

بررسی چگونگی نقش صنعت ۴.۰ در کیفیت محصولات و خدمات (مورد مطالعه: صنعت لوازم خانگی)

علی مروتی شریف‌آبادی

(نویسنده مسؤل)، دانشیار، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. Alimorovati@yazd.ac.ir

مهران ضیائیان

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی (تولید و عملیات)، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. m.ziaeiian@stu.yazd.ac.ir

سید حیدر میرفخرالدینی

استاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. Mirfakhr@yazd.ac.ir

سید محمود زنجیرچی

دانشیار، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. Zanjirchi@yazd.ac.ir

چکیده: هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی چگونگی نقش صنعت ۴.۰ از طریق شناسایی و بهبود دستاوردهای حاصل از صنعت ۴.۰ در کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده در صنعت لوازم خانگی کشور است. به منظور انجام پژوهش حاضر در ابتدا نه دستاورد صنعت ۴.۰ در کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده با استفاده از ادبیات پژوهش شناسایی شد. جامعه آماری این پژوهش مدیران، کارکنان و معاونین شرکت‌های فعال در حوزه صنعت لوازم خانگی در سرتاسر کشور بوده که تعداد ۷۲ نفر به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. با استفاده از نقشه شناختی فازی، وضعیت فعلی هر یک از دستاوردهای شناسایی شده مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش با طراحی سناریوی رو عقب نشان داده است که به منظور کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید چه دستاوردهایی می‌بایست بهبود یابد. همچنین این پژوهش با تدوین و طراحی سناریوی رو به جلو دنبال این است که در صورتی که هزینه‌های ضایعات و تولید کاهش یابد، چه دستاوردهایی به منظور بهبود کیفیت محصولات و خدمات در صنعت لوازم خانگی کشور بهبود خواهد یافت.

واژگان کلیدی: کیفیت، انقلاب صنعتی چهارم، صنعت ۴.۰

گرفته می‌شود [۳]. کیفیت را می‌توان بر اساس عوامل مختلفی مانند قابلیت اطمینان، دوام، عملکرد، ایمنی، کارایی و رضایت مشتری ارزیابی کرد [۴]. به عبارتی دیگر دستیابی به کیفیت بالا برای ایجاد اعتماد، رضایت و وفاداری در میان مشتریان و تضمین موفقیت بلندمدت برای مشاغل امری ضروری به شمار می‌رود [۵]. در طول سالیان گذشته به منظور بهبود کیفیت، مفاهیم و مدل‌های مختلفی از جمله شش سیگما [۶]، کنترل کیفیت [۷]، مدیریت کیفیت جامع [۸] و ... ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است. اگر چه مدل‌های مختلف کیفیت نقش بسیار مهمی در بهبود آن داشته‌اند [۹]، اما هنوز بسیاری از شرکت‌ها و صنایع

۱. مقدمه

از زمان معرفی تولید انبوه و شروع انقلاب صنعتی اول در طول قرن‌های ۱۸ و ۱۹ میلادی، مبحث کیفیت و استانداردسازی محصولات و خدمات ارائه شده به یکی از موضوعات و دغدغه‌های اساسی دانشگاه‌ها، صنایع و سازمان‌های مختلف تبدیل شد [۱]. امروزه کیفیت به دلیل تضمین قابلیت اطمینان محصولات و خدمات ارائه شده به مشتریان مطابق با انتظارات و نیازهای آن‌ها [۲]، به عنوان یک عامل حیاتی در موفقیت کسب و کار در نظر

Corresponding author: m.ziaeiian@stu.yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰

دوره ۱۲/ شماره ۳

صفحات ۳۱۹-۳۴۲

از جمله عدم ساختار مناسب پشتیبانی خدمات پس از فروش، عدم ردیابی محصولات، افزایش ضایعات و ... مواجه شده است. با توجه به مشکلات ذکر شده و ورود لوازم خانگی با برندهای متنوع و تمایل زیاد مشتریان به نشان‌های تجاری ساخت کشورهای خارجی از جمله شرکت ال‌جی و بوش و ...، بهبود کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده توسط صنعت لوازم خانگی کشور می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب در جهت جذب و رضایت مشتری و کسب مزیت رقابتی و پیشی گرفتن از رقبای در نظر گرفته شود. از سویی دیگر با مرور ادبیات و پیشینه مرتبط با کیفیت و صنعت ۴۰۰، صرفاً به تأثیر صنعت ۴۰۰ در بهبود کیفیت اشاره شده [۲۵، ۲۶] و چگونگی نقش آن در بهبود کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده مورد بررسی قرار نگرفته است؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش، شناسایی دستاوردها و مزایای صنعت ۴۰۰ و بهبود هر یک از آن‌ها در جهت کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده در صنعت لوازم خانگی کشور است.

۲- پیشینه پژوهش

صنعت ۴۰۰ نشان‌دهنده روند جدیدی در اتوماسیون و تبادل داده و بهبود کیفیت است [۲۷] که بسیاری از سازمان‌ها در حال تلاش برای پیاده‌سازی و استقرار آن در سراسر جهان هستند [۲۸]. پیشرفت‌های فناوریانه صنعت ۴۰۰، دنیای سایبری و فیزیکی را به هم متصل کرده و داده‌ها را در زمان واقعی بین فرآیندها، محصولات، خدمات و افراد جمع‌آوری و مبادله می‌کند که این امر می‌تواند منجر به بهبود کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده به مشتریان و همچنین اقدامات اصلاحی در رابطه با کیفیت در کوتاه‌ترین زمان ممکن شود [۲۹]. در پژوهشی مدیریت کیفیت جامع در عصر صنعت ۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که فناوری‌های صنعت ۴۰۰ در قابلیت ردیابی، کنترل و پایداری کیفیت تمام فرآیندهای مرتبط با تولید محصول تأثیر گذار بوده که این امر می‌تواند منجر به افزایش سود و کاهش هزینه شود [۳۰]. عمار و همکاران^۱ (۲۰۲۱) در مطالعه خود به تأثیر فناوری‌های صنعت ۴۰۰ همچون اینترنت اشیا، کلان داده‌ها، سیستم سایبر- فیزیکی و ... در بهبود مواد اولیه و

مختلف با چالش‌ها و مشکلات بسیاری در ارائه محصولات و خدمات با کیفیت به مشتریان مواجه هستند [۱۰]. بر اساس روش‌ها، ابزارها و مدل‌های سنتی مدیریت کیفیت، تشخیص خطاها، کاهش ضایعات، بهبود تصمیم‌گیری و ... امکان‌پذیر است [۱۱]؛ اما روش‌های سنتی معایب و نقص‌هایی از جمله زمان تأخیر در اقدامات اصلاحی کیفیت به همراه داشته که منجر به تأخیر تحویل محصول به مشتریان و در نهایت نارضایتی آن‌ها می‌شود [۱۲]. از سویی دیگر تولید و سفارشی‌سازی انبوه، پیچیدگی‌های جدیدی را در فرآیندهای تولید به ارمغان آورده که سازمان‌ها و شرکت‌های مختلف نیازمند به کارگیری رویکردهایی نوین در بهبود کیفیت محصولات و خدمات هستند [۱۳]. با رشد و توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات و ظهور صنعت ۴۰۰، علاوه بر رفع مشکلات و چالش‌های ذکر شده در روش‌های سنتی مدیریت کیفیت، می‌توان کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده را به طرز چشمگیری بهبود بخشید [۱۴]. از زمان معرفی صنعت ۴۰۰ و فناوری‌های مرتبط با آن در نمایشگاه هانوفر آلمان در سال ۲۰۱۱ [۱۵] و [۱۶]، توجه بسیاری از محققین و صنایع به این حوزه جلب شده است [۱۷، ۱۸]. صنعت ۴۰۰ به عنوان کاربرد فناوری‌های محاسباتی و اطلاعاتی برای افزایش اتصال بخش‌های مختلف صنعت تعریف شده که این اتصال، یکپارچگی بین عناصر کل زنجیره تأمین یعنی ماشین‌آلات، کارگران، تأمین‌کنندگان و مشتریان نهایی را ممکن می‌سازد [۱۹]. صنعت ۴۰۰ در تلاش برای ساخت سیستم‌های هوشمند از طریق ادغام اشیا فیزیکی با فناوری‌های دیجیتال [۲۰] از جمله اینترنت اشیا [۲۱]، سیستم سایبر فیزیکی [۲۲]، واقعیت مجازی [۲۳] و ... است. هدف صنعت ۴۰۰، ادغام و خودکارسازی کامل سیستم‌های تولید و بهینه‌سازی جریان‌ها به منظور ردیابی محصولات، کاهش هزینه‌های تولید، بهبود کارایی و بهره‌وری، بهبود کیفیت تولید محصولات و ارائه خدمات به مشتریان و در نهایت رضایت آن‌ها [۲۴] است. امروزه صنایع مختلفی به منظور باقی ماندن در عرصه رقابت و پیشی گرفتن از رقبای به دنبال بهبود کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده به مشتریان مطابق با انتظارات و نیازهای آن‌ها در کوتاه‌ترین زمان ممکن هستند. یکی از این صنایع در کشور، صنعت لوازم خانگی بوده که در سال‌های اخیر با مشکلات بسیاری

¹ Ammar et al.

