1993; Warnecke and Braun, 1999; Wiendahl et al., 2015). بنابراین، انعطاف‌پذیری و یکپارچگی به اصول اصلی سازمان و مدیریت این دوران تبدیل شد (Das et al., 2006 ;۱۹۹۵ Jordan and Graves).

ویژگی تحول بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با توسعهٔ اصول مدیریتی مانند هماهنگی، همکاری، تمرکززدایی و چابکی (Nof et al., 2006; Dekkers, 2009; Gunasekaran and Ngai, 2009; Chou et al., 2010) همراه بود تا الگوهای نوین بازار که با این نوسانات سازگارند ارائه شوند (Kumar et al., 2018; Demirezen et al., 2019). اجرای این اصول سازمانی جدید به‌دلیل پیشرفت در فناوری اطلاعات و تولید و به‌کارگیری سیستم‌هایی مانند سیستم‌های چندعاملی[۲] (Swaminathan et al., 1998; Fox et al., 2000)، سیستم‌های انطباقی پیچیده (Choi et al., 2001; Surana et al., 2005; Pathak et al., 2007; Nair and Vidal, 2011)، فناوری رادیوشناسه[۳] (Lin and Visich, 2006; Lee and Özer, 2007; Wamba and Chatfield, 2009) و سیستم‌های برنامه‌ریزی پیشرفته (APS) (Stadtler et al., 2012) ممکن شد. مدیریت موجودی فروشنده (VMI) و مفاهیم برنامه‌ریزی، پیش‌بینی و بازپرسازی مشترک[۴] (CPFR) و همچنین چهارچوب سازمانی مجازی (Fry et al., 2001; Disney and Towill, 2003; Sari, 2008; Camarinha-Matos, 2009; Ivanov and Sokolov, 2010; Yao et al., 2013) در همان دورهٔ زمانی توسعه یافتند. پویایی زنجیرهٔ تأمین در شرکت‌های مجازی نشان‌دهندهٔ چیزی است که در اصطلاح به آن سلول‌های شایستگی[۵] یا شبکه‌سازی عوامل[۶] می‌گویند (Ivanov and Sokolov, 2012). در بخش دیگر، نظریهٔ کنترل مشارکتی[۷] می‌تواند یکی از نقاط عطف در توسعهٔ سیستم‌های سازمانی تولیدی در نظر گرفته شود (Nof, 2007). ایدهٔ اصلی کنترل مشارکتی مبتنی‌بر ترکیب کنترل غیرمتمرکزِ هر جزء برای هماهنگی، سازگاری و یادگیری (الهام‌گرفته از زیست‌شناسی) است.

آغاز دههٔ ۲۰۱۰، با میزان مشخصی از آشنایی صنعت با فناوری‌های موج چهارم انقلاب صنعتی (مانند روبات‌های همکار[۸]، حسگرها، کارخانه‌های ماژولار، اینترنت اشیا و غیره) همراه بود، اما کاربرد نسبی، زمینه‌ها و الزامات استفادهٔ آن‌ها مشخص نبود (Zühlke, 2009). همچنین تلاش‌ها برای اتصال این فناوری‌ها معمولاً با شکست مواجه می‌شدند. این امر بعدها و به‌دنبال پیشرفت سریع پردازش اطلاعات و فناوری‌های روباتیک امکان‌پذیر شد (Meyer et al., 2014; Johnson et al., 2016; Choi et al., 2018; Mittal et al., 2018; Yin et al., 2018; Alcácer and Cruz-Machado, 2019; Ben-Daya et al., 2019; Tang and Veelenturf, 2019; Calzavara et al., 2020). زنجیره تأمین دیجیتال، تولید هوشمند و تولید ابری به‌مرور درحال تبدیل‌شدن به تأثیرات مهم فناوری‌ها در موج چهارم انقلاب صنعتی هستند (Ivanov et al., 2018; Kusiak, 2018; Tao et al., 2018; Liu et al., 2019; Rossit et al., 2019; Xu et al., 2019; Yang et al., 2019; Ivanov and Dolgui, 2020a; Ivanov et al., 2020). حسگرها، وسایل نقلیهٔ خودران[۹] (AGV)، بلاکچین، تولید افزایشی، واقعیت افزوده، تحلیل داده‌های کلان، سیستم‌های ردیابی[۱۰] (T&T) و روبات‌های متحرک شکل‌گیری سیستم‌های فیزیکی ـ سایبری (CPS) را در زنجیره‌های تولید و تأمین تسهیل می‌کنند (Waller

---

۱. فراکتال‌ها در الگوسازی ساختارها (مانند خطوط ساحلی فرسایش‌یافته یا دانه‌های برف) که در آن‌ها الگوهای مشابه در مقیاس‌های کوچک‌تر تکرار می‌شوند و در توصیف پدیده‌های تاحدی تصادفی یا آشفته مانند رشد بلورها، تلاطم سیال و تشکیل کهکشان‌ها مفیدند.

۲. سامانه‌های چندعاملی (Multi-agent system): روش‌های نوینی برای حل مسائل محاسباتی و پیاده‌سازی پروژه‌های نرم‌افزاری رایانه‌ای ارائه می‌دهند. ازآنجاکه در این‌گونه سامانه‌ها مجموعه‌ای متشکل از چندین عامل سیستم را به وجود می‌آورد، نیل به اهدافی امکان‌پذیر می‌شود که ازطریق سیستم‌های تک‌عاملی میسر نیست.

۳. سامانهٔ شناسایی امواج رادیویی (Radio Frequency Identification – RFID): سامانهٔ شناسایی بی‌سیمی است که قادر به تبادل داده‌ها ازطریق برقراری اطلاعات بین یک Tag که به یک کالا، کارت و... متصل شده و یک بازخوان (Reader) است.

۴. تکنیک برنامه‌ریزی، پیش‌بینی و بازپرسازی مشترک (Collaborative Planning , Forecasting and Replenishment =CPFR) تقسیم و به‌اشتراک‌گذاری پیش‌بینی‌ها و اطلاعات بازرگانی در میان شرکای تجاری در طول زنجیرهٔ تأمین، برای تواناساختن آن‌ها در تجدید اتوماتیک سفارش محصولات است.

5. competence cells

6. agents networking

7. collaborative control theory

8. Cobots

۹. مانند همه وسایل نقلیه خودکار، یک خودروی خودگردان قادر است با احساس‌کردن محیط اطراف، خود را در آن ناوبری کند. انسان ممکن است مقصدی را برای خود برگزیند، اما لازم نیست که هیچ کار مکانیکی‌ای بر روی خودرو، برای حرکت به سمت مقصد انجام دهد.

۱۰. با استفاده از فناوری ماهواره، سامانه موقعیت‌یاب جهانی (جی‌پی‌اس/ GPS) و GPRS و RTLS و RFID و همچنین با تکیه بر زیرساخت GIS (سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی) امکان تعیین موقعیت و ردیابی هم‌زمان و حتی غیرهم‌زمان اشیا، افراد، خودروها و یا هر متحرک دیگر را میسر می‌سازد.

and Fawcett, 2013; Li et al., 2017; Wamba et al., 2017; Ivanov et al., 2018; Moghaddam and Nof, 2018; Ivanov et al., 2019; Panetto et al., 2019; Dubey et al., 2019a; 2019b; Dolgui et al., 2020; Fragapane et al., 2020; Ivanov and Dolgui 2020a).

درنتیجه مدل‌های جدید و تحول‌یافته‌تری از کسب‌وکار، تولید و زنجیرهٔ تأمین به وجود آمدند که در آن، زنجیره‌های تأمین دیگر به‌منزلهٔ سیستم‌های فیزیکی غیرمنعطف و ایستا و ارائه‌دهندهٔ فرایندهای مخصوص برای یک شرکت خاص در نظر گرفته نمی‌شوند. بااین‌حال، شرکت‌های فیزیکی متعدد خدماتی را در زمینهٔ تأمین، تولید، تدارکات و فروش در زمان‌های مختلف ارائه می‌کنند که به تخصیص پویای فرایندها و ساختارهای زنجیرهٔ تأمین پویا منجر می‌شود. برای مثال، خرده‌فروشان الکترونیکی از داده‌های معاملاتی و رفتاری مشتریان خود استفاده می‌کنند تا راه‌های جدیدی را برای امتحان، تجربه و خرید محصولات به مشتریان ارائه دهند (مانند آمازون با الکسا[1]). نمونه‌هایی از زنجیره تأمین و عملیات دیجیتالی‌شده عبارت‌اند از: لجستیک و کنترل زنجیره تأمین با داده‌های لحظه‌ای[2] (Park et al., 2018)، تخصیص بهینه منابع پویا در سیستم‌های مونتاژ سفارشی (Ivanov et al., 2016)، بهبود تکنیک‌های پیش‌بینی با استفاده از تحلیل کلان‌داده‌ها (Johnson et al., 2016)، ترکیب، بهینه‌سازی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل‌سازی عامل‌محور[3] برای انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین (Ivanov, 2018; Cavalcantea et al., 2019; Zhao et al., 2019).

موج چهارم انقلاب صنعتی چندین اصل را از نظریه‌های سیستم‌ها، اطلاعات، سازمان‌ها و شبکه وام گرفته است. مدل سیستم زیست‌پذیر(Beer 1985) چگونگی ارتباط بین عملیات به‌هم‌پیوسته با فضای بازار و سیستم‌های متغیری مانند بازارها، سیاست‌ها و جامعه را توصیف می‌کند. قانون آشبی (Ashby 1956) بیان می‌کند که انواعی از موقعیت‌ها باید با پاسخ‌های متنوعی از سوی یک عامل کنترل‌کننده، متعادل شود یا به‌عبارت‌دیگر «تنوع موقعیت با پاسخ‌های متنوع در تناظر باشد». از دید تئوری آشبی[4] (1956)، فناوری‌های عصر چهارم، نشان‌دهنده سیستم‌های طراحی و تحویل بسیار متنوع و غیرمتمرکز است که قادر به پاسخگویی به تنوع روزافزون در محیط خارجی مانند مدل‌های جدید بازار (مانند کانال همه‌کاره)، مدل‌های جدید تجارت (مانند اقتصاد دورانی) تغییرات مثبت (مثل نوآوری) و تغییرات منفی (مثل حوادث طبیعی) (Sodhi et al., 2012; Papadopoulos et al., 2017; Zhong et al., 2017; Ivanov, 2018; Jabbour et al., 2018; Aldrighetti et al., 2019; Luthra et al., 2019; Machado et al., 2020) هستند.

در مجموعهٔ دیگری از مطالعات، کستی (1979)، باراباسی (2005)، ایوانوف و سوکولوف (2010)، بازول و بلامی (2014) دیدگاه‌هایی را دربارهٔ پویایی ساختاری شبکه‌ها، اتصال آن‌ها به یکدیگر، بازخوردها، هماهنگی، خودانطباقی و خودیادگیرندگی (Magoroh, 2017; Bellmann, 1972; Mesarovic and Takahara, 1975; Beer, 1985) ارائه می‌دهند. علاوه‌براین، فناوری‌های موج چهارم تحلیل سیستم باز را انجام‌پذیر می‌کنند. سیستم باز (Mesarovic and Takahara 1975; Casti, 1979) سیستمی است که با محیط تعامل دارد و براساس این تعاملات تکامل می‌یابد. کنترل، خودسازگاری و خودسازمان‌دهی از ویژگی‌های اصلی سیستم‌های باز است (von Bertalanffy, 1969; Anderson, 1999; Gao et al., 2016) که به‌منزلهٔ اصول مدیریت پیش‌رو در آینده در عصر چهارم دیده می‌شود. این موضوع همچنین به دوام زنجیرهٔ تأمین در مقیاس بزرگ‌تر کمک می‌کند (Ivanov, 2020; Ivanov and Dolgui, 2020b).

ما به پرسش اول (آخرین وضعیت پیشرفت عصر چهارم انقلاب صنعتی در بین رشته‌های مختلف چیست؟) این‌گونه پاسخ می‌دهیم: برنامه‌ریزی و کنترل تولید، مدیریت موجودی، طراحی فرایند و زمان‌بندی بر تمامی حوزه‌های تصمیم‌گیری مدیریت عملیاتی تسلط دارند. حوزه‌های راهبرد مدیریت نیز مانند راهبردهای تولید، منبع‌یابی و توزیع عمدتاً از تحلیل داده‌ها و هوش مصنوعی استفاده می‌کنند و بدین‌منظور گاهی از فناوری‌های موج چهارم انقلاب صنعتی بهره می‌گیرند.

این‌گونه اقدامات عملیاتی در مدیریت عملیات و شیوه‌های پشتیبانی عملکرد مربوط به آن، به‌ویژه در تولید و لجستیک، ممکن است در آیندهٔ نزدیک به میزان چشمگیری ازطریق موج چهارم انقلاب صنعتی تغییر کند. از فناوری‌های مهندسی و زیرساخت موج چهارم انقلاب صنعتی معمولاً در تولید استفاده می‌شود. فناوری‌های پردازش اطلاعات بیشتر در زمینه‌های برنامه‌ریزی و تأمین منابع استفاده می‌شود و در حوزهٔ تدارکات (هم لجستیک داخلی و هم بین‌سازمانی) نیز مؤلفهٔ ارتباطی به‌طرز چشمگیری مؤثر است.

