



Investigating the Interactive Relationships of Fourth Generation Industry Technologies in Selected Food Industries with the Revised DEMATEL Approach

Hojat Sharifpour*, Hasanali Aghajani, Abdolhamid Safaei Ghadikolaei

Department of Industrial Management, University of Mazandaran, Babolsar, Mazandaran, Iran.

Abstract

Today, organizations need to develop their production systems to achieve a competitive advantage and maintain it in the market. To achieve this, a completely new and innovative approach is needed to manage and produce an organization that dramatically increases productivity and also helps create effective and efficient supply chains. Now that the industrial revolution has grown to the fourth generation, organizations can use its new technologies to achieve and maintain a competitive advantage, as well as to increase productivity. The present study examines the interactive relationships of fourth-generation industry technologies in selected food industries to achieve this; first, through literature extraction, 20 cases of fourth-generation industry technologies were extracted, and in the second stage, with the fuzzy Delphi approach, 13 cases of fourth-generation industry technologies were identified for an explanation in the food industry. Then, the R-DEMATEL was used to investigate the interactive relationships between fourth-generation industry technologies.

Keywords: Industry 4.0, IoT, R-DEMATEL, Food industry.

Paper Type: Original

Receive: 12/04/2020

Revise: 30/05/2020

Accept: 30/06/2020

* Corresponding Author

Email Address: hp.sharif1995@gmail.com

DOI: 10.22105/dmor.2020.235154.1153

بررسی روابط تعاملی تکنولوژی‌های صنعت نسل چهارم در صنایع غذایی منتخب با رویکرد دیمتل تجدید نظر شده

حجت ا... شریف‌پور^۱، حسنعلی آقاجانی، عبدالحمید صفایی قادیکلایی

گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه مازندران، بابل‌سر، مازندران، ایران.

چکیده

امروزه سازمان‌ها برای دستیابی به مزیت رقابتی و حفظ آن در بازار نیاز به تکامل سیستم‌های تولید خود دارند. برای تحقق این امر، رویکردی کاملاً جدید و نوین برای مدیریت و تولید یک سازمان مورد نیاز است که به‌طور چشمگیری بهره‌وری را افزایش دهد و هم‌چنین به ایجاد زنجیره‌های تأمین موثر و کارآمد کمک کند. حال که انقلاب صنعتی به نسل چهارم رشد کرده، سازمان‌ها می‌توانند برای دستیابی به مزیت رقابتی و حفظ آن و هم‌چنین برای افزایش بهره‌وری، از تکنولوژی‌های نوین آن بهره‌مند گردند. پژوهش حاضر به بررسی روابط تعاملی تکنولوژی‌های صنعت نسل چهارم در صنایع غذایی منتخب می‌پردازد؛ برای تحقق این امر، ابتدا از طریق استخراج ادبیات ۲۰ مورد از تکنولوژی‌های صنعت نسل چهارم استخراج گردید و در مرحله دوم با رویکرد دلفی فازی ۱۳ مورد از تکنولوژی‌های صنعت نسل چهارم جهت تبیین در صنایع غذایی شناسایی شد. سپس به‌منظور بررسی روابط تعاملی تکنولوژی‌های صنعت نسل چهارم از دیمتل تجدیدنظر شده^۱ استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: صنعت ۴/۰، اینترنت اشیاء، دیمتل تجدیدنظر شده، صنایع غذایی.

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۰

اصلاح: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۴

۱- مقدمه

طی چند سال گذشته، چهارمین انقلاب صنعتی^۲ در سراسر جهان توجه زیادی را به خود جلب کرده است. چهارمین انقلاب صنعتی در قلب خود یک ترکیب بی‌سابقه از تکنولوژی^۳ دیجیتال، فیزیکی، بیولوژیکی و... و یک تحول پیش‌بینی شده در چگونگی ساخت محصولات و استفاده از آن را، نشان می‌دهد. چهارمین انقلاب صنعتی که به نام صنعت ۴/۰^۴ شناخته شده است، واقعیت جدیدی از اقتصاد مدرن است چرا که نوآوری و توسعه تکنولوژیکی در هر سازمان، نقش مهمی را ایفا می‌کند. صنعت ۴/۰ به‌طور قابل توجهی

^۱Revised-Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (R-DEMATEL)

^۲The fourth industrial revolution

^۳Technology

^۴Industry 4.0

محصولات و سیستم‌های تولید را در رابطه با طراحی، فرآیندها، عملیات و خدمات تغییر می‌دهد. بدیهی است، اجرای این مفهوم عواقب بیش‌تری برای مدیریت و شغل‌های آینده با ایجاد مدل‌های جدید کسب و کار دارد (الوسارزیک^۱، ۲۰۱۸).

صنعت ۴/۰ برای اولین بار در سال ۲۰۱۱ در آلمان معرفی شد. مفهوم پایه صنعت ۴/۰ اتصال ماشین‌ها، قطعات و سیستم‌ها است و کسب‌وکارها، شبکه‌های هوشمند را در طول زنجیره‌ی ارزش کامل ایجاد می‌کند که می‌توانند به‌صورت خودمختار یکدیگر را کنترل کنند. این نشان می‌دهد که این انقلاب صنعتی احتمالاً بر مردم، شرکت‌ها و کل زنجیره‌های تأمین تأثیر می‌گذارد (آگوستینی و فیلیپینی^۲، ۲۰۱۹). تحت این شرایط، سازمان‌ها برای ایجاد مزیت رقابتی و حفظ آن، باید با چهارمین انقلاب صنعتی ارتباط برقرار می‌کنند و از تکنولوژی‌های نوین این انقلاب، در بهره‌وری هرچه بهتر محصولات خود، استفاده کنند. پژوهش حاضر سعی در بهبود صنایع غذایی با استفاده از تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰، دارد. در بسیاری از کشورهای پیشرفته صنعت غذا به‌عنوان یکی از اشتغال‌زاترین و ارزش‌آوردترین صنایع تولیدی به‌شمار می‌رود (فهندژ^۳، ۲۰۱۹). صنایع غذایی در ایران نسبت به دیگر بخش‌ها، صنعتی جدیدتر به‌شمار می‌رود و به این دلیل نیاز به حمایت‌های بیش‌تری دارد (کریمی تفرشی^۴، ۲۰۱۸). فعالان این بخش به این نکته اذعان دارند که با توجه به موانع صادراتی در کشور، تولیدکنندگان صنایع غذایی نتوانستند از فرصت‌های تجاری به‌وجود آمده در منطقه استفاده کنند، بنابراین این بازارها در اختیار سایر رقبا خارجی قرار گرفته است (فهندژ^۳، ۲۰۱۹). یکی از اساسی‌ترین عوامل برای رشد صادرات صنایع غذایی، به‌روز شدن تکنولوژی است که از این طریق می‌توان کیفیت تولیدات را بالا برده و امکان رقابت با کشورهای دیگر را پیدا کرد (برنامه صادراتی ۹۸ زیر ذره‌بین، ۲۰۱۸). امروزه که انقلاب صنعتی به نسل چهارم رشد کرده، می‌توان در آینده با طرح‌های اقتصادی توجیحی جهت به کارگیری تکنولوژی‌های نوین در صنایع غذایی، راه را برای صادرات در صنعت مذکور هموار کرد.

با توجه به موارد گفته‌شده، پژوهش حاضر به بررسی روابط تعاملی تکنولوژی‌های صنعت نسل چهارم در صنایع غذایی منتخب می‌پردازد. بدین منظور پس از مطالعه ادبیات موضوع در مرحله دوم، با توجه به شناسایی تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰، از تکنیک دلفی فازی جهت شناسایی و تبیین تکنولوژی‌های صنعت نسل چهارم برای دستیابی به نظرات خبرگان، استفاده شد و در پایان با استفاده از تکنیک دیمتل تجدیدنظر شده، روابط تعاملی میان تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰ بررسی شد.

۲- مبانی نظری

۲-۱- صنعت ۴/۰

صنعت ۴/۰ یک اصطلاح پذیرفته‌شده برای اشاره به انقلاب صنعتی چهارم است، علی‌رغم این که تعریف مشترکی برای آن هنوز وجود ندارد اما رواج اینترنت در تولید و ارائه خدمات، آغازگر انقلاب صنعتی چهارم است. مفهوم صنعت نسل چهارم، ایجاد یک سیستم کاملاً یکپارچه از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مشتریان را در نظر می‌گیرد. در پی این مفهوم، راهکارهای فناوری اطلاعات با همه زیرسیستم‌ها، فرآیندها، منابع سیستم و شبکه‌های تأمین‌کنندگان و مشتریان ادغام خواهد شد. بنابراین طراحی سیستم تکنولوژی‌های جدید، تمام زنجیره‌های تأمین را با ایجاد سیستم‌های سایبری- فیزیکی یکپارچه خواهد کرد و قادر به اجرای مجموعه‌ای از توابع و اقدامات جدید اعمال‌شده از سوی تولید، تدارکات و یا مدیریت خواهد شد (سانوک و سانوک^۵، ۲۰۱۸). از نظر ویژگی، صنعت ۴/۰ می‌تواند انعطاف‌پذیری بیش‌تری ارائه دهد، زمان سفارش تدارکات را کاهش دهد، در دسته‌های کوچک سفارشی‌سازی کند، و هزینه‌ها را کاهش دهد (لو^۶، ۲۰۱۷).