مؤثری در بهبود کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده ایفا می‌نمایند [۳۴]. در پژوهشی کیفیت ۴۰ و نقش آن در ارتقاء محصولات تولید شده مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش نشان داد که کیفیت ۴۰، شکل مدرنی از مدیریت کیفیت بوده که با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴۰ و سنسورهای مرتبط با آن‌ها نقش مهمی در ارائه محصولات با کیفیت دارد [۳۵]. در پژوهشی چارچوب حرکت به سوی کیفیت ۴۰ در صنایع تولیدی تانزانیا مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که کیفیت محصولات تولید شده در صنایع تانزانیا پایین بوده و به منظور ارتقاء کیفیت محصولات می‌توان از صنعت ۴۰ و حرکت به سمت کیفیت ۴۰ بهره برد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که کیفیت ۴۰ مزایای مختلفی از جمله رضایت مشتری، بهبود کیفیت محصولات، کاهش ضایعات و ... به همراه دارد [۳۶]. در مطالعه‌ای دیگر کیفیت ۴۰ و تأثیر آن بر عملکرد سازمانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که کیفیت ۴۰ بر عملکرد سازمانی، رضایت مشتری و فرآیندهای داخلی تأثیرگذار است [۳۷]. آیلِس و همکاران^۱ (۲۰۱۷) نشان دادند که استفاده از صنعت ۴۰ و فناوری‌های مرتبط با آن بر بهبود کیفیت محصولات تولید شده تأثیر مثبت و معناداری دارد [۳۸].

با مرور ادبیات و پیشینه مرتبط با صنعت ۴۰ و کیفیت، دستاوردهای صنعت ۴۰ اثرگذار بر کیفیت محصولات و خدمات به صورت جدول ۱ نشان داده شده است.

محصولات تولید شده پرداخته‌اند. آن‌ها نشان دادند که پیش‌بینی هوشمند به نظارت صحیح تجهیزات در صنایع با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴۰ کمک می‌کند که این امر می‌تواند منجر به شناسایی عیوب در مواد در مراحل اولیه تولید و رفع آن‌ها منجر شود [۳۱]. در پژوهشی عوامل و محرک‌های صنعت ۴۰ در تولید با خرابی و نقص صفر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که حمایت مدیریت ارشد و تعهد کارکنان نقش اساسی در اجرای صنعت ۴۰ در تولید بدون خرابی و نقص و با کیفیت بالا دارد [۳۲]. در مطالعه‌ای دیگر نقش صنعت ۴۰ به عنوان یک عامل کلیدی برای اجرای موفقیت‌آمیز شیوه‌های مدیریت کیفیت جامع مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که یکپارچه‌سازی و کلان داده می‌توانند اجرای رویکردهای مدیریت کیفیت را افزایش دهند. در یک رویکرد یکپارچه صنعت ۴۰ و مدیریت کیفیت جامع، انتظارات مشتریان، تجزیه و تحلیل بازار، مستقیماً به سیستم‌های تولید منتقل شده و کیفیت محصولات با استفاده از سنسورهای هوشمند و بررسی خرابی آن‌ها، کنترل و تضمین می‌شود [۳۳].

در مطالعه‌ای کیفیت ۴۰ و مفاهیم و تعاریفی از آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که فناوری‌های صنعت ۴۰ همچون اینترنت اشیا، ربات‌ها و ... نقش مهمی بر بهبود کیفیت محصولات تولید شده دارد. این پژوهش نشان داد که ربات‌ها از طریق کاهش خطاهای انسانی و اینترنت اشیا از طریق سنسورهای متصل به خود در ردیابی محصولات، نقش

جدول ۱. دستاوردهای صنعت ۴۰ اثرگذار بر کیفیت محصولات و خدمات

منبع	شرح	دستاوردهای صنعت ۴۰ اثرگذار بر کیفیت محصولات و خدمات
[۳۹-۴۱]	شرکت‌ها و صنایع مختلف می‌توانند از طریق جمع‌آوری اطلاعات گذشته مرتبط با تقاضای مشتریان و نگهداری آنان در یک سیستم ابری (که امکان حذف اطلاعات در آن وجود ندارد) و شناسایی محرک‌های اثرگذار بر تقاضای مشتریان، با استفاده از ابزارهای یادگیری ماشین و هوش مصنوعی مدل‌های دقیق پیش‌بینی تقاضای مشتریان در آینده را ارائه کنند.	پیش‌بینی تقاضا ^۲ (F ₁)
[۴۲، ۴۳]	شرکت‌ها و صنایع مختلف می‌توانند با استفاده از حسگرها، ماشین‌ها، سیستم‌های سایبر فیزیکی و ... اطلاعات مرتبط با بخش‌های مختلف زنجیره تأمین را جمع‌آوری کرده و با استفاده از اینترنت اشیا و شبکه‌های بی‌سیم آن‌ها را به سیستم‌های اطلاعاتی متصل کرده و در دسترس تمامی ذینفعان قرار دهند.	شفافیت در اطلاعات ^۳ (F ₂)

³ Information Transparency

¹ Illés et al.

² Demand Forecasting

جدول ۱. دستاوردهای صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت محصولات و خدمات

منبع	شرح	دستاوردهای صنعت ۴.۰ اثرگذار بر کیفیت محصولات و خدمات
[۴۴]	شرکت‌ها و صنایع مختلف می‌توانند با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ همچون بلاک‌چین امکان حذف یا عدم دستکاری در اطلاعات را از بین ببرند.	عدم دستکاری اطلاعات ^۱ (F ₃)
[۴۶, ۴۵]	شرکت‌ها و صنایع مختلف می‌توانند با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و رباتیک، نظارت در زمان واقعی، تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده از طریق تشخیص زودهنگام هرگونه مشکل و جلوگیری از خرابی، اتوماسیون را امکان‌پذیر ساخته و به ساده‌سازی فرآیند تولید و کاهش زمان انجام کار کمک نمایند.	کاهش زمان تحویل محصول ^۲ (F ₄)
[۴۸, ۴۷]	شرکت‌ها و صنایع مختلف می‌توانند با ارائه استراتژی‌های بهینه‌سازی و الگوریتم‌های هوش مصنوعی داده‌های تولید را تجزیه و تحلیل کرده و با خودکارسازی کارهای تکراری از طریق ربات‌ها زمان چرخه تولید محصول را کاهش دهند.	کاهش زمان چرخه تولید محصول ^۳ (F ₅)
[۵۰, ۴۹]	شرکت‌ها و صنایع مختلف می‌توانند با استفاده از ربات‌های خودکار، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و حسگرهای اینترنت اشیا سرعت تولید را افزایش داده و محصولاتی مطابق با انتظارات مشتریان تحویل دهند.	انعطاف‌پذیری و سازگاری ^۴ (F ₆)
[۵۲, ۵۱]	شرکت‌ها و صنایع مختلف می‌توانند با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ مانند حسگرهای اینترنت اشیا و برچسب‌های RFID امکان مشاهده بی‌درنگ حرکت و مکان مواد، مدیریت بهتر موجودی و بهینه‌سازی زنجیره تأمین و ردیابی مواد خام و محصولات در طول فرآیند تولید را فراهم سازند.	ردیابی مواد اولیه و محصولات ^۵ (F ₇)
[۵۴, ۵۳]	شرکت‌ها و صنایع مختلف می‌توانند با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ و خودکار کردن فرآیندهای تکراری با استفاده از ربات‌ها، خطای انسانی در فرآیند تولید و خدمات را با خودکار کردن وظایف تکراری و ارائه بازخورد و هشدارهای بلادرنگ به اپراتورها از طریق الگوریتم‌های پیش‌بینی‌کننده هوش مصنوعی در فرآیند تولید و ... خطاهای انسانی را کاهش دهند.	کاهش خطای انسانی در فرآیند تولید ^۶ (F ₈)
[۵۶, ۵۵]	شرکت‌ها و صنایع مختلف می‌توانند با استفاده از حسگرهای اینترنت اشیا و سیستم‌های سایبر فیزیکی خرابی‌های احتمالی دستگاه‌ها و تجهیزات را قبل از وقوع شناسایی کرده و به کاهش هزینه‌های تعمیرات کمک نمایند. همچنین می‌توان با استفاده از ربات‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی فرآیندهای کنترل کیفیت، کاهش خطاها را خودکار و هوشمند کرده و میزان تولید ضایعات و هزینه‌های ناشی از آن‌ها را کاهش داد.	کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید ^۷ (F ₉)