مقالات چاپ‌شده دربارهٔ جریان سازمانی به گسترش مدل‌های جدید کسب‌وکار برای زنجیرهٔ عرضه و عملیات اشاره دارد. موج چهارم انقلاب صنعتی زمینهٔ تبدیل سیستم‌های ساخت و تحویل «ایستا» با موجودیت‌های ثابت به شبکه‌های دیجیتالی «پویا» با موجودیت‌های متغیر را فراهم می‌کند. اگرچه تحقیقات مدیریت

---

۱. الکسا (Alexa): خدمتی است که در سال ۱۹۹۶ با هدف ارزیابی و سنجش ترافیک اطلاعات در فضای وب و بایگانی‌کردن صفحات وب ایجاد شد.

2. real-time

3. Agent-based model

4. Ashby

عملیات در موج چهارم انقلاب صنعتی بیشتر با جریان‌های مدیریتی و سازمانی مرتبط است، اما در حوزه‌های فناوری به مهندسی صنایع و تحقیقات علم اطلاعات نیز نزدیک می‌شود. بدین‌ترتیب، تمرکز بر دیدگاه‌های چندرشته‌ای امری حیاتی است؛ زیرا امکان دارد موج چهارم انقلاب صنعتی نیازمند ویژگی‌های رشته‌های گوناگون در تحقیقات مدیریت عملیات باشد. با انجام این کار، مدیران عملیاتی مسائل گسترده‌تری را بررسی می‌کنند و روش‌های جدیدتری را برای پشتیبانی عملکردشان به‌کار می‌گیرند.

۲. نتایج نظرسنجی و تحلیل داده‌ها

برای تکمیل تحلیل مطالب خود، از محققان رشته‌های مختلف، در انواع تحقیقات متفاوت موج چهارم انقلاب صنعتی که در شکل ۱ آمده است، نظرسنجی کردیم. افزون بر درک بینش‌های مختلف دربارهٔ موج چهارم انقلاب صنعتی در رشته‌های تحقیقاتی مختلف، به بررسی سؤال دوم پژوهش نیز می‌پردازیم (تفاوت‌ها و اشتراکات مطالعات پیرامون موج چهارم انقلاب صنعتی در بین رشته‌های گوناگون با نگاهی بر مدیریت عملیات (مهندسی، مدیریت، کنترل و علم داده) چیست؟)

هدف از این پژوهش تحلیل نظرسنجی و مقالات با محوریت کشف فرصت‌های تحقیقاتی در چارچوب موج چهارم انقلاب صنعتی برای محققان مدیریت عملیات است. با محوریت سؤالات تحقیق و تحلیل مقالات پرسش‌نامه‌ای (پیوست ۱) طراحی کردیم تا اشتراکات و تفاوت‌های بین‌رشته‌ای ازجمله روش‌های تحقیق و فرصت‌های تحقیق را در تحقیقات موج چهارم انقلاب صنعتی بررسی کنیم.

۲-۱. اهداف نظرسنجی

در نهمین کنفرانس IFAC MIM ۲۰۱۹[۱]، که در برلین برگزار شد، از ۲۳۸ محقق در زمینه‌های کنترل خودکار (۴۴ پاسخ‌دهنده)، کامپیوتر و علوم اطلاعات (۱۲ پاسخ‌دهنده)، مهندسی صنایع و مکانیک (۱۴۴ پاسخ‌دهنده)، تحقیق در عملیات (۹۲ پاسخ‌دهنده) و مدیریت عملیات (۲۱۶ پاسخ‌دهنده) نظرسنجی کردیم (پرسش‌نامه را در پیوست ۱ و نتایج آن را در پیوست ۲ ملاحظه کنید).

هدف از این نظرسنجی تشخیص جریان‌های تحقیقاتی متنوع در موج چهارم انقلاب صنعتی در جامعهٔ محققان مدیریت عملیات و ایجاد ساختار متمایزکننده برای تجزیه‌وتحلیل تحقیق بود. تلاش ما بر این است که فراتر از دانش موجود پیش برویم و با آینده‌نگری، مسیرهای تحقیقات آتی را در این زمینه پیش‌بینی کنیم. کنفرانسِ MIM ۲۰۱۹ به‌طور ویژه چندمحوری است؛ بنابراین بستری عالی برای انجام این نظرسنجی است. یکی دیگر از ویژگی‌های این کنفرانس، بین‌المللی‌بودن آن است که شرکت‌کنندگانی از ۵۱ کشور از هر ۷ قاره در آن حضور دارند. ما ۲۰۴ پاسخ از شرکت‌کنندگان کنفرانس مذکور و ۳۴ پاسخ از محققان ارشد گروه خودمان، که پیرامون موج چهارم انقلاب صنعتی مطالعه می‌کردند، دریافت کرده‌ایم که درمجموع ۲۳۸ پاسخ از ۴۳ کشور را تشکیل می‌دهد (نمودار ۱).

ده کشور با بیشترین شرکت‌کننده عبارت بودند از: فرانسه (۳۸)، آلمان (۲۵)، ایالات‌متحده (۲۲)، چین (۱۷)، ایتالیا (۱۷)، روسیه (۱۴)، برزیل (۹)، هند (۷)، پرتغال (۷) و انگلستان (۷). به تفکیک قاره، ۱۵۲ پاسخ از اروپا (۶۴٪ از تعداد کل پاسخ‌ها)، ۳۴ پاسخ از آسیا (۱۴٪)، ۳۰ پاسخ از امریکای شمالی (۱۳٪)، ۱۳ پاسخ از امریکای جنوبی (۵٪) و ۱۰ پاسخ از افریقا (۴٪) به‌دست آوردیم.

۲-۲ نتایج نظرسنجی

در این بخش نتایج را تحلیل خواهیم کرد. آمار دقیق در پیوست ۲ ارائه شده است.

پرسش ۱: کدام بخش از صنعت در کشور شما، بیشترین تأثیر را از انقلاب صنعتی چهارم داشته است؟

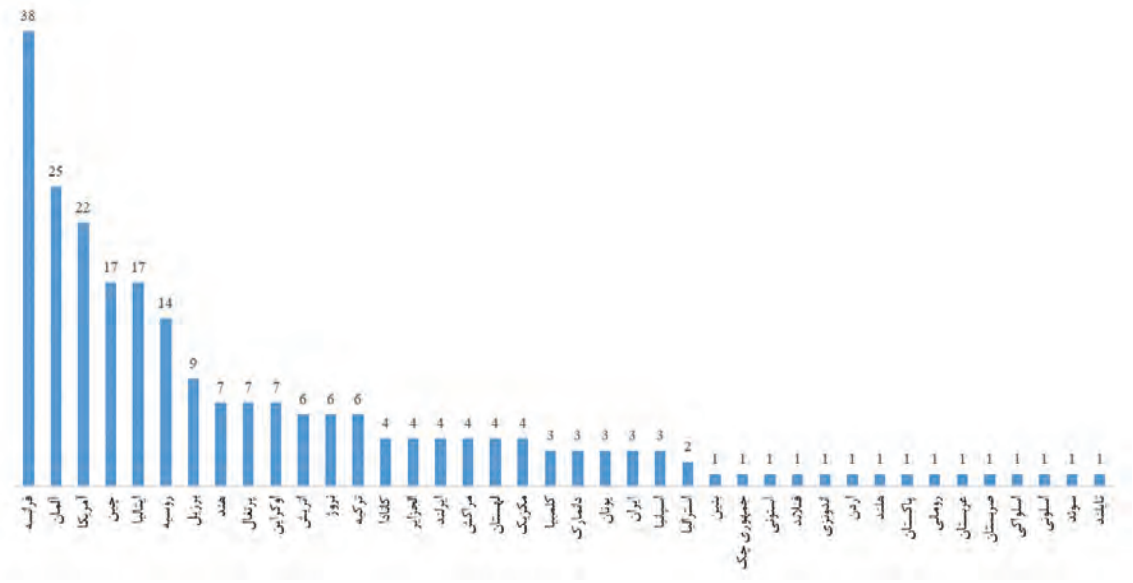
طبق نظریات محققان، کاربردهای موج چهارم انقلاب صنعتی عمدتاً در خودرو، لجستیک، خدمات فنّاوری اطلاعات و ارتباطات، ماشین‌آلات و مراقبت‌های بهداشتی دیده می‌شود. درعین‌حال، بخش‌هایی مانند غذا و نوشیدنی، مد، آهنگری و شیمی هنوز فاقد پیشرفت‌های نوآورانهٔ موج چهارم انقلاب صنعتی هستند. پیوست ۲ جزئیات بیشتری را نشان می‌دهد.

پرسش ۲: موانع مهم در پذیرش انقلاب صنعتی چهارم در کشور شما چیست؟

پاسخ‌ها نشان می‌دهند که درک ناکافی از موج چهارم انقلاب صنعتی، کمبود چشم‌انداز راهبردی، کمبود کارکنان شایسته با مهارت‌های موردنیاز و دسترسی‌نداشتن به سرمایه، محدودیت‌های اصلی هستند. در تحقیقات گذشته مشخص شده است که نیاز به سرمایه‌گذاری پرریسک برای ایجاد موج چهارم انقلاب صنعتی، شفافیت‌نداشتن درمورد منافع اقتصادی، مشکلات یکپارچه‌سازی زنجیرهٔ ارزش، کمبود زیرساخت و نبود مهارت‌های دیجیتال و فرهنگ دیجیتال محدودیت‌های جدی بر سر راه موج چهارم انقلاب صنعتی هستند (Frank et al., 2019; Raj et al., 2020). جزئیات بیشتر در پیوست ۲ مشاهده می‌شود.

---

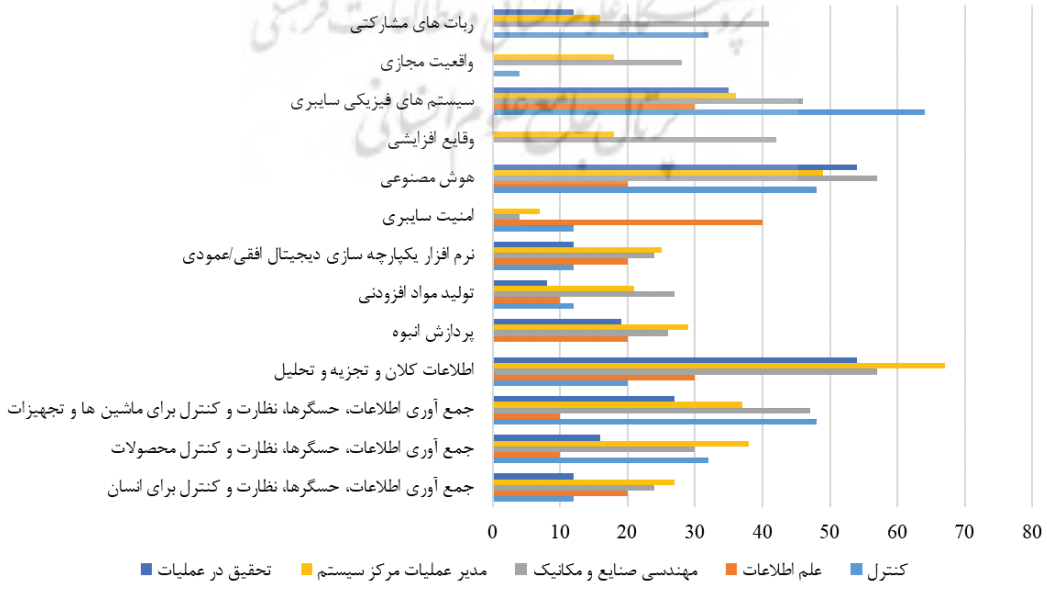
۱. هدف MIM ۲۰۱۹، گردهم‌آوردن محققان و متخصصان در مهندسی صنایع، تولید، تحقیقات عملیات، مدیریت زنجیرهٔ تأمین و علوم کامپیوتر برای ارائه و بحث درمورد موضوعات نوظهور در مدل‌سازی، مدیریت و کنترل تولید مدرن بوده است. این کنفرانس مانند کنفرانس‌ها و سمپوزیوم‌های قبلی IFAC (فدراسیون بین‌المللی کنترل خودکار)، که در آلمان برگزار شد، در حوزهٔ تولید و لجستیک برگزار شده است.