^۱Ślusarczyk B.

^۲Agostini & Filippini

^۳Fahandaj

^۴Karimi Tafreshi

^۵Saniuk and Saniuk

^۶Lu

اینترنت اشیاء اتصال هر چیز فیزیکی به شبکه جهانی اینترنت و شناسایی آن ها در دنیای مجازی است. اشیاء متصل به اینترنت اشیاء، توانایی درک محیط و اثر بر آن را دارند (هوتن و ضرابی^۱، ۱۳۹۷). سیستم های اینترنت اشیاء می تواند تنها زمانی که دستگاه ها به طور ایمن با سیم یا بی سیم به شبکه ارتباطی متصل می شوند، عملکرد و اطلاعات را منتقل کند. این اتصال با انتخاب نوع مناسب پروتکل اینترنت براساس الزامات خاص سیستم مانند پهنای باند و مصرف توان ایجاد می شود (گیاللس و همکاران^۲، ۲۰۱۹).

۲-۳- تولید افزودنی

تولید افزودنی، مجموعه ای از تکنولوژی ها را به منظور توسعه لایه سه بعدی اشیاء از طریق کامپیوتر، مرتبط می کند. بیشترین تکنولوژی ها در این زمینه چاپگر سه بعدی می باشد (آردیتو و همکاران^۳، ۲۰۱۹). برتری های چاپگر سه بعدی مواد غذایی توسط کلیه تکنیک های سه بعدی مربوط به محققان تأکید شده است. با این حال، نتیجه گیری به دست آمده از رفتار مصرف کنندگان به چاپگر سه بعدی مواد غذایی، هنوز ناکافی هستند و لازم است که پیشرفت های تکنولوژی و کاربردهای مربوط به آن، پیگیری و مشخص شود تا این تکنولوژی جدید، چگونه نیازهای مشتریان را برآورده می کند و شیوه زندگی مردم را چگونه تغییر می دهد (جیانگ و همکاران^۴، ۲۰۱۸).

۲-۴- تولید افزودنی

در یک طراحی به کمک کامپیوتر برای نمونه سازی سریع مبتنی بر تولید افزودنی، یک طراحی به کد منبع ترجمه می شود تا به طور خودکار یک برنامه تولیدی افزودنی را تولید کند و به صورت لایه ای نمونه اولیه طرح، آن را بسازد. امروزه نمونه سازی سریع مبتنی بر تولید افزودنی در بسته بندی های مواد غذایی به دوروش مختلف قابل تحقق است که عبارت است از (وندروست و همکاران^۵، ۲۰۱۷):

- به طور غیرمستقیم و از طریق ایجاد نمونه اولیه قالب تولید افزودنی برای ساخت بسته بندی های کوتاه مدت.
- به طور مستقیم، از طریق یک نمونه اولیه بر روی کاغذ یا مینی بر پلیمر.

۲-۵- شبیه سازی

شبیه سازی عمدتاً به تکنولوژی هایی مرتبط است که در عملیات کارخانه برای شبیه سازی تکنیک های تولید استفاده می شود و در نتیجه به اپراتورها اجازه می دهد تا تنظیمات ماشین برای خط محصول بعدی قبل از تغییر فیزیکی را آزمایش و بهینه سازی کنند (آردیتو و همکاران، ۲۰۱۸). اجزای محدود، دینامیک سیالات محاسباتی و غیره برای پروژه های مهندسی و راه اندازی طراحی مبتنی بر مدل سیستم ها، که در آن مدل های ترکیب شده از خواص مدل پیاده سازی شده را، شبیه سازی می کند (لوکاس سانتوس دالنگورو و همکاران^۶، ۲۰۱۸).

نظارت بر فروشگاه ها با جمع آوری داده های در زمان واقعی با استفاده از کنترل نظارتی و کنترل از راه دور تولید که باعث تغییر برنامه ریزی بلندمدت در دوره های کوتاه مدت با توجه به محدودیت های موجود با سیستم های اجرایی تولید می شود. در کنترل تولید تکنولوژی هایی مانند خطوط تولید انعطاف پذیر و سیستم های اجرایی ساخت به کنترل، نظارت و جمع آوری داده ها و ادغام این فرایندها به صورت عمودی و افقی کمک می کند (لوکاس سانتوس دالنگورو و همکاران، ۲۰۱۸).

^۱Hootan and Zarabi

^۲Gialelis et al.

^۳Ardito et al.

^۴Jiang et al.

^۵Vanderroost et al.

^۶Dalenogare et al.





اتوماسیون دیجیتالی با سنسورها، به‌عنوان مجموعه‌ای از تکنولوژی‌های استاندارد برای صنعت ۴/۰، شناخته می‌شود. زمانی که سیستم‌های مهندسی یکپارچه و طراحی و تولید کمک کامپیوتر، داده‌های توسعه محصول را با فرآیندهای تولید تلفیق می‌کنند، اتوماسیون دیجیتال با استفاده از سنسورهای تولید انعطاف‌پذیر، امکان جمع‌آوری داده‌ها را در فرآیند تولید فراهم می‌کند که می‌تواند توسط خطوط تولید انعطاف‌پذیر برای پیکربندی مجدد یا سازگار کردن توالی پردازش، زمانبندی و ... مورد استفاده قرار بدهد (دالنگورو و همکاران، ۲۰۱۸).

۲-۷- طراحی و تولید به کمک کامپیوتر

طراحی و تولید به کمک کامپیوتر، شامل توسعه پروژه‌ها و برنامه‌های کاری برای محصول و تولید براساس سیستم‌های کامپیوتری می‌باشد (دالنگورو و همکاران، ۲۰۱۸). طراحی به کمک کامپیوتر توسعه، بهینه‌سازی، و به اشتراک‌گذاری یک طرح ساختاری یا گرافیکی را تسهیل می‌کند. ایجاد طراحی دیجیتالی ساختار می‌تواند با روش‌های مدلسازی متفاوت با پیچیدگی متفاوت انجام شود. تولید با کمک کامپیوتر یک اصطلاح گسترده است که برای فرآیندهای تولیدی که با کمک سیستم‌های کامپیوتری انجام می‌شود، استفاده می‌گردد (وندروست و همکاران، ۲۰۱۷).

۲-۸- خطوط تولید انعطاف‌پذیر

مفاهیم صنعت ۴/۰ به سازمان‌ها امکان می‌دهد تا فرآیندهای تولید انعطاف‌پذیر داشته باشند و مقادیر زیادی داده را در زمان واقعی تحلیل کنند و تصمیم‌گیری استراتژیک و عملیاتی را بهبود بخشند (دالنگورو و همکاران، ۲۰۱۸). هم‌چنین سازمان‌ها از طریق برقراری رابطه بلندمدت با مشتریان، و تجزیه و تحلیل‌هایی که در مورد نیازهای مختلف این مشتریان انجام می‌دهند، می‌توانند خدمات بهتری را از نظر هزینه و ضمانت‌نامه با کمک سیستم تولید انعطاف‌پذیر ارائه دهند (تورتولا و همکاران^۱، ۲۰۱۸). اتوماسیون دیجیتال با تکنولوژی سنسور در فرآیندهای تولید (مثل شناسایی فرکانس رادیویی (RFID) در مؤلفه‌های محصول و مواد خام)، ترویج سیستم‌های تولید قابل تنظیم مجدد و فعال کردن ادغام و تنظیم مجدد محصول با محیط صنعتی به شیوه‌ای مقرون به صرفه، از مزایای خطوط تولید انعطاف‌پذیر می‌باشد.

۲-۹- سیستم‌های خدمات دیجیتالی

خدمات دیجیتالی از طریق اتصال به ابرهای صنعتی، یک روند جهانی در سازمان‌ها می‌باشد و باعث اتصال محصولات هوشمند با سنسورهای تعبیه‌شده، پردازنده‌ها، نرم‌افزارها، از طریق اینترنت می‌شود که این امر عملکردها و قابلیت‌های جدیدی را که مربوط به نظارت، کنترل، بهینه‌سازی و خودگردانی سازمان‌ها است را فراهم می‌کند و هم‌چنین از جمله تکنولوژی‌هایی می‌باشد که افزایش بهره‌وری را در پی دارد (دالنگورو و همکاران، ۲۰۱۸).

