مقاله پژوهشی

نقش طراحی آزمایش‌ها در زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم

کریم آتشگر

دانشیار، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. atashgar@iust.ac.ir

سید مهران حسینی

(نویسنده مسئول) دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.
sm.hoseini@mut.ac.ir

چکیده: تحول دیجیتال، حجم زیاد داده‌ها و سرعت بالای اجرای فرآیندهای تولیدی، مهمترین خصوصیات زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم را تشکیل داده‌اند و این خصوصیات، به طور قطع فرآیندهای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری مدیران کسب و کار را تحت تأثیر قرار خواهد داد. در انقلاب صنعتی چهارم تمام ارکان کسب و کار و سیستم‌های تولیدی، از جمله سیستم‌های پشتیبان تصمیم، تحت تأثیر دیجیتالی شدن و سرعت و دقت زیاد بکارگماری فن‌آوری‌های جدید قرار خواهند گرفت. یکی از این ارکان مهم، مدیریت کیفیت است. مدیریت کیفیت مؤثر از دیجیتالی شدن، کیفیت چهارم نامیده می‌شود. طراحی آزمایش‌ها به عنوان یک رویکرد فعال و ابزار مهم در مدیریت کیفیت، همچنان نقش مهمی را در ارتقا کیفیت محصولات و فرآیندها در کیفیت چهار ایفا خواهد نمود. این ابزار قدرتمند، تحت تأثیر تغییرات بوجود آمده در انقلاب صنعتی چهارم قرار گرفته و به سمت طراحی آزمایش‌های هوشمند میل نموده است. این تحقیق درصدد است تا با مروری جامع در ادبیات موضوع، نشان دهد که جایگاه و نقش طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهار، در تأمین الزامات مشتریان در کدام نقطه از زنجیره کسب و کار قرار دارد. در این تحقیق ابتدا تغییرات ایجاد شده در طرح‌ها و روش‌های طراحی آزمایش‌ها سپس تغییرات احتمالی در فعالیت‌ها و گام‌های اجرایی فرآیند پایه‌ای اجرای طراحی آزمایش‌ها با توجه به تأثیرات فن‌آوری‌های جدید بازتعریف شده است. در انتها نیز پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه گردیده است.

واژگان کلیدی: انقلاب صنعتی چهارم، کیفیت چهارم، فرآیندهای کسب و کار، طراحی آزمایش‌ها

۱- مقدمه

در عصری زندگی می‌کنیم که سرعت پیشرفت فن‌آوری‌های ارتباطی و کامپیوتری بسیار چشم‌گیر است. این تغییرات وسیع در تمامی شئونات و نحوه اداره کردن بنگاه‌های اقتصادی و حتی زندگی‌های شخصی تأثیر بسیاری گذاشته است.

پیسائو و بکر در سال ۲۰۲۰ تحقیقی راجع به اثر انقلاب صنعتی چهارم بر طراحی و توسعه تولیدات انجام دادند و ده مؤلفه کلیدی که بر فرآیند طراحی تولید در زیست بوم انقلاب صنعتی چهارم اثرگذار خواهند بود را گزارش کردند. این ده مؤلفه کلیدی عبارت‌اند از: ۱- طراحی برای کاربران توانمند[1]، ۲- طراحی برای بازخورد تولیدات در حال استفاده، ۳- طراحی برای قابلیت تغییرپذیری، ۴- طراحی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ۵- طراحی برای سیستم‌های سایبر-فیزیکی، ۶- طراحی برای تعامل عاطفی،- مهندسی پیوسته[2] که به کمک مهندسی سیستم‌های مبتنی بر مدل(MBSE)[3] پشتیبانی می‌شود، ۸- مدیریت چرخه حیات سیستم، ۹- افزایش کمیت و پیچیدگی ذینفعان و ۱۰- تغییر در مفهوم و درک از کیفیت[۱]. تغییرات فن‌آوری و ورود به عصر دیجیتال و ارتباطات بر روی طراحی سیستم‌ها و تولیدات تأثیر بسیار گذارده است به‌طوری که محققان زیادی در مورد این اثرگذاری مطالعه نموده و این تغییرات را تشریح نموده‌اند[۱].

یکی از محیط‌هایی که تحت تأثیر تغییرات وسیع فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات قرار گرفته است کسب و کارها و صنایع تولیدی بوده و موجب ظهور انقلاب صنعتی چهارم[4] و کیفیت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵
دوره ۱۳/ شماره ۴
صفحات: ۳۷۳- ۳۹۴

Corresponding Author: sm.hoseini@mut.ac.ir
https://doi.org/10.48313/jqem.2024.210885

[1] Empowered users
[2] Continuous engineering
[3] Model based systems engineering
[4] Industry4

چهارم[5] شده است. از این‌رو مدیران و کارشناسان لازم است که بدانند در دوره چهارم انقلاب صنعتی چه اتفاقاتی افتاده و یا خواهد افتاد، فضای حاکم بر صنایع و زیرمجموعه‌های اداره این صنایع مانند واحد کنترل کیفیت و ابزارهای ارتقاء کیفیت همچون طراحی آزمایش‌ها در این عصر چه تغییرات اساسی خواهد نمود. در این تحقیق، ابتدا در بخش۲، مفاهیم مطرح شده در انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهارم تشریح و سپس در بخش ۳، به مرور ادبیات جامع خواهیم پرداخت. در بخش ۴، در خصوص جایگاه و نقش طراحی آزمایش‌ها در زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهار و همچنین تغییرات احتمالی ابزار طراحی آزمایش‌ها در زیست بوم جدید، و مؤلفه‌هایی که باید مورد توجه قرار گیرد بحث می‌شود. در نهایت در بخش ۵، به نتیجه‌گیری و پیشنهاد موضوعاتی برای مطالعات آتی، خواهیم پرداخت.

۲- مفاهیم و تعاریف انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهار

۲-۱-انقلاب صنعتی چهارم

واژه انقلاب صنعتی چهارم (Industry 4) اولین‌بار در سال ۲۰۱۱ در آلمان در نمایشگاه هانور[6] معرفی شد که به کمک آن فرآیند تغییر و تحول در زنجیره‌های ایجاد ارزش تشریح می‌گردید. "انقلاب صنعتی چهارم" توسط اسچوان[7] در ادبیات اقتصاد جهانی ارائه شد که شامل فرآیندهای کسب و کاری بود که بنگاه‌های حاضر در شبکه‌های کلی تولید در مواجه با فن‌آوری‌های نوین اطلاعات و ارتباطات و فن‌آوری اینترنت در عصر انقلاب صنعتی چهارم با آن روبرو خواهند شد که این فرآیندها به متعادل نمودن تقابل و درهم کنش اهداف تولیدی در بنگاه‌ها در این عصر، کمک خواهد نمود[۲]. پژوهشگران انقلاب صنعتی چهارم را عصر طلایی صنایع تولیدی ماشینی معرفی نموده‌اند که بر پایه فن‌آوری‌های دیجیتال و تمام اتومات سازماندهی شده‌اند. یکی از مهمترین مشخصه متمایزکننده صنایع تولید سنتی و انقلاب صنعتی چهارم، یکپارچگی (بهم پیوستگی بسیار نزدیک) و تعامل مطلق همه فرآیندهای تولیدی یک بنگاه صنعتی است که این مشخصه به کمک فن‌آوری‌های مدرن دیجیتال تضمین خواهد شد[۳]. به صورت کلی انقلاب صنعتی چهارم به‌عنوان یک روش دگرگونی و انقلاب در فرآیند بنگاه‌های تولیدی و صنعتی تعریف مطرح گردیده که بر پایه دیجیتالی و اتومات نمودن بسیار گسترده در فرآیندهای تولید و توزیع رخ خواهد داد. به‌طور کلی، انقلاب‌های صنعتی در جهان، به چهار دوره تقسیم می‌شوند.

الف- انقلاب صنعتی اول: به سال‌های ۱۷۶۰ تا ۱۸۲۰ یا حتی ۱۸۴۰ مربوط می‌شود که در واقع عصر گذار از تولید دستی به تولید ماشینی است. به منظور تأمین نیروی پیشران ماشین‌ها، در این عصر، از انرژی بخار و آب استفاده شده است. به همین دلیل، در این دوره، فن‌آوری‌های تولید دستی تا حدودی تحت تأثیر قرار گرفته و تغییر یافته‌اند. این دوره صنایع تولید پارچه و منسوجات را بیش از صنایع دیگر تحت تأثیر قرارداد، ولی در عین حال تغییرات در صنایع آهنی، کشاورزی و معدنی در این دوره کاملاً محسوس است [۳،۴،۶].

ب- انقلاب صنعتی دوم: به‌عنوان انقلاب فن‌آوری شناخته می‌شود که دوره آن بین سال‌های ۱۸۷۱ و ۱۹۱۴ است. در این دوره با به وجود آمدن و راه‌اندازی گسترده راه آهن و شبکه تلگراف به بشر اجازه داد تا حمل و نقل و ارتباط سریع‌تری را تجربه نمایند و ایده‌های خود را در زمان کوتاه‌تری به کمک شبکه تلگراف به یکدیگر انتقال دهند. در این دوره صنعتی پیدایش الکتریسیته و رشد الکتریکی نمودن تجهیزات، به کارخانه‌های تولیدی امکان راه‌اندازی خطوط تولید جدید را برای جوامع صنعتی فراهم آورد. بشر در این دوره رشد قابل توجه اقتصادی را به دلیل افزایش بهره‌وری در تولید، شاهد بود[۳،۴،۶].

ج- انقلاب صنعتی سوم: این دوره انقلاب صنعتی، مربوط به تحول داده‌ورزی و سیستم‌های اطلاعاتی است که در قرن ۲۰ بعد از دو جنگ جهانی رخ داد. ساخت کامپیوترهای اولیه که از منطق دودویی و اعداد صفر و یک برای پردازش استفاده می‌نمود، شروع توسعه پیشرفته دیجیتالی محسوب می‌شود. همسو شدن و یکی شدن فن‌آوری‌ها، افزایش قدرت محاسباتی و به اوج رسیدن توسعه اولین کنترلرهای منطقی قابل برنامه‌ریزی[8]، موجب پدیدار شدن اتوماسیون فرآیند خطوط تولید کارخانجات گردید. در این دوره برای پشتیبانی نمودن از کاخانجات تولیدی سیستم‌های اطلاعاتی نظیر طرح‌ریزی نیازمندی‌های ساخت و تولید [9] و ترکیب آن با سایر فرآیندهای پشتیبانی و مدیریت کارخانه و طرح‌ریزی منابع سازمانی[10] توسعه یافتند[۳،۴،۶].

[5] کیفیت چهارم
[6] Hannover
[7] K. Schwab
[8] Programmable logic Controller (PLC)
[9] Manufacturing Resource Planning (MRP)
[10] Enterprise Resource Planning (ERP)

د- انقلاب صنعتی چهارم: در این دوره با عمومی شدن اینترنت راهی برای یکپارچه شدن تمامی سیستم‌ها و مدیریت کسب و کار در طول و عرض زنجیره تأمین/ ارزش، خواهد شد. در واقع چهارمین انقلاب صنعتی که صنایع و کسب و کارها در آن حضور دارند، به‌وسیله ارتباطات سیستم‌های سایبر-فیزیک[11] که به کمک اینترنت اشیاء با هم متصل می‌شوند، قابل تشخیص است. به علاوه هوشمندی خاصی در فضای کسب و کار با برقراری ارتباط و همکاری بین سیستم‌های سایبر-فیزیکی اتومات در این عصر رخ خواهد داد. فن‌آوری‌هایی که این مشخصات به کمک آنها پدیدار خواهند شد شامل؛ اینترنت اشیاء[12]، سنسورها[13]، رایانش ابری[14]، محاسبات شناختی[15] و هوش مصنوعی[16] خواهد بود. این عوامل، در عصر انقلاب صنعتی چهارم، طراحی سیستم‌های تولیدی و ارتباطی را تحت تأثیر شدیدی قرار داده است[۴]. به‌طوری که، ترکیب یادگیری ماشین[17] و قدرت پردازش محاسباتی به ماشین‌ها اجازه اجرا کردن فعالیت‌های بسیار پیچیده را می‌دهد[۳،۴،۶].