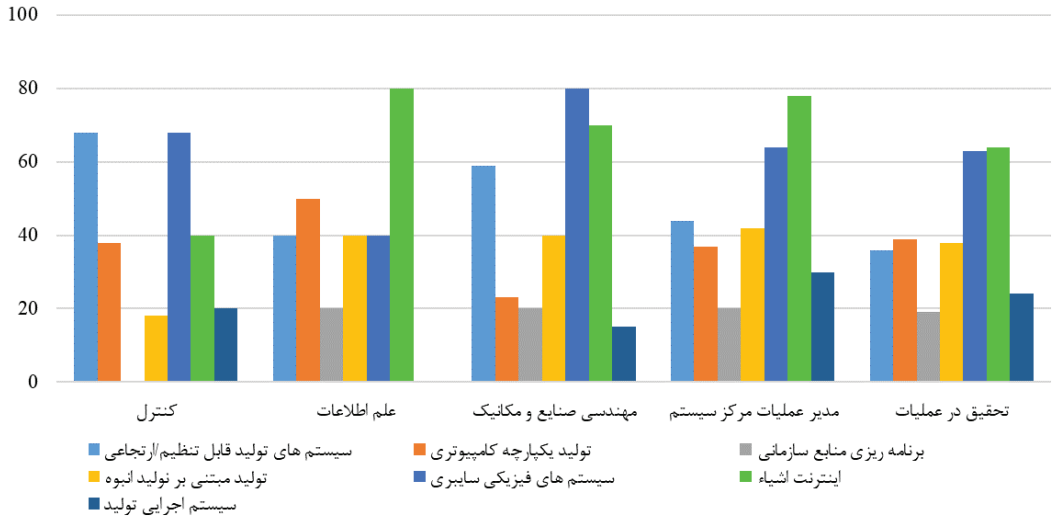
نمودار ۱: فراوانی شرکت‌کنندگان در نظرسنجی به تفکیک کشور

پرسش ۳: در دو سال گذشته کدام‌یک از فنّاوری‌های زیر را در انقلاب صنعتی چهارم بررسی آزمایش یا پیاده‌سازی کرده‌اید؟

پاسخ در نمودار ۲ و براساس رشتهٔ تحصیلی پاسخ‌دهندگان تحلیل شده است. نمودار ۲ و پیوست ۲ نشان می‌دهند که تحلیل اطلاعات، هوش مصنوعی و سیستم‌های فیزیکی ـ سایبری ازجمله فناوری‌های موج چهارم انقلاب صنعتی هستند که بیشترین مطالعات را در بین رشته‌ها به خود اختصاص داده‌اند. کنترل و رصد داده‌ها یکی دیگر از حوزه‌های موج چهارم انقلاب صنعتی است که به‌نظر می‌رسد در تحقیقات مورد توجه قرار گرفته است. درعین‌حال، فناوری‌هایی مانند تولید افزایشی، واقعیت افزوده و روبات‌های همکار نسبتاً در دست تحقیق هستند. تنوع بین‌رشته‌ای در پذیرش فناوری موج چهارم انقلاب صنعتی مشهود است. از طرفی نیز رشته مهندسی صنایع و مکانیک تا حد زیادی بر فناوری‌های مهندسی مانند سامانه‌های فیزیکی-سایبری، روبات‌ها، واقعیت افزوده و تولید افزایشی متمرکز شده



نمودار ۲: آمارهای بین‌رشته‌ای دربارهٔ بررسی / پیاده‌سازی فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم



نمودار ۳: آمار بین‌رشته‌ای دربارهٔ فناوریهای انقلاب صنعتی چهارم

است. اما مدیریت عملیات به‌ویژه به فناوری‌های مرتبط با علم داده مانند تجزیه‌وتحلیل داده‌های کلان و هوش مصنوعی توجه دارد. به‌نظر می‌رسد به سایر فناوری‌های علم داده، مانند امنیت سایبری، در میان محققان مدیریت عملیات چندان توجه نشده است. این نتیجه مطابق با تحلیل مطالب ما بوده و در بخش ۲ گزارش شده است.

پرسش ۴: کدام‌یک از فناوری‌ها یا گرایش‌های زیر را مرتبط با انقلاب صنعتی چهارم می‌دانید؟

نمودار ۳ و پیوست ۲ نشان می‌دهند که دیدگاه‌های محققان دربارهٔ موج چهارم انقلاب صنعتی متفاوت بوده است. فناوری‌هایی مانند سیستم‌های فیزیکی ـ سایبری و اینترنت اشیا تقریباً در همهٔ رشته‌ها مورد توجه‌اند. محققان مهندسی صنایع و مکانیک و کنترل بر نقش سیستم‌های تولید با قابلیت پیکربندی مجدد[1] و سیستم تولید انعطاف‌پذیر تأکید می‌کنند؛ درحالی‌که محققان مدیریت عملیات به تولید انبوه اهمیت بیشتری می‌دهند (یعنی مدلی برای امکان دسترسی آسان به شبکه در همه‌جا و براساس تقاضا در یک مجموعهٔ مشترک از منابع تولید با قابلیت پیکربندی […] که می‌تواند با حداقل تلاش مدیریتی یا تعامل با ارائه‌دهندهٔ خدمات به‌سرعت تهیه و ارائه شود (Xu, 2012)).

پرسش ۵: به نظر شما کدام زمینه‌ها در انقلاب صنعتی چهارم به توجه فوری تحقیقات دانشگاهی نیاز دارند؟

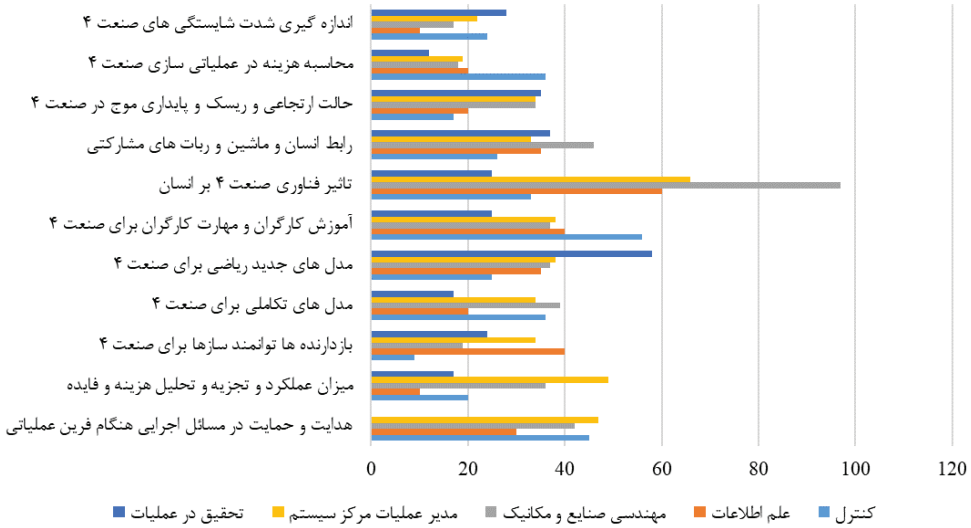
برخی از اشتراکات و تفاوت‌ها در دیدگاه محققان در زمینهٔ اولویت موج چهارم انقلاب صنعتی در نمودار ۴ و پیوست ۲ آمده است.

متخصصان پژوهش عملیاتی طرفدار مدل‌های ریاضی جدید برای موج چهارم انقلاب صنعتی و همچنین انعطاف‌پذیری، اثر موج و تحلیل ریسک در سیستم‌ها هستند. محققان مهندسی صنایع و مکانیک و کنترل به اهمیت جنبه‌های انسانی در سیستم‌ها اشاره دارند. پژوهشگران علم داده مطالعهٔ بازدارنده‌ها و توانمندسازهای موج چهارم انقلاب صنعتی و همچنین اجرای عملی آن را در اولویت قرار می‌دهند. محققان مدیریت عملیات بر اهمیت محاسبات هزینه ـ فایده، اندازه‌گیری عملکرد و پیاده‌سازی عملی تأکید می‌کنند. این دیدگاه‌ها در سایر رشته‌ها مشترک‌اند. به‌طورکلی، مسائل پیاده‌سازی، تحلیل هزینه ـ عملکرد، عوامل انسانی، مدل‌های جدید ریاضی و تاب‌آوری/ ریسک موضوعات تحقیقاتی برجسته‌ای در موج چهارم انقلاب صنعتی هستند.

پرسش ۶: گام بعدی چگونه است؟ کدام‌یک از الگوهای زیر را برای موج پنجم انقلاب صنعتی مناسب می‌دانید؟

نمودار ۵ و پیوست ۲ نشان می‌دهند که همسوشدن هوش انسان و ماشین برای خلق صنعتی مشارکتی با استفاده از رابط‌های انسان ـ ماشین به‌منزلهٔ دو حوزهٔ تحقیقاتی اصلی در موج بعدی متصور خواهد بود. از دیگر توانمندسازی‌های مهم آن دوران می‌توان به هوش مصنوعی، پایداری و اقتصاد چرخشی و انعطاف‌پذیری زنجیرهٔ تأمین اشاره کرد. انعطاف‌پذیری زنجیرهٔ تأمین به‌ویژه در میان محققان مدیریت عملیات، که به‌شدت طرفدار مباحث پایداری و اقتصاد چرخشی هستند، بازتاب خود را نشان می‌دهد. مطالعهٔ همکاری‌های انسان و ماشین تا حد زیادی بر دیدگاه‌های محققان مهندسی صنایع و مکانیک استوار است؛ درحالی‌که متخصصان علم داده‌ها بر هوش مصنوعی و پایداری تمرکز می‌کنند که البته تاحدی با دیدگاه‌های مدیریت عملیات در تضاد است. تحقیق

۱. یک سیستم تولیدی که به‌سرعت تغییر می‌کند و تکامل می‌یابد تا ظرفیت بهره‌وری و عملکرد خود را تنظیم می‌کند.



نمودار ۴: آمار بین‌رشته‌ای درمورد تحقیقات ضروری انقلاب صنعتی چهارم

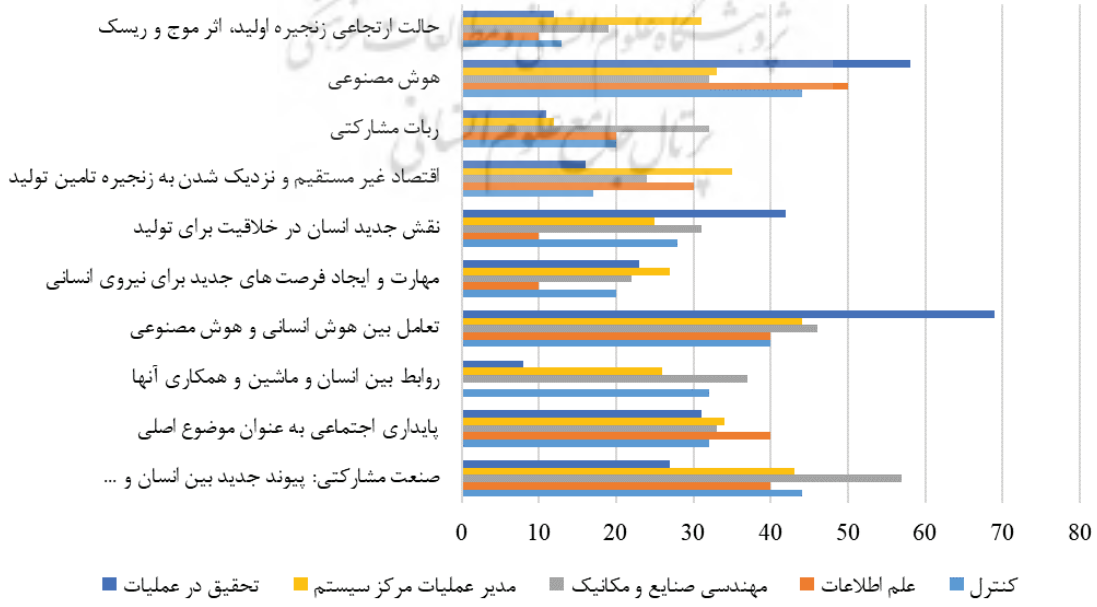
در عملیات، کنترل و مهندسی صنایع و مکانیک نظریات مشابهی درمورد تعامل هوش مصنوعی و هوش انسانی دارند.