۲-۱۰- مدیریت چرخه محصول

مدیریت چرخه تولید محصولات یک رویکرد تجاری است و شامل کلیه شیوه‌های مدیریتی و مشارکتی و ابزارهای تکنولوژیکی برای تولید محصولات جدید می‌باشد. مدیریت چرخه محصول با تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها (مانند ایده‌ها، بازخورد و...) قادر است فرآیندهای کسب‌وکار را به‌طور خودکار کنترل و یا بهبود بخشد و به‌طور دقیق پاسخگوی نیازهای مشتریان و خرده‌فروشان باشد (وندروست و همکاران، ۲۰۱۷).

¹Tortorella et al.

فرکانس‌های رادیویی در یک تعریف محدود، در بسته‌های غذا که دارای برچسب‌های هوشمند RFID هستند کاربرد دارد. شناسایی فرکانس رادیویی موجب می‌شود که ردیابی، جلوگیری از سرقت، کیفیت و یا نظارت بر ایمنی محصولات غذایی بسته‌بندی‌شده، امکان پذیر شود (وندروست و همکاران، ۲۰۱۷).

۱۲-۲- سیستم‌های مهندسی یکپارچه

سیستم‌های مهندسی یکپارچه با ادغام کل داده‌های چرخه محصولات که شامل مفهوم محصول، تولید و تجاری‌سازی آن می‌باشد، مرتبط است. این تکنولوژی می‌تواند به بخش‌های مختلف صنعتی کمک کند تا از موانع شناخته‌شده ارتباطی و هماهنگی که سازمان‌ها در توسعه محصول جدید، برای محصولات پیچیده هستند و هم‌چنین و در اتصال افراد، اشیاء و سیستم‌ها از طریق سیستم‌عامل‌های دیجیتال نقش مهمی را ایفا می‌کنند که به وضوح سازمان‌دهی خدمات و برنامه‌های کاربردی در فعالیت‌های صنعتی را تسهیل می‌کند (دالنگورو و همکاران، ۲۰۱۸).

۱۳-۲- مهندسی کامپیوتر

سیستم‌های مهندسی به کمک کامپیوتر اغلب برای بررسی عملکرد و رفتار طراحی در سطح کلان استفاده می‌شوند و بهره‌وری فرآیند تولید و پارامترهای فرآیند تولید بهینه را از طریق آنالیز سیلیکون^۱ برای شرایط مختلف تعیین می‌کنند. می‌توان آنالیز فرآیند و آنالیز پدیده را دو کاربرد اصلی مهندسی با کمک کامپیوتر برای بسته‌بندی‌های غذایی در نظر گرفت که این دو کاربرد عبارت است از (وندروست و همکاران، ۲۰۱۷):

- آنالیز فرآیند: اطلاعات به دست آمده از این فرآیند به تولیدکنندگان برای تغییر یا بهینه‌سازی فرآیندهای تولید موجود یا طراحی پروژه‌های جدید کمک می‌کند.
- آنالیز پدیده: آنالیز پدیده از طریق شبیه‌سازی‌های مهندسی با کمک کامپیوتر برای پدیده‌های فیزیکی مثل جریان سیال، انتقال گرما یا انتقال جرم و تغییر شکل مکانیکی انجام می‌شود. هنگامی که یک برنامه نیاز به مدل‌سازی جریان هوا دارد، فرد اغلب باید به زمینه دینامیک سیالات محاسباتی متوسل شود.

۳- پیشینه پژوهش

با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه صنعت نسل چهارم، پژوهش‌های بسیار محدودی در زمینه پژوهش حاضر شکل گرفته که تنها شباهت پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌ها در این بوده که صنعت نسل چهارم را در حوزه صنایع غذایی مورد مطالعه قرار داده شد. به عبارت دیگر سایر پژوهش‌ها یکی از تکنولوژی‌هایی که معرف صنعت نسل چهارم بوده را در صنایع غذایی به شرح پرداخته‌اند و مزایا و امکانات آن را مورد مطالعه قرار دادند و از تکنیکی هم در این پژوهش‌ها استفاده نشده است و به شکل پژوهش حاضر به شناسایی تکنولوژی‌های صنعت نسل چهارم و بررسی روابط آن‌ها پرداخته‌اند. برخی از پژوهش‌های صورت گرفته در در زمینه صنعت نسل چهارم به شرح زیر است:

کامبل و همکاران^۲ (۲۰۱۹) در مقاله‌ای تحت عنوان "صنعت نسل چهارم و شیوه‌های تولید ناب برای عملکرد سازمانی پایدار در شرکت‌های تولیدی در هند" به بررسی اثرات مستقیم صنعت نسل چهارم بر شیوه‌های تولید ناب و عملکرد سازمانی پایدار و تاثیر میانجی‌گری شیوه‌های تولید ناب در رابطه بین صنعت ۴/۰ و عملکرد سازمانی پایدار پرداختند. این تحقیق، یکی از مطالعات اولیه است که اعتبار تجربی رابطه بین صنعت نسل چهارم، شیوه‌های تولید ناب و عملکرد سازمانی پایدار را ارائه می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهد که صنعت

^۱Silico

^۲Kambel et al.



۴/۰ تأثیر مثبت و مستقیم بر روی شیوه‌های تولید ناب و عملکرد سازمانی پایدار دارد و هم‌چنین این تحقیق شیوه‌های تولید ناب را به عنوان یک متغیر مهم میانجی شناسایی کرده است.

ین و شین^۱ (۲۰۱۹)، در مقاله‌ای تحت عنوان "رویکرد اندازه‌گیری عملکرد هوشمند برای طراحی مشترک در صنعت ۴/۰"، براساس روند صنعت ۴/۰، یک رویکرد هوشمند اندازه‌گیری عملکرد طراحی را ارائه کرده است که عملکردی انعطاف پذیر و سفارشی، قابلیت همکاری و ویژگی‌های هوشمندانه بازخورد در زمان واقعی را برای اندازه‌گیری، نظارت و بهبود همکاری تیم طراحی در طی فرآیند توسعه طراحی ارائه می‌دهد.

ژائو و همکاران^۲ (۲۰۱۹)، در پژوهشی به مطالعه‌ی تجزیه و تحلیل سیستماتیک ادبیات برای مرور تکنولوژی پیشرفته بلاکچین از جمله پیشرفت‌های اخیر آن، برنامه‌های اصلی در زنجیره ارزش غذایی و چالش‌ها از یک دیدگاه کل گرا، پرداختند. محققین در پی رسیدن به نتایج خود، ۷۱ نشریه از جمله مقالات ژورنالی و کنفرانسی و فصول کتاب را شناسایی کرده و سپس، از نرم‌افزار گیفی^۳ برای ایجاد یک شبکه استنادی براساس داده‌های به دست آمده از وب اف ساینس^۴، با هدف شناسایی روند فعلی و مسیرهای پژوهش‌های آینده‌ی تکنولوژی بلاکچین در مدیریت زنجیره ارزش غذایی محصولات کشاورزی، استفاده کردند.

دالنگورو و همکاران (۲۰۱۸)، با هدف "سهم پیش‌بینی‌شده تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰ برای عملکرد صنعتی" در یک نظرسنجی با مقیاس بزرگ ۲۷ بخش صنعتی که نماینده شرکت‌های ۲۲۲۵ صنعت برزیل هستند، دریافتند که چگونه اتخاذ تکنولوژی‌های مختلف صنعت ۴/۰ با مزایای مورد انتظار برای یک محصول، عملیات و جنبه‌های جانبی اثرات مرتبط است.

تورتولا و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله‌ای به بررسی اثر تعدیل‌کننده پذیرش فن آوری‌های صنعت ۴/۰ در ارتباط بین شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین ناب و بهبود عملکرد زنجیره تأمین در صنعت برزیل، پرداختند. وی با بررسی بیش از ۱۴۷ شرکت تولیدی برزیل را به منظور بهبود چهار شاخص عملکرد زنجیره‌ای، همراه با سطح اجرای ۱۷ شیوه مدیریت زنجیره تأمین ناب و ۱۰ تکنولوژی دیجیتال مرتبط با صنعت ۴/۰، مطالعه‌ی خود را پیش برد. داده‌ها با استفاده از تحلیل عاملی تاییدی و اکتشافی و تحلیل رگرسیون حداقل مربعات معمولی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. یافته‌های نویسنده نشان می‌دهند که پذیرش فناوری صنعت ۴/۰ می‌تواند رابطه بین شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین ناب و عملکرد زنجیره تأمین در صنعت برزیل را تعدیل کند. با این حال، این اثر تعدیل‌کننده در همان حد مورد انتظار نیز رخ نمی‌دهد.