شکل ۱: خلاصه تاریخی انقلاب‌های صنعتی*[۵]*

به طور خلاصه، انقلاب چهارم صنعتی را با توسعه فراگیر تکنولوژیکی در سیستم‌های سایبر-فیزیکی (مانند ظرفیت بالای اتصالات، ارتباط انسان-ماشین، اینترفیس‌های لمسی و سیستم‌های مجازی قابل اعتماد)؛ بهبود وسیع در به کارگیری مصنوعات انتقال دیجیتال به جهان فیزیکی (نظیر ربات‌ها و چاپگرهای سه بعدی؛ اینترنت اشیاء؛ ابرداده‌ها و محاسبات ابری، سیستم‌هایی بر پایه شبکه‌های عصبی مصنوعی)؛ و توسعه وسیع در استفاده از انرژی تجدیدپذیر (نظیر خورشیدی، باد، موج، هیدروالکترونیک) و باطری‌های الکتریکی (سیستم‌های ذخیره انرژی تجدیدپذیر لیتیم آهن) می‌توان شناخت.

۲-۲- ویژگی‌های اساسی انقلاب صنعتی چهارم

مهمترین ویژگی‌های اساسی انقلاب صنعتی چهارم را به صورت زیر می‌توان نام برد[۶].

۱- گذار از نیروی کار دستی به ربات‌ها، به طوریکه در گذر زمان تمام فرآیندهای تولیدی اتومات خواهند شد.

۲- سیستم‌های پشتیبانی و حمل و نقل مدرن، به دلیل توزیع انبوه حمل کننده‌های بدون سرنشین که هم‌اکنون در سیستم‌ها ی انبارداری اتومات در دنیا در حال استفاده هستند.

۳- افزایش پیچیدگی و دقت در فن‌آوری محصولات ساخته شده و ساخت و تولید مواد نیمه‌ساخته با توجه به توسعه فن‌آوری‌های جدید تولید.

٤- توسعه ارتباطات بین ماشین و سیستم‌های فیزیکی خودکنترلی به کمک اینترنت اشیاء.

[11] Cyber-Physical Systems (CPS)
[12] Internet of Things (IOT)
[13] Sensors
[14] Cloud Computing
[15] Cognitive Computing
[16] Artificial Intelligence (AI)
[17] Machine learning

۵- به کارگیری برنامه‌های یادگیرنده به منظور توسعه سیستم‌های تولیدی و کنترل تولید.

۶- پیدایش سیستم‌های سایبر-فیزیکی یکپارچه که به کمک اینترنت اشیاء به هم متصل شده‌اند و همچنین امنیت شبکه‌های سایبر- فیزیکی

۷- ظهور کارخانجات تولیدی غیرمتمرکز و پراکنده در تمامی نقاط جهان که به کمک سیستم‌های سایبر-فیزیکی، یکپارچگی خود را حفظ خواهند نمود.

همانطور که از ویژگی‌های بالا دریافت می‌شود، خصوصیات فوق فضای کسب و کار، مدیریت تولید، مدیریت کیفیت و حتی مدیریت بازار را تحت تأثیر قرار خواهد داد که مدیران بنگاه‌های اقتصادی و مدیران صنایع باید متناسب با این تغییرات، مهارت‌ها و توانمندی‌های جدید را شناسایی و برای اکتساب آنها برنامه‌ریزی نمایند.

۲-۳- فن‌آوری‌ها و نیازمندی‌های انقلاب صنعتی چهارم

انقلاب صنعتی چهارم(I4) دوران اتوماسیون و کارخانه‌های دیجیتالی بهم پیوسته است. به منظور قرارگرفتن در زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم باید معماری صنایع و بازار کسب و کار به سمت تمام دیجیتالی شدن و یکپارچه شدن گام بردارد. برای زیستن در انقلاب صنعتی چهارم به‌کارگیری مجموعه‌ای از فن‌آوری‌های روز در قالب معماری دیجیتالی، اجتناب ناپذیر است. معماری‌های بسیاری برای پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم وجود دارد. در هر کشوری با توجه به میزان استفاده از فن‌آوری‌های نوین در مدرنیزه‌سازی تولیدات و به میزان به‌کارگماری فن‌آوری‌های روز در زنجیره کسب و کارها، معماری استقرار انقلاب صنعتی چهارم متفاوت خواهد بود. اولویت‌های توسعه ملی در هر کشور موجب تمرکز آن کشور به روی برخی فن‌آوری‌های مورد نیاز برای انقلاب صنعتی چهارم خواهد بود. پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم به چندین فن‌آوری توسعه یافته و بروز نیاز دارد. محققین عناوین متفاوتی از این فن‌آوری‌ها را ارائه نموده‌اند. از بین فن‌آوری‌های ارائه شده، ۹ فن‌آوری بیان شده در شکل ۲، عموماً در طراحی معماری انقلاب صنعتی چهارم مورد توجه قرار گرفته است [۳،۴،۶]:

شکل ۲: فن‌آوری‌های مورد نیاز انقلاب صنعتی چهارم[۱]

۱. Big data / ابرداده‌ها

در انقلاب صنعتی چهارم به علت دیجیتالی شدن فرآیندهای کسب و کار با ابرداده‌ها سر و کار خواهیم داشت. در تعریف برخی پژوهشگران (مانند فارستر) ابرداده می‌تواند به چهار بعد تقسیم شود؛ حجم داده، تنوع داده، ارزش و سرعت داده‌ها [۳،۴،۶].

۲. Horizontal and vertical integration / یکپارچه‌سازی افقی و عمودی

ستون فقرات انقلاب صنعتی چهارم یکپارچه‌سازی افقی و عمودی است. با یکپارچه‌سازی افقی، فرآیندها در سطح میدان کسب و کار یکپارچه می‌شوند، در یکپارچه سازی افقی از کف کارگاه‌های تولید محصولات، (شامل تمامی تسهیلات تولیدی) و تمامی زنجیره تأمین مورد توجه قرار می‌گیرد. با یکپارچه‌سازی عمودی تمام لایه‌های یک بنگاه، یا سازمان (و حتی زنجیره تأمین،) بهم وصل می‌شوند و جریان داده‌ها به صورت آزاد از کف فروشگاه به سطوح بالای زنجیره و بالعکس برقرار خواهد بود[۳،۴،۶].

۳. Cloud computing / محاسبات یا رایانش ابری

رایانش/محاسبات ابری یکی از روش‌های ارائه سرویس‌های محاسباتی است که شامل سرورها، فضای ذخیره‌سازی، پایگاه‌های اطلاعاتی، شبکه‌ها، نرم‌افزارها، تجزیه و تحلیل‌ها و اطلاعات ازطریق اینترنت می‌شود و به کاربران اجازه می‌دهد تا به سادگی و با کمترین هزینه و در زمان و مکان دلخواه به منابع داده‌ای و محاسباتی مورد نیاز خود دسترسی پیدا کنند به‌طوریکه نیاز به تهیه و نگهداری سخت‌افزار و نرم‌افزار متناسب با حجم زیاد داده را نداشته باشند[۳،۴،۶].

۴. Augmented reality(AR) / واقعیت افزوده

واقعیت افزوده ترکیب تصاویر مجازی و دنیای واقعی به طور هم‌زمان است به عبارت دیگر می‌توان گفت که در این فن‌آوری، نمای فیزیک زنده دیگری به شکل مستقیم یا غیر مستقیم به عناصر موجود در دنیای واقعی اضافه می‌شود. در فن‌آوری واقعیت افزوده آنچه در اطراف ما وجود دارد توسط سنسورهای کامپیوتری دریافت و پردازش می‌شود. این اطلاعات پردازش شده به کمک رابطه تعاملی می‌تواند با عناصر محیط ترکیب شود. این فن‌آوری به کارشناسان و مدیران برای انجام پیش‌بینی کمک می‌کند. به‌عنوان مثال؛ این فن‌آوری با به کارگیری نت پیشگیرانه می‌تواند از به روز تعمیرات واکنشی غیر برنامه‌ریزی شده، جلوگیری نماید [۳،۴،۶].

۵. Internet of things / اینترنت اشیاء

اینترنت اشیاء ابزاری برای اتصال سیستم‌ها، سرویس‌ها، اشیاء فیزیکی فراهم می آورد و ارتباطات اشیاء با اشیاء و اشتراک داده‌ها را مقدور می‌نماید. اینترنت اشیاء، کنترل و اتومات کردن تجهیزاتی از قبیل گرمایش، و روشنایی، را به همراه نظارت از راه دور در صنایع مختلف را قابل دستیابی می‌نماید[۳،۴،۶].

۶. Additive manufacturing / 3d printing / ساخت افزایشی

ساخت افزایشی یا چاپ سه بعدی، نوعی تولید دیجیتالی است که می‌تواند قطعات طراحی شده در رایانه را به وسیله چاپگرهای سه بعدی از دنیای مجازی به دنیای فیزیکی منتقل کند. با توجه به قابلیت انعطاف‌پذیری و هزینه کم تولید، برای برنامه‌های ساخت سریع و کاربردی از این فن‌آوری استفاده شده است. تمام این ویژگی‌ها به همراه قابلیت سفارشی‌سازی فرآیند ساخت و تولید افزایشی برای ساختِ ساختارهای یکپارچه با هندسه پیچیده، این فن‌آوری را به صنعتی چند میلیارد دلاری تبدیل خواهد نمود[۷].

در حقیقت پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم به طور بسیار زیادی تحت تأثیر قابلیت ساخت و تولید افزایشی قرار دارد[۱،۲،۳].

۷. Autonomous robots / ربات‌های خودمختار

ربات‌هایی هستند که مستقل از کاربر (انسان) قادر به انجام کار هستند. این ربات‌ها معمولاً برای انجام وظایفی طراحی می‌شوند که نیاز به دخالت انسان ندارند یا دخالت انسان در آن‌ها مشکل یا غیرممکن است. لذا این ربات‌ها باید توانایی دریافت تمامی اطلاعات لازم از محیط و تصمیم‌گیری را داشته باشند. این ربات‌ها کاملاً منحصر به فرد هستند زیرا از حسگرها برای درک جهان اطراف خود استفاده می‌کنند و سپس از ساختارهای تصمیم‌گیری (معمولاً یک رایانه) برای برداشتن گام بعدی بهینه بر اساس داده‌ها و مأموریت خود استفاده می‌کنند. از این نوع ربات ها می‌توان به ربات‌های کنترل کیفیت در خطوط تولید پیوسته که به کمک آنها بازرسی ۱۰۰٪ محصولات تولیدی انجام می‌شود، اشاره نمود.

در آینده نزدیک، این نوع ربات‌ها به کمک اینترنت اشیاء، با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و تحت راهنمایی گرداننده خود با انسان‌ها همکاری خواهند نمود[۳،۴،۶].