پرسش ۷: به نظر شما کدام روش برای چنین تحقیقاتی مناسب به‌نظر می‌رسد؟

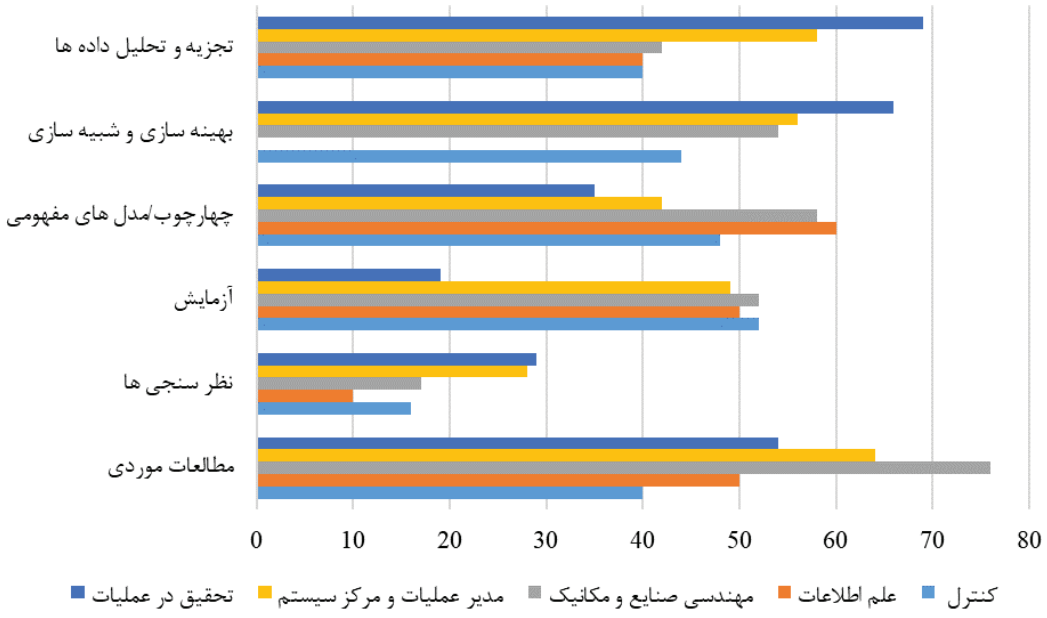
در شکل نمودار ۶ و پیوست ۲، مشاهده می‌کنیم که مطالعات موردی، مؤلفه‌ای مهم در تحقیقات موج چهارم انقلاب صنعتی به‌ویژه در بین محققان مهندسی صنایع و مکانیک و مدیریت عملیات است. متخصصان پژوهش عملیاتی، بهینه‌سازی، شبیه‌سازی و تحلیل اطلاعات را به‌منزلهٔ روش‌های تحقیق پیشنهادی برای حل مشکلات عملیاتی مرتبط با موج چهارم انقلاب صنعتی گزارش می‌کنند. متخصصان کنترل و مهندسی صنایع و مکانیک بر طرح‌های آزمایشی تأکید دارند؛ درحالی‌که محققان علم داده‌ها بر اهمیت ایجاد چهارچوب‌ها و مدل‌های مفهومی تأکید می‌کنند.

۳-۲. ساختار نتایج نظرسنجی

اکنون تحلیل خود را از پاسخ‌های نظرسنجی براساس چهارچوب سه‌بعدی موج چهارم انقلاب صنعتی مطابق با آنچه در شکل ۲ آمده ارائه می‌کنیم.



نمودار ۵: آمار بین‌رشته‌ای در زمینه‌های تحقیقاتی آیندهٔ انقلاب صنعتی چهارم



نمودار ۶: آمار بین‌رشته‌ای دربارهٔ روش‌های تحقیق انقلاب صنعتی چهارم

مدیریت در عصر چهارم انقلاب صنعتی: متخصصان پژوهش عملیاتی خواستار مدل‌های ریاضی جدید برای انعطاف‌پذیری زنجیرهٔ تأمین، اثر موج و تحلیل ریسک در سیستم‌های موج چهارم انقلاب صنعتی هستند. جنبه‌های انسانی در ساخت و به‌طورکلی رابطهٔ انسان و ماشین دیدگاه‌های محققان مهندسی صنایع و مکانیک را شکل می‌دهد. شکل‌گیری سیستم‌های خودسازمان‌ده و خودسازگار با استفاده از هم‌ترازی‌های هوش مصنوعی و انسانی معمولاً در پژوهش عملیاتی، کنترل و مهندسی صنایع و مکانیک، درحکم اصول مدیریت جدید مرتبط با موج چهارم انقلاب صنعتی دیده می‌شود. متخصصان علم داده‌ها عمدتاً بر هوش مصنوعی و توانایی پایدار تمرکز می‌کنند که با دیدگاه‌های مدیریت عملیات در تلاقی است. محققان مدیریت عملیات و همچنین علم داده بر اهمیت محاسبات هزینه ـ فایده، اندازه‌گیری عملکرد و اجرای مسائل فنی مربوط به پیاده‌سازی تأکید می‌کنند. به‌طورکلی، مسائل پیاده‌سازی، تحلیل عملکرد و هزینه، عوامل انسانی، و انعطاف‌پذیری/ ریسک موضوعاتی اصلی هستند که محققان در همهٔ رشته‌ها، آن‌ها را در حوزهٔ مدیریت موج چهارم انقلاب صنعتی بسیار ضروری می‌دانند.

سازمان در عصر چهارم انقلاب صنعتی: محققان مهندسی صنایع و مکانیک و کنترل نقش سیستم‌های تولید با قابلیت پیکربندی مجدد و سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر را به‌منزلهٔ شکل‌های رایج تولید در موج چهارم انقلاب صنعتی می‌دانند؛ درحالی‌که محققان مدیریت عملیات، در پاسخ‌های خود بر تولید انبوه تأکید دارند. در تمامی رشته‌ها، ایجاد یک صنعت مشارکتی با استفاده از رابط‌های ماشینی ـ انسانی، و نیز توجه به پایداری و اقتصاد چرخشی و منعطف، مهم‌ترین و ضروری‌ترین موضوعات تحقیقاتی هستند. انعطاف‌پذیری موضوعی مهم در موج چهارم انقلاب صنعتی است؛ به‌ویژه برای محققان مدیریت عملیات که از پایداری و اقتصاد چرخشی به‌شدت حمایت می‌کنند. همکاری‌های انسان و ماشین بر دیدگاه‌های محققان مهندسی صنایع و مکانیک، از نظر ایجاد چهارچوب‌های جدید سازمانی در عصر موج چهارم انقلاب صنعتی تأثیر بسزایی خواهد داشت.

فناوری‌های عصر چهارم انقلاب صنعتی: تحلیل داده‌های کلان، هوش مصنوعی و سیستم فیزیکی ـ سایبری ازجمله فناوری‌های موج چهارم انقلاب صنعتی هستند که در تمامی رشته‌های تحقیقاتی از آن‌ها نام برده می‌شود. رصد و کنترل داده‌ها نیز کاربرد زیادی در تحقیقات انقلاب صنعتی چهارم داشته است. فناوری‌های مهندسی مانند سیستم فیزیکی ـ سایبری، ربات‌ها، واقعیت افزوده، و تولید افزایشی عمدتاً در مهندسی صنایع و مکانیک به‌کار می‌روند، درحالی‌که بر فناوری‌های تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در مدیریت عملیات تأکید شده است. متخصصان کنترل بیشتر به سیستم فیزیکی ـ سایبری و رصد و کنترل داده‌ها توجه می‌کنند؛ زیرا بر جریان‌های اصلی تحقیقات در کنترل خودکار و بازخوردمحور تمرکز می‌کنند. اگرچه برخی از مشترکات تقریباً در همهٔ رشته‌ها مشاهده می‌شوند (مانند سیستم فیزیکی ــ سایبری، اینترنت اشیا و تحلیل داده) اما دیدگاه‌های محققان دربارهٔ فناوری‌های موج چهارم انقلاب صنعتی متفاوت است.

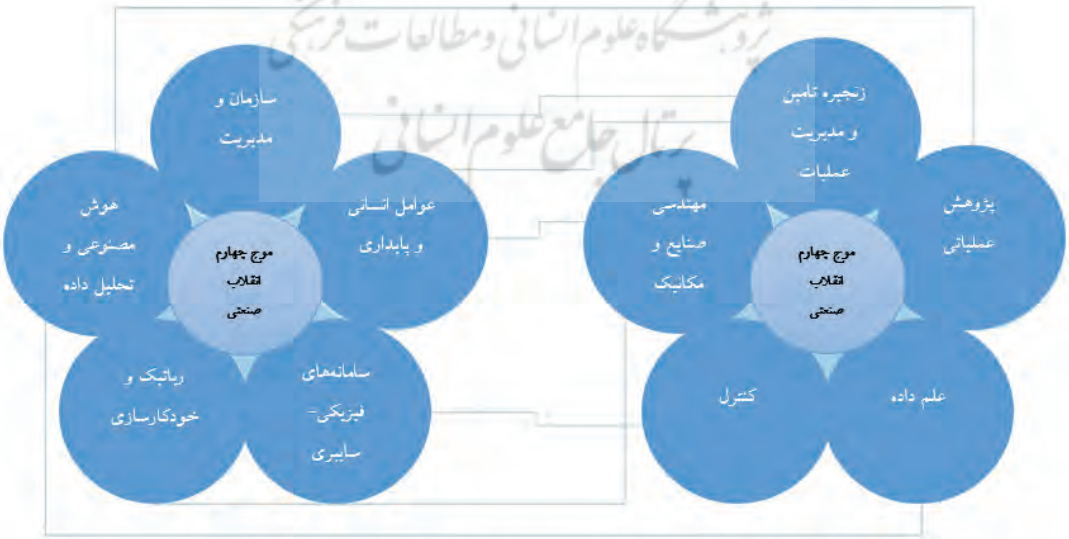
همچنین تحلیل از دیدگاه فناوری (پرسش‌های سوم و

جدول ۲: تحقیق انقلاب صنعتی چهارم در تمام رشته‌ها

حوزهٔ پژوهشی (رشته)	روش‌شناسی پژوهش	فناوری مربوطه	حوزه‌های پژوهشی آتی
مدیریت عملیات	مطالعات موردی	اینترنت اشیا و سامانه‌های فیزیکی ـ سایبری	ـ تعامل بین هوش انسانی و هوش مصنوعی؛ ـ صنعت مشارکتی: پیوندی جدید بین انسان و فناوری
تحقیق در عملیات	تحلیل داده/ بهینه‌سازی و شبیه‌سازی	اینترنت اشیا و سامانه‌های فیزیکی ـ سایبری	ـ تعامل بین هوش انسانی و هوش مصنوعی؛ ـ اقتصاد چرخشی و زنجیره‌های تأمین حلقهٔ بسته
کنترل	آزمایش	سامانه‌های فیزیکی ـ سایبری و سامانه‌های تولید قابل پیکربندی مجدد (RMS)	ـ هوش مصنوعی؛ ـ صنعت مشارکتی: پیوندی جدید بین انسان و فناوری
مهندسی صنایع و مکانیک	مطالعات موردی	اینترنت اشیا و سامانه‌های فیزیکی ـ سایبری	ـ صنعت مشارکتی: پیوند جدید بین انسان و فناوری. ـ تعامل بین هوش انسانی و هوش مصنوعی
علم داده	چهارچوب‌های مفهومی (روش کیفی)	اینترنت اشیا	ـ هوش مصنوعی؛ ـ صنعت مشارکتی: پیوندی جدید بین انسان و فناوری

چهارم نظرسنجی)، تحقیقات آینده (پرسش‌های پنجم و ششم نظرسنجی) و روش‌های تحقیق (پرسش هفتم نظرسنجی) بررسی می‌شود. به‌طورکلی، نتایج نظرسنجی (از پرسش سوم تا هفتم) نشان می‌دهند که رشته‌های مختلف درک مشترکی از موضوعات تحقیقاتی آینده و دیدگاه مشترکی درمورد فناوری‌های توانمند دارند، اما از دیدگاه‌های روش‌شناختی متفاوتی استفاده می‌کنند. در جدول ۲ یافته‌ها گروه‌بندی شده‌اند.