آردیتو و همکاران (۲۰۱۸)، در مقاله‌ای به ارائه تصویری جامع از تلاش‌های نوآورانه‌ای که در طول زمان برای توسعه تکنولوژی‌های دیجیتال برای ارتباط بین مدیریت زنجیره تأمین و فرآیندهای بازاریابی و نقش آن‌ها در حفظ یکپارچگی مدیریت زنجیره تأمین - بازاریابی از دیدگاه پردازش اطلاعات انجام می‌شود، پرداختند. تجزیه و تحلیل ثبت اختراع و نمونه‌های واقعی برای انجام این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. نویسندگان در ابتدا بخش زیر مجموعه فناوری‌های فعال در ارتباط با انقلاب صنعتی چهارم (صنعت ۴/۰) را تشریح می‌کنند که می‌تواند بیش تر برای یکپارچه‌سازی مؤثر مدیریت زنجیره تأمین-بازاریابی (یعنی اینترنت صنعتی چیزها، محاسبات ابر، تجزیه و تحلیل بزرگ داده‌ها، و مشخصات مشتری، امنیت سایبری) و در مرحله دوم، نویسندگان یک آنالیز ثبت اختراع را با هدف ارائه یک مرور جامع از روندهای فعالیت ثبت اختراع که مشخص کردن مجموعه‌ای از تکنولوژی‌های دیجیتال تحت بررسی است، انجام می‌دهند در نتیجه پویایی و کاربردهای نوآوری خود را برجسته می‌کنند.

وندروست و همکاران (۲۰۱۷)، با هدف، ارائه یک مرور کلی و منسجم از دیجیتال‌سازی چرخه عمر بسته‌بندی مواد غذایی به پژوهش پرداختند. محققین با توجه به گزارشاتی که از مؤسسه ملی استاندارد و تکنولوژی دریافت کردند، با تعریف دو مرحله اصلی (۱) تحقیق،

^۱Yin and Qin

^۲Zhao et al.

^۳Gephi

^۴Web of Science

طراحی و تولید و (۲) کنترل کیفیت و تشخیص خطا، که در چرخه عمر پس از تدارکات چرخه عمر بسته‌بندی غذا وجود دارد، به ادامه پژوهش خود پرداختند.

جدول ۱- شرح مختصر پژوهش‌های انجام شده.
Table 1- A brief description of the research.

ردیف	محقق (محققین)	سال	شرح مختصر
۱	کامبل و همکاران	۲۰۱۹	بررسی اثرات مستقیم صنعت نسل چهارم بر شیوه‌های تولید ناب و عملکرد سازمانی پایدار.
۲	ین و شین	۲۰۱۹	به ارائه یک رویکرد هوشمند اندازه‌گیری عملکرد طراحی، براساس روند صنعت ۴/۰ پرداختند.
۳	ژائو و همکاران	۲۰۱۹	مطالعه‌ی تجزیه و تحلیل سیستماتیک ادبیات برای مرور تکنولوژی پیشرفته بلاکچین در برنامه‌های اصلی زنجیره ارزش غذایی.
۴	دالنگورو و همکاران	۲۰۱۸	بررسی سهم پیش‌بینی شده تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰ در عملکرد صنعتی.
۵	تورتولا و همکاران	۲۰۱۸	بررسی اثر تعدیل‌کننده پذیرش فناوری‌های صنعت ۴/۰ در ارتباط بین شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین ناب و بهبود عملکرد زنجیره تأمین.
۶	آردیتو و همکاران	۲۰۱۸	مطالعه‌ی تجزیه و تحلیل سیستماتیک ادبیات برای مرور تکنولوژی پیشرفته بلاکچین در برنامه‌های اصلی زنجیره ارزش غذایی.
۷	جیانگ و همکاران	۲۰۱۸	به ارائه تصویری جامع از تلاش‌های نوآورانه‌ای که در طول زمان برای توسعه تکنولوژی‌های دیجیتال برای ارتباط بین مدیریت زنجیره تأمین و فرآیندهای بازاریابی انجام شد، پرداختند.
۸	وندروست و همکاران	۲۰۱۷	مرور کلی و منسجم از دیجیتال سازی چرخه عمر بسته‌بندی مواد غذایی.

۴- روش‌شناسی پژوهش

بهبود عملکرد سازمان‌ها، نوعی از مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ است. این مسئله نیازمند در نظر گرفتن عوامل مختلفی است که به آن‌ها معیارهای ارزیابی گفته می‌شود، بنابراین استفاده از روش‌های موجود در مسائل چندمعیاره برای بهبود عملکرد سازمان‌ها، مناسب است. برای نگارش این مقاله، از دو روش مطالعه ادبیات و میدانی استفاده شده است. ادبیات تحقیق با استفاده از مطالعه ادبیات که از طریق اینترنت قابل دسترسی بود، جمع‌آوری شد. داده‌های اصلی تحقیق با روش میدانی و از طریق توزیع پرسشنامه بین خبرگان با تجربه در حوزه صنایع غذایی به دست آمده است.

هدف تحقیق حاضر بهبود عملکرد صنایع غذایی با استفاده از تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰ می‌باشد. برای تحقق این هدف، ابتدا از طریق ادبیات تحقیق، تکنولوژی‌هایی که مناسب در صنایع غذایی بودند، استخراج شد (جدول ۲). در مرحله بعد به منظور انتخاب تکنولوژی‌های با اهمیت در حوزه مورد مطالعه، پرسشنامه‌هایی براساس روش دلفی فازی در میان خبرگان توزیع شد و تکنولوژی‌هایی که میانگین درجه اهمیت آن‌ها بالاتر از ۰/۷ بود، انتخاب شدند (جدول ۳). بعد از انتخاب تکنولوژی‌های نهایی، برای تعیین روابط تعاملی میان متغیرها تکنیک‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد که با توجه به مطالعاتی که انجام شد، تکنیک دیمتل بهترین تکنیک در این زمینه بوده و در پژوهش‌های زیادی از این تکنیک برای تعیین روابط میان متغیرها مورد استفاده قرار گرفت. در پژوهش حاضر از تکنیک دیمتل تجدیدنظر شده استفاده شده است که به دلیل نکته‌ی فریبنده موجود در دیمتل، از این تکنیک در شرایط خاصی استفاده می‌شود و پژوهش‌ها کمی از نسخه اصلاح‌شده دیمتل استفاده می‌کنند که در ادامه به شرح آن می‌پرداخته شد.



Table 2- Industry 4.0 technology.

تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰	آریتو و همکاران (۲۰۱۸)	فورتولا و همکاران (۲۰۱۸)	ژائو و همکاران (۲۰۱۹)	کامیل و همکاران (۲۰۱۹)	دالنگورو و همکاران (۲۰۱۸)	ویندروست و همکاران (۲۰۱۷)	پن و شین (۲۰۱۹)
اینترنت اشیاء	✓	✓	✓	✓			✓
سیستم‌های سایبری - فیزیکی			✓	✓		✓	✓
امنیت سایبری ^۱	✓			✓			
تولید افزودنی ^۱	✓	✓		✓	✓		
بلاکچین ^۱			✓				
نمونه‌سازی سریع ^۱	✓				✓	✓	
شبیه‌سازی ^۱	✓	✓		✓			
تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها ^۱	✓	✓		✓	✓		
واقعیت افزوده ^۱	✓	✓		✓	✓		
کنترل تولید ^۱	✓	✓		✓	✓		
سنسورهای دیجیتال ^۱	✓	✓		✓	✓		
محاسبات ابری ^۱	✓	✓	✓	✓	✓		✓
طراحی و تولید به کمک کامپیوتر ^۱		✓			✓	✓	
خطوط تولید انعطاف پذیر ^۱		✓			✓		
واقعیت مجازی ^۱			✓	✓		✓	✓
سیستم‌های خدمات دیجیتال ^۱	✓				✓		
مدیریت چرخه محصول					✓	✓	
شناسایی فرکانس رادیویی ^۱			✓		✓	✓	
(RFID)							
سیستم‌های مهندسی یکپارچه ^۱	✓				✓		
مهندسی کامپیوتر					✓	✓	