۸. Simulation or digital twins / شبیه‌سازی و دوقلوی دیجیتال

شبیه‌سازی روشی برای مدلسازی یک پدیده یا فرآیند در فضای مجازی برای کشف کردن یا حدس زدن خروجی سیستم‌ها یا فرآیندهای واقعی است. در انجام شبیه‌سازی، مدل بوسیله داده‌های واقعی یا داده‌های شبیه‌سازی شده برای نمایش دنیای واقعی صورت می‌گیرد. دوقلوی دیجیتال یا همزاد دیجیتالی به نمایش دیجیتالی یک شیء فیزیکی، فرآیند یا سیستم گفته می‌شود. دوقلوی دیجیتال یک مدل مجازی است که ویژگی‌ها، رفتار و عملکرد همتای فیزیکی خود را در زمان واقعی یا در طول زمان تکرار می‌کند. این فن‌آوری به مهندسان، طراحان و کارکنان اجازه می‌دهد تا عملکرد سیستم فیزیکی را در یک محیط مجازی، شبیه‌سازی کنند و بر آن نظارت داشته باشند و همچنین آن را بهینه نمایند. دوقلوی دیجیتال کمک می‌کند تا مشکلات بالقوه قبل از وقوع آنها شناسایی شوند و زمان خرابی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری کاهش یابد[۳،۴،۶].

۹. Cybersecurity / امنیت سایبری

امنیت سایبری مربوط به افراد، فرآیندها و فن‌آوری‌هایی از جمله عملیات شبکه رایانه‌ای، و تضمین اطلاعات، پروتکل‌های اجرا و دیگر موارد می‌باشد. در امنیت سایبری طیف گسترده‌ای از کاهش تهدید، کاهش آسیب‌پذیری، بازدارندگی، تعامل بین‌المللی، واکنش حادثه، انعطاف‌پذیری و سیاست‌ها و فعالیت‌های بازیابی را موجب می‌شود. با افزایش ارتباطات و اتصالات دیجیتالی و افزایش استفاده از ابرداده‌ها در انقلاب صنعتی چهارم، الزام به ارتقاء اثربخشی امنیت سایبری، علی‌الخصوص در سیستم‌های سایبر-فیزیکی، دوچندان شده است. با پیاده‌سازی فن‌آوری‌هایی از قبیل یادگیری ماشین و بلاکچین[۱۸]، شرکتها و بنگاه‌ها می‌توانند کشف تهدید، پیشگیری و پاسخ به تهدیدات را اتومات نموده و ریسک رخنه در داده‌ها و تأخیرات در تولید در بین شبکه‌های خود را کمینه نمایند[۸]. به‌عنوان مثال؛ طراحی و پیاده‌سازی سیستم امنیت سایبری در سیستم‌های کنترل حمل و نقل قطارهای مترو، که تحت شبکه داخلی کار می‌کنند و باعث جلوگیری از اختلال در سیستم حمل و نقل خواهند شد، امری حیاتی بوده و اهمیت آن بر کسی پوشیده نیست.

به کمک استفاده از ترکیبی از فن‌آوری‌های فوق و میزان سطح بکارگیری از هر کدام، هر کشور یا هر بنگاه اقتصادی یا صنعتی می‌تواند سطحی از انقلاب صنعتی چهارم را پیاده‌سازی نماید. استفاده از این فن‌آوری‌ها در کسب و کار صنایع، جزء ارکان انقلاب صنعتی چهارم محسوب می‌گردد و عدم به‌کارگیری این فن‌آوری‌ها نمایانگر عدم حضور در فضای انقلاب صنعتی چهارم است.

۲-۴- آثار و نتایج انقلاب صنعتی چهارم

در انقلاب صنعتی چهارم همه چیز وارد فضا و توپولوژی دیجیتالی خواهد شد؛ سیستم‌های تولید، مدل‌های کسب و کار، محیط‌های کاری، اپراتورها، ماشین‌ها، تولیدات و خدمات و تمامی واژه‌های مرتبط تحت تأثیر دیجیتالی شدن قرار خواهند گرفت. این محصولات هوشمند، اطلاعاتی را نیز در مورد فرآیندهای تولید، مدیریت کیفیت، کاربردهای آینده و بازیابی خود به همراه می‌آورند. در این وضعیت و شرایط مدیریت کسب و کار، مدیریت تولید و مدیریت کیفیت این محصولات نیازمند الزامات جدیدی خواهد بود که چهارمین انقلاب صنعتی به آنها تحمیل خواهد کرد. برای مدیریت در فضای انقلاب صنعتی چهارم، الزامات مرتبط با کیفیت فرآیند همچون انطباق، توانمندی، قابلیت ردیابی، عدم انطباق، آنالیز نقص و .... بیش از پیش ضروری و پایه‌ای می‌باشد. این الزامات کیفتی تحت تأثیر دیجیتالی شدن قرار گرفته و مفهوم جدیدی از کیفیت را تحت عنوان کیفیت چهارم بوجود آورده است.

۲-۵- کیفیت چهارم چیست؟

کسب و کارها، در زیست بوم انقلاب صنعتی چهارم به دلیل تشدید فضای رقابتی و ارزش‌های جدید و نوظهور خلق شده در این زیست‌بوم، می‌بایست مفاهیم و مدل‌های مدیریتی جدید و متناسب با این عصر را برای اداره کسب و کار خود انتخاب نمایند و مورد استفاده قرار دهند تا تاب زیستن در این زیست‌بوم جدید را داشته باشند. یکی از این مفاهیم که به مدیران کسب و کار در زیست‌بوم جدید کمک خواهد کرد، کیفیت چهار نام دارد. کیفیت چهار، مدیریت کیفیت سنتی را با فن‌آوری و دیجیتالی شدن ترکیب می نماید تا ابعاد تازه‌ای از فرآیند و مدیریت فرآیند را در اختیار مدیران کسب و کار قرار دهد. هدایت‌کنندگان انقلاب صنعتی چهارم، برای گذار از حالت فعلی به دیجیتالی شدن، به‌کارگماری فن‌آوری‌های جدید را از طریق کیفیت چهار هدایت خواهند نمود.

[18] Block Chain

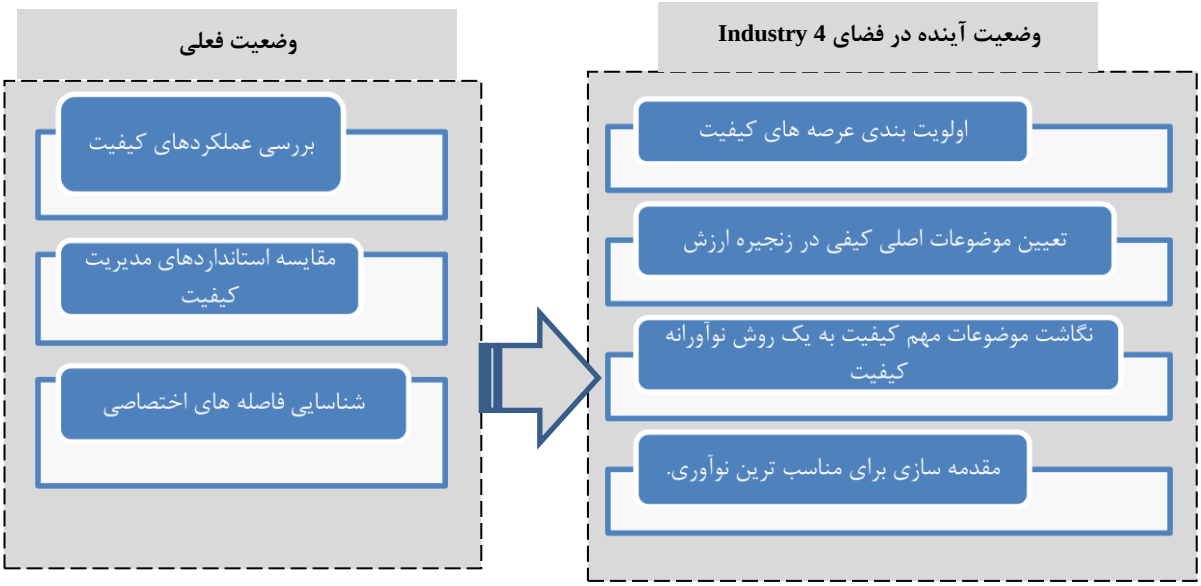
نه تنها بهبود انعطاف و بهره‌وری در کیفیت تولیدات و فرآیندها برای انقلاب صنعتی چهارم امری ضروری هستند بلکه پیکره دانشی مدیریت کیفیت نیز دستخوش تجربیات جدید گسترده‌ای خواهد شد، به‌طوری که این پیکره دانشی برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و بهبود فرآیندهای انقلاب صنعتی چهارم را پشتیبانی خواهند نمود. بنابراین کیفیت چهارم، نتایج و کیفیت پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم را بهبود خواهد داد[۹].

بسیاری از تحقیقات بکارگیری همزمان مدیریت کیفیت جامع(TQM) و فن‌آوری اطلاعات (IT) اشاره نموده و تأثیر مثبت استفاده از فن‌آوری اطلاعات در مدیریت کیفیت جامع را گزارش کرده‌اند[۱۰]. اما تحقیقاتی که شامل کنترل کیفیت فرایندها و در بستر ر دیجیتالی شدن و استفاده فن‌آوری‌های انقلاب صنعتی چهارم را به‌طور همزمان، مورد توجه قرار داده باشند، بسیار نادر هستند. آنچه مسلم است، کیفیت چهارم و انقلاب صنعتی چهارم باید با یکدیگر یکپارچه شده تا با استفاده از ابزارها و متدولوژی‌های پیشرفته تغییر و بهبود در محصول و فرآیند را منجر شوند.

کیفیت چهارم در واقع دیجیتالی شدن مدیریت کیفیت است. در عین حال، کیفیت چهارم جایگزین روش‌های سنتی کیفیت نخواهد شد بلکه آنها را بازسازی و ارتقاء می‌بخشد.

۲-۶- عوامل ضروری برای پیاده‌سازی کیفیت چهارم

سونی و همکاران در سال ۲۰۲۰ مروری بر ادبیات کیفیت چهارم انجام دادند. در این تحقیق اجزاء اساسی یک سازمان که تحت تأثیر پیاده‌سازی کیفیت چهارم قرار می‌گیرند، گزارش شده است. در این تحقیق ۸ عنصر اصلی اثرپذیر و اثرگذار در پیاده‌سازی مؤثر کیفیت چهارم در سازمان‌ها شناسایی و گزارش شده است. این ۸ عنصر اصلی عبارت‌اند از: ۱) اداره نمودن ابرداده‌ها؛ ۲) بهبود دادن تجویزهای مبتنی بر آنالیز داده‌ها؛ ۳) یکپارچه‌سازی افقی، عمودی و انتها به انتها[19]؛ ۴) منافع راهبردی؛ ۵) رهبری؛ ۶) آموزش؛ ۷) فرهنگ سازمانی و ۸) حمایت مدیر ارشد[۱۱]. سازمان‌ها از این ۸ عنصر می‌توانند برای خودارزیابی وضعیت فعلی و جاری، در هر یک از این عناصر، استفاده نمایند. زمانی که کیفیت چهارم پیاده‌سازی می‌شود این ۸ عنصر باید به دقت مورد تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری قرار گیرد تا میزان اثربخشی پیاده‌سازی کیفیت چهارم مشخص شود[۱۲].



شکل ۳: رویکرد دستیابی به سطح آینده مدیریت کیفیت[۱۳]

[19] End to end integration

۳- فرآیند پیاده‌سازی کیفیت چهار

انقلاب صنعتی چهارم سیستم‌ها را به سمت یکپارچه‌سازی سیستم‌های تولیدی هدایت می‌کند. این کار به کمک؛ الف) فرآیندهای اتومات صنعتی هوشمند ب) تصمیم‌سازی با آگاهی برخط (در لحظه/ بلادرنگ)[20] ج) الزامات کیفیتی سختگیرانه که می‌تواند در هر لحظه نمایش داده شود انجام پذیرد. ساختارهای انقلاب صنعتی چهارم به کمک ربات‌ها، سنسورها و الگوریتم‌ها پشتیبانی می‌گردد و ولی همزمان، نیاز به نیروی کار ماهر دارند[۱۳].