۳. روش پژوهش

و بررسی ادبیات پژوهش در این حوزه اقدام به شناسایی مهم‌ترین دستاوردهای صنعت ۴.۰ مؤثر بر کیفیت شد. در ادامه پژوهش و با استفاده از نظرات ۷ تن از خبرگان دانشگاهی اقدام به تأیید و بومی‌سازی دستاوردهای شناسایی شده صورت گرفت. این ۷ خبره دانشگاهی از اساتید دانشگاهی بوده‌اند که سابقه پژوهش‌های مختلف در زمینه کیفیت و صنعت ۴.۰ را داشته‌اند. با شناسایی دستاوردهای مؤثر صنعت ۴.۰، پرسشنامه‌ای ۹ سؤالی

پژوهش حاضر از حیث هدف، کاربردی بوده چرا که به دنبال حل یکی از مسائل کاربردی در صنعت لوازم خانگی است. همچنین پژوهش حاضر از جهت ماهیت و روش، توصیفی- علی و از لحاظ نوع و نحوه جمع‌آوری اطلاعات، پیمایشی است. در ابتدا با مطالعه

¹ Non-Manipulation of Information

² Production Delivery Time Reduction

³ Production cycle time Reduction

⁴ Flexibility and Compatibility

⁵ Traceability of Raw Materials and Products

⁶ Reducing Human Error in the Production Process

⁷ Reducing Waste and Production Costs

بوده است، توسط نرم‌افزار PAJEK صورت پذیرفت. در نهایت به منظور طراحی سناریو، اقدام به انتخاب متغیر هدف گردید. متغیر هدف در این پژوهش عامل دارای بیشترین درجه مرکزیت انتخاب شد. سپس برای عامل انتخاب شده، دو سناریو به صورت سناریو رو به عقب و سناریو رو به جلو شکل گرفت [۵۹]. سناریوی رو به عقب به دنبال یافتن سرمنشأ تغییرات برای یک دستاورد در صنعت ۴۰ خاص است. به عبارت دیگر در سناریوی رو به عقب توالی‌ای از عملیات شکل می‌گیرد که در آن به محقق نحوه بهبود در یک دستاورد خاص را نشان می‌دهد. سناریوی رو به جلو نشان می‌دهد که در صورت بهبود در یک دستاورد صنعت ۴۰، چه توالی‌ای از دستاوردها در سیستم قابلیت بهبود دارند. در این پژوهش برای دستاورد دارای بیشترین درجه مرکزیت سناریوی رو به جلو و رو به عقب طراحی شده است.

۴. نتایج

بر اساس دستاوردها مستخرج شده از پیشینه پژوهش و با طراحی پرسشنامه‌ای که در بخش روش‌شناسی پژوهش بدان پرداخته شد، داده‌های اولیه مورد نیاز نقشه شناختی فازی استخراج شد. با طی مراحل مختلف تکنیک نقشه شناختی فازی در نهایت ماتریس ارتباط نهایی پس از حذف روابط زائد توسط خبرگان مطابق جدول ۲ شکل گرفت.

طراحی شد که در آن از مدیران، سرپرستان و کارکنان آشنا با مباحث کیفیت و صنعت ۴۰ خواسته شده بود تا وضعیت فعلی هر یک از دستاوردهای صنعت ۴۰ را در صنعت لوازم خانگی از طریق طیف لیکرت ۵ تایی شناسایی نمایند. جامعه آماری این پژوهش مدیران، معاونین و کارکنان شرکت‌های مختلف فعال در صنعت لوازم خانگی در سرتاسر کشور بوده که تعداد ۷۲ نفر به روش هدفمند انتخاب و با استفاده از ابزارهای ارتباطی مختلف، وضعیت فعلی هر یک از دستاوردهای شناسایی شده توسط آن‌ها در صنعت لوازم خانگی کشور تعیین شد. روایی پرسشنامه این پژوهش با استفاده از روایی صوری مورد تأیید خبرگان قرار گرفت و به منظور سنجش پایایی از آلفای کرونباخ استفاده شد که نرخ این ضریب برای هر یک از ابعاد پرسشنامه بالای ۰/۸۰ بدست آمد که به دلیل بالاتر بودن از مقدار ۰/۷، نشان‌دهنده پایایی مناسب پرسشنامه است. در ادامه با استفاده از تکنیک نقشه شناختی فازی اقدام به ترسیم نقشه ارتباطی میان دستاوردهای صنعت ۴۰ مؤثر بر کیفیت در صنعت ۴۰ در صنعت لوازم خانگی کشور شد. تکنیک نقشه شناختی فازی برای اولین بار توسط کسکو^۱ (۱۹۸۶) معرفی گردید [۵۷]. ماتریس مقایسات زوجی این پژوهش بر اساس مدل رودریگز و همکاران^۲ (۲۰۰۷) بدست آمد [۵۸] و سپس خروجی ماتریس مقایسات زوجی در نرم‌افزار FCMAPPER قرار گرفت. در ادامه بر اساس خروجی بدست‌آمده از نرم‌افزار FCMAPPER اقدام به طراحی نقشه شناختی فازی که نشان‌دهنده ارتباط میان دستاوردهای صنعت ۴۰ شناسایی شده

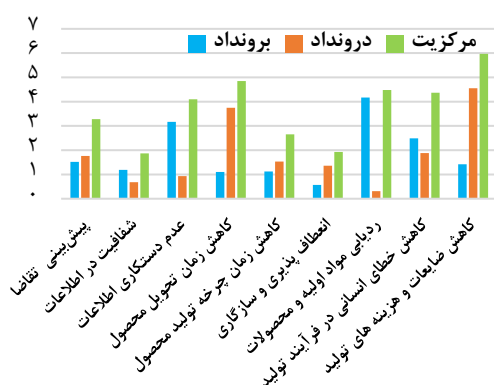
جدول ۲. ماتریس ارتباطات نهایی

	پیش‌بینی دقیق تقاضا	شفافیت در اطلاعات	عدم دستکاری اطلاعات	کاهش زمان تحویل محصول	کاهش زمان چرخه تولید	انعطاف پذیری و سازگاری	ردیابی مواد اولیه و محصولات	کاهش خطای انسانی در فرآیند تولید	کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید
پیش‌بینی دقیق تقاضا	۱	۰	۰۰	۰/۷۸	۰	۰	۰	۰	۰/۷۴
شفافیت در اطلاعات	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰/۷۶	۰/۴۳
عدم دستکاری اطلاعات	۰/۴۵	۰/۶۸	۰	۰	۰/۵۴	۰/۷۱	۰	۰/۳۸	۰/۴۱
کاهش زمان تحویل محصول	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰/۳۱	۰	۰/۷۹
کاهش زمان چرخه تولید محصول	۰	۰	۰	۰/۴۹	۱	۰	۰	۰	۰/۶۳

² Rodriguez et al.

¹ Kosko

	پیش‌بینی دقیق تقاضا	شفافیت در اطلاعات	عدم دستکاری اطلاعات	کاهش زمان تحویل محصول	کاهش زمان چرخه تولید	انعطاف پذیری و سازگاری	ردیابی مواد اولیه و محصولات	کاهش خطای انسانی در فرآیند تولید	کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید
انعطاف‌پذیری و سازگاری	۰	۰	۰/۹۳	۰/۵۷	۰	۱	۰	۰	۰
ردیابی مواد اولیه و محصولات	۰/۸۶	۰	۰	۰/۳۱	۰	۰/۶۵	۱	۰/۷۴	۰/۶۸
کاهش خطای انسانی در فرآیند تولید	۰/۴۵	۰	۰	۰/۸۱	۰/۳۶	۰	۰	۱	۰/۸۷
کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید	۰	۰	۰	۰/۷۹	۰/۶۳	۰	۰	۰	۱



شکل ۱. مقادیر درجه درون‌داد، برون‌داد و مرکزیت به ازای هر دستاورد بر اساس خروجی نرم افزار FCMAPPER و وارد نمودن آن در نرم افزار PAJEK، نقشه شناختی فازی پژوهش به صورت شکل ۲، ترسیم گردیده است.