۱-۴- تکنیک دیمتل تجدیدنظرشده

روش دیمتل در بسیاری از موقعیت‌ها مانند استراتژی‌های بازاریابی، سیستم‌های کنترل، مشکلات ایمنی، توسعه شایستگی‌های مدیران جهانی و تصمیم‌گیری گروهی اعمال می‌شود. این روش در روش‌های دیگر مانند فرآیند شبکه تحلیلی، تصمیم‌گیری چندگانه، تصمیم‌گیری نظریه مجموعه فازی و غیره گنجانده شده است تا این روش‌های سنتی را احیا کرده و کاربردهای جدیدی را برای روش‌های ترکیبی بررسی کند. دیمتل، تأثیر اجزای یک سیستم را با یک ماتریس ارتباط مستقیم اولیه مدل‌سازی می‌کند. در دیمتل، تأثیر کل مؤلفه‌ها با جمع کردن همه‌ی ماتریس‌های به توان رسیده براساس این فرض که ماتریس با رسیدن به توان بی‌نهایت به صفر همگرا می‌شود، محاسبه خواهد شد. لی و همکاران^۱ (۲۰۱۳)، در پژوهش خود اذعان داشتند که ممکن است در برخی شرایط کل مؤلفه‌ها با جمع کردن همه‌ی ماتریس‌های به توان بی‌نهایت رسیده به صفر همگرا نشود، بنابراین دیمتل اصلی غیرقابل استفاده می‌شود. بر این اساس لی و همکاران (۲۰۱۳)، یک نسخه جدید از دیمتل را به نام دیمتل تجدیدنظر شده که تضمین می‌کند، با افزایش توان ماتریس‌ها به توان بی‌نهایت، به صفر همگرا می‌شود و می‌توان به ماتریس کل دست پیدا کرد. مراحل اصلی تکنیک دیمتل تجدیدنظر شده به شرح زیر است:



^۱ Lee et al.



- مرحله اول: تشکیل ماتریس ارتباط اولیه^۱.
- مرحله دوم: نرمالسازی ماتریس ارتباط اولیه.
- مرحله سوم: محاسبه ماتریس ارتباط کل^۲.
- مرحله چهارم: ترسیم نمودار علی^۳.
- مرحله پنجم: به دست آوردن حد آستانه و ترسیم روابط بین معیارها.

۵- یافته‌ها

پس از توزیع پرسشنامه در میان خبرگان، تجمیع نظرات خبرگان با استفاده میانگین اعداد فازی، و فازی زدایی با استفاده از میانگین تجمیع شده نظرات خبرگان انجام شد و تکنولوژی‌هایی که مقدار بیش تری از حد آستانه داشتند (براساس مطالعات صورت گرفته (۰/۷) در نظر گرفته شد) انتخاب شدند. در نهایت پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، ۱۳ مورد از تکنولوژی صنعت ۴/۰ در صنایع غذایی شناسایی گردید که اسامی آن‌ها به همراه نام معادل‌شان در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰ به همراه نام معادل‌شان.
Table 3- Industry 4 technologies with its equivalent name.

تکنولوژی صنعت ۴/۰	نام معادل
C ₁	اینترنت اشیاء
C ₂	تولید افزودنی
C ₃	نمونه‌سازی سریع
C ₄	شبیه‌سازی
C ₅	کنترل تولید
C ₆	سنسورهای دیجیتالی
C ₇	طراحی و تولید به کمک کامپیوتر
C ₈	خطوط تولید انعطاف‌پذیر
C ₉	سیستم‌های خدمات دیجیتالی
C ₁₀	مدیریت چرخه محصول
C ₁₁	شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)
C ₁₂	سیستم‌های مهندسی یکپارچه
C ₁₃	مهندسی کامپیوتر

به منظور بررسی روابط ساختاری بین عوامل تبیین‌کننده صنعت ۴/۰، در گام نخست، تکنولوژی‌های مؤثر صنعت ۴/۰ در قالب پرسشنامه‌ای در اختیار خبرگان قرار گرفت و خبرگان مقایسات زوجی را براساس طیف بی تأثیر (۰)، تأثیر کم (۱)، تأثیر متوسط (۲)، تأثیر زیاد (۳)، تأثیر خیلی زیاد (۴) (لی و همکاران، ۲۰۱۳)، انجام دادند. جدول ۳ ماتریس ارتباط اولیه (D) را نشان می‌دهد که پس از جمع‌آوری پاسخ‌های خبرگان که تعداد آن‌ها ۷ نفر بوده است، تشکیل شده است و مؤلفه‌های آن را با a_{ij} نمایش داده می‌شود که بیانگر درجه تأثیری است که معیار I بر z می‌گذارد (لی و همکاران، ۲۰۱۳). لازمه توضیح است که براساس مطالعات صورت گرفته، برای تجمیع نظرات خبرگان از میانگین حسابی استفاده شده است^۴.

^۱Direct relation matrix

^۲Total-relation matrix

^۳Causal diagram

^۴ در محاسبات این بخش از نرم افزار اکسل استفاده شده است.

جدول ۴- ماتریس ارتباط اولیه به همراه مجموع عناصر سطر و ستون.
Table 4- Direct relation matrix with total rows and columns.

D	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	Σ
C ₁	0/000	2/000	2/142	1/714	1/714	2/714	1/714	2/000	1/714	1/428	2/142	1/857	0/714	21/857
C ₂	1/000	0/000	1/425	1/000	1/857	285/2	1/000	1/571	2/000	1/571	2/142	2/000	1/857	19/714
C ₃	2/000	1/571	0/000	1/571	1/714	1/714	2/142	2/285	1/714	1/714	1/571	1/571	2/000	21/571
C ₄	2/000	2/000	1/288	0/000	1/428	2/000	1/142	1/571	2/285	1/857	2/285	2/000	2/142	22/000
C ₅	1/714	1/428	1/714	1/357	0/000	1/867	1/428	2/285	2/285	1/857	2/142	1/714	2/000	22/285
C ₆	1/000	2/000	1/714	1/714	1/285	0/000	1/714	2/000	2/000	1/286	2/142	2/000	1/571	20/428
C ₇	1/714	1/571	1/714	1/857	1/571	1/425	0/000	1/857	1/285	1/571	2/000	1/285	1/428	19/285
C ₈	1/671	1/571	1/857	1/714	1/571	2/142	1/425	0/000	2/425	2/714	2/425	2/714	1/571	23/714
C ₉	1/857	1/000	1/425	1/428	1/142	2/425	1/557	2/285	0/000	1/857	1/857	2/000	1/000	20/142
C ₁₀	2/142	2/000	1/857	1/557	2/000	2/285	1/428	2/000	2/142	0/000	2/142	2/285	2/142	24/285
C ₁₁	1/857	1/714	1/571	1/571	1/425	1/714	1/714	2/425	2/428	2/285	0/000	2/285	1/857	22/857
C ₁₂	2/286	1/714	1571	1/571	1/857	2/142	2/000	1/714	1/857	1/285	2/285	0/000	1/714	22/000
C ₁₃	1/571	2/000	1/857	1/714	2/714	1/357	1/571	2/571	2/285	1/000	1/425	2/857	0/000	23/428
Σ	20/714	20/571	20/142	19/571	20/285	24/571	19/142	24/571	24/428	20/428	24/571	24/571	20/000	



ماتریس ارتباط اولیه را از رابطه ۱، نرمالیزه می‌کنیم و آن را با N نام‌گذاری می‌کنیم. در رابطه ۱، (D) همان ماتریس ارتباط اولیه می‌باشد و (S) بزرگ‌ترین عدد در سطر و ستون که در جدول ۴ مشخص شده است. در صورت استفاده از دیمتال اصلی، باید رابطه ۲ به‌کار گرفته شود و در صورت استفاده از دیمتال تجدیدنظر شده، باید از رابطه ۳ استفاده شود. در رابطه ۳، ε عدد مثبت کوچکی است که توسط محقق تعیین می‌شود و مقدار آن هر چقدر کوچک‌تر باشد، جواب به‌دست آمده در دیمتال تجدیدنظر شده به دیمتال اصلی نزدیک‌تر خواهد بود (لی و همکاران، ۲۰۱۳). گفتنی است که لی و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهش خود ε را برابر 10^{-5} در نظر گرفتند.