در انقلاب صنعتی چهارم، مدیریت کیفیتی که الزامات جدید این انقلاب صنعتی را برآورده نماید، یک ضرورت است. جان در سال ۲۰۱۹، روشی برای طراحی و دستیابی به مدیریت کیفیت مورد نیاز در فضای انقلاب صنعتی چهارم ارائه نموده است. این روش در شکل ۳ نشان داده شده است.

در این روش در قدم اول یک بررسی از عملکرد گذشته سیستم کیفیت انجام می‌شود تا فاصله بین زیرساخت‌های کیفیت موجود و نیاز آینده (در انقلاب صنعتی چهارم) شناخته شود. با مقایسه استانداردهای مدیریت کیفیت، حوزه‌های اصلی توسعه به صورت واضح نمایان می‌شود. در قدم دوم حوزه‌های سیستم کیفیت معرفی می‌شود و روش‌های نوآورانه در مدیریت کیفیت از قبیل آزمون قابلیت اطمینان، موضوعات اصلی کیفیت در ارتباط با زنجیره ارزش تعریف می‌شود و سپس روش‌های نوآورانه مدیریت کیفیت توسعه و پیاده‌سازی خواهد شد. این روش بیشتر از جنس رویکرد آنالیز فاصله است که با استقرار یک چارچوب فاصله وضع موجود با کیفیت چهارم ترسیم شده در انقلاب دیجیتال را شناسایی می‌نماید و در نهایت راهکارها، اقدامات و پروژه‌های مورد نیاز برای نائل آمدن به معماری ترسیم شده توسط متخصصین انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهار را با هدف تأمین الزامات انقلاب صنعتی چهارم اخذ می‌نماید. محقق برای رسیدن به الزامات، ویژگی‌ها و چارچوب مناسب اجرای این رویکرد از خبرگان و صنعتگران ایالات بلغارستان به صورت پرسشنامه‌ای تحقیق و الزامات و ویژگی‌های مد نظر برای پیاده‌سازی کیفیت چهار را استخراج نمود. برای ارزشیابی، نتایج تحقیق با نتایج تحقیقات شرکت‌های بین‌المللی آلمان نیز مقایسه شد[۱۲].

آنتونینو و همکاران در سال ۲۰۲۲ طی تحقیقی اولین مفهومی را که در توسعه کارخانه‌های هوشمند و دست‌یابی بنگاه‌ها به دیجیتالی شدن در فضای انقلاب صنعتی چهارم نیاز است را تشریح نمودند. آنها به طور خاص یک ویرایش از مدل کیفیت ISO 25010 را که به طور ویژه درخور نیازمندی‌های کیفیتی انقلاب صنعتی چهارم است را ارائه دادند[۱۳].

در این تحقیق از روش توسعه حلزونی برای تحلیل و توسعه مدل کیفیت استفاده شده است. محققین طی سه مرحله به مدل ارائه شده دست یافته‌اند. در مرحله اول ادبیات موضوع را مطالعه نموده تا مشخصه‌های مناسب کیفیت را معرفی و اعتباردهی نمایند. در مرحله دوم افزودن استانداردهای مناسب موجود به مطالعه بوده و نهایتاً در مرحله سوم با جستجوی تعدادی از پروژه‌های صنعتی به‌عنوان پایه و اساس استخراج مدل، مدل مدیریت کیفیت پیشنهادی خود را ارائه دادند. این تحقیق بیشتر در فضای کسب و کار قطعات الکترونیکی انجام شده است که قابل تعمیم به کسب و کارهای دیگر نیز می‌باشد. این تحقیق توسط دو مهندس معمار انقلاب صنعتی چهارم با بیش از سه سال سابقه کار به روش های مختلف ارزیابی معماری مانند نرخ فرانهوفر[21] مورد ارزیابی قرار گرفت و اعتبارسنجی شد[۱۴].

دو روش ارائه شده توسط جان (۲۰۱۹) و آنتونیو و همکاران (۲۰۲۲) به‌طور کلی بر اساس رویکرد منطقی آنالیز و تجزیه و تحلیل فاصله بنا شده‌اند و هر دو تحقیق ابتدا ویژگی‌ها و الزامات انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهار را مطالعه و ارائه نموده و بر اساس آنها پیشنهاد ترسیم انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهار را طبق الگویی به متخصصین و معماران کسب و کار دادند. اما در روش نائل آمدن به معماری ترسیم شده جان به برنامه‌ریزی اجرا بر اساس پیشنهاد متخصصین اکتفا نموده اما آنتونیو و همکاران ویرایش جدید استاندارد ISO 25010 را برای استقرار انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهار پیشنهاد دادند که تکرارپذیر بودن و جهان شمول بودن این پیشنهاد از ویژگی‌های برجسته آن است. تفاوت اساسی روش‌های این دو تحقیق با روش‌های سنتی، در ترسیم معماری کسب و کار آینده بر اساس ویژگی‌های کسب و کارها در زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم است.

۳-۱- طراحی آزمایش‌های هوشمند

در سال ۲۰۱۵ مرجع شماره ۱۵ از طراحی آزمایش‌های هوشمند استفاده نمود تا تعداد اجرای آزمایش‌ها را در تحقیقات تجربی

[20] Real Time
[21] Fraunhofer RATE

کاهش دهد. در این تحقیق، به منظور بررسی تأثیر تعداد واحدهای طراحی آزمایش‌های هوشمند برروی کیفیت اطلاعات حاصل از تحقیقات تجربی، طرح آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی یک هدف واقعی از یک تابع ویژه که مقدار آن با مقدار پیش‌بینی شده بوسیله شبکه عصبی آموزش دیده، جایگزین گردیده، استفاده شده است[۱۵].

شبیه‌سازی این تحقیق نشان داد که می توان تعداد آزمایش‌ها (تعداد مشاهدات) رادر یک تحقیق تجربی، کاهش داد. به کارگیری طراحی آزمایش‌های هوشمند در این تحقیق، کاهش تعداد آزمایش‌ها را تسهیل نمود و موجب کاهشی بین ۲۵ الی ۵۰ درصد تعداد واحدهای یک طرح کامل را منجر شد. این موضوع به طور معنی‌داری می‌تواند باعث کاهش زمان و هزینه تحقیق شود. این تحقیق نشان می‌دهد که روش هوشمند به‌کار گرفته شده در طراحی آزمایش‌ها می‌تواند در سطح وسیعی از حوزه‌های مهندسی مورد استفاده قرار گیرد[۱۵].

در این تحقیق، برای ارزشیابی هر نقطه در فضای ورودی‌ها و مقایسه آنها با مقادیر پیش‌بینی شده از یک شبکه‌های عصبی آموزش دیده‌شده استفاده شده است. به‌طوری که با استفاده از مجموعه داده‌هایی بر پایه طراحی‌های هوشمند یک آزمایش از ایده تابع تستی برای شبیه‌سازی اهداف واقعی استفاده شده است. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و نتایج بدست آمده از تابع تستی برای یک مجموعه داده تستی خاص، کیفیت داده‌های به‌دست آمده از یک شبیه‌سازی کامپیوتری مستخرج از یک طرح آزمایش هوشمند را ارزیابی نموده است. این مقایسه نشان داد که اثراتی که از فرآیندها در آزمایش‌ها علمی واقعی بدست می‌آید به طور باورنکردنی نزدیک نتایج حاصل از طرح آزمایش هوشمند گردیده است[۱۴].

در واقع فرآیند مورد مطالعه به کمک یک شبکه عصبی مصنوعی، مدل شده و این مدل اعتبارسنجی شده است و به جای انجام آزمایش در محیط واقعی که هزینه و زمان برای محققین دربرخواهد داشت از مدل شبیه‌سازی شده فرآیند واقعی استفاده می‌گردد که تأثیر متغیرهای ورودی بر متغیرهای خروجی در آن، بسیار نزدیک تأثیر متغیرهای ورودی در خروجی فرآیند واقعی است. بدین ترتیب تعداد آزمایش‌ها در محیط واقعی کاهش یافته و صرفه‌جویی در هزینه و زمان اتفاق خواهد افتاد.

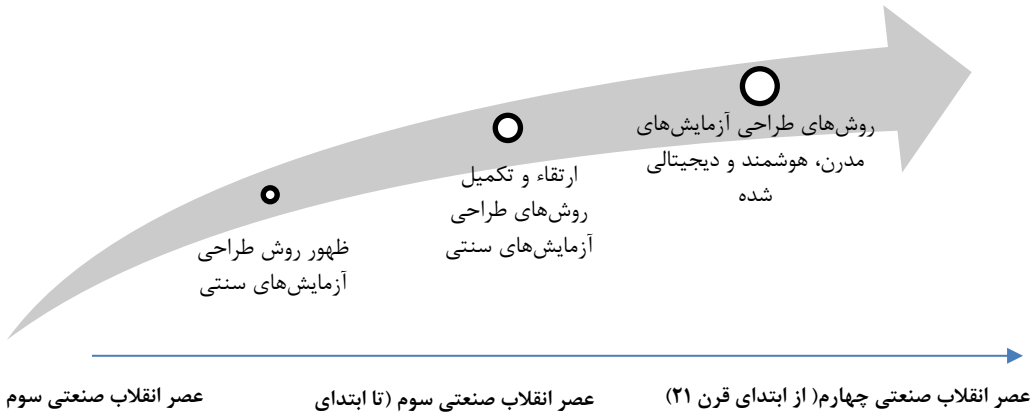
۴- نقش و تغییرات احتمالی طراحی آزمایش‌ها در زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم

بررسی‌های این تحقیق نشان می‌دهد که جایگاه، نقش و تغییرات احتمالی طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم محسوس بوده و دو نقش اساسی برای آن در تغییرات مرتبط با زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم قابل تصور خواهد بود. طراحی آزمایش‌ها در دو مرحله می‌تواند در پروژه‌های طراحی و توسعه در عصر انقلاب صنعتی چهارم استفاده شود:

۱. در حین فاز تجزیه و تحلیل یک پروژه طراحی و توسعه؛ طراحی آزمایش‌ها ابزاری مفید برای معرفی دلایل ریشه‌ای یک مشکل می‌باشد. به کمک این ابزار، تیم بهبود می‌توانند اثرات متغیرهای ورودی مختلف را برروی خروجی آزمایش نمایند. این پروژه می‌تواند طراحی و توسعه یک کسب و کار باشد.

۲. در حین فاز بهبود؛ طراحی آزمایش‌ها می‌تواند برای توسعه روابط پیش‌بینی کننده و آنالیز اگر-آنچه توسط تیم بهبود استفاده گردد. تیم پروژه می‌تواند ایده‌های مختلف را به کمک این روابط تست نموده تا تنظیمات بهینه برای دستیابی به بهترین خروجی را تعیین نمایند[۱۵].