ماتریس بدست آمده از جدول ۲، به منظور تحلیل و بررسی بیشتر در نرم افزار FCMAPPER قرار گرفت. تحلیل‌های صورت گرفته آتی در این پژوهش از خروجی‌های این نرم‌افزار بدست آمده است. جدول ۳، تحلیل کلی از این ساختار را نشان می‌دهد.

جدول ۳. اطلاعات اولیه نقشه شناختی فازی

چگالی ^۱	تعداد کل دستاوردها	تعداد کل ارتباطات
۰/۳۳	۹	۲۷

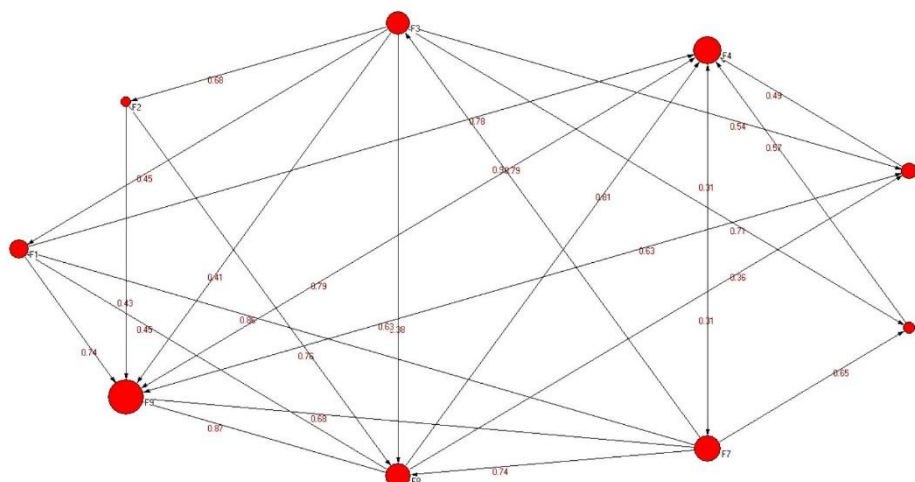
شکل ۲، درجه درون‌داد^۲، برون‌داد^۳ و مرکزیت^۴ هر یک از دستاوردها را نشان می‌دهد. درجه درون‌داد به مقدار اثرپذیری یک دستاورد نسبت به سایر دستاوردها مدل اشاره دارد. درجه برون‌داد، به میزان اثرگذاری یک دستاورد بر روی سایر دستاوردها اشاره دارد و مقدار درجه مرکزیت نشان‌دهنده جمع دو دستاورد قبل به ازاء هر دستاورد است.

⁴ Centrality

¹ Density

² Indegree (Id)

³ Outdegree (Od)



شکل ۲- نقشه شناختی فازی دستاوردهای صنعت ۴۰ در کیفیت محصولات و خدمات لوازم خانگی کشور

«کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» بوده و هدف از طراحی سناریوی رو به جلو این است که در صورت بهبود دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» چه روندی در کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده در صنعت لوازم خانگی کشور خواهد یافت. به منظور طراحی سناریوی رو به عقب برای دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» در ابتدا دستاوردهای اثرگذار بر این دستاورد را از مدل به صورت مجزا خارج شده تا بیشترین تأثیر ممکن بر دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» خود را نمایان سازد. جدول ۴، این تغییرات را نشان می‌دهد.

بر اساس شکل ۱، دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» دارای بیشترین درجه مرکزیت نسبت به سایر دستاوردهای پژوهش شناسایی شده است. درجه مرکزیت یک دستاورد نشان‌دهنده این است که یک دستاورد در مجموع ساختار سیستمی شکل گرفته تا چه حد توانسته بر روی سایر دستاوردها اثرگذار باشد و از آن‌ها تأثیر پذیرد. در مجموع بالا بودن درجه مرکزیت برای یک دستاورد نشان از اهمیت بالای آن دستاورد در ساختار دارد [۶۰]. به همین جهت، برای این دستاورد در این پژوهش سناریوی رو به عقب و رو به جلو طراحی شده است. سناریوی رو به عقب به دنبال یافتن چگونگی بهبود دستاورد

جدول ۴- میزان تغییرات دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» در صورت تغییر در دستاوردهای اثرگذار بر آن

دستاورد	میزان تغییر در دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید»
شفافیت در اطلاعات	-۰۰۰/۸۰۷
عدم دستکاری اطلاعات	-۰/۰۶۲۶۵
کاهش زمان تحویل محصول	-۰/۰۱۴۲۴
کاهش زمان چرخه تولید محصول	-۰/۰۰۰۳۴
انعطاف‌پذیری و سازگاری	۰/۰۰۰۳۴
ردیابی مواد اولیه و محصولات	-۰/۱۲۶۳۱
کاهش خطای انسانی در فرآیند تولید	-۰/۰۶۹۱۲

ادامه مسیر سناریوی رو به عقب با محور قرار دادن دستاورد «ردیابی مواد اولیه و محصولات»، ادامه مسیر طراحی می‌شود. جدول ۵ این تغییرات را نشان می‌دهد.

همانگونه که در جدول ۴ نشان داده شده است دستاورد «ردیابی مواد اولیه و محصولات» دارای بیشترین اثرگذاری بر دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» شناسایی شده است. در

جدول ۵- میزان تغییرات دستاورد «ردیابی مواد اولیه و محصولات» در صورت تغییر در دستاوردهای اثرگذار بر آن

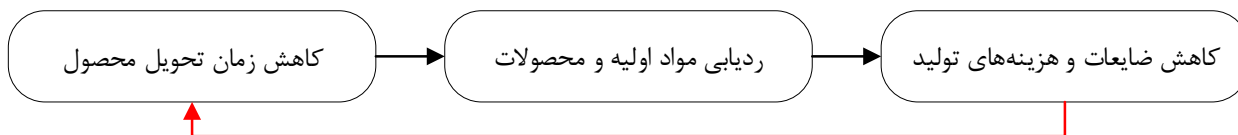
دستاورد	میزان تغییر در دستاورد «ردیابی مواد اولیه و محصولات»
کاهش زمان تحویل محصول	-۰/۰۰۱۷۶

بر اساس جدول ۵، دستاورد «کاهش زمان تحویل محصول» دارای بیشترین اثرگذاری بر دستاورد «ردیابی مواد اولیه و محصولات» می‌باشد. در ادامه با محور قرار دادن دستاورد «کاهش زمان تحویل محصول»، ادامه مسیر سناریو مطابق مراحل قبل پیش می‌رود.

جدول ۶- میزان تغییرات دستاورد «کاهش زمان تحویل محصول» در صورت تغییر در دستاوردهای اثرگذار بر آن

دستاورد	میزان تغییر در دستاورد «کاهش زمان تحویل محصول»
پیش‌بینی دقیق تقاضا	-۰/۰۳۹۳۹
کاهش زمان چرخه تولید محصول	-۰/۰۲۳۱۵
انعطاف‌پذیری و سازگاری	-۰/۰۲۳۲۳
ردیابی مواد اولیه و محصولات	-۰/۰۲۷۲۳
کاهش خطای انسانی در فرآیند تولید	-۰/۰۴۹۱۵
کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید	-۰/۰۵۸۹۳

بر اساس جدول ۶، دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» از بیشترین اثرگذاری بر دستاورد «کاهش زمان تحویل محصول» برخوردار است. چون دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» قبلاً در مسیر سناریو وجود داشته است، لوپ تشکیل شده و ادامه مسیر سناریوی رو به عقب متوقف می‌شود. شکل ۳، این مسیر سناریو را نشان می‌دهد.



شکل ۳. مسیر سناریوی رو به عقب برای دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید»

در ادامه پژوهش، اقدام به طراحی سناریوی رو به جلو برای دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» شده است. به منظور ایجاد مسیر سناریوی رو به جلو در ابتدا دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» از مدل کنار گذاشته می‌شود تا تغییرات آن بر روی دستاوردهای اثرپذیر از دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» مورد بررسی قرار گیرد. جدول ۷، این تغییرات را نشان می‌دهد.

جدول ۷. میزان تغییر در دستاوردهای اثرپذیر از دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید»

دستاورد	میزان تغییر در دستاورد اثرپذیر از «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید»
کاهش زمان تحویل محصول	-۰/۰۵۸۹۳
کاهش زمان چرخه تولید محصول	-۰/۱۲۳۹۹

بر اساس اطلاعات جدول ۷، دستاورد «کاهش زمان چرخه تولید محصول» به عنوان دستاورد دارای بیشترین اثرپذیری از دستاورد

«کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» شناخته شده است. در ادامه با محور قرار دادن این دستاورد ادامه مسیر سناریوی رو به جلو طی می‌شود.