در راستای گفتهٔ پل والری که «بیایید با پذیرش متقابل تفاوت‌ها خودمان را غنی کنیم» و با توجه به مطالعات اخیر کومار و همکاران (2018)، چوی و همکاران (2018) و کاچون



حوزه‌های پژوهشی در زمینه موج چهارم انقلاب صنعتی — رشته‌های پژوهشی در زمینه موج چهارم انقلاب صنعتی

شکل ۳: حوزه‌ها و شاخه‌های تحقیق در موج چهارم انقلاب صنعتی

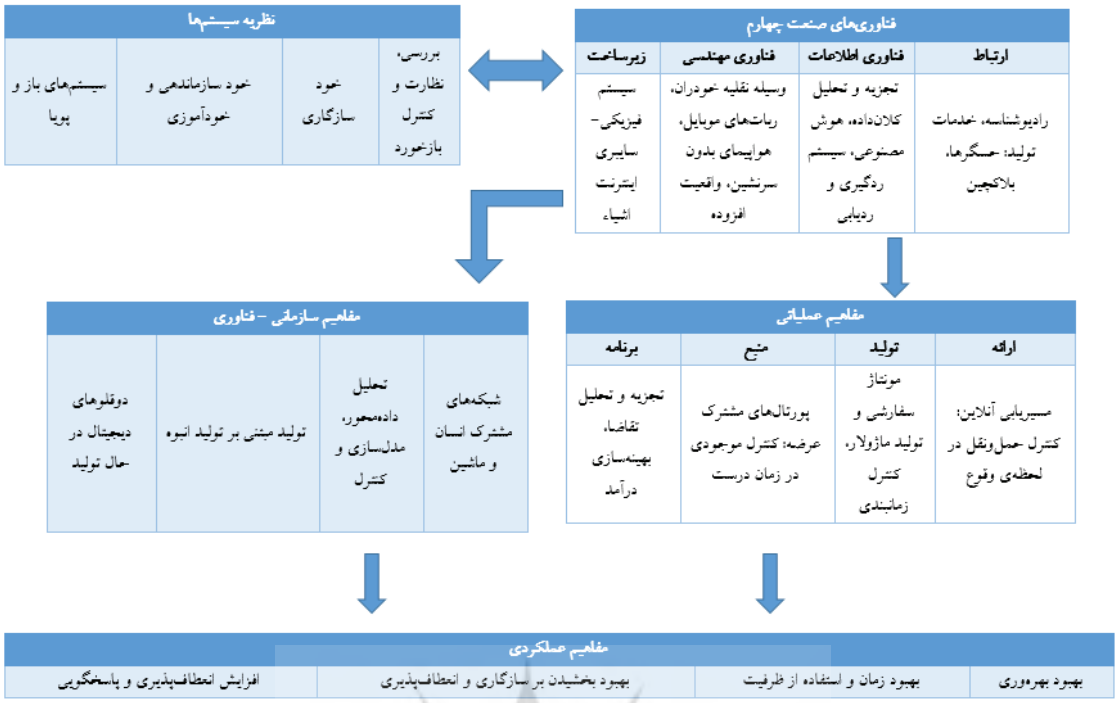
جدول ۳: تعامل بین حوزههای تحقیقاتی مدیریت عملیات و رشته‌های تحقیقاتی در زمینهٔ موج چهارم انقلاب صنعتی

	علم اطلاعات	علم اطلاعات	علم اطلاعات مهندسی صنایع و مکانیک	علم اطلاعات	کنترل، علم اطلاعات	علم اطلاعات مهندسی صنایع و مکانیک	علم اطلاعات	علم اطلاعات	کنترل مهندسی صنایع و مکانیک	علم داده، کنترل	علم داده، کنترل
	فناوری ارتباطات			فناوری داده			فناوری مهندسی			زیرساخت	
گرایش‌ها/ حوزه‌های مدیریت عملیات	شناسایی فرکانس رادیویی	بلاکچین	تولید هوشمند	پردازش ابری	ماشین به ماشین	سیستم ردگیری ردیابی	هوش مصنوعی	تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ	واقعیت افزوده	ربات‌های موبایل	وسیله نقلیه خودران	پرینت ۳ بعدی	اینترنت اشیاء	سیستم فیزیکی سایری
پیش‌بینی تقاضا							LS	LS						
استراتژی توزیع و حمل‌ونقل		S				S	S			S	S	S		
مدیریت موجودی و انبارداری	LS		S				LS	LS	S	LS	LS	S		
طراحی فرایند		S	S	S	S				S	LS	LS	S	S	S
برنامه‌ریزی و کنترل تولید			S	S	S		S					S	S	S
استراتژی تولید												S	S	
مدیریت کیفیت			S				S		S			S		
مدیریت درآمد		S					LS	LS						
فروش و برنامه‌ریزی عملیات							S	S						
برنامه‌ریزی و مسیریابی			S	LS			LS			LS	LS			
استراتژی منبع‌یابی							S	S				LS	S	
طراحی زنجیرهٔ تأمین		S		S								S		
مدیریت ریسک زنجیره تأمین	LS	LS		S	LS		LS	LS				S		S

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

و همکاران (2020)، که از تحقیقات چند رشته‌ای در مدیریت عملیات حمایت می‌کنند، همکاری چندرشته‌ای به‌منزلهٔ کلیدی برای پیشرفت‌های بیشتر مدیریت عملیات در عصر چهارم انقلاب صنعتی در نظر گرفته می‌شود. با پیونددادن بحث بعدی به جدول ۲ و تحلیل پاسخ‌هایمان به پرسش‌های سوم تا هفتم در بخش ۲-۲ گمانه‌هایی مستدل از همکاری‌های احتمالی بین‌رشته‌ای برای موضوعات انتخابی مدیریت عملیات ارائه خواهد شد.

در جدول ۲ نشان داده شده که توسعهٔ موج چهارم انقلاب صنعتی ممکن است به‌ویژه به تعاملات بین هوش انسانی و هوش مصنوعی همراه با صنعت مشارکتی براساس سیستم‌های انسان و ماشین توجه داشته باشد. رویکردهای چند روش‌شناختی، ازجمله چهارچوب‌های مفهومی، مطالعات موردی و آزمایش‌ها، رایج



شکل ۴: روابط متقابل جریان‌های تحقیقات مدیریتی، فناورانه و سازمانی در عصر چهارم انقلاب صنعتی

خواهند بود. به‌طورکلی، پنج حوزهٔ تحقیقاتی اصلی و پنج رشتهٔ اصلی با موج چهارم انقلاب صنعتی را طبقه‌بندی کرد (شکل ۳).

با استفاده از تحلیل و بررسی ادبیات پژوهش، برخی ارتباطات بین حوزه‌های مختلف مدیریت عملیات و رشته‌های تحقیقاتی در زمینهٔ موج چهارم انقلاب صنعتی نشان داده شده است (جدول ۳). اطلاعات جدول ۳ براساس یافته‌های ادبیات پژوهش طبقه‌بندی شده و تحلیل به شرح زیر است:

(۱) LS:[1] رابطه هم در نظرسنجی و هم در بررسی مبانی نظری تحقیق شناسایی شده است.

(۲) S:[2] رابطه براساس یافته‌های نظرسنجی کنفرانس شناسایی شده، اما در مبانی نظری پیدا نشده است.

(۳) خالی:[3] رابطهٔ بالقوه‌ای وجود دارد که در یافته‌های نظرسنجی و تحلیل مبانی نظری تحقیق شناسایی نشده است.

براساس طبقه‌بندی فوق، سلول‌های علامت‌گذاری‌شده با «LS» را می‌توان به‌منزلهٔ وضعیت فعلی تحقیق موج چهارم انقلاب صنعتی تفسیر کرد. سلول‌های علامت‌گذاری‌شده با S نشان‌دهندهٔ شکاف‌های تحقیقاتی هستند (یعنی موضوعی که پاسخ‌دهندگان شناسایی کرده‌اند و هنوز در مقالات پیدا نشده است) و سلول‌های خالی را می‌توان موضوعات بالقوهٔ تحقیقات آینده در نظر گرفت. اجازه دهید چند مثال گویا را در نظر بگیریم. توجه داشته باشید که طراحی فرایند و برنامه‌ریزی و کنترل تولید نیازمند ملاحظات **سیستم فیزیکی سایری** و اینترنت اشیا همراه با ارتباط ماشین‌ها با یکدیگر (M2M)، خدمات تولید ابری و محصولات هوشمند است. به‌این‌ترتیب، همکاری بین محققان مدیریت عملیات و محققان در رشته‌های مهندسی صنایع و مکانیک، علم داده و کنترل گام بزرگی به جلو خواهد بود. در مرحلهٔ بعد، توجه کنید که استراتژی‌های جدید منبع‌یابی و توزیع را می‌توان با استفاده از تولید افزایشی، بلاکچین و هوش مصنوعی توسعه داد، که خواستار همکاری نزدیک‌تر بین محققان مدیریت عملیات با محققان مهندسی صنایع و مکانیک و علم داده‌هاست.

مدیریت و سازمان، رباتیک و اتوماسیون، هوش مصنوعی و تحلیل اطلاعات، توسعهٔ پایدار و عوامل انسانی، و سیستم فیزیکی _ سایبری متعلق به حوزه‌های تحقیقاتی موج چهارم انقلاب صنعتی هستند. تحقیقات در این زمینه‌ها در بین رشته‌های مختلف وجود دارد (برخی از روابط در شکل ۳ آمده است). بدیهی است که همکاری‌های چندرشته‌ای در هریک از این حوزه‌ها مفید است.

شکل ۳ و جدول ۳ یافته‌های تحلیلی و بررسی اطلاعات ما را با یکدیگر ترکیب می‌کنند تا تأثیر موج چهارم انقلاب صنعتی را در حوزه‌های مختلف مدیریت عملیات، فرصت‌های تحقیقاتی و

1. ‘LS’ = linkage demonstrated by the current state of I4.0 research

2. ‘S’ = linkage identified by our respondents and yet it is not find in the literature

3. ‘Blank’ = potential future research topics.

موضوعات تحقیقاتی آینده، و فرصت‌های همکاری چندرشته‌ای بررسی کند. شکل ۴ نقاط تلاقی جریان‌های تحقیقاتی مدیریت، فناوری و سازمان را در انقلاب صنعتی چهارم خلاصه می‌کند. جدول ۳ تأثیر انقلاب صنعتی چهارم بر مدیریت عملیات را خلاصه می‌کند.

شکل ۴، مطابق با تحلیل اطلاعات ما و بر اساس چهارچوب سه‌بعدی موج چهارم انقلاب صنعتی (ر.ک. شکل ۱)، پیامدهای اصلی موج چهارم انقلاب صنعتی را از دیدگاه‌های مدیریتی، سازمانی و عملیاتی نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنیم که تحقیقات موج چهارم انقلاب صنعتی از اصول تئوری‌های بنیادی متنوع مانند تشکیل سیستم‌های باز و پویا، خودسازمان‌دهی، خودانطباقی و خودآموزی و همچنین، نظارت و کنترل بازخورد استفاده می‌کند. شکل ۴ چهارچوب موج چهارم انقلاب صنعتی را در چهار حوزهٔ مختلف یعنی زیرساخت، فناوری مهندسی، فناوری اطلاعات و ارتباطات طبقه‌بندی می‌کند. موج چهارم انقلاب صنعتی طرح‌های سازمانی ـ فناورانهٔ جدیدی مانند تولید ابری، دوقلوهای دیجیتال، مدل‌سازی داده‌محور و صنعت مشارکتی را مطرح می‌کند. در سطح عملیاتی، مفاهیم موج چهارم انقلاب صنعتی را براساس فرایندهای SCOR (طرح، منبع، ساخت، ارائه)[1] طبقه‌بندی می‌کنیم. درنهایت شکل ۴ مفاهیم عملکرد اصلی استفاده از موج چهارم انقلاب صنعتی را که برگرفته از بررسی داده‌های تحقیق حاضر است، شناسایی می‌کند. شکل ۳ همچنین عناصر جدیدی را به مدیریت عملیات اضافه می‌کند. این موارد شامل اصول جدید سطح سازمانی برای کمک به طراحی زنجیره تأمین و عملیات و همچنین روش‌ها و مدل‌های عملکردی در سطح عملیاتی برای برنامه‌ریزی، منبع‌یابی، تولید و لجستیک است.

۴-۲. بینش‌ها و فرصت‌های تحقیق در زمینهٔ مدیریت عملیات

بینش‌های اصلی و فرصت‌های تحقیقاتی برای مدیریت عملیات، که در این بخش بررسی می‌شوند، برگرفته از مطالعهٔ ما دربارهٔ سومین پرسش تحقیق است: موضوعات و فرصت‌های تحقیقاتی برای مدیریت عملیات در موج چهارم انقلاب صنعتی کدام‌اند؟

دیدگاه اول: تأثیر موج چهارم انقلاب صنعتی در مدیریت عملیات بیشتر در زمینهٔ عملیاتی و همچنین پیرامون فعالیت‌های تولیدی انسان‌محور مانند برنامه‌ریزی و کنترل تولید، مدیریت موجودی و طراحی فرایند است. تصمیم‌های راهبردی خارج از حوزهٔ تولید که گاهی با انقلاب صنعتی چهارم مرتبط می‌شوند، اغلب با تحلیل اطلاعات و هوش مصنوعی انجام می‌شوند.

فرصت‌های تحقیقاتی دیدگاه اول: سطوح عملکردی راهبردی و تاکتیکی مدیریت عملیات فاقد ملاحظات موج چهارم انقلاب صنعتی هستند. باید مؤلفه‌های مختلف موج چهارم انقلاب صنعتی را در سطوح زیرساخت فناوری اطلاعات، فناوری‌های مهندسی، فناوری داده‌ها و فناوری‌های ارتباطی بررسی کرد و با توسعهٔ الگوهای کسب‌وکار جدید برای مدیریت عملیات، موج چهارم انقلاب صنعتی را تقویت کرد و درنتیجه کار را به‌سمت تاکتیک‌ها و تصمیم‌گیری راهبردی گسترش داد. یکی دیگر از حوزه‌های تحقیقاتی نوظهور در تلاقی با موج چهارم انقلاب صنعتی و تصمیم‌های استراتژیک مدیریت عملیات، طراحی مجدد زنجیره‌های تأمین پس از تأثیرات همه‌گیری کروناست. فناوری‌های متعدد موج چهارم انقلاب صنعتی مانند روباتیک و تولید افزایشی می‌تواند از بومی‌سازی زنجیرهٔ تأمین حمایت کند که به نوبهٔ خود می‌تواند انعطاف‌پذیری را افزایش و ریسک‌های طراحی شبکه جهانی را کاهش دهد.