در عصر انقلاب صنعتی چهارم دو تأثیر بر (و یا از) ابزار طراحی آزمایش‌ها قابل تصور می‌باشد. بر اساس تحقیق مرجع ۱۵طراحی آزمایش ها تحت تأثیر دیجیتالی شدن انقلاب صنعتی چهارم، و با توجه به اینکه ابزارهای جمع‌آوری اطلاعات و تجزیه و تحلیل فرآیندها و محصولات بسیار تغییر می‌یابد و تمام فضای کسب و کار و سیستم‌های تولیدی تحت تأثیر این تغییر مهم قرار خواهند گرفت و با عنایت به اینکه ابزارهای تحلیلی قدرتمندتری با بکارگیری برخی فن‌آوری‌های نوظهور ازجمله سیستم‌های رایانش ابری در اختیار محققان قرار خواهد گرفت، لذا ابزار طراحی آزمایش‌ها نیز از منظر روش‌شناختی و چگونگی به‌کارگیری از این تغییرات متأثر خواهد شد. به‌طوریکه در طراحی آزمایش‌های سنتی، به روش سنتی باید اطمینان حاصل می‌شد که فرآیند تحت کنترل هست یا خیر و این مهم به کمک ابزارهایی چون نمودارهای کنترل قابل احصاء بود. اما در عصر انقلاب صنعتی



شکل ۴- نمودار روند تغییرات ابزار طراحی آزمایش‌ه

چهارم تمامی این موارد از قبیل تحت کنترل بودن فرآیند، کنترلِ تصادفی بودن فرآیندی تولید و مدیریت کسب و کار به کمک الگوریتم‌های کنترل کامپیوتری و دیجیتالی بسیار راحت‌تر و با سرعت بیشتر قابل انجام است. حتی به کمک ابزارهایی چون شبکه عصبی مصنوعی در عصر انقلاب صنعتی چهارم می‌توان محصولات و فرآیندهای جدید را شبیه‌سازی نموده و در حالت شبیه‌سازی، به کمک ابزار طراحی آزمایش‌ها **شکل** را برای همه ابزارهای کیفیت علی‌الخصوص طراحی آزمایش‌ها، در گذر از عصر انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهارم شاهد خواهیم بود.

محققان حوزه طراحی آزمایش‌ها باید با این تغییرات آشنا و همزمان با نحوه بکارگیری از فضای دیجیتالی مهارت یابند. در این راستا جایگاه طراحی آزمایش‌ها همانند گذشته در بهبود کیفیت و تعیین عوامل اثرگذار بر خروجی فرآیندهای کسب و کار و تولیدی نه تنها پررنگ‌تر خواهد بود بلکه در طراحی فرآیندهای کسب و کار و تولیدی اتومات و دیجیتال شده، نقش تعیین کننده‌ای خواهد داشت. بر این اساس تغییرات متصور در مورد طراحی آزمایش‌ها به دودسته کلی تقسیم خواهد شد. **۱- تغییرات ابزار طراحی آزمایش‌ها از نظر تغییرات در روش و ۲- تغییرات در فرآیند اجرای طراحی آزمایش‌ها در زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم**

۱-تغییرات ابزار طراحی آزمایش‌ها از نظر تغییرات در روش

پس از تحلیل انجام شده برروی ادبیات موضوع، برخی تغییرات که در روش‌شناختی ابزار طراحی آزمایش‌ها با توجه به منابع [۱۳،۱۴،۱۵،۱۶] قابل استنباط و احصاء می‌باشد، به طور خلاصه تشریح می‌گردد.

به عوامل مهم و تأثیرگذار در فرآیند پی‌بُرد. اما استفاده از این روش‌های دیجیتالی شده و مدرن، احتمال اینکه روش‌های بکارگیری طراحی آزمایش‌ها را دستخوش تغییر کند، بسیار می‌نماید. بر این اساس و بر اساس مطالعات انجام شده، ۱- از منظر تغییرات در روش ابزار طراحی آزمایش‌ها، تغییر نمایش داده شده در

***استفاده از طراحی آزمایش‌های هوشمند در الگوریتم‌های کنترل تولید و کنترل و اعتباردهی فرآیند کسب و کار:** برچ و همکاران فرآیندی برای طراحی، آنالیز و اعتباردهی پلتفرم‌های کسب و کار دیجیتال، طراحی و ارائه نمودند. آنها از روش‌های علمی طراحی تحقیقات علمی استفاد نموده و روشی برای اعتبار دهی به مدل‌های کسب و کار دیجیتالی طراحی شده گزارش کردند. چرخه آزمایش سکوی هوشمند[۲۲] نام روشی است که در این تحقیق ارائه شده است. این روش از چهار مرحله تکرار شونده برای آزمایش کسب و کارهای دیجیتال، تشکیل شده‌است. این چهار مرحله تکرارشونده که روی سکوهای دیجیتالی پیاده-سازی خواهند شد شامل آزمایش‌های سیکلی کسب و کار، فرآیند توسعه مشتریان و حلقه بازخورد ساخت-اندازه‌گیری-یادگیری[۲۳] و غنی‌سازی آن با دانش سکوهای دیجیتال هستند. این محققان برای ارزیابی کارایی، قابلیت به کارگماری و اعتبارسنجی فرآیند سیکلی آزمایش سکوهای هوشمند کسب و کار، از روش اعتبارسنجی کسب و کارهای نوپا در گاسی‌آلارم آلمان (یک سرویس بازارگاه مدل‌های کسب و کار) استفاده کردند. این روش نشان داد که کاستی‌های

[22] Smart Platform experiment cycle (SPEC)

[23] Build-Measure-Learn

کسب و کارهای نوپا در بازار یاد شده، عموماً در استراتژی قیمت-گذاری و پیش‌بینی عوامل مؤثر در بهبود کسب و کار فعلی آنها بوده است. بدین‌وسیله این محققان اثبات نمودند از این روش تکرار شونده می‌توان برای شناخت عوامل اثرگذار بر کسب و کارهایی که برروی سکوی‌های دیجیتال ایجاد شده‌اند استفاده نمود[۱۶]. با توجه به این نتیجه می‌توان این سکوی هوشمند را در انواع دیگر کسب و کارهای دیجیتالی استفاده کرد. قبل از شروع آن در محیط آزمایشی عوامل تأثیرگذار بر آن را به کمک استفاده از فرآیند سیکلی آزمایش‌های هوشمند شناسایی و در محیط واقعی برای نائل آمدن به هدف مدیریت نمود. با الگوگیری و تعمیم این تحقیق و به کار بستن طراحی آزمایش‌هایی که به کمک سکوهای دیجیتالی تکرارپذیرند و این قابلیت در بستر دیجیتالی را در اختیار طراحان کسب و کار دیجیتال قرار خواهند داد، می‌توان گفت در زیست بوم انقلاب صنعتی چهارم (عصر دیجیتالی شدن و ارتباطات اشیاء و ...) به منظور تولید محصولات و ارائه خدمات با کیفیت، در سیستم‌های تولیدی دیجیتالی شده و اتومات، بالطبع باید از الگوریتم‌های کنترل تولید کامپیوتری و متناسب با سیستم تولیدی انقلاب صنعتی چهارم استفاده نمود. در زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم که تمام سیستم‌های تولیدی در آن تحت یک سیستم سایبر فیزیکی بهم پیوسته خواهند بود و اطلاعات مربوط به فرآیند تولید و خروجی آن در سرورهای ابری ذخیره خواهد شد، اجرای طراحی آزمایش‌های سنتی امکان‌پذیر نخواهد بود. بر این اساس به منظور تعیین عوامل کنترلی در الگوریتم‌های کنترل تولید اتومات باید به تناسب از طراحی آزمایش‌های هوشمند(همانند طراحی آزمایش‌ها تشریح شده در بند ۰) استفاده نمود.

****افزایش سرعت اجرای فرآیند طراحی آزمایش‌ها با استفاده از سیستم‌های مدیریت اطلاعات دیجیتال شده:**

در اجرای طراحی آزمایش‌های سنتی باید به کمک ابزارهایی مانند برگه‌های جمع‌آوری داده (data sheet)، داده‌ها توسط یک فرد متخصص از فرآیند جمع‌آوری شود. سپس توسط یک فرد متخصص پالایش شده و وارد نرم‌افزارهای آماری مناسب گردد. در نهایت خروجی نرم‌افزار توسط یک متخصص به صورت گزارش تحلیلی، تهیه می‌گردد. اما در عصر دیجیتال جای یک فرد متخصص را یک سیستم هوشمند مانند شبکه عصبی می‌گیرد، و از طریق سنسورها و ماشین‌ها اطلاعات لازم را بصورت یک سیستم یکپارچه دریافت خواهد کرد. در این فرآیند جدید، ابزارها به کمک سیستم‌های سایبر فیزیکی و فن‌آوری‌های دیجیتال شده با نرم‌افزارهای آماری که مجهز به رایانش ابری شده‌اند، یکپارچه شده و خروجی توسط یک هوش مصنوعی به صورت گزارش نهایی ارائه خواهد شد.

روند تغییرات استفاده از طراحی آزمایش‌ها به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: تشریح خصوصیات روند تغییرات ابزار طراحی آزمایش‌ها از منظر روش شناختی

خصوصیات و ویژگی‌ها	رویداد/رویدادها	دوره
• ارائه آزمون‌ها و تست‌های میانگین‌های جامعه توسط فیشر[۱۷]	ظهور روش طراحی آزمایش‌های سنتی	انقلاب صنعتی سوم از ۱۹۲۰
• ارتقاء روش‌های ابداع شده توسط فیشر و ارائه طرح‌های مختلف آزمایش‌ها از قبیل تک عاملی، چند عاملی، کامل و کسری و ....[۱۸]	ارتقاء و تکمیل روشهای طراحی آزمایش‌های سنتی	انقلاب صنعتی سوم تا ابتدای قرن ۲۱
• ارائه روش‌های طراحی آزمایش‌ها هوشمند به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی و دیگر ابزارهای شبیه‌سازی و محاسباتی به منظور کاهش و یا حتی حذف نمونه‌گیری از محیط واقعی و همچنین کاهش هزینه و افزایش سرعت نمونه‌گیری[۱۵] • استفاده از طراحی آزمایش‌های هوشمند در الگوریتم‌های کنترل تولید و تغییرات طراحی فرآیندهای مدیریت کسب و کار • افزایش سرعت اجرای فرآیند طراحی آزمایش‌ها با استفاده از سیستم‌های مدیریت اطلاعات دیجیتال شده (به کمک سرورهای ابری و رایانش ابری و فن‌آوری‌های انتقال اطلاعات در انقلاب صنعتی چهارم)	روش های طراحی آزمایش‌های مدرن، هوشمند و دیجیتالی شده	انقلاب صنعتی چهارم

۵- تغییرات در فرآیند اجرای طراحی آزمایش‌ها در زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم

با توجه به نقشی که ابزار طراحی آزمایش‌ها به عنوان ابزاری ضروری برای بهبود و ارتقاء کیفیت محصولات، و فرآیندها، دارد در عصر انقلاب صنعتی چهارم نیز این نقش در تک تک مراحل گذار از دوره انقلاب سوم به انقلاب صنعتی چهارم قابل توجه خواهد بود. در این عصر با توجه به اینکه به سمت دیجیتالی شدن و اتومات شدن اکثر عوامل و فرآیندهاخواهیم رفت و نقش کامپیوترها و ربات‌ها در اجرای فرآیندها و اخذ بسیاری از تصمیمات و تنظیمات پارامترها در یادگیری ماشین‌ها و الگوریتم‌های تصمیم‌گیری مطرح می‌باشد، بنابراین انجام تنظیمات بهینه عوامل اثرگذار بر خروجی فرآیندها بسیار ضروری و مهم به نظر می‌رسد. این در حالی است که طراحی آزمایش‌ها ابزاری بسیار قدرتمند برای انجام این مهم و شناسایی عوامل مهم اثرگذار بر خروجی فرآیندهای ساخت و تولید و در سپس کمک به تنظیم بهترین مقدار برای این عوامل تأثیرگذار می‌باشد. بنابراین کاربرد طراحی آزمایش‌ها در پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهارم نه تنها بسیار زیاد بوده بلکه امری اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد.