جدول ۸. میزان تغییر در دستاوردهای اثرپذیر از دستاورد «کاهش زمان چرخه تولید محصول»

دستاورد	میزان تغییر در دستاورد اثرپذیر از " کاهش زمان چرخه تولید محصول "
کاهش زمان تحویل محصول	-۰/۰۲۳۱۵
کاهش ضایعات و هزینه های تولید	-۰/۰۲۰۹۷

بر اساس جدول ۸، دستاورد «کاهش زمان تحویل محصول» دارای بیشترین اثرپذیری از دستاورد «کاهش زمان چرخه تولید محصول» است. بر اساس مراحل قبلی و با محور قرار دادن

جدول ۹. میزان تغییر در دستاوردهای اثرپذیر از دستاورد «کاهش زمان تحویل محصول»

دستاورد	میزان تغییر در دستاورد اثرپذیر از « کاهش زمان تحویل محصول »
ردیابی مواد اولیه و محصولات	-۰/۰۷۲۹۹
کاهش ضایعات و هزینه های تولید	-۰/۰۴۰۳۹

بر اساس یافته‌های جدول ۹، دستاورد «کاهش زمان تحویل محصول» دارای بیشترین اثرگذاری بر روی دستاورد «ردیابی مواد اولیه و محصولات» است. با محور قرار دادن دستاورد

جدول ۱۰. میزان تغییر در دستاوردهای اثرپذیر از دستاورد «ردیابی مواد اولیه و محصولات»

دستاورد	میزان تغییر در دستاورد اثرپذیر از «ردیابی مواد اولیه و محصولات»
پیش‌بینی دقیق تقاضا	-۰/۱۲۶۳۱
عدم دستکاری اطلاعات	-۰/۱۳۰۱۵
کاهش زمان تحویل محصول	-۰/۰۲۷۲۳
کاهش زمان چرخه تولید محصول	-۰/۰۲۲۸۶
انعطاف‌پذیری و سازگاری	-۰/۱۰۶۳۷
کاهش خطای انسانی در فرآیند تولید	-۰/۰۱۰۱۲۷
کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید	-۰/۰۳۰۰۳

بر اساس جدول ۱۰، دستاورد «ردیابی مواد اولیه و محصولات» دارای بیشترین اثرگذاری بر دستاورد «عدم دستکاری اطلاعات» است. در ادامه مسیر سناریوی رو به جلو، با محور قرار دادن دستاورد «عدم دستکاری اطلاعات»، مسیر سناریو ادامه می‌یابد.

جدول ۱۱. میزان تغییر در دستاوردهای اثرپذیر از دستاورد «عدم دستکاری اطلاعات»

میزان تغییر در دستاورد اثرپذیر از دستاورد «عدم دستکاری اطلاعات»	دستاورد
-۰/۰۶۲۶۵	پیش‌بینی دقیق تقاضا
-۰/۱۰۵۵۲	شفافیت در اطلاعات
-۰/۰۱۱۲۵	کاهش زمان تحویل محصول
-۰/۰۷۲۵۳	کاهش زمان چرخه تولید محصول
-۰/۱۰۲۲۹	انعطاف‌پذیری و سازگاری محصولات و خدمات با نیازهای مشتریان
-۰/۰۶۳۹۷	کاهش خطای انسانی در فرآیند تولید
-۰/۰۱۸۶۶	کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید

دادن دستاورد «شفافیت در اطلاعات»، مسیر سناریو ادامه می‌یابد.

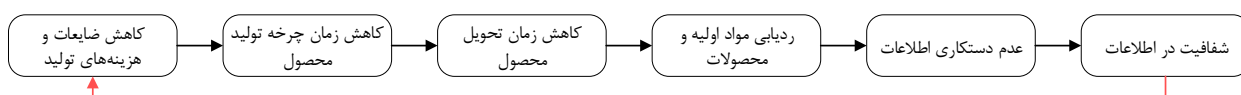
بر اساس یافته‌های جدول ۱۱، دستاورد «عدم دستکاری اطلاعات» دارای بیشترین اثرگذاری بر دستاورد «شفافیت در اطلاعات» است. در ادامه مسیر سناریوی رو به جلو، با محور قرار

جدول ۱۲. میزان تغییر در دستاوردهای اثرپذیر از دستاورد «شفافیت در اطلاعات»

میزان تغییر در دستاورد اثرپذیر از دستاورد «شفافیت در اطلاعات»	دستاورد
-۰/۰۹۴۷	کاهش خطای انسانی در فرآیند تولید
-۰/۱۱۳۷۸	کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید

وجود داشته است، ادامه مسیر سناریو متوقف می‌شود. سناریوی رو به جلو برای دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» به شرح شکل ۴، نشان داده شده است.

بر اساس یافته‌های جدول ۱۲، دستاورد «شفافیت در اطلاعات» دارای بیشترین اثرگذاری بر دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» است و لذا چون این دستاورد قبلاً در مسیر سناریو



شکل ۴. مسیر سناریوی رو به جلو برای دستاورد «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید»

مثل سیستم‌های هوشمند اتوماسیون، جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل آن‌ها، می‌توان به روش‌های بهبود کیفیت و کاهش خطاها رسید. از سوی دیگر صنعت ۴۰ نقش مهمی در بهبود کیفیت خدمات صنعت لوازم خانگی ایفا کند. با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، رباتیک و غیره، می‌توان فرآیندهای خدمات پس از فروش را بهبود بخشید و به مشتریان خدماتی با کیفیت بهتری ارائه داد. این فناوری‌ها به طور خودکار

۵. بحث و نتیجه‌گیری

صنعت ۴۰ با استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، رباتیک، اتوماسیون صنعتی و غیره به منظور بهبود فرآیندهای تولید و ارتقاء کیفیت محصولات و خدمات به کار می‌رود. در صنعت لوازم خانگی، صنعت ۴۰ می‌تواند علاوه بر بهبود فرآیندها و کاهش زمان تولید، کیفیت محصولات را بهبود بخشد. با استفاده از فناوری‌های پیشرفته،

نیازهای مشتریان را تشخیص داده و به طور سریع و دقیق به درخواست‌های آنها پاسخ می‌دهند. هدف از انجام این پژوهش بررسی چگونگی نقش صنعت ۴.۰ از طریق شناسایی و بهبود دستاوردهای صنعت ۴.۰ در صنعت لوازم خانگی کشور است. بدین منظور در ابتدا با استفاده از مطالعه پیشینه پژوهش، مهم‌ترین دستاوردهای صنعت ۴.۰ در حوزه کیفیت خدمات و محصولات مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه و پس از تأیید دستاوردهای شناسایی شده توسط خبرگان، به منظور سنجش وضعیت فعلی این دستاوردها در صنایع لوازم خانگی کشور، اقدام به طراحی پرسشنامه طیف لیکرت شد. بر اساس داده‌های بدست آمده از پرسشنامه‌ها و با طی روند تکنیک نقشه شناختی فازی، یک ساختار سیستمی شکل گرفت که در آن، نحوه اثرگذاری، اثرپذیری و شدت ارتباط میان دستاوردها مشخص گردید. بر اساس اطلاعات بدست آمده از نقشه شناختی فازی، مقدار چگالی برای این نقشه شناختی فازی پژوهش ۳۳ درصد بوده است. در حقیقت، ۲۷ ارتباط از ۸۱ ارتباط ممکن میان دستاوردهای صنعت ۴.۰ در این پژوهش توسط خبرگان، مدیران، معاونین و کارکنان شرکت‌های فعال در صنعت لوازم خانگی منطقی به نظر رسیده است. مقدار چگالی دلیلی بر اهمیت بالا و یا پائین آن نیست و تنها نشان‌دهنده مقدار روابط مهم شناخته شده است [۶۱]. بر اساس نقشه شناختی فازی بدست آمده برای این پژوهش، عامل «ردیابی مواد اولیه و محصولات» دارای بیشترین اثرگذاری بر روی سایر دستاوردهای پژوهش شناسایی شد. این یافته پژوهش با یافته‌های پژوهش‌های [۶۲، ۴۵] مطابقت دارد. همچنین بر اساس یافته‌های این پژوهش عامل «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» دارای بیشترین اثرپذیری از سایر دستاوردهای پژوهش است. این یافته پژوهش با برخی از یافته‌های پژوهش‌های [۶۳-۶۵] مطابقت دارد. از سوی دیگر یافته‌های پژوهش در بخش سناریوی رو به عقب نشان می‌دهد که در صورتی که صنعت لوازم خانگی به دنبال «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» باشد، می‌بایست، به ردیابی مواد اولیه و محصولات خود بپردازد. این موضوع نحوه هدایت منابع و فرایندهای کاهش هزینه در بخش‌های مختلف را تسریع نموده و بر بهبود کیفیت می‌افزاید. از سوی دیگر به منظور بهبود در دستاورد «ردیابی مواد اولیه و محصولات» می‌بایست، زمان تحویل محصول را کاهش داد. در حقیقت در صورت کاهش زمان