ماتریس ارتباط اولیه (D) و نرمال شده آن (N) فقط تأثیرات مستقیم معیارها را بر هم‌دیگر نشان می‌دهد. اما در شبکه معیارها علاوه بر ارتباطات مستقیم ارتباطات غیرمستقیم نیز وجود دارد. برای محاسبه تأثیرات غیرمستقیم، ماتریس نرمالیزه‌شده باید تا جایی به‌توان برسد که به ماتریس $[0]_{n \times n}$ همگرا شود؛ یعنی $\lim_{m \rightarrow \infty} N^m = [0]_{n \times n}$. سپس حاصل جمع تمامی ماتریس‌های به‌توان رسانده‌شده، ماتریس ارتباط کل (T) ، را تشکیل می‌دهد (رابطه ۴). تحت این شرایط، ماتریس ارتباط کل را می‌توان به‌طور خلاصه از رابطه ۵ به‌دست آورد که در آن I همان ماتریس همانی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در صورتی می‌توان از رابطه ۵ استفاده کرد که ماتریس نرمالیزه شده، در توان بی‌نهایت به سمت صفر میل کند و فقط در این صورت ماتریس ارتباط کل به‌صورت دقیق به‌دست می‌آید. لی و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهش خود اذعان داشتند که در بعضی از موارد ممکن است ماتریس نرمالیزه‌شده به سمت صفر میل نکند و تحت این شرایط نمی‌توان از رابطه ۵ استفاده کرد و تکنیک دیمتال، غیرعملی^۱ خواهد شد. محققین مذکور با مطالعاتی که در ستون‌های ماتریس نرمالیزه‌شده انجام دادند، یافتند که اگر در ماتریس نرمالیزه‌شده جمع برخی ستون‌ها یک و جمع برخی از ستون‌های دیگر کم‌تر از یک باشد، این امکان وجود دارد که ماتریس نرمالیزه‌شده به سمت صفر میل کند و هم‌چنین امکان دارد که به ماتریس نرمالیزه‌شده به سمت صفر میل نکند، ولی اگر جمع همه‌ی ستون‌ها در ماتریس نرمالیزه‌شده کم‌تر از یک باشد، ماتریس نرمال شده قطعاً به سمت صفر میل می‌کند. محققین پیشنهاد دادند که برای نرمالیزه‌کردن ماتریس ارتباط غیرمستقیم از رابطه ۳ استفاد شود؛ چرا که اگر S از سطر انتخاب شود، می‌توان کار را از دیمتال اصلی ادامه داد و ماتریس ارتباط کل را محاسبه کرد، ولی اگر S از ستون انتخاب شود، قطعاً جمع یکی از ستون‌ها یک می‌شود و این امکان وجود دارد که ماتریس نرمالیزه‌شده به سمت صفر میل نکند ولی با اضافه‌کردن مقدار کوچک ε مانع از به‌وجود آمدن چنین حالتی می‌شود و ماتریس نرمالیزه‌شده در توان بی‌نهایت به سمت صفر میل کرده و می‌توان از رابطه ۵ استفاده کرد (مدهوشی و همکاران^۲، ۱۳۹۵). بنابراین در پژوهش حاضر ε ، مانند پژوهش لی و همکاران^۳ 10^{-5} در نظر گرفته شده است و به بزرگ‌ترین عدد در ستون، 10^{-5} اضافه کرده و ماتریس ارتباط اولیه را بر عدد $24/5714386$ تقسیم می‌کنیم. جدول ۴ ماتریس نرمال شده را نشان می‌دهد و جدول ۵ ماتریس ارتباط کل را نشان می‌دهد که از رابطه ۵ به‌دست آمده است.

^۱Infeasible
^۲Madhoushi et al.



$$N=D/S, \quad (۱)$$

$$s=\max(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (۲)$$

$$s=\max(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}, \varepsilon + \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (۳)$$

$$T=N^1+N^2+N^3 \dots N^{\infty}, \quad (۴)$$

$$T=N(I-N)^{-1} \quad \text{WHEN } \lim_{m \rightarrow \infty} N^m = [0]_{n \times n}. \quad (۵)$$

جدول ۵- ماتریس نرمال شده.

Table 5- Normalized matrix.

N	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃
C ₁	0/000	0/081	0/087	0/069	0/069	0/110	0/069	0/081	0/069	0/058	0/087	0/075	0/029
C ₂	0/040	0/000	0/058	0/040	0/075	0/093	0/040	0/063	0/081	0/063	0/087	0/081	0/075
C ₃	0/081	0/063	0/000	0/063	0/069	0/069	0/087	0/093	0/069	0/069	0/063	0/063	0/081
C ₄	0/081	0/081	0/052	0/000	0/058	0/081	0/046	0/063	0/093	0/075	0/093	0/081	0/087
C ₅	0/069	0/058	0/069	0/075	0/000	0/075	0/058	0/093	0/093	0/075	0/087	0/069	0/081
C ₆	0/040	0/081	0/069	0/069	0/052	0/000	0/069	0/081	0/081	0/052	0/087	0/081	0/063
C ₇	0/069	0/063	0/069	0/075	0/063	0/058	0/000	0/075	0/052	0/063	0/081	0/052	0/058
C ₈	0/063	0/063	0/075	0/069	0/063	0/087	0/058	0/000	0/098	0/110	0/098	0/110	0/063
C ₉	0/075	0/040	0/058	0/058	0/046	0/098	0/075	0/093	0/000	0/075	0/075	0/081	0/040
C ₁₀	0/087	0/081	0/075	0/075	0/081	0/930	0/058	0/081	0/087	0/000	0/087	0/093	0/087
C ₁₁	0/075	0/069	0/063	0/063	0/058	0/069	0/069	0/098	0/098	0/093	0/000	0/093	0/075
C ₁₂	0/093	0/069	0/063	0/063	0/075	0/087	0/081	0/069	0/075	0/052	0/093	0/000	0/069
C ₁₃	0/063	0/081	0/075	0/069	0/110	0/075	0/063	0/104	0/093	0/040	0/058	0/116	0/000

جدول ۶- ماتریس ارتباط کل.

Table 6- Total-relation matrix.

T	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃
C ₁	0/517	0/588	0/584	0/555	0/567	0/709	0/550	0/683	0/671	0/571	0/691	0/680	0/528
C ₂	0/513	0/468	0/516	0/488	0/531	0/642	0/483	0/617	0/631	0/531	0/637	0/635	0/527
C ₃	0/590	0/570	0/502	0/548	0/566	0/671	0/562	0/690	0/668	0/578	0/666	0/668	0/570
C ₄	0/600	0/595	0/560	0/496	0/565	0/693	0/535	0/677	0/700	0/592	0/703	0/695	0/585
C ₅	0/598	0/582	0/584	0/575	0/518	0/697	0/553	0/711	0/710	0/601	0/707	0/695	0/588
C ₆	0/527	0/558	0/539	0/526	0/524	0/573	0/521	0/648	0/647	0/536	0/654	0/651	0/530
C ₇	0/530	0/520	0/517	0/510	0/512	0/601	0/434	0/616	0/594	0/523	0/622	0/598	0/503
C ₈	0/625	0/618	0/619	0/599	0/608	0/744	0/583	0/663	0/751	0/662	0/754	0/766	0/604
C ₉	0/553	0/518	0/525	0/513	0/513	0/659	0/523	0/652	0/565	0/551	0/640	0/645	0/504
C ₁₀	0/655	0/645	0/630	0/615	0/635	0/763	0/593	0/751	0/755	0/572	0/757	0/765	0/634
C ₁₁	0/615	0/604	0/590	0/576	0/585	0/707	0/575	0/730	0/728	0/628	0/641	0/729	0/594
C ₁₂	0/607	0/582	0/569	0/555	0/578	0/695	0/564	0/679	0/682	0/569	0/700	0/616	0/467
C ₁₃	0/615	0/623	0/610	0/590	0/640	0/723	0/579	0/747	0/735	0/592	0/709	0/760	0/534

با توجه به ماتریس ارتباط کل (جدول ۶) به رسم نمودار علی می‌پردازیم. به این صورت است که مجموع عناصر سطرها و ستون‌های ماتریس T به صورت r و c نام‌گذاری می‌شوند از روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌شوند. سپس، محور افقی نمودار از طریق جمع r و c یعنی $(r+c)$ محاسبه می‌شود که محور اهمیت^۱ نامیده می‌شود. محور عمودی نمودار که محور خالص اثرگذاری^۲ نامیده می‌شود، از طریق تفریق r و c یعنی $(r-c)$ به دست می‌آید. به طور کلی اگر $(r-c)$ مثبت باشد، معیار مربوط به گروه علت بوده در غیر این صورت، به گروه معلول تعلق دارد. بنابراین نمودار علی از طریق نقاطی با مختصات $r+c$ و $r-c$ به دست می‌آید (لی و همکاران، ۲۰۱۳). جدول ۷ نشان دهنده‌ی مقادیر r و c و شکل ۱ نشان‌دهنده علت و معلولیت معیارها می‌باشد.