نمونه‌ای از این روش‌ها توسط هوانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ استفاده شد. ایشان یک طراحی آزمایش بر پایه محاسبات تکاملی تعاملی[۲۴] برای تصدیق نمودن طراحی پدیده‌ها و کسب و کارهای دیجیتالی پیشنهاد دادند. آنها ثابت نموده‌اند که به کمک استفاده از این مدل طراحی آزمایش‌ها، که بر پایه داده‌های جمع‌آوری شده از آزمایش‌ها اجرا گردید و با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی و داده‌های کل‌نگر اجرا گردید، می‌توان مؤلفه‌های تأثیرگذار در فرآیندها را در فاز طراحی بهبود داد. در این روش داده‌ها توسط ابزارهای نوین جمع‌آوری داده (مانند اینترنت اشیا) و سنسورها جمع‌آوری شده و به کمک روش‌های جدیدی چون خوشه‌بندی مورد تحلیل قرار گیرند. در این رویکرد، قبل از اجرای کار در محیط واقعی، آزمایش‌ها در محیط مجازی، به صورت تعاملی شبیه‌سازی، و طراحی شده و سپس داده‌های بدست آمده تجزیه و تحلیل می شوند. بر این اساس هزینه‌ها و زمان پیاده-سازی آزمایشی یک فرآیند در عمل صرفه‌جویی می‌شود. این روش در فرآیند فروش لوازم آرایشی در یک تفرجگاه با شرکت ۲۳۰مشتری تست شد و نتایج مطلوب ارزیابی گردید[۱۸].

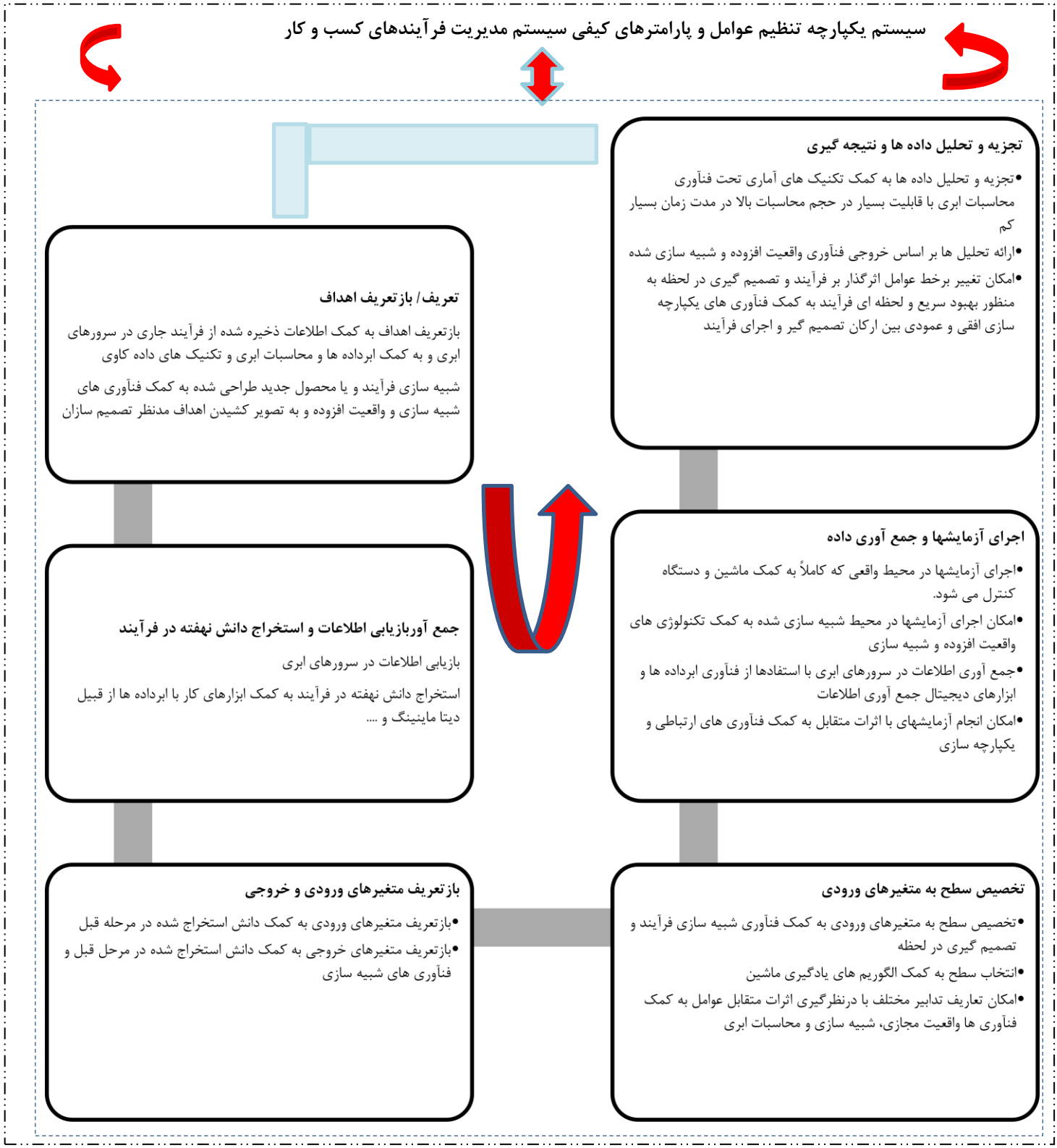
بر این اساس با توجه به کارگیری وسیع طراحی آزمایش‌های هوشمند، باید فرآیند پایه‌ای استفاده از این ابزار را که تا کنون به روش سنتی پیاده‌سازی می‌شود را متناسب با تکنولوژهای مورد استفاده در انقلاب صنعتی چهارم تغییر داد. با توجه به مطالعات انجام گرفته و استنباط انجام شده تغییرات تک تک مراحل فرآیند پایه‌ای به کارگیری ابزار طراحی آزمایش‌ها به صورت جدول ۲ پیشنهاد می‌گردد.

بنابراین در عصر انقلاب صنعتی چهارم با بکارگیری فن‌آوری‌های موجود اجرای فرآیند به کارگیری طراحی آزمایش‌ها دستخوش تغییرات تکنولوژیکی وسیعی شده است. مطابق نتیجه حاصل شده از تحقیق هوآنگ و همکاران[۱۹] این تغییرات سرعت و کارایی این ابزار را به شدت افزایش خواهد داد. به‌طوریکه قابلیت استفاده از طراحی آزمایش ها در تمامی مراحل فرآیندهای کسب و کار حاضر در زیست بوم انقلاب صنعتی چهارم، امکان پذیر خواهد بود. با این تغییرات می‌توان از ابزار طراحی آزمایش‌ها برای ارتقاء کیفیت خروجی سیستم‌های سایبر- فیزیک موجود در انقلاب صنعتی چهارم به طور فزاینده‌ای استفاده نمود. بنابراین فرآیند پایه‌ای پیاده‌سازی ابزار طراحی آزمایش‌ها به عنوان بخشی از سیستم مدیریت فرآیند کسب و کار که طبق تجربیات تحقیقات هوآنگ و همکاران[۱۹] و برچ و همکاران[۱۷] تکرارپذیر و دیجیتالی خواهند شد، در عصر انقلاب صنعتی چهارم به صورت شکل ۴ پیشنهاد شده است .

[24] Interactive Evolutionary Computation Interior Design Experiment

جدول ۲: تغییرات مراحل فرآیند پایه‌ای پیاده‌سازی طراحی آزمایش‌ها

زیست بوم انقلاب صنعتی چهارم	در فضای سنتی	مرحله اجرای فرآیند
➢ **تعریف/بازتعریف اهداف** • بازتعریف اهداف به کمک اطلاعات ذخیره شده از فرآیند جاری در سرورهای ابری و به کمک ابرداده‌ها و رایانش ابری و تکنیک‌های داده کاوی • شبیه‌سازی فرآیند و یا محصول جدید طراحی شده به کمک فن‌آوری‌های شبیه‌سازی و واقعیت افزوده و به تصویر کشیدن اهداف مدنظر تصمیم‌سازان	➢ **تعریف اهداف** • تعریف اهداف توسط تصمیم سازان و تصمیم گیرندگان بر اساس اطلاعات خبرگی برای فرآیندهای موجود • تصویرسازی ذهنی اهداف برای محصولات و طراحی فرآیندهای جدید مبتنی بر خبرگی	۱
➢ **بازیابی اطلاعات و استخراج دانش نهفته در فرآیند** • بازیابی اطلاعات در سرورهای ابری • استخراج دانش نهفته در فرآیند به کمک ابزارهای کار با ابرداده‌ها از قبیل دیتا ماینینگ و	➢ **جمع آوری دانش در مورد فرآیند** • به کمک متخصصین فرآیند • مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای	۲
➢ **بازتعریف متغیرهای ورودی و خروجی** • بازتعریف متغیرهای ورودی به کمک دانش استخراج شده در مرحله قبل • بازتعریف متغیرهای خروجی به کمک دانش استخراج شده در مرحل قبل و فن‌آوری‌های شبیه‌سازی	➢ **انتخاب متغیرهای ورودی و خروجی** • انتخاب متغیرهای به کمک خبرگی • احتمال انتخاب متغیرهای بدون تأثیر در فرآیند / تأثیر کم	۳
➢ **تخصیص سطح به متغیرهای ورودی** • تخصیص سطح به متغیرهای ورودی به کمک فن‌آوری شبیه‌سازی فرآیند و تصمیم گیری در لحظه • انتخاب سطح به کمک الگوریم های یادگیری ماشین • امکان تعاریف تدابیر مختلف با درنظرگیری اثرات متقابل عوامل به کمک فن‌آوری واقعیت مجازی، شبیه‌سازی و رایانش ابری و ...	➢ **تخصیص سطح به متغیرهای ورودی** • تخصیص سطح به متغیرهای ورودی به کمک خبرگی و توسط متخصصین • به دلیل مشکل بودن محاسبات امکان درنظر گرفتن تدابیری با اثرات متقابل بسیار محدود است.	۴
➢ **اجرای آزمایش‌ها و جمع آوری داده** • اجرای آزمایش‌ها در محیط واقعی که کاملاً به کمک ماشین و دستگاه کنترل می‌شود. • امکان اجرای آزمایش‌ها در محیط شبیه‌سازی شده به کمک فن‌آوری‌های واقعیت افزوده و شبیه‌سازی • جمع آوری اطلاعات در سرورهای ابری با استفادها از فن‌آوری ابرداده‌ها و ابزارهای دیجیتال جمع آوری اطلاعات • امکان انجام آزمایش‌های با اثرات متقابل به کمک فن‌آوری‌های ارتباطی و یکپارچه سازی	➢ **اجرای آزمایش‌ها و جمع آوری داده** • اجرای آزمایش‌ها در محیط کنترل شده توسط انسان ها و یا انسان-ماشین • احتمال غیر تصادفی شدن آزمایش ها به دلیل کنترل فرآیند به صورت دستی/نیمه دستی • جمع آوری داده‌های آزمایش‌ها در برگه های جمع اوری داده	۵
➢ **تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتیجه گیری** • تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک تکنیک های آماری تحت فن‌آوری رایانش ابری با قابلیت بسیار در حجم محاسبات بالا در مدت زمان بسیار کم • ارائه تحلیل ها بر اساس خروجی فن‌آوری واقعیت افزوده و شبیه‌سازی شده • امکان تغییر برخط عوامل اثرگذار بر فرآیند و تصمیم گیری در لحظه به منظور بهبود سریع و لحظه ای فرآیند به کمک فن‌آوری‌های یکپارچه سازی افقی و عمودی بین ارکان تصمیم‌گیر و اجرای فرآیند	➢ **تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتیجه گیری** • تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک تکنینک های آماری و نرم افزارهای آماری در حجم محاسباتی اندک • تغییر فرآیند در این حالت به دلیل دستی بودن تغییر تنظیمات فرآیند زمانبر و هزینه بر بوده و امکان تغییرات لحظه ای وجود ندارد.	۶