تحویل محصول، امکان بهبود در فرایندهای سازمانی فراهم می‌شود که این امر امکان بازگشایی زمان برای ردیابی بهتر محصولات و خدمات را فراهم می‌آورد. در حقیقت به منظور «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» می‌بایست برنامه‌ریزی جامعی بر روی کاهش زمان تحویل محصول داشت. یافته‌های پژوهش در بخش سناریوی رو به جلو حاکی از آن است که در صورت بهبود در عامل «کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید» زمینه «کاهش زمان چرخه تولید» فراهم می‌شود. ادامه مسیر سناریو در این بخش نشان می‌دهد که بهبود در «کاهش چرخه تولید محصول» منجر به «کاهش زمان تحویل محصول» می‌شود. با «کاهش زمان تحویل محصول»، زمینه برای «ردیابی مناسب محصولات و خدمات» فراهم می‌شود که این موضوع منجر به ساخت فرایندهایی شده که «عدم دستکاری اطلاعات» را فراهم می‌آورد. در حقیقت در صورتی که به صورت کامل بتوان محصولات و خدمات را ردیابی نمود، امکان دستکاری اطلاعات کاهش می‌یابد. از سوی دیگر با کاهش دستکاری اطلاعات، زمینه «شفافیت اطلاعات» فراهم می‌گردد که این موضوع سبب بهبود کل چرخه دستاوردها می‌گردد. یافته‌های بدست آمده در این پژوهش دارای سرنخ‌هایی مختلف تحقیقاتی برای سایر پژوهشگران علاقمند به این حوزه است. پژوهشگران علاقمند به این حوزه می‌توانند با وارد نمودن زمان در بررسی‌های خود، روند زمانی تغییرات گفته شده را مورد بررسی قرار دهند. همچنین سایر پژوهشگران می‌توانند با استفاده از نقشه شناختی فازی شکل گرفته نسبت به انتخاب ورودی و خروجی شبکه عصبی مصنوعی اقدام نمایند و الگوهای پیش‌بینی رفتاری مناسبی را در دستاوردهای اثرگذار را مورد بررسی قرار دهند.

۶- منابع

- [1] Mohajan, H. (2019). The first industrial revolution: Creation of a new global human era.
- [2] Carvalho, A. V.-E., Daisy Valle"-/"Chouchene, Amal"-/"Charrua-Santos, Fernando. (2021). Quality 4.0: an overview. *Procedia Computer Science*, 181, 341-346.

- "Khademi Zare, Hassan. (2018). Pricing in reverse logistics considering product quality and stochastic demand. *PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT*, 8(2), 1-27.
- [10] Gunasekaran, A.-S., Nachiappan"-/"Ngai, Wai Ting Eric. (2019). Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. In (Vol. 207, pp. 125-129): Elsevier.
- [11] Chiarini, A. (2011). Japanese total quality control, TQM, Deming's system of profound knowledge, BPR, Lean and Six Sigma: Comparison and discussion. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(4), 332-355.
- [12] Aleksandrova, S. V.-V., Victor A"-/"Alexandrov, Mark N. (2019). Integration of quality management and digital technologies. Paper presented at the 2019 International Conference" Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"(IT&QM&IS).
- [13] Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11(5).
- [14] Talaie, H.-Z., Mehran"-/"Malekinejad, Pooria. (2022). Designing the establishment and implementation model of quality 4.0 with the integrated approach of interpretive structural modeling and structural equation modeling. *Journal of Quality Engineering and Management*, 12(1), 51-68.
- [15] Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Procedia cirp*, 52, 173-178.
- [16] Rahman, N. S. F. A., Hamid, A. A., Lirn, T.-C., Al Kalbani, K., & Sahin, B.
- [3] Kandade, K.-S., Georges"-/"Parada, Maria José"-/"Dawson, Alexandra. (2021). From family successors to successful business leaders: A qualitative study of how high-quality relationships develop in family businesses. *Journal of Family Business Strategy*, 12(2), 100334.
- [4] Alzoubi, H. M.-A., Gouher"-/"Alshurideh, Muhammad. (2022). An empirical investigation into the impact of product quality dimensions on improving the order-winners and customer satisfaction. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 36(2), 169-186.
- [5] Priyo, J. S. (2018). Service quality, trust and customer loyalty: The role of customer satisfaction at the hotel services industry in Indonesia. *Calitatea*, 19(166), 50-55.
- [6] Aboelmaged, M. G. (2010). Six Sigma quality: a structured review and implications for future research. *INTERNATIONAL JOURNAL OF QUALITY & RELIABILITY MANAGEMENT*, 27(3), 268-317.
- [7] Badrick, T.-B., Andreas"-/"Katayev, Alex"-/"van Rossum, Huub H"-/"Loh, Tze Ping"-/"Cervinski, Mark A"-/"International Federation of Clinical Chemistry"-/"Laboratory Medicine Committee on Analytical Quality. (2020). Implementation of patient-based real-time quality control. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 57(8), 532-547.
- [8] Jasti, N. V. K.-V., V"-/"Kota, Srinivas"-/"Sangwan, Kuldeep Singh. (2022). A literature review on total quality management (models, frameworks, and tools and techniques) in higher education. *The TQM Journal*, 34(5), 1298-1319.
- [9] Akramzadeh, N.-H., Mahboobeh"-/"Abooei, Mohammad Hossein"-/"

- Industry 4.0 technologies: Critical success factors for implementation and improvements in manufacturing companies. *PRODUCTION PLANNING & CONTROL*, 34(2), 139-158.
- [25] Kamble, S. S.-G., Angappa"-/"Gawankar, Shradha A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408-425.
- [26] Zhong, R. Y.-X., Xun"-/"Klotz, Eberhard"-/"Newman, Stephen T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, 3(5), 616-630.
- [27] Peter, O., Pradhan, A., & Mbohwa, C. (2023). Industry 4.0 concepts within the sub-Saharan African SME manufacturing sector. *Procedia Computer Science*, 217, 846-855.
- [28] Váně, J., Kalvas, F., & Basl, J. (2021). Engineering companies and their readiness for Industry 4.0. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(5), 1072-1091.
- [29] Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.
- [30] Baran, E.-K. P., Tulay. (2022). Classification of industry 4.0 for total quality management: A review. *SUSTAINABILITY*, 14(6), 3329.
- [31] Ammar, M.-H., Abid"-/"Javaid, Mohd"-/"Walia, Rinku"-/"Bahl, Shashi. (2021). Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies. *Materials Today: Proceedings*, 45, 5089-5096.
- (2022). The adoption of industry 4.0 practices by the logistics industry: A systematic review of the gulf region. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 100085.
- [17] Zhong, R. Y.-X., Xun"-/"Klotz, Eberhard"-/"Newman, Stephen T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, 3(5), 616-630.
- [18] Antony, J., Sony, M., & McDermott, O. (2023). Conceptualizing Industry 4.0 readiness model dimensions: An exploratory sequential mixed-method study. *The TQM Journal*, 35(2), 577-596.
- [19] Aggarwal, A., Gupta, S., & Ojha, M. K. (2019). Evaluation of key challenges to industry 4.0 in Indian context: a DEMATEL approach. In *Advances in Industrial and Production Engineering* (pp. 387-396): Springer.
- [20] Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2018). Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*.
- [21] Malik, P. K., Sharma, R., Singh, R., Gehlot, A., Satapathy, S. C., Alnumay, W. S., . . . Nayak, J. (2021). Industrial Internet of Things and its applications in industry 4.0: State of the art. *Computer Communications*, 166, 125-139.
- [22] Krugh, M., & Mears, L. (2018). A complementary cyber-human systems framework for industry 4.0 cyber-physical systems. *Manufacturing Letters*, 15, 89-92.
- [23] Liagkou, V., Salmas, D., & Stylios, C. (2019). Realizing virtual reality learning environment for industry 4.0. *Procedia cirp*, 79, 712-717.
- [24] Pozzi, R., Rossi, T., & Secchi, R. (2023).