دیدگاه دوم: حوزه‌های تصمیم‌گیری راهبردی مدیریت عملیات فقط به‌صورت دوره‌ای با موج چهارم انقلاب صنعتی تلاقی دارند، اما فعالیت‌های عملیاتی مدیریت عملیات و روش‌های پشتیبانی تصمیم، به‌ویژه در تولید و تدارکات، احتمالاً به‌طور شایان توجهی در موج چهارم انقلاب صنعتی تغییر خواهند کرد. همچنین درحالی‌که حوزه‌های محصول‌محور عمدتاً از فناوری‌های مهندسی و زیرساخت‌های موج چهارم انقلاب صنعتی استفاده می‌کنند، حوزه‌های تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی و منبع‌یابی از فناوری‌های پردازش داده‌ها بهره می‌برند. در حوزهٔ لجستیک (هم لجستیک درون‌سازمانی و هم بین‌سازمانی)، بخش ارتباطات موج چهارم انقلاب صنعتی تا حد زیادی غالب است.

فرصت‌های تحقیقاتی دیدگاه دوم: حوزه‌های تصمیم‌گیری تولید، منبع‌یابی و تدارکات از فناوری‌های موج چهارم انقلاب صنعتی به‌صورت پراکنده استفاده می‌کنند. به‌طور خاص، برنامه‌ریزی و کنترل تولید تحت‌تأثیر زیرساخت‌های فنی موج چهارم انقلاب صنعتی مانند سیستم فیزیکی ـ سایبری، اینترنت اشیا، ساخت افزایشی، روبات‌های سیار و ارتباطات ماشین‌ها قرار دارد. منبع‌یابی، حمل‌ونقل و فروش توسط تحلیل داده‌ها و مؤلفه‌های هوش مصنوعی موج چهارم انقلاب صنعتی و همچنین فناوری‌های ارتباطی مانند خدمات ابری، بلاکچین، محصولات هوشمند و فناوری رادیو شناسه (RFID) تغییر می‌کند. در گام بعدی، می‌توان نمای زنجیرهٔ تأمین یکپارچه یا زنجیرهٔ تأمین دیجیتال را در نظر گرفت که موج چهارم انقلاب صنعتی را با زنجیرهٔ ارزش افزوده همراه می‌کند.

دیدگاه سوم: این دیدگاه مربوط است به الگوهای کسب‌وکار جدید در حوزهٔ زنجیرهٔ تأمین که به یک سیستم فیزیکی سفت‌وسخت با فعالیت‌های ثابت و ایستا متکی نیستند. در

1. plan-source-make-deliver

عوض، شرکت‌های فیزیکی مختلف خدماتی را در زمینهٔ تأمین، تولید، تدارکات و فروش ارائه می‌کنند که به تخصیص پویای فرایندها و ساختارهای زنجیرهٔ تأمین پویا می‌شود.

فرصت‌های تحقیقاتی دیدگاه سوم: تمرکز قوی بر مدل‌های توصیفی پیش‌بینی‌کننده و الگوهای تجویزی ضروری است. همچنین تحقیقات در این زمینه مستلزم همکاری‌های چندرشته‌ای با رشته‌های مهندسی، علم داده‌ها و کنترل است. تحقیقات چندرشته‌ای به تقویت الگوهای پیش‌بینی‌کنندهٔ تصمیم‌گیری مدیریت عملیات و پیشبرد آن‌ها به سمت روش‌های تجویزی مبتنی بر تبادل داده‌های هم‌زمان[1] کمک می‌کند. همکاری بین‌رشته‌ای به افزایش درک فعلی از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم به‌سمت تحلیل تصمیم، الگوسازی، کنترل و سیستم‌های یادگیری (DAMCLS) کمک می‌کند.

دیدگاه چهارم: رشته‌های مهندسی و علوم اطلاعات در زمینهٔ تحقیقات موج چهارم انقلاب صنعتی تأکید زیادی بر فناوری‌ها و پیشرفت‌های آن‌ها دارند. درک روشنی از الگوهای کسب‌وکار و اصول سازمانی و مدیریتی مربوط به آن‌ها در رشته‌های مختلف وجود ندارد؛ برای مثال میتال و همکاران (2018) و لی و همکاران (2018) نقش رهبری، ابعاد بازار و قابلیت‌های عملیاتی لازم برای پذیرش موج چهارم انقلاب صنعتی را مطالعه کردند.

فرصت‌های تحقیقاتی دیدگاه چهارم: فناوری‌های موج چهارم انقلاب صنعتی بیشتر در الگوهای کسب‌وکار موجود، اصول سازمانی و در زمینهٔ حل مشکلات مدیریتی به کار می‌روند. کمبود تحقیق دربارهٔ زمینه‌های جدید تصمیم‌گیری در فضای موج چهارم انقلاب صنعتی را می‌توان در مدیریت عملیات مشاهده کرد که بی‌شک شکافی تحقیقاتی است؛ زیرا پذیرش فناوری موج چهارم انقلاب صنعتی با تغییرات سازمانی و تحولات مدیریت عملیات ناشی از آن همراه است که نمی‌توان آن را نادیده گرفت. درک روشن تحولات جاری در موج چهارم انقلاب صنعتی و پیامدهای ناشی از آن برای مدیریت عملیات بدون دیدگاهی منسجم و چندرشته‌ای درمورد موج چهارم انقلاب صنعتی و استفاده از اصول سیستمی زیربنایی خودسازمان‌دهی، خودسازگاری و خودآموزی شاید دشوار باشد.

نتیجه‌گیری

اصطلاح موج چهارم انقلاب صنعتی تاکنون در طیف وسیعی از زمینه‌ها و رشته‌های تحقیقاتی استفاده شده است. این رشته‌ها موج چهارم انقلاب صنعتی را به گونه‌هایی متفاوت و حتی گاهی اوقات با انحراف از معنای اولیهٔ آن معرفی کرده‌اند. در این پژوهش، با تکیه بر دیدگاه‌های محققان پیشین تا به امروز و تحلیل ادبیات نظری، ارزیابی مناسبی از حوزهٔ مدیریت عملیات در عصر موج چهارم انقلاب صنعتی ارائه شده است که نشان‌دهندهٔ پتانسیل آینده بوده و محققان مدیریت عملیات را برای تحقیقات آتی برمی‌انگیزاند.

نتایج بررسی و تحلیل ادبیات نظری به‌وضوح نشان می‌دهد که تئوری، روش‌شناسی و کاربردها در موج چهارم انقلاب صنعتی در زمینه‌های مهندسی صنایع و مکانیک، تحقیقات عملیاتی، مدیریت عملیات، سیستم‌های اطلاعاتی، علم داده و تحلیل، علوم مدیریت، و علوم اجتماعی و شناختی کاربرد دارند. در ادامه، نتایج اصلی مطالعهٔ حاضر ـ با توجه به سه پرسش اصلی تحقیق که در مقدمه بیان شده است ـ به‌اختصار ارائه می‌شود.

پژوهش حاضر نشان داد که تحقیقات مدیریت عملیات متعلق به خوشه‌های اصلی در موج چهارم انقلاب صنعتی است. بااین‌حال، موضوعات مهندسی صنایع و علم داده به مدیریت عملیات نزدیک‌ترند. به‌این‌ترتیب، تمرکز بر دیدگاه‌های چندرشته‌ای ضروری است؛ زیرا موج چهارم انقلاب صنعتی احتمالاً ویژگی‌های متمایزی را در تحقیقات مدیریت عملیات به ارمغان می‌آورد که با بیش از یک روش تحقیق بررسی‌شدنی است. با انجام این کار، تصمیم‌گیرندگان مدیریت عملیات می‌توانند موضوعات گسترده‌تری را بررسی کنند و روش‌های قوی‌تر و جدیدتری را برای حمایت از تصمیم‌گیری توسعه دهند.

بعد از بررسی موضوعات موج چهارم انقلاب صنعتی در میان تحقیقات رشته‌های مهندسی صنایع، مدیریت عملیات، پژوهش عملیاتی، کنترل و علم داده‌ها، نظریات محققان درمورد استفادهٔ فعلی از روش‌های تحقیق و فناوری‌های زیربنایی، به همراه مزایا و موانع درک‌شدهٔ هریک بررسی شد. علاوه‌براین، مهم‌ترین نتایج طرح‌های تحقیقاتی در موج چهارم انقلاب صنعتی، که تا به امروز به‌دست آمده‌اند، همراه با حوزه‌هایی که نیاز به توجه فوری دانشگاهی دارند، برجسته شدند. نتایج نشان می‌دهد درحالی‌که حوزه‌های تصمیم‌گیری راهبردی مدیریت عملیات فقط به‌صورت پراکنده با موج چهارم انقلاب صنعتی برخورد دارند، فعالیت‌های عملیاتی مدیریت عملیات و روش‌های پشتیبانی تصمیم مربوطه، به‌ویژه در تولید و تدارکات احتمالاً به‌طور درخور توجهی در موج چهارم انقلاب صنعتی تغییر می‌کنند. به‌طور خاص، برنامه‌ریزی و کنترل تولید تحت تأثیر زیرساخت‌های فنی موج چهارم انقلاب صنعتی مانند سیستم فیزیکی ـ سایبری، اینترنت اشیا، تولید مواد افزودنی، روبات‌ها و روبات‌های متحرک و ارتباطات ماشین به ماشین قرار خواهد گرفت. منبع‌یابی، حمل‌ونقل و فروش، احتمالاً با تحلیل داده‌ها و مؤلفه‌های هوش مصنوعی موج چهارم انقلاب صنعتی و همچنین فناوری‌های ارتباطی مانند خدمات ابری، بلاکچین، محصولات هوشمند و فناوری رادیو شناسه تغییر خواهند کرد. درنهایت، وجود تمرکزی قوی بر تحلیل توصیفی و فقدان الگوهای تجویزی پیش‌بینی‌کننده و هم‌زمان آشکار شده است که نیازمند تعاملات چندرشته‌ای با رشته‌های مهندسی، علم داده‌ها و کنترل است.

1. Real-Time

درنهایت، بررسی شد که رشته‌های گوناگون چگونه موضوع مدیریت عملیات را در موج چهارم انقلاب صنعتی درک و مطالعه و چگونه یکدیگر را تکمیل می‌کنند. تحقیقات چندرشته‌ای می‌تواند به تقویت الگوهای پیش‌بینی‌کنندهٔ تصمیم‌گیری مدیریت عملیات و حرکت به‌سمت روش‌های تجویزی کمک کند. همکاری‌های بین‌رشته‌ای می‌تواند به پیشبرد درک فعلی سیستم‌های پشتیبانی تصمیم به سمت تحلیل تصمیم، مدل‌سازی، کنترل و توسعهٔ سیستم‌های یادگیرنده (DAMCLS) کمک کند. باید مؤلفه‌های مختلف موج چهارم انقلاب صنعتی را در سطوح زیرساخت فناوری اطلاعات، فناوری‌های مهندسی، فناوری‌های داده و فناوری‌های ارتباطی بررسی کرد و مدیریت عملیات را با توسعهٔ الگوهای تجاری جدید موج چهارم انقلاب صنعتی افزایش داد و بنابراین دامنهٔ تحقیقات استفاده از موج چهارم انقلاب صنعتی را از سطح عملیاتی به‌سمت تصمیم‌گیری تاکتیکی و راهبردی توسعه داد.

در پایان این پژوهش، متذکر می‌شود که چندین پیشرفت احتمالی در تطبیق مدیریت عملیات با واقعیت‌های موج چهارم انقلاب صنعتی در پیش است و مطالعهٔ این پدیده‌ها هم برای دانشگاه، هم برای صنعت و هم برای جامعه بسیار مهم است. مدیریت عملیات یکی از عناصر اساسی موج چهارم انقلاب صنعتی است که باید نقش و سهم آن در این زمینه پررنگ‌تر شود و برای سایر رشته‌ها مشاهده‌شدنی باشد. از سوی دیگر، محققان و شاغلان حوزهٔ مدیریت عملیات نیز می‌توانند دانش خود را افزایش دهند و از پتانسیل‌های موج چهارم انقلاب صنعتی و علم داده‌ها و مهندسی تا حد امکان استفاده کنند. انجام یک مقایسه کمّی از نحوهٔ توسعه در هر زمینهٔ تحقیقاتی ازطریق موج چهارم انقلاب صنعتی در طول زمان، می‌تواند جالب باشد. این امر نشان می‌دهد که کدام رشته از نظر تغییر واقعاً با موج چهارم انقلاب صنعتی مرتبط است. چنین تحلیلی زمینهٔ تحقیقات آتی را فراهم می‌کند. علاوه‌براین، همه‌گیری کرونا و مشکلات بی‌سابقهٔ صنایع تولیدی، اهمیت موج چهارم انقلاب صنعتی و تولید ابری، زمان‌بندی پیش از اقدام و نگاشت زنجیرهٔ تأمین[1] را به‌وضوح نشان داده است (Queiroz et al., 2020; Sokolov et al., 2020). شرکت‌های مجهز به فناوری‌های رصد محصولات و تولید و کنترل دیجیتالی در برابر تغییر و تحولات انعطاف‌پذیری بیشتری دارند و به‌عبارت‌دیگر می‌توانند سریع‌تر به تحولات محیط پاسخ دهند. تبیین رابطهٔ دیجیتالی‌شدن و انعطاف‌پذیری نشان‌دهندهٔ یک مسیر تحقیقاتی جدید است.