شکل ۴: فرآیند پیاده‌سازی طراحی آزمایش‌ها به عنوان بخشی از سیستم یکپارچه مدیریت فرآیند کسب و کار

فرآیند باز طراحی شده در شکل ۴ در واقع یکی از فرآیندهای سیستم یکپارچه مدیریت فرآیند است. با توجه به اینکه در عصر انقلاب صنعتی چهارم تمامی فرایندهای کسب و کار از ایده تا محصول و بازاریابی و بازیابی محصول به صورت افقی و عمودی یکپارچه خواهند شد، بنابراین فرآیند پیاده‌سازی طراحی آزمایش‌ها نیز باید به عنوان یکی از اجزای این سیستم یکپارچه طراحی و به کارگیری گردد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به واقعیت موجود در عصر حاضر و این واقعیت جهان صنعتی تحت تأثیر انقلاب صنعتی چهارم قرار دارد و تحولات سریع دیجیتالی شدن سرعت فرایندهای تصمیم گیری و انجام کارها را در زیست بوم انقلاب صنعتی چهارم کاملاً متحول کرده است، بنابراین شناخت تأثیرگذاری تکنولوژی‌های فن‌آوری‌های مورد استفاده در این عصر برروی تمامی فرایند های تأثیر گذار بر روش های سنتی کنترل کیفیت نه تنها اجتناب ناپذیر، بلکه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. رهبران و مدیران کسب و کار و واحدهای ساخت و تولید باید بتوانند، ابزارها و مهارت‌های مورد نیاز برای ارتقا کیفیت را در این فضا شناسایی و برای اکتساب آنها برنامه‌ریزی و اقدام نمایند، در غیر این صورت از دور رقابت در بازاری که انقلاب صنعتی چهارم بر آن حاکم است خارج خواهند شد.

با توجه به اهمیت بسیار بالای طراحی آزمایش ها در تحقق اهداف کیفی فرایندهای تولیدی و خدماتی، در تحقیق حاضر ابتدا مفاهیم و تعاریف موجود در ادبیات موضوع انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهارم به منظور فهم و درک توپولوژی این فضاها تشریح گردید و دو روش برای معماری کسب و کار در فضای انقلاب صنعتی چهارم از منابع ادبیات ارائه شد. مدیران کسب و کارها می‌توانند از این دو مدل برای معماری کسب و کار خود به منظور ورود به عصر انقلاب صنعتی چهارم استفاده نمایند.

هدف اصلی این تحقیق ترسیم چگونگی تحت تأثیر قرار گرفتن طراحی آزمایش ها در زیست بوم انقلاب صنعتی چهارم بود، و چگونگی انجام طراحی آزمایش ها در این زیست بوم مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در حالت سنتی از ابزار قوی و پرکاربرد طراحی آزمایش‌ها برای ارتقاء کیفیت خروجی محصولات و فرآیندها و همچنین تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت محصولات و فرآیندهای جدید و طراحی و توسعه کسب و کارها و محصولات جدید استفاده می‌شود، در عصر تحول دیجیتال که همه چیز با سرعت زیادی در حال تغییر و بهبود است نیاز بیشتری به ابزار قوی طراحی آزمایش‌ها برای بهینه نمودن فرآیندهای تولیدی و خدماتی وجود دارد. این تحقیق با بررسی منابع متعدد نشان داد که با توجه به تحولاتی که در روش‌ها و فرآیندها مبتنی برانقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهارم به وقوع پیوسته است، ابزار طراحی آزمایش‌ها دستخوش چه تغییرات مهمی خواهد شد. در این تحقیق تغییرات در روش طراحی آزمایش‌ها در گذار از انقلاب صنعتی سوم به انقلاب صنعتی چهارم تشریح گردید. همچنین فرآیند پایه‌ای پیاده‌سازی ابزار طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم مبتنی بر ادبیات و منابع منتشر شده توسط محققان ارائه گردید.

در ادامه

با توجه به اهمیت کیفیت چهار، و استفاده از طراحی آزمایش‌ها در عصر تحول دیجیتال، حوزه‌های زیر برای تحقیق پیشنهاد می‌شود:

۱-بررسی عوامل و موانع اصلی استقرار کیفیت چهار در صنایع تولیدی ایران.

۲- انجام مطالعات کمی درخصوص تأثیر بازطراحی فرآیند پیاده‌سازی طراحی آزمایش‌ها در زیست‌بوم انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت چهارم و تأثیر آن در رضایت و تأمین رضایت مشتریان.

۳-تجربیات استقرار کیفیت چهار در ایران و مقایسه آن با تجربیات حاصل شده در صنایع پیشرفته جهان.

اعلام تعارض منافع

نویسنده(نویسندگان) اعلام می‌کنند که هیچ نوع تعارض منافعی وجود ندارد..

۷- منابع

[1] Pessoa, M. V. P., Becker, J. M. J., (2020). Smart design engineering: a literature review of the 4th industrial revolution on product design and development, Research in Engineering Design,175-195.

[2] Horvath, I., Zeng, Y., Liu, Y. and Summers, J., (2021). Smart designing of smart Systems, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 35(2), 129-131.

[3] Tay, S.I, Lee, T.C, Hamid, N.A.A. Ahmad, A.N.A, (2018). An Overview of Industry 4.0: Definition, Components, and Government Initiatives, Jour of Adv Research in Dynamical

& Control Systems, Vol. 10, 14-Special Issue, 1379-1387.

[4] Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., Frank, A. G., (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance, International Journal of Production Economics, 204, 383-394.

[5] Pessoa, M., Becker, J.,(2020). Smart Design engineering: a literature review of the impact of the 4th industrial revolution on product design and development, research in Engineering Design, 31,175-195.

[6] Szozda, N., (2017). Indusry 4 and its Impact on the Functioning of Supply Chain, Scientific journal of logistics, 13(4), 401-414.

[7] Schwab, K.,(2016). The Fourth Industrial Revolution, what it means and how to respond. Retrieved from https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how to res pond.

[8] Abdollahi. V, Forginezhad. A, Khalil. K, (2020), Additive manufacturing and 3D Bio printing, 29 (134), 43-53. (in Persian)

[9] Burrus, D., (2023). What is industry 4.0?, Definition, technologies, benefits, Retrieved from https://www.sap.com/insights/what-is-industry-4-0.html.

[10] Fonseca, L., Amaral, A., Oliveira, J., (2021). Quality 4.0: The EFQM 2020 Model and Industry 4.0 Relationships and Implications, sustainability, 13(6), 3107.

[11] Deli, M. c., Radlovaˇcki, V., Kamberovi, B. c., Vulanovi, S. c., Hadžistevi, M. c., (2014). Exploring the impact of quality management and application of information technologies on organisational performance—The case of Serbia and the wider region, Total. Qual. Manag. Bus. Excell, 25, 776–789.

[12] Sony, M., Antony, J., Douglas, J. A., Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0, A narrative review of literature and future directions for research, The TQM Journal, https://www.emerald.com/insight/1754-2731.htm.

[13] Jahn, N., (2019). Quality Management and Requirements of the Fourth Technical Revolution, International Scientific Journal "industry 4.0", 2, 61-63.

[14] Antonino, P. O., Capilla, R., Pelliccione, P., Schnicke, F., Espen, D., Kuhn, T., Schmid, K., (2022). A Quality 4.0 Model for architecting industry 4.0 systems, Advanced Engineering Informatics, 54, 101801.

[15] Skowronek, A., (2015). Reducing the Number of Runs in Experimental Research Using Smart Designs of Experiment, Technical Transactions Mechanics, 2-M, 253-260.

[16] Juran Institute and Attain Partners, (2020), Design of Experiments – An Essential Tool for Quality Improvement, Retrieved from https://www.juran.com/blog/the-history-of-quality.

[17] Brecht, P., Niever, M., Kerres, R., Strobele, A., Hahn, C. H., (2021). Smart platform experiment cycle (SPEC): a process to design, analyze and validate digital platforms, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing,35, 209-225.

[18] Atashgar. K, (2018), Design of Experiment and Taguchi Method, Iran: Malek -e- Ashtar University of Technology. (in Persian)

[19] Huang, W., Su, X., Wu M., Yan, L., (2020). Category, process, and recommendation of design in an interactive evolutionary computation interior design experiment: a data-driven study, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 34, 233-247.

The Role of Design of Experiment in the Ecosystem of the Fourth Industrial Revolution

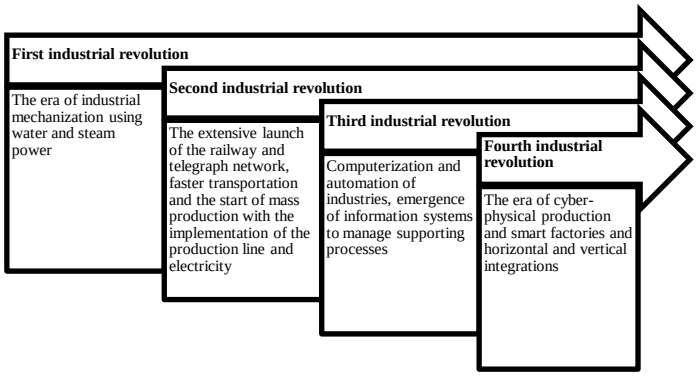
Sayyed Mehran Hosseini
Corresponding Author: Ph.D. Student in Industrial engineering and Management group, Malek-Ashtar University of Technology, Iran. sm.hoseini@mut.ac.ir

Karim Atashgar
Associate Prof., Faculty of Industrial engineering and Management group, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. atashgar@iust.ac.ir

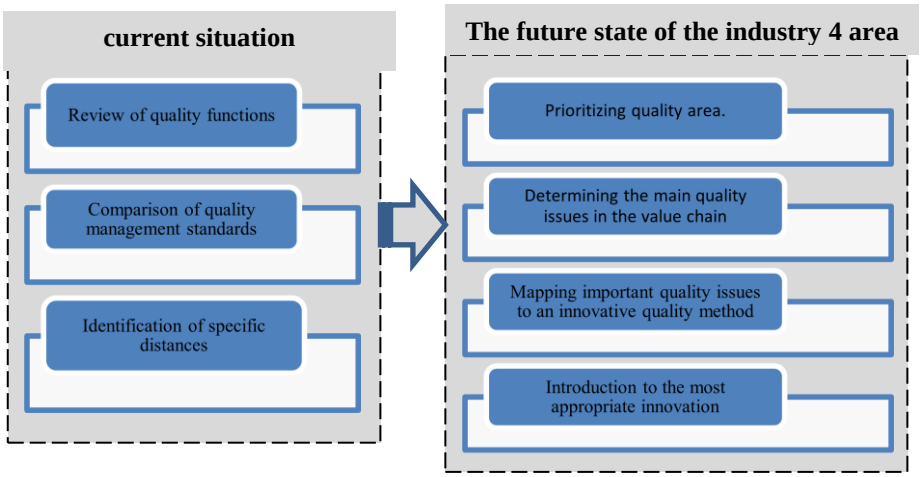
Abstract: Digital transformation, large amount of data, and high speed of production processes are among the most important characteristics of the ecosystem of the fourth industrial revolution. These characteristics have influenced the decision-making processes of business managers. In the fourth industrial revolution, all elements of business and production systems, including decision support systems, will be affected by digitization and the high speed and accuracy of new technologies. One of these important pillars is quality management. Digitized quality management is called the Quality 4. Design of experiments as an active approach in quality management plays an important role in improving the quality of products and even processes. This powerful tool has been influenced by the changes that occurred in the fourth industrial revolution and has tended towards the design of intelligent experiments. This research aims to show with a comprehensive review in the literature how the design of experiments can provide a special role in meeting the requirements of customers in the fourth industrial revolution and the fourth quality. In this research, firstly, the changes made in the methods and design plans of the experiments, then the possible changes in the activities of the basic process of the implementation of the design of the experiments have been redefined according to the effects of new technologies. At the end, suggestions for future research have been proposed.
Keyword: Fourth industrial revolution, quality 4, business processes, design of experiments