^۱Prominence axis

^۲Relation axis

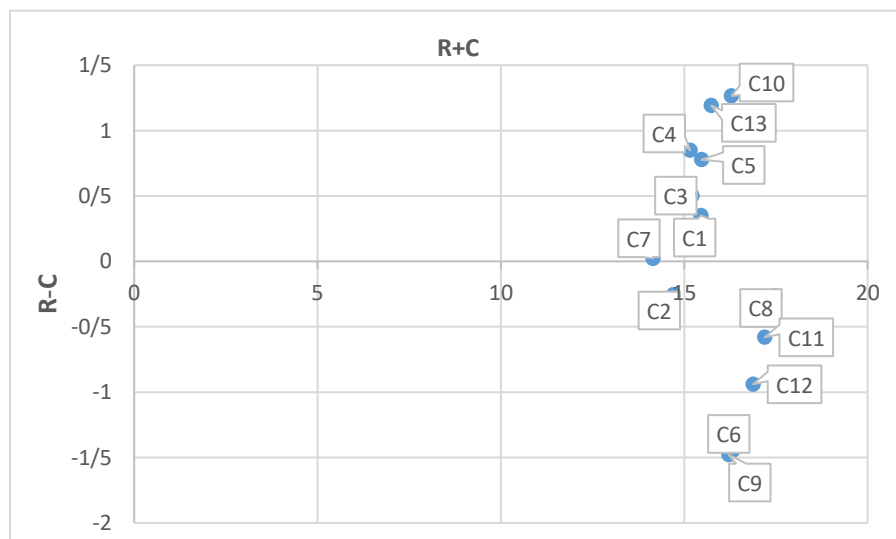
$$r=(r_i)_{n \times 1} = \left(\sum_{j=1}^n t_{ij} \right)_{n \times 1} \quad (۶)$$

$$c=(c_j)_{1 \times n} = \left(\sum_{i=1}^n t_{ij} \right)_{1 \times n} \quad (۷)$$

جدول ۷- مقادیر محور اهمیت و محور وابستگی.

Table 7- Dependency and significance axis values.

	r	c	r + c	r - c
C ₁	7/901507	7/55128	15/45279	0/350227
C ₂	7/224873	7/478408	14/70328	-0/25353
C ₃	7/855358	7/35265	15/20801	0/502709
C ₄	8/003553	7/153102	15/15666	0/850451
C ₅	8/124009	7/346511	15/47052	0/777498
C ₆	7/440539	8/883992	16/32453	-1/44345
C ₇	7/085681	7/062313	14/14799	0/023368
C ₈	8/605169	8/869887	17/47506	-0/26472
C ₉	7/366578	8/844254	16/21083	-1/47768
C ₁₀	8/77625	7/51131	16/28756	1/26494
C ₁₁	8/307473	8/888362	17/19583	-0/58089
C ₁₂	7/968001	8/908073	16/87607	-0/94007
C ₁₃	8/464412	7/27326	15/73767	1/191152



شکل ۱- نمودار علی.

Figure 1- Axis of causality.

به منظور توضیح روابط ساختاری در بین معیارها، باید حد آستانه‌ای به مقدار، از ماتریس T به دست آورد. حد آستانه به طرق مختلفی به دست می‌آید که می‌توان به دو مورد میانگین ماتریس T و تعیین حد آستانه توسط محقق، اشاره کرد. در پژوهش حاضر حد آستانه از طریق میانگین ماتریس T به دست آمده و مقدار آن برابر $۰/۶۱۰۱۹۷۶۴۸$ می‌باشد. جدول ۸ نشان‌دهنده درایه‌هایی می‌باشد که اگر

متغیری در ماتریس T از حد آستانه بزرگتر باشد، حفظ می‌شوند و متغیری که کوچک‌تر از حد آستانه باشد، صفر در نظر گرفته می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۱۳).

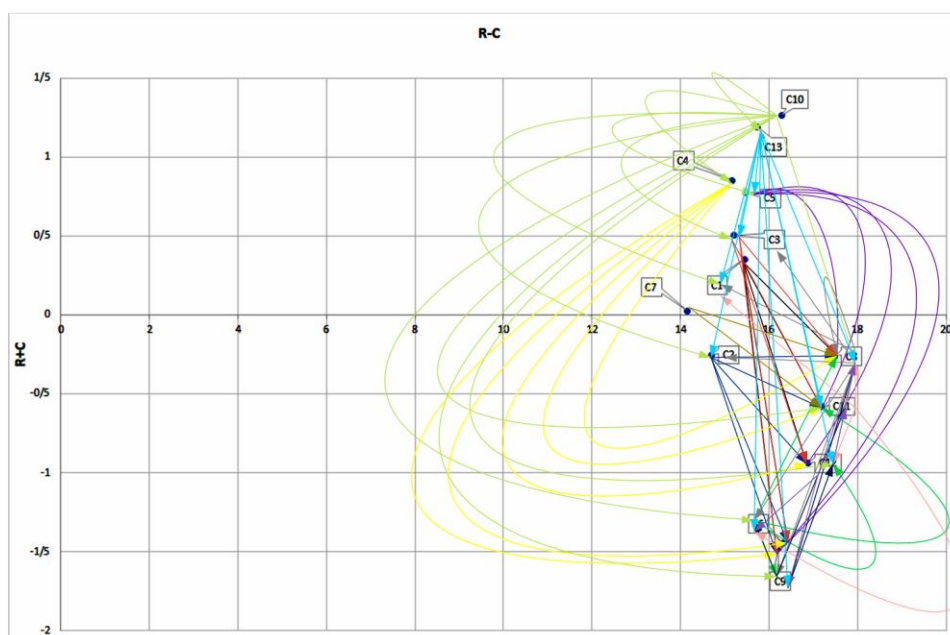
جدول ۸- ماتریس روابط بین متغیرها.

Table 8- Matrix of relationships between variables.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃
C ₁	0	0	0	0	0	0/709	0	0/683	0/671	0	0/691	0/680	0
C ₂	0	0	0	0	0	0/642	0	0/617	0/631	0	0/637	0/635	0
C ₃	0	0	0	0	0	0/671	0	0/690	0/668	0	0/666	0/668	0
C ₄	0	0	0	0	0	0/693	0	0/677	0/700	0	0/703	0/695	0
C ₅	0	0	0	0	0	0/697	0	0/711	0/710	0	0/707	0/695	0
C ₆	0	0	0	0	0	0	0	0/648	0/647	0	0/654	0/651	0
C ₇	0	0	0	0	0	0	0	0/616	0	0	0/622	0	0
C ₈	0/625	0/618	0/619	0	0	0/744	0	0/663	0/751	0/662	0/754	0/766	0
C ₉	0	0	0	0	0	0/659	0	0/652	0	0	0/640	0/645	0
C ₁₀	0/655	0/645	0/630	0/615	0/635	0/763	0	0/751	0/755	0	0/757	0/765	0/634
C ₁₁	0/615	0	0	0	0	0/707	0	0/730	0/728	0/628	0/641	0/729	0
C ₁₂	0	0	0	0	0	0/695	0	0/679	0/682	0	0/700	0/616	0
C ₁₃	0/615	0/623	0/610	0	0/640	0/723	0	0/747	0/735	0	0/709	0/760	0

شکل ۲- ترسیم روابط بین متغیرها.

Figure 2- Relationships between variables.



۶- نتیجه‌گیری

امروزه جهان به سمت صنعت ۴/۰ در حال حرکت است. تغییرات بزرگ صنعت ۴/۰، عرصه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی را پوشش داده است. آینده صنایع در صنعت ۴/۰، پیوند محصولات فیزیکی به خدمات دیجیتال بوده و در پی آن همگرایی دو دنیای فیزیکی و دیجیتالی فراهم می‌شود. فرهنگ سازمانی کسب‌وکارهای دیجیتالی جوان‌تر، نسبت به کسب‌وکارهای خدماتی فیزیکی متفاوت است. دانش پایه کسب‌وکارهای قدیمی بر شاخه‌های مختلف مهندسی تمرکز دارد، ولی تمرکز کسب‌وکارهای جوان بر تکنولوژی اطلاعات و خدمات است. در عصر جهانی‌شدن، پیشرفت‌های تکنولوژی به مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده رشد پایدار اقتصادی کشورها تغییر کرده تبدیل شده است. همین تأثیرگذاری شگرف باعث شده که نگاه به تکنولوژی‌های نوین شدیداً و در طی سال‌های اخیر، جنبه سیستمی این فرایند مورد توجه ویژه قرار گیرد. صنعت ۴/۰ در سازمان‌ها نیازمند نوآوری و یادگیری مداوم است که وابسته به توانایی‌های افراد است، بنابراین در سطح منابع انسانی، ایده‌ی کارگران را گسترش می‌دهد که به‌طور فزاینده‌ای روی فعالیت‌های خلاق، نوآورانه و ارتباطی تمرکز می‌کند. تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰ به‌صورت شیوه جدید در سازمان‌ها معرفی می‌شود که باعث تغییر سازمان‌ها شده و این تغییر هم‌چنین در انتظارات مشتریان نیز مشاهده می‌شود. این تکنولوژی‌ها می‌توانند از شیوه‌های مرتبط با مشتری پشتیبانی کرده و مزایای عملیاتی آن را افزایش دهند.