- Istm in retail scm. *Procedia Computer Science*, 200, 993-1003.
- [40] Gunawan, P. A.-G., Lina"-//-"Widodo, Lamto"-//-"Daywin, Frans Jusuf"-//-"Doaly, CO. (2021). Production planning and capacity control with demand forecasting using artificial neural network (Case Study PT. Dynaplast) for Industry 4.0. Paper presented at the Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Singapore.
- [41] Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922-1954.
- [42] Brandenburger, J.-S., Christoph"-//-"Melcher, Josef"-//-"Hancke, Edgar"-//-"Vannucci, Marco"-//-"Colla, Valentina"-//-"Cateni, Silvia"-//-"Sellami, Rami"-//-"Dupont, Sébastien"-//-"Majchrowski, Annick. (2021). Quality 4.0-transparent product quality supervision in the age of Industry 4.0. Paper presented at the Impact and Opportunities of Artificial Intelligence Techniques in the Steel Industry: Ongoing Applications, Perspectives and Future Trends.
- [43] Lin, B.-W., Wei"-//-"Song, Malin. (2019). Industry 4.0: Driving factors and impacts on firm's performance: An empirical study on China's manufacturing industry. *Annals of Operations Research*, 1-21.
- [44] Şen, G.-M., İhsan Tolga"-//-"Şen, Kamil Öncü"-//-"Durakbasa, Numan M"-//-"Medeni, Tunç Durmuş. (2022). Sensor Based Intelligent Measurement and Blockchain in Food Quality Management. Paper presented at the Digitizing Production Systems: Selected
- [32] Psarommatis, F.-P., Sylvain"-//-"May, Gökan"-//-"Kiritsis, Dimitris. (2020). Product quality improvement policies in industry 4.0: characteristics, enabling factors, barriers, and evolution toward zero defect manufacturing. *Frontiers in Computer Science*, 2, 26.
- [33] Sader, S.-H., István"-//-"Daróczy, Miklós. (2019). Industry 4.0 as a key enabler toward successful implementation of total quality management practices. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 27(2), 131-140.
- [34] Sader, S., Husti, I., & Daroczi, M. (2022). A review of quality 4.0: Definitions, features, technologies, applications, and challenges. *TOTAL QUALITY MANAGEMENT & BUSINESS EXCELLENCE*, 33(9-10), 1164-1182.
- [35] Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2021). Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector. *Sensors International*, 2, 100109.
- [36] Maganga, D. P., & Taifa, I. W. (2022). Quality 4.0 transition framework for Tanzanian manufacturing industries. *The TQM Journal*(ahead-of-print).
- [37] Antony, J., Sony, M., Furterer, S., McDermott, O., & Pepper, M. (2022). Quality 4.0 and its impact on organizational performance: an integrative viewpoint. *The TQM Journal*, 34(6), 2069-2084.
- [38] Illés, B.-T., Péter"-//-"Dobos, Péter"-//-"Skapinyecz, Róbert. (2017). New challenges for quality assurance of manufacturing processes in industry 4.0. Paper presented at the Solid State Phenomena.
- [39] Falatouri, T.-D., Farzaneh"-//-"Brandtner, Patrick"-//-"Udokwu, Chibuzor. (2022). Predictive analytics for demand forecasting—a comparison of sarima and

- [52] Schuitemaker, R.-X., Xun. (2020). Product traceability in manufacturing: A technical review. *Procedia cirp*, 93, 700-705.
- [53] Orellana, F.-T., Romina. (2019). From legacy-based factories to smart factories level 2 according to the industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(4-5), 441-451.
- [54] Arden, N. S.-F., Adam C"-/"Tyner, Katherine"-/"Lawrence, X Yu"-/"Lee, Sau L"-/"Kopcha, Michael. (2021). Industry 4.0 for pharmaceutical manufacturing: preparing for the smart factories of the future. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PHARMACEUTICS*, 602, 120554.
- [55] De Giovanni, P.-C., Alfio. (2021). Process innovation through industry 4.0 technologies, lean practices and green supply chains. *Research in Transportation Economics*, 90, 100869.
- [56] Duman, M. C.-A., Bunyamin. (2021). A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120615.
- [57] Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.
- [58] Rodriguez-Repiso, L.-S., Rossitza"-/"Salmeron, Jose L. (2007). Modelling IT projects success with fuzzy cognitive maps. *Expert Systems with Applications*, 32(2), 543-559.
- [59] Bakhtavar, E.-V., Mahsa"-/"Yousefi, Samuel"-/"Sadiq, Rehan"-/"Hewage, Kasun. (2021). Fuzzy cognitive maps in systems risk analysis: a comprehensive review. *COMPLEX & INTELLIGENT SYSTEMS*, 7, 621-637.
- [60] Bamakan, S. M. H., Malekinejad, P., Papers from ISPR2021, October 07-09, 2021 Online, Turkey.
- [45] Ammar, M.-H., Abid"-/"Javaid, Mohd"-/"Bahl, Shashi"-/"Verma, Ajay Singh. (2022). Implementing Industry 4.0 technologies in self-healing materials and digitally managing the quality of manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 52, 2285-2294.
- [46] Godina, R.-M., João CO. (2019). Quality control in the context of industry 4.0. Paper presented at the Industrial Engineering and Operations Management II: XXIV IJCIEOM, Lisbon, Portugal, July 18–20 24.
- [47] Dutta, G.-K., Ravinder"-/"Sindhvani, Rahul"-/"Singh, Rajesh Kr. (2021). Digitalization priorities of quality control processes for SMEs: A conceptual study in perspective of Industry 4.0 adoption. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(6), 1679-1698.
- [48] Kumar, M. P.-S., P"-/"Revanth, S Sai. (2020). Industry of quality (IoQ)—An industry 4.0 perspective. *International Journal of Applied Research*, 6(4), 109-114.
- [49] Chukalov, K. (2017). Horizontal and vertical integration, as a requirement for cyber-physical systems in the context of industry 4.0. *Industry 4.0*, 2(4), 155-157.
- [50] Zeng, P.-W., Zhaowei"-/"Jia, Zhengyi"-/"Kong, Linghe"-/"Li, Dong"-/"Jin, Xi. (2019). Time-slotted software-defined Industrial Ethernet for real-time Quality of Service in Industry 4.0. *Future Generation Computer Systems*, 99, 1-10.
- [51] Granillo-Macías, R.-S.-M., Isaias"-/"González-Hernández, Isidro J"-/"Zuno-Silva, Jorge. (2020). Traceability in industry 4.0: A case study in the metalmechanical sector. *Acta logistica*, 7(2), 95-101.

- Ziaeian, M., & Motavali, A. (2021). Bullwhip effect reduction map for COVID-19 vaccine supply chain. *Sustainable Operations and Computers*, 2, 139-148.
- [61] Orang, O., de Lima e Silva, P. C., & Guimarães, F. G. (2022). Time series forecasting using fuzzy cognitive maps: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 1-62.
- [62] Bwambok, D. K., Siraj, N., Macchi, S., Larm, N. E., Baker, G. A., Pérez, R. L., Rodriguez, J. D. (2020). QCM sensor arrays, electroanalytical techniques and NIR spectroscopy coupled to multivariate analysis for quality assessment of food products, raw materials, ingredients and foodborne pathogen detection: Challenges and breakthroughs. *Sensors*, 20(23), 6982.
- [63] Alieva, J., & von Haartman, R. (2020). Digital MudA-The new form of waste by Industry 4.0. Paper presented at the Proceeding International Conference on Operations and Supply Chain Management (OSCM).
- [64] Arun Kumar, P., & Wang, S. J. (2021). The Design Intervention Opportunities to Reduce Procedural-Caused Healthcare Waste Under the Industry 4.0 Context—A Scoping Review. Paper presented at the Interactivity and Game Creation: 9th EAI International Conference, ArtsIT 2020, Aalborg, Denmark, December 10–11, 2020, Proceedings 9.
- [65] Butt, J. (2020). A strategic roadmap for the manufacturing industry to implement industry 4.0. *Designs*, 4(2), 11.