1- Aim and Introduction

Considering the current reality and the fact that we are now in the era of the fourth industrial revolution and we are witnessing the rapid growth of digitalization and the speed of doing things in the era of the fourth industrial revolution. Therefore, knowing this space and understanding the impact of the technologies used in this era on all aspects and parts of business is necessary and inevitable. Business leaders and managers and manufacturing and production units must be able to identify the work environment, tools and skills needed in this space and plan and take action to acquire them, otherwise they will be out of competition in the market where the revolution The fourth industry is ruling it, they will go out. In order to implement the fourth industrial revolution in your business, you must meet the requirements that can be met with the help of management approaches such as quality management, which is called the fourth quality in the digitalization space [3,7].
In this research, first, the concepts and definitions in the literature on the subject of the fourth industrial revolution and the fourth quality were explained in order to understand the topology of these spaces (picture 1) and two methods for business architecture in the space of the fourth industrial revolution were presented from previous researchers (picture 2) [9].

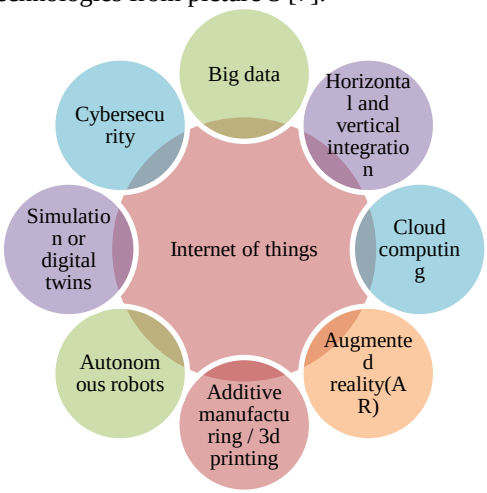


picture 1: Historical summary of industrial revolutions [9]



Picture 2: Approach to achieving the future level of quality management [5]

Business managers can use these two models for their business architecture in order to enter the era of the fourth industrial revolution. For doing this revolution, they must be used to new technologies from picture 3 [7].



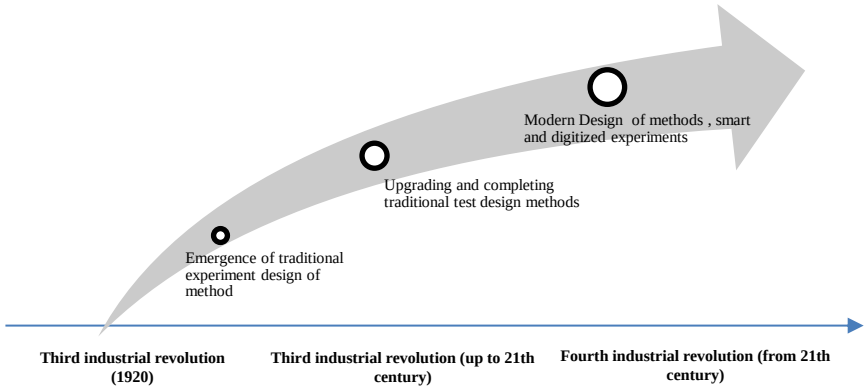
Picture3: Technologies required for the fourth industrial revolution [7]

2- Methodology

But the main goal of this research, which was to understand the place of business management techniques and tools, especially the role of experiment design in the fourth industrial revolution and the fourth quality, was also examined in this research. As in the traditional mode, the powerful and widely used tool of experiment design is used to improve the output quality of current products and processes, as well as to determine the factors affecting the quality of new products and processes and the design and development of new businesses and products, in the era of digitalization. Also, since everything is changing and improving at a very fast pace, there is a greater need for strong tools such as designing experiments to optimize these changes. Design of experiments helps to optimize the changes in the processes by identifying the factors affecting the output quality of the current processes as well as the factors affecting the design of quality business processes in the environment of the fourth industrial revolution and providing the optimal amount of each of these factors. However, the test design tool will undergo changes in terms of changes in the method and process used in the fourth industrial revolution and fourth quality due to the increasing speed of the implementation of changes in business processes and manufacturing and production processes in this space [1,6,8].

3- Findings

became. In this research, the changes in the design of experiments in the transition from the third industrial revolution to the fourth industrial revolution were explained to some extent (picture 4).



Picture 4: Diagram of changes in the design of experiments

The process of changes in the design of experiments in terms of changes in the method is briefly described in Table. 1

Table 1: Describing the characteristics of the process of changes in the design of experiments from a methodological point of view [2,4,8]

The period	Event	Features and characteristics
The third industrial revolution since 1920	The emergence of the method of designing traditional experiments	Inventing and presenting tests and tests of the averages of two societies, etc. by Fisher [2]
The third industrial revolution until the beginning of the 21st century	Upgrading and completing traditional methods of design of experiment	Upgrading the methods invented by Fisher and providing various designs of experiments such as single-factor, multi-factor, complete and fractional and...
The fourth industrial revolution	Methods of modern, smart and digitized design of experiments	• Providing methods for smart design of experiment with the help of artificial neural networks and other simulation and computing tools in order to reduce or even eliminate

Table 1: Describing the characteristics of the process of changes in the design of experiments from a methodological point of view [2,4,8]		
The period	**Event**	**Features and characteristics**
		sampling from the real environment, as well as reduce the cost and increase the sampling speed [8] • Using the smart design of experiments in production control algorithms and changes in the design of business management [4] • Increasing the speed of execution of design of experiments process using digitalized information management systems (with the help of cloud servers and cloud computing and information transmission technologies in the fourth industrial revolution).

4- Discussion and Conclusion

Also, the basic process of implementing the experiment design tool in the fourth industrial revolution was redesigned and presented in table 2.

Table 2: Changes in the stages of the basic process of implementing the design of experiments		
stage of the process	**In a traditional area**	**The ecosystem of the fourth industrial revolution**
۱	➢ **Definition of objectives** • Defining goals subjectively by decision makers and decision makers based on subjective information for existing processes • Visualize goals for new products and design processes	➢ **Definition/redefinition of objectives** • Redefining goals with the help of information stored from the current process in cloud servers and with the help of metadata and cloud computing and data mining techniques. • Simulation of the new designed process or product with the help of simulation and augmented reality technologies and depicting the goals of the decision makers.
۲	➢ **Gather knowledge about the process** • With the help of process experts • Field and library studies	➢ **Retrieving information and extracting knowledge latent in the process** • Data recovery in cloud servers • Extracting the knowledge hidden in the process with the help of tools for working with metadata such as data mining and...
۳	➢ **Selection of input and output variables** • Selection of variables with expert help • The possibility of choosing variables with no impact on the process / low impact	➢ **Redefinition of input and output variables** • Redefining the input variables using the knowledge extracted in the previous step • Redefining output variables with the help of knowledge extracted in the previous step and simulation technologies
۴	➢ **Level assignment to input variables** • Allocation of level to input variables with expert help and by experts • Due to the difficulty of calculations, the possibility of considering measures with mutual effects is very limited.	➢ **Level assignment to input variables** • Allocation of level to input variables with the help of process simulation technology and instant decision making • Level selection using machine learning algorithms • The possibility of defining different measures by considering the mutual effects of factors with the help of virtual reality technology, simulation and cloud computing, etc.
۵	➢ **Conducting experiments and collecting data** • Conducting tests in a human-controlled or human-machine environment • Possibility of non-randomization of experiments due to manual/semi-manual process control • Collecting data from experiments in data collection sheets	➢ **To do experiments and collecting data** • Performing tests in a real environment that is completely controlled by machines and devices. • The possibility of conducting tests in a simulated environment with the help of augmented reality and simulation technologies • Collecting information on cloud servers using metadata technology and digital tools for collecting information • The possibility of conducting experiments with mutual effects with the help of communication and integration technologies
۶	➢ **Data analysis and conclusion** • Data analysis with the help of statistical techniques and statistical software in small computing volume • Changing the process in this case is time-consuming and costly due to the manual setting of the process and there is no possibility of instant changes.	➢ **Data analysis and conclusion** • Data analysis with the help of statistical techniques under cloud computing technology with high capabilities in high volume of calculations in a very short period of time. • Providing analysis based on the output of augmented and simulated reality technology • The possibility of online change of the factors affecting the process and decision-making in the moment in order to improve the process quickly and instantly with the help of horizontal and vertical integration technologies between the decision-making elements and the implementation of the process

In the following, it is suggested that as future studies, the researchers will address 1- the details of the redesign of the process of implementing the design of experiments in the ecosystem of the fourth industrial revolution and the fourth quality and 2- the algorithm of implementing the design of intelligent experiments, which is one of the requirements for entering the fourth quality. will be localized, designed and implemented in appropriate software so that it is implemented in case studies in the country and the results are compared with other researches. 3- Investigating the degree of entry of the country's economy and businesses into the ecosystem of the fourth industrial revolution and also calculating the percentage of the realization of the fourth quality in the industries or at least a part of the country's industries that have been slightly automated and moved towards digitalization. And, such as SNAP, the automatic production system of porcelain dishes, etc., can be important and good subjects for future research.

5-Reference

[1] Antonino, P. O., Capilla, R., Pelliccione, P., Schnicke, F., Espen, D., Kuhn, T., Schmid, K., (2022). A Quality 4.0 Model for architecting industry 4.0 systems, Advanced Engineering Informatics, 54, 101801.14

[2] Atashgar. K, (2018), Design of Experiment and Taguchi Method, Iran: Malek -e- Ashtar University of Technology. (in Persian)18

[3] Horvath, I., Zeng, Y., Liu, Y. and Summers, J., (2021). Smart designing of smart Systems, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 35(2), 129-131.2

[4] Huang, W., Su, X., Wu M., Yan, L., (2020). Category, process, and recommendation of design in an interactive evolutionary computation interior design experiment: a data-driven study, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 34, 233-247.19

[5] Jahn, N., (2019). Quality Management and Requirements of the Fourth Technical Revolution, International Scientific Journal “industry 4.0”, 2, 61-63.13

[6] Juran Institute and Attain Partners, (2020), Design of Experiments – An Essential Tool for Quality Improvement, Retrieved from https://www.juran.com/blog/the-history-of-quality.16

[7] Pessoa, M. V. P., Becker, J. M. J., (2020). Smart design engineering: a literature review of the 4th industrial revolution on product design and development, Research in Engineering Design,175-195.1

[8] Skowronek, A., (2015). Reducing the Number of Runs in Experimental Research Using Smart Designs of Experiment, Technical Transactions Mechanics, 2-M, 253-260.15

[9] Szozda, N., (2017). Indusry 4 and its Impact on the Functioning of Supply Chain, Scientific journal of logistics, 13(4), 401-414.6