۱. نگاشت زنجیرهٔ تأمین فرایند تعامل بین شرکت‌ها و تأمین‌کنندگان برای مستندسازی منبع دقیق هر ماده، هر فرایند و هر محموله‌ای است که در ارائهٔ کالا به بازار دخیل است. نگاشت دقیق زنجیرهٔ تأمین فقط با ظهور نقشه‌های آنلاین و وب اجتماعی امکان‌پذیر شد. اولین پلتفرم آنلاین نگاشت زنجیرهٔ تأمین در مؤسسهٔ فناوری ماساچوست در سال ۲۰۰۸ توسعه یافت.

منابع

Alcácer, V., and Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. Engineering science and technology, an international journal, 22(3), 899-919.

Aldrighetti, R., Zennaro, I., Finco, S., and Battini, D. (2019). Healthcare supply chain simulation with disruption considerations: A case study from Northern Italy. Global Journal of Flexible Systems Management, 20(Suppl 1), 81-102. Doi: 10.1007/s40171-.019-00223-8.

Amaral, L. A. N., and Uzzi, B. (2007). Complex systems—A new paradigm for the integrative study of management, physical, and technological systems. Management science, 53(7), 1033-1035.

Anderson, P. (1999). Perspective: Complexity theory and organization science. Organization science, 10(3), 216-232.

Ashby, W. R. (1956). An Introduction to Cybernetics. London: Chapman and Hall.

Audi (2019). Flexible Montage in der Fahrzeugproduktion Die flexible Audi R8-Manufaktur mit fahrerlosen Transportfahrzeugen. Accessed 4 October 2019. https://www. plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeis piele/137-wandelbare-r8-manufaktur/beitrag-wandelbare-r8-manufaktur.html.

Barabási, A. L. (2005). Network theory--the emergence of the creative enterprise. Science, 308(5722), 639-641..

Basole, R. C., and Bellamy, M. A. (2014). Supply network structure, visibility, and risk diffusion: A computational approach. Decision Sciences, 45(4), 753-789.

Beer, S. (1985). Diagnosing the System for Organisations Wiley.

Bellmann, R. (1972). Adaptive Control Processes: A Guided Tour. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.

Ben-Daya, M., Hassini, E., and Bahroun, Z. (2019). "Internet of things and supply chain management: a literature review". International journal of

production research, 57(15-16), 4719-4742.

Bordoloi, S. K., Cooper, W. W., and Matsuo, H. (1999). “Flexibility, adaptability, and efficiency in manufacturing systems”. Production and Operations Management, 8(2), 133-150.

Buer, S. V., Strandhagen, J. O., and Chan, F. T. (2018).” The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda”. International journal of production research, 56(8), 2924-2940.

Cachon, G. P., Girotra, K., and Netessine, S. (2020). “Interesting, important, and impactful operations management”. Manufacturing and Service Operations Management, 22(1), 214-222.

Calzavara, M., D. Battini, D. Bogataj, F. Sgarbossa, and I. Zennaro. 2020. “Ageing Workforce Management in Man-ufacturing Systems: State of the Art and Future Research Agenda.” International Journal of Production Research 58 (3): 729–747.

Camarinha-Matos, L. M. (2009). “Collaborative networked organizations: Status and trends in manufacturing”. Annual Reviews in Control, 33(2), 199-208.

Casti, J. L. (1979). Connectivity, complexity and catastrophe in large-scale systems (Vol. 7). John Wiley and Sons.

Cavalcante, I. M., Frazzon, E. M., Forcellini, F. A., and Ivanov, D. (2019). “A supervised machine learning approach to data-driven simulation of resilient supplier selection in digital manufacturing”. International Journal of Information Management, 49, 86-97.

Choi, T. Y., Dooley, K. J., and Rungtusanatham, M. (2001). “Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence”. Journal of operations management, 19(3), 351-366.

Choi, T. M., Wallace, S. W., and Wang, Y. (2018). “Big data analytics in operations management”. Production and Operations Management, 27(10), 1868-1883.

Chou, M. C., Chua, G. A., Teo, C. P., and Zheng, H. (2010). “Design for process flexibility: Efficiency of the long chain and sparse structure”. Operations research, 58(1), 43-58.

Das, A., Narasimhan, R., and Talluri, S. (2006). “ Supplier integration—finding an optimal configuration”. Journal of operations management, 24(5), 563-582.

Dekkers, R. (2009). “Distributed manufacturing as co-evolutionary system”. International Journal of Production Research, 47(8), 2031-2054.

Demirezen, E. M., Kumar, S., and Shetty, B. (2020). “Two is better than one: A dynamic analysis of value co-creation”. Production and operations management, 29(9), 2057-2076.

Disney, S. M., and Towill, D. R. (2003). “Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two-level supply chain”. International journal of operations and production Management, 23(6), 625-651.

Dolgui, A., Ivanov, D., Potryasaev, S., Sokolov, B., Ivanova, M., and Werner, F. (2020). “Blockchain-oriented dynamic modelling of smart contract design and execution in the supply chain”. International Journal of Production Research, 58(7), 2184-2199.

Dolgui, A., Ivanov, D., Sethi, S. P., and Sokolov, B. (2019). “Scheduling in production, supply chain and Industry 4.0 systems by optimal control: fundamentals, state-of-the-art and applications”. International journal of production research, 57(2), 411-432.

D'Souza, D. E., and Williams, F. P. (2000). ‘Toward a taxonomy of manufacturing flexibility dimensions”. Journal of operations management, 18(5), 577-593.

Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Blome, C., and Papadopoulos, T. (2019). “Big data and predictive analytics and manufacturing performance: integrating institutional theory, resource-based view and big data culture”. British Journal of Management, 30(2), 341-361.

Dubey, R., A. Gunasekaran, S. J. Childe, S. F. Wamba, D. Roubaud, and C. Foropon.)2019b(. :Empirical Investigation of Data Analytics Capability and Organizational Flexibility as Complements to Supply Chain Resilience”. International Journal of Production Research. doi:10.1080/00207543.2019.1582820.

Fox, M. S., M. Barbuceanu, and R. Teigen.)2000(.

“ ”

"Agent-oriented Supply Chain Management System". International Journal of Flexible Manufacturing Systems. 12, 165–188.

Fragapane, G., M. Peron, F. Sgarbossa, J. O. Strandhagen, and D. Ivanov. (2020). "Increasing Flexibility and Productiv-ity in Industry 4.0 Production Networks with Autonomous Mobile Robots and Smart Intralogistics". Annals of Operations Research. 308, 125-143. Doi: 10.1007/s10479-020-03526-7.

Frank, A. G., Dalenogare, L. S., and Ayala, N. F. (2019). "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies". International journal of production economics, 210, 15-26.

Frank, A. G., Dalenogare, L. S., and Ayala, N. F. (2019). "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies". International journal of production economics, 210, 15-26.

Gunasekaran, A., and Ngai, E. W. (2009). "Modeling and analysis of build-to-order supply chains". European Journal of Operational Research, 195(2), 319-334.

Ivanov, D. (2018). Structural dynamics and resilience in supply chain risk management (Vol. 265). Berlin, Germany: Springer International Publishing.

Ivanov, D. (2020). "Viable Supply Chain Model: Integrating Agility, Resilience and Sustainability Perspectives. Lessons From and Thinking Beyond the COVID-19 Pandemic". Annals of Operations Research. 1, 1411-1431 Doi: 10.1007/s10479-020-03640-6.

Ivanov, D., A. Das, and T.-M. Choi. (2018). "New Flexibility Drivers in Manufacturing, Service, and Supply Chain Sys-tems". International Journal of Production Research. 56(10), 3359–3368.

Ivanov, D., and A. Dolgui. (2020a). "A Digital Supply Chain Twin for Managing the Disruption Risks and Resilience in the era of Industry 4.0". Production Planning and Control. 32, 775-788. doi:10.1080/09537287.2020.1768450.

Ivanov, D., and A. Dolgui.)2020b(. "Viability of Intertwined Supply Networks: Extending the Supply Chain Resilience Angles towards Survivability. A Position Paper Motivated by COVID-19 Outbreak". International Journal of Production Research, 58(10), 2904–2915.

Ivanov, D., A. Dolgui, and B. Sokolov. (2019). "The Impact of Digital Technology and Industry 4.0 on the Ripple Effect and Supply Chain Risk Analytics". International Journal of Production Research, 57(3), 829–846.

Ivanov, D., A. Dolgui, B. Sokolov, F. Werner, and M. Ivanova. (2016). "A Dynamic Model and an Algorithm for Short-term Supply Chain Scheduling in the Smart Factory Industry 4.0". International Journal of Production Research, 54(2), 386–402.

Ivanov, D., S. Sethi, A. Dolgui, and B. Sokolov. (2018). "A Survey on the Control Theory Applications to Operational Sys-tems, Supply Chain Management and Industry 4.0". Annual Reviews in Control, 46, 134–147.

Ivanov, D., and Sokolov, B. (2010). Adaptive supply chain management. Springer Science and Business Media.

Ivanov, D., and B. Sokolov. (2012). "The Interdisciplinary Mod-elling of Supply Chains in the Context of Collaborative Multi-structural Cyber-physical Networks". Journal of Man-ufacturing Technology Management, 23(8), 976–997.

Ivanov, D., B. Sokolov, W. Chen, A. Dolgui, F. Werner, and S. Potryasaev. (2020). "A Control Approach to Scheduling Flexibly Configurable Jobs with Dynamic Structural-Logical Constraints". IISE Transactions, 1–18. Doi: 10.1080/24725854.2020.1739787.

Jabbour, C. J. C., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Godinho Filho, M., and Roubaud, D. (2018). "Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations". Annals of Operations Research, 270, 273-286.

Ferreira, K. J., Lee, B. H. A., and Simchi-Levi, D. (2016). "Analytics for an online retailer: Demand forecasting and price optimization". Manufacturing and service operations management, 18(1), 69-88.

Jordan, W. C., and Graves, S. C. (1995). Principles on the benefits of manufacturing process flexibility. Management science, 41(4), 577-594.

Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Ulsoy, G., and Van Brussel, H. (1999). "Reconfigurable manufacturing systems". CIRP annals, 48(2), 527-540.

Kumar, S., Mookerjee, V., and Shubham, A. (2018). "Research in operations management and information systems interface". Production and Operations Management, 27(11), 1893-1905.

Kusiak, A. (2018). Smart Manufacturing. International Journal of Production Research, 56(1–2), 508–517.

Lee, H., and Özer, Ö. (2007). "Unlocking the value of RFID". Production and operations management, 16(1), 40-64.

Li, Y., Jia, G., Cheng, Y., and Hu, Y. (2017). "Additive Manufacturing Technology in Spare Parts Supply Chain: A Comparative Study". International Journal of Production Research, 55(5), 1498–1515.

Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. F. R., and 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.

Li, S., and Visich, J. K. (2006). "Radio Frequency Identification: Supply Chain Impact and Implementations Challenges". International Journal of Integrated Supply Management, 2(4), 407–424.

Liu, Y., Wang, L., Wang, X. V., Xu, X., and Zhang, L. (2019). "Scheduling in Cloud Manufacturing: State-of-the-art and Research Challenges". International Journal of Production Research, 57(15–16), 4854–4879.

Luthra, S., Kumar, A., Zavadskas, E. K., Mangla, S. K., and Garza-Reyes, J. A . (2020). "Industry 4.0 as an Enabler of Sustainability Diffusion in Supply Chain: An Analysis of Influential Strength of Drivers in an Emerging Economy". International Journal of Production Research, 58(5), 1505– 1521.

Machado, C. G., Winroth, M. P., and Ribeiro da Silva, E. H. D. (2020). "Sustainable Manufacturing in Industry 4.0: An Emerging Research Agenda". International Journal of Production Research, 58(5), 1462–1484.

Magoroh, M. (2017). "The second cybernetics: Deviation-amplifying mutual causal processes". In Systems Research for Behavioral Science (pp. 304-313). Routledge.

Mesarovic, M. D., and Takahara, Y. (1975). General systems theory: mathematical foundations. Academic press.

G. Meyer, G., Buijs, P., B. Szirbik, N., and Wortmann, J. C. (2014). "Intelligent Products for Enhancing the Utilization of Tracking Technology in Transportation". International Journal of Operations and Production Management, 34(4), 422–446.

Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., and Wuest, T. (2018). "A Critical Review of Smart Manufacturing and Industry 4.0 Maturity Models: Implications for Small and Medium Sized Enterprises (SMEs)". Journal of Manufacturing Systems, 49, 194–214.

Moghaddam, M., and Nof, S. Y. (2018). "Collaborative Service-Component Integration in Cloud Manufacturing". International Journal of Production Research, 56(1–2), 677–691.

Nair, A., and Vidal, J. M. (2011). "Supply Network Topology and Robustness Against Disruptions – An Investigation Using a Multi-agent Model". International Journal of Production Research, 49(5), 1391–1404.

Nayak, A., Reyes Levalle, R., Lee, S., and Nof, S. Y. (2016). "Resource Sharing in Cyber physical Systems: Modeling Framework and Case Studies". International Journal of Production Research, 54(23), 6969–6983.

Nof, S. Y. (2007). "Collaborative Control Theory for E-work, E-production, and E-service". Annual Reviews in Control, 31(2), 281–292.

Nof, S. Y., Morel, G., Monostori, L., Molina, A., and Filip, F. (2006). "From Plant and Logistics Control to Multi-enterprise Collaboration". Annual Reviews in Control, 30(1), 55–68.

Oesterreich, T. D., and Teuteberg, F. (2016). "Understanding the Implications of Digitisation and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Construction Industry". Computers in Industry, 83, 121–139.

Olsen, T. L., and Tomlin, B. (2020). "Industry 4.0: Opportunities and Challenges for Operations Management". Manufacturing and Service Operations Management, 22(1), 113–122.

Oztemel, E., and Gursev, S. (2020). "Literature Review of Industry 4.0 and Related Technologies". Journal of Intelligent Manufacturing, 31, 127–182.

Panetto, H., Iung, B., Ivanov, D., Weichhart, G., and Wang, X. (2019). "Challenges for the Cyberphysical Manufacturing Enterprises of the Future". Annual Reviews in Control, 47, 200–213.

Papadopoulos, T., Gunasekaran, A., Dubey, R., Altay, N., Childe, S. J., and Fosso-Wamba, S. (2017). "The Role of Big Data in Explaining Disaster Resilience in Supply Chains for Sustainability". Journal of Cleaner Production, 142, 1108– 1118.

Park, H., Bellamy, M. A., and Basole, R. C. (2016). "Visual Analytics for Supply Network Management: System Design and Evaluation". Decision Support Systems, 91, 89–102.

Pathak, S. D., Day, J. M., Nair, A., Sawaya, W. J., and Kristal, M. M. (2007). "Complexity and Adaptivity in Supply Networks: Building Supply Network Theory Using a Complex Adaptive Systems Perspective". Decision Sciences, 38(4), 547–580.

Piccarozzi, M., Aquilani, B., and Gatti, C. (2018). "Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review". Sustainability, 10(10), 3821.

Queiroz, M. M., Ivanov, D., Dolgui, A., and Fosso Wamba, S. (2022). "Impacts of Epidemic Outbreaks on Supply Chains: Mapping a Research Agenda Amid the COVID-19 Pandemic through a Structured Literature Review". Annals of Operations Research, (319)1, 1159-1196. Doi: 10.1007/s10479-020-03685-7.

Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., and Rajak, S. (2020). "Barriers to the Adoption of Industry 4.0 Technologies in the Manufacturing Sector: An Inter-country Comparative Perspective". International Journal of Production Economics, 224, 107546.

Rossit, D. A., Tohmé, F., and Frutos, M. (2019). "Industry 4.0: Smart Scheduling". International Journal of Production Research, 57(12), 3802–3813.

Sari, K. (2008). "On the Benefits of CPFR and VMI: A Comparative Simulation Study". International Journal of Production Economics, 113(2), 575–586.

Schoenherr, T., and Speier-Pero, C. (2015). "Data Science, Predictive Analytics, and Big Data in Supply Chain Management: Current State and Future Potential". Journal of Business Logistics, 36(1), 120–132.

Siemens. (2019). What doesn't Happen Keeps our World Running Smoothly – The Power of MindSphere. Accessed 18 November (2019). https://www.plm.automation.siemens.com/ global/ en/topic/mindsphere-whitepaper/28842.

Slack, N. (1987). "The Flexibility of Manufacturing Systems". International Journal of Operations and Production Management, 7(4), 35–45.

Sodhi, M. S., Son, B. G., and Tang, C. S . (2012). "Researchers' Perspectives on Supply Chain Risk Management". Production and Operations Management, 21(1), 1–13.

Sodhi, M. S., and Tang, C. S. (2012). Managing supply chain risk (Vol. 172). Springer Science and Business Media.

Sokolov, B., Ivanov, D., and Dolgui, A. (2020). Scheduling in industry 4.0 and cloud manufacturing (Vol. 289). New York: Springer.

Stadtler, H., Fleischmann, B., Grunow, M., Meyr, H., and Sürie, C. (2011). Advanced planning in supply chains: Illustrating the concepts using an SAP® APO case study. Springer Science and Business Media.

Stecke, K. E. (1983). "Formulation and Solution of Non-linear Integer Production Planning Problems for Flexible Manufacturing Systems". Management Science, 29(3), 273–288.

Surana, A., Kumara*, S., Greaves, M., and Raghavan, U. N. (2005). "Supply-chain Networks: A Complex Adaptive Systems Perspective". International Journal of Production Research, 43(20), 4235–4265.

Swaminathan, J. M., Smith, S. F., and Sadeh, N. M. (1998). "Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach". Decision Sciences, 29(3), 607–632.

Tang, C. S., and Veelenturf, L. P. (2019). "The Strategic Role of Logistics in the Industry 4.0 Era. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 129, 1–11.

Tao, F., Qi, Q., Liu, A., and Kusiak, A. (2018). Data-driven Smart Manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 48, 157–169.

Tully, S. (1993). The modular corporation. Fortune, 127(3), 106.

Eck, N. J. V., and Waltman, L.)2009(. How to Normalize Co-occurrence Data? An Analysis of Some Well-known Similarity Measures. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 60(8), 1635–1651.

Bertalanffy, L. V. (1968). General system theory: Foundations, development, applications. G. Braziller.

Waller, M. A., and Fawcett, S. E. (2013). Data Science, Predictive Analytics, and big Data: A Revolution that will Transform Supply Chain Design and Management. Journal of Business Logistics, 34(2), 77–84.

Wamba, S. F., and Chatfield, A. T. (2009). A Contingency Model for Creating Value from RFID Supply Chain Network Projects in Logistics and Manufacturing Environments. European Journal of Information Systems, 18(6), 615–636.

Wamba, S. F., Ngai, E. W., Riggins, F., and Akter, S. (2017). Transforming Operations and Production Management Using Big Data and Business Analytics: Future Research Directions. International Journal of Operations and Production Management, 37(1), 2–9.

Warnecke, H. J., and Braun, J. (Eds.). (2013). Vom Fraktal zum Produktionsnetzwerk: Unternehmenskooperationen erfolgreich gestalten. Springer-Verlag.

Wiendahl, H. P., Reichardt, J., and Nyhuis, P . (2015). Handbook Factory Planning and Design. Berlin: Springer.

Xu, X. (2012). From Cloud Computing to Cloud Manufacturing. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 28(1), 75–86.

Xu, J., Tran, H. M., Gautam, N., and Bukkapatnam, S. T. (2019). Joint Production and Maintenance Operations in Smart Custom-manufacturing Systems. IISE Transactions, 51(4), 406–421.

Xu, L. D., Xu, E. L., and Li, L . (2018). Industry 4.0: State of the Art and Future Trends. International Journal of Production Research, 56(8), 2941–2962.

Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T., and Tsung, F. (2019). The Internet of Things for Smart Manufacturing: A Review. IISE Transactions, 51(11), 1190–1216.

Yao, Y., Kohli, R., Sherer, S. A., and Cederlund, J. (2013). Learning Curves in Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment (CPFR) Information Systems: An Empirical Analy-sis Form a Mobile Phone Manufacturer. Journal of Operations Management, 31(6), 285–297.

Yin, Y., Stecke, K. E., and Li, D. (2018). The Evolution of Production Systems from Industry 2.0 Through Industry 4.0. Inter-national Journal of Production Research, 56(1–2), 848–861.

Zhao, K., Zuo, Z., and Blackhurst, J. V. (2019). Modelling Supply Chain Adaptation for Disruptions: An Empirically Grounded Complex Adaptive Systems Approach. Journal of Operations Management, 65(2), 190–212.

Zhong, R. Y., Xu, C., Chen, C., and Huang, G. Q. (2017). "Big Data Analytics for Physical Internet-based Intelligent Manufacturing Shop Floors". International Journal of Production Research, 55(9), 2610–2621.

Zühlke, D. (2009). "SmartFactory–A Vision Becomes Reality". IFAC Proceedings Volumes, 42(4), 31–39.

Science and Technology Policy Letters
Volume 13, Issue 2, Summer 2023

Researchers' perspectives on Industry 4.0: multidisciplinary analysis and opportunities for operations management

Ashkan Goldooz[1]
Khadije Tabaei[2]
Hossein Rajabi Ravandi[3]

Abstract

While Industry 4.0 has been trending in practice and research, operations management studies in this area remain nascent. We intend to understand the current state of research in Industry 4.0 in different disciplines and deduce insights and opportunities for future research in operations management. In this paper, we provide a focused analysis to examine the state-of-the-art research in Industry 4.0. To learn the perspectives of researchers about Industry 4.0, we conducted a large-scale, cross-disciplinary and global survey on Industry 4.0 topics among researchers in industrial engineering, operations management, operations research, control, and data science at the 9th IFAC MIM 2019 Conference in Berlin in August 2019. Using our survey findings and literature analysis, we build structural and conceptual frameworks to understand the current state of knowledge and to propose future research opportunities for operations management scholars.

Keywords: Industry 4.0, oOperations Management, Industrial Engineering, Data Science, Operations Research, Control

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Master of Science in Information Technology Management - E-Business, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran (corresponding author). Goldoozashkan76@gmail.com

2. Master of Science in Information Technology Management - E-Business, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran (corresponding author). kh_tabaei@isc.co.ir

3. Master of Science in information technology management - E-Business, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. hosseinrajabi140@gmail.com

نقش‌نامه و فرم تعارض منافع

الف) نقش نامه

پدیدآورندگان	اشکان گلدوز	خدیجه طیایی	حسین رجبی راوندی
نقش	نویسندهٔ مسئول	نویسنده	نویسنده
نگارش متن	نویسنده و مترجم	مترجم	مترجم
ویرایش متن و ...	ترجمه و بازنگری فنی و تخصصی	—	—
طراحی / مفهوم‌پردازی	پاسخ به داوران و مکاتبه	—	—
گردآوری داده	—	—	—
تحلیل / تفسیر داده	—	—	—
سایر نقش‌ها	—	—	—

ب) اعلام تعارض منافع

در جریان انتشار مقالات علمی تعارض منافع به این معنی است که نویسنده یا نویسندگان، داوران و یا حتی سردبیران مجلات دارای ارتباطات شخصی و یا اقتصادی می‌باشند که ممکن است به طور ناعادلانه‌ای بر تصمیم‌گیری آن‌ها در چاپ یک مقاله تأثیرگذار باشد. تعارض منافع به خودی خود مشکلی ندارد بلکه عدم اظهار آن است که مسئله‌ساز می‌شود.

بدین وسیله نویسندگان اعلام می‌کنند که رابطه مالی یا غیرمالی با سازمان، نهاد یا اشخاصی که موضوع یا مفاد این تحقیق هستند ندارند، اعم از رابطه و انتساب رسمی یا غیررسمی. منظور از رابطه و انتفاع مالی از جمله عبارت است از دریافت پژوهانه، گرنت آموزشی، ایراد سخنرانی، عضویت سازمانی، افتخاری یا غیررسمی، اشتغال، مالکیت سهام، و دریافت حق اختراع، و البته محدود به این موارد نیست. منظور از رابطه و انتفاع غیرمالی عبارت است از روابط شخصی، خانوادگی یا حرفه‌ای، اندیشه‌ای یا باورمندانه، و غیره.

چنانچه هر یک از نویسندگان تعارض منافعی داشته باشد (و یا نداشته باشد) در فرم زیر تصریح و اعلام خواهد کرد:

مثال: نویسندهٔ الف هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارد. نویسندهٔ ب از شرکت فلان که موضوع تحقیق بوده است گرنت دریافت کرده است. نویسندگان ج و د در سازمان فلان که موضوع تحقیق بوده است سخنرانی افتخاری داشته‌اند و در شرکت فلان که موضوع تحقیق بوده است سهامدارند.

اظهار (عدم) تعارض منافع: با سلام و احترام؛ به استحضار می‌رساند نویسندگان مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارد.

نویسندهٔ مسئول: اشکان گلدوز

تاریخ: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