متغیر C_{12} (سیستم‌های مهندسی یکپارچه) با متغیرهای C_6 (سنسورهای دیجیتال)، C_8 (خطوط تولید انعطاف‌پذیر)، C_9 (سیستم‌های خدمات دیجیتال)، C_{11} (شناسایی فرکانس رادیویی ($RFID$)) و C_{12} (سیستم‌های مهندسی یکپارچه) ارتباط دارد؛ متغیر C_{13} (مهندسی کامپیوتر) با متغیرهای C_1 (اینترنت اشیا)، C_2 (تولید افزودنی)، C_3 (نمونه‌سازی سریع)، C_5 (کنترل تولید)، C_6 (سنسورهای دیجیتال)، C_8 (خطوط تولید انعطاف‌پذیر)، C_9 (سیستم‌های خدمات دیجیتال)، C_{11} (شناسایی فرکانس رادیویی ($RFID$)) و C_{12} (سیستم‌های مهندسی یکپارچه) ارتباط دارد و لازم به توضیح است که هیچ متغیری با متغیر C_7 (طراحی و تولید به کمک کامپیوتر) رابطه ندارد و تمامی متغیرها با متغیرهای C_8 (خطوط تولید انعطاف‌پذیر) و C_{11} (شناسایی فرکانس رادیویی ($RFID$)) ارتباط دارند و در ضمن متغیرهای C_8 (خطوط تولید انعطاف‌پذیر)، C_{11} (شناسایی فرکانس رادیویی ($RFID$)) و C_{12} (سیستم‌های مهندسی یکپارچه) با خود نیز اثر متقابل دارند.



براساس شکل ۱، تکنولوژی‌های C_1 (اینترنت اشیاء)، C_3 (نمونه‌سازی سریع)، C_4 (شبیه‌سازی)، C_5 (کنترل تولید)، C_7 (طراحی و تولید به کمک کامپیوتر)، C_{10} (مدیریت چرخه محصول) و C_{13} (مهندسی کامپیوتر) مربوط به گروه علت و تکنولوژی‌های C_2 (تولید افزودنی)، C_6 (سنسورهای دیجیتال)، C_8 (خطوط تولید انعطاف‌پذیر)، C_9 (سیستم‌های خدمات دیجیتال)، C_{11} (شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)) و C_{12} (سیستم‌های مهندسی یکپارچه) مربوط به گروه معلول می‌باشند و هم‌چنین با توجه به همین نمودار تکنولوژی C_8 (خطوط تولید انعطاف‌پذیر) دارای بیشترین اهمیت و تکنولوژی C_7 (طراحی و تولید به کمک کامپیوتر) دارای کمترین اهمیت می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش از مدیران انتظار می‌رود که از بین طیف گسترده تکنولوژی‌های صنعت ۴/۰، به تکنولوژی‌هایی که از حاصل از فازی‌زدایی تکنیک دلفی فازی به‌دست آمد، به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در صنایع غذایی، دقت بیشتری کنند. هم‌چنین خطوط تولید انعطاف‌پذیر دارای بیش‌ترین اهمیت می‌باشد، بنابراین انتظار می‌رود که صنایع غذایی توجه ویژه‌ای به این تکنولوژی داشته باشد. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، پژوهش‌های پیشین به ارزیابی صنعت ۴/۰ و یا ایجاد مفهوم برای صنعت ۴/۰ پرداخته‌اند. درحالی که این پژوهش به شناسایی تکنولوژی‌های صنعت نسل چهارم پرداخته و روابط تعاملی میان آن‌ها را بررسی کرده که در نوع خود جدید بوده و تا کنون پژوهشی بدین صورت در حوزه صنایع غذایی انجام نشده است. لذا از محققین انتظار می‌رود که پژوهش حاضر را با استفاده از مجموعه‌های فازی نیز انجام دهند و با پژوهش‌ها بیش‌تری راه برای وارد کردن صنعت ۴/۰ به صنایع غذایی هموار کنند.

منابع

- Agostini, L., & Filippini, R. (2019). Organizational and managerial challenges in the path toward Industry 4.0. *European journal of innovation management*, 22(3), 406-421.
- Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2019). Towards industry 4.0 mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business process management journal*, 25(2), 323-346.
- 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.
- Export program 98 under a magnifying glass [زیر ذره‌بین]. (2018). *Donya-e-Eqtesad*. Retrieved from <https://donya-e-eqtesad.com/%D8%A8%D8%AE%D8%B4-%D8%B5%D9%86%D8%A7%DB%8C%D8%B9-%D8%BA%D8%B0%D8%A7%DB%8C%DB%8C-95/3501860-%D8%A8%D8%B1%D9%86%D8%A7%D9%85%D9%87-%D8%B5%D8%A7%D8%AF%D8%B1%D8%A7%D8%AA%DB%8C-%D8%B2%DB%8C%D8%B1-%D8%B0%D8%B1%D9%87-%D8%A8%DB%8C%D9%86>
- Fahandaj, H. (2019). A few tips for the prosperity of the food industry [چند نکته برای رونق صنعت غذا]. *Donya-e-Eqtesad*. Retrieved from <https://donya-e-eqtesad.com/%D8%A8%D8%AE%D8%B4-%D8%B5%D9%86%D8%A7%DB%8C%D8%B9-%D8%BA%D8%B0%D8%A7%DB%8C%DB%8C-95/3536211-%DA%86%D9%86%D8%AF-%D9%86%DA%A9%D8%AA%D9%87-%D8%A8%D8%B1%D8%A7%DB%8C-%D8%B1%D9%88%D9%86%D9%82-%D8%B5%D9%86%D8%B9%D8%AA-%D8%BA%D8%B0%D8%A7>
- Gialelis, j., theodorou, g., & paparizos, c. (2019). A low-cost Internet of Things (IoT) node to support traceability: logistics use case. *Proceedings of the 5th EAI international conference on smart objects and technologies for social good* (pp.72-77). <https://doi.org/10.1145/3342428.3342661>
- Hotan, B., Zarabi, H. (2018). *The fourth generation of industry* [نسل چهارم صنعت]. Tehran: Dibagaran Tehran.
- Jiang, H., Zheng, L., Zou, Y., Tong, Z., Han, S., & Wang, S. (2019). 3D food printing: main components selection by considering rheological properties. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(14), 2335-2347.
- Kamble, S., Gunasekaran, A., & Dhane, N. C. (2019). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. *International journal of production research*, 58(5), 1319-1337.
- Karimi Tafreshi, M. (2018). Export potentials of food industry [پتانسیل‌های صادراتی صنعت غذا]. *Donya-e-Eqtesad*. Retrieved from <https://donya-e-eqtesad.com/%D8%A8%D8%AE%D8%B4-%D8%B5%D9%86%D8%A7%DB%8C%D8%B9-%D8%BA%D8%B0%D8%A7%DB%8C%DB%8C-95/3487618-%D9%BE%D8%AA%D8%A7%D9%86%D8%B3%DB%8C%D9%84-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%B5%D8%A7%D8%AF%D8%B1%D8%A7%D8%AA%DB%8C-%D8%B5%D9%86%D8%B9%D8%AA-%D8%BA%D8%B0%D8%A7>
- Lee, H. S., Tzeng, G. H., Yeh, W., Wang, Y. J., & Yang, S. C. (2013). Revised DEMATEL: resolving the infeasibility of DEMATEL. *Applied mathematical modelling*, 37(10-11), 6746-6757.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1-10.
- Madhoushi, M., Akbarzadeh, Z., Ravansetan, K. (2016). Prioritizing of suppliers development strategies with combined approach of anp and revised DEMATEL techniques [اولویت‌بندی استراتژی‌های توسعه تأمین‌کنندگان با رویکرد ANP ترکیبی از تکنیک‌های]. *ORMR*, 6 (2), 141-167.

- Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0: Are we ready? *Polish journal of management studies*, 17, 0.17512/pjms.2018.17.1.19
- Tortorella, G., Miorando, R., & Mac Cawley, A. F. (2019). The moderating effect of Industry 4.0 on the relationship between lean supply chain management and performance improvement. *Supply chain management-an international journal*, 24(2), 301-314.
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Verwaeren, J., De Meulenaer, B., De Baets, B., & Devlieghere, F. (2017). The digitization of a food package's life cycle: Existing and emerging computer systems in the pre-logistics phase. *Computers in industry*, 87, 1-14.
- Yin, Y., & Qin, S. F. (2019). A smart performance measurement approach for collaborative design in Industry 4.0. *Advances in mechanical engineering*, 11(1), 1687814018822570.
- Zhao, G., Liu, S., Lopez, C., Lu, H., Elgueta, S., Chen, H., & Boshkoska, B. M. (2019). Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. *Computers in industry*, 109, 83-99.