Investigating the Role of Industry 4.0 in the Quality of Products and Services (Case Study: Home Appliance Industry)

Ali Morovati Sharifabadi

Associate Professor, Department of Management Science, Yazd University, Yazd. Iran.
Alimorovati@yazd.ac.ir

Mehran Ziaecian¹

PhD student in Industrial Management (Production and Operations), Department of Management Science, Yazd University, Yazd. Iran. m.ziaecian@stu.yazd.ac.ir

Seyed Haidar Mirfakhradini

Professor, Department of Management Science, Yazd University, Yazd. Iran. Mirfakhr@yazd.ac.ir

Seyed Mahmood Zanjirchi

Associate Professor, Department of Management Science, Yazd University, Yazd. Iran.
Zanjirchi@yazd.ac.ir

Abstract: This research aims to investigate the role of Industry 4.0 in the quality of products and services provided in the country's home appliance industry. In order to conduct the present research, nine achievements of Industry 4.0 in the quality of products and services provided were identified using research literature. The statistical population of this research is the experts of the home appliances industry of the country, 72 of them were selected by purposive sampling method. The fuzzy cognitive map investigated the current status of each of the identified achievements. By designing a backward scenario, this research has shown what achievements should be improved to reduce waste and production costs. Also, this research, by compiling and designing a forward scenario, seeks to find out what achievements will be made in order to improve the quality of products and services in the country's home appliance industry due to the costs of waste and production reduced.

Keywords: Quality, Fourth Industrial Revolution, Industry 4.0

Introduction

Today, quality is considered as a vital factor in business success due to guaranteeing the reliability of products and services provided to customers in accordance with their expectations and needs [8]. During the past years, in order to improve quality, various concepts and models, including six sigma [5], quality control [16], comprehensive quality management [25], etc., have been presented and investigated. Although different quality models have played a very important role in its improvement [3], many companies and industries are still facing many challenges and problems in providing quality products and services to customers [30]. Industry 4.0 is defined as the application of computing and information technologies to increase the

¹ Corresponding author: m.ziaecian@stu.yazd.ac.ir

connection of different parts of the industry, which enables the integration between the elements of the entire supply chain, i.e. machines, workers, suppliers and final customers. Industry 4.0 is trying to build intelligent systems by integrating physical objects with digital technologies, including the Internet of Things [13], cyber physical system [1], virtual reality [20] and... Today, in order to remain in the field of competition and surpass the competitors, various industries seek to improve the quality of products and services provided to customers in accordance with their expectations and needs in the shortest possible time. One of these industries in the country is the home appliances industry, which in recent years, due to the amount of arrival of home appliances with various brands and the great desire of the sellers to buy brands made by foreign countries, such as LG, Bosch, etc. has faced many problems to stay in the cycle of competition. For this purpose, improving the quality of products and services provided by the country's hardware industry can be considered as a competitive advantage and surpassing the competitors. On the other hand, by reviewing the literature and background related to quality and industry 4.0, only the impact of industry 4.0 in improving quality has been mentioned and how its role in improving the quality of products and services provided has not been investigated; Therefore, the purpose of this research is to investigate and present scenarios in order to understand the role of industry 4.0 in improving the quality of products and services provided to customers in the country's home appliance industry. By reviewing the literature and background related to Industry 4.0 and quality, the achievements of Industry 4.0 affecting the quality of products and services are shown in Table 1.

Table 1. Industry 4.0 achievements affecting the quality of products and services.		
Industry 4.0 achievements affecting the quality of products and services	Description	References
Demand forecasting (F1)	Various companies and industries can collect past information related to customer demand and store it in a cloud system (where data cannot be deleted) and identify the drivers that affect customer demand, using Machine learning and artificial intelligence tools provide accurate models for predicting customer demand in the future.	[26, 27, 18]
Information Transparency (F2)	Different companies and industries can use sensors, machines, cyber-physical systems, etc. to collect information related to different parts of the supply chain and use the Internet of Things and Connect their wireless networks to information systems and make them available to all stakeholders.	[11, 17]
Non-Manipulation of Information (F3)	Various companies and industries can eliminate the possibility of deleting or not manipulating information by using Industry 4.0 technologies such as blockchain.	[22]

Table 1. Industry 4.0 achievements affecting the quality of products and services.		
Industry 4.0 achievements affecting the quality of products and services	Description	References
Production Delivery Time Reduction (F4)	Various companies and industries can make automation possible and simplify by using Industry 4.0 technologies such as the Internet of Things, artificial intelligence and robotics, real-time monitoring, predictive maintenance through early detection of any problems and preventing breakdowns. Help the production process and reduce the time of doing the work.	[6, 12]
Production cycle time Reduction (F5)	Various companies and industries can analyze production data by providing optimization strategies and artificial intelligence algorithms and reduce the cycle time of product production by automating repetitive tasks through robots.	[4, 28]
Flexibility and Compatibility (F6)	Various companies and industries can increase production speed by using automatic robots, artificial intelligence algorithms and IoT sensors and deliver products that meet customer expectations.	[9, 19]
Traceability of Raw Materials and Products (F7)	Various companies and industries can use Industry 4.0 technologies such as IoT sensors and RFID tags to provide real-time observation of the movement and location of materials, better inventory management and optimization of the supply chain and tracking of raw materials and products during the production process. .	[10, 14]
Reducing Human Error in the Production Process (F8)	Various companies and industries can use Industry 4.0 technologies and automate repetitive processes using robots to eliminate human error in the production and service process by automating repetitive tasks and providing real-time feedback and warnings to operators. Reduce human errors in the production process through artificial intelligence predictive algorithms.	[8, 24]
Reducing Waste and Production Costs (F9)	Various companies and industries can identify potential failures of tools and equipment before they occur by using Internet of Things sensors and cyber-physical systems and help reduce repair costs. It is also possible to automate and intelligently reduce errors by using robots and artificial intelligence algorithms in quality control processes and reduce the amount of waste production and the resulting costs.	[29, 23]

Methods

The current research is practical in terms of its purpose because it seeks to solve one of the practical problems in the home appliance industry. Also, the current research is descriptive-causal in terms of its nature and method, and survey in terms of the type and method of data collection. At first, by studying and reviewing the research literature in this field, the most important achievements of Industry 4.0 affecting quality were identified. In the continuation of the research and using the opinions of 7 academic experts, the identified achievements were confirmed and localized. These 7 university experts were university professors who had a history of various researches in the field of quality and industry 4.0. By identifying the effective achievements of Industry 4.0, a questionnaire of 9 questions was designed, in which

managers, supervisors and employees familiar with the issues of quality and Industry 4.0 were asked to state the current status of each of the achievements of Industry 4.0 in the appliance industry. identify the household through a 5-point Likert scale. The statistical population of this research is the managers, assistants and employees of the home appliance industry, 72 of whom were selected in a targeted way.

In the following, by using fuzzy cognitive mapping technique, a connection map was drawn between the achievements of Industry 4.0 affecting the quality in Industry 4.0 in the home appliances industry of the country. Fuzzy cognitive mapping technique was first introduced by Kesco (1986) [15]. The pairwise comparison matrix of this research was obtained based on the model of Rodriguez et al. (2007) [21] and then the output of the pairwise comparison matrix was entered into the FCMAPPER software. Next, based on the output obtained from the FCMAPPER software, a phase recognition map was designed, which showed the relationship between the achievements of industry 4.0, by the PAJEK software. Finally, in order to design the scenario, the target variable was selected. The target variable in this research was selected as the factor with the highest degree of centrality. Then, for the selected agent, two scenarios were formed, in the form of a backward scenario and a forward scenario [7]. The backward scenario seeks to find the origin of changes for a specific Industry 4.0 achievement. In other words, in the backward scenario, a sequence of operations is formed in which the researcher is shown how to improve a specific achievement. The forward scenario shows what sequence of achievements in the system can be improved if an Industry 4.0 achievement is improved. In this research, forward and backward scenarios have been designed for the achievement with the highest degree of centrality.

Results

Based on the output of the FCMAPPER software and entering it into the PAJEK software, the fuzzy cognitive map of the research has been drawn as Figure 1.

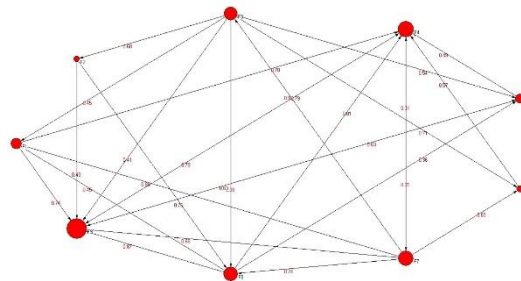


Figure 1. Fuzzy cognitive map of Industry 4.0 achievements in the quality of home appliance products and services in the country

According to the findings of this study, the achievement of "reduction of waste and production costs" has the greatest effect on the achievement of "reduction of product delivery time". Because the achievement of "reduction of waste and production costs" has already existed in the scenario path, a loop is formed and the continuation of the backward scenario path is stopped. Figure 4 shows the path of this scenario.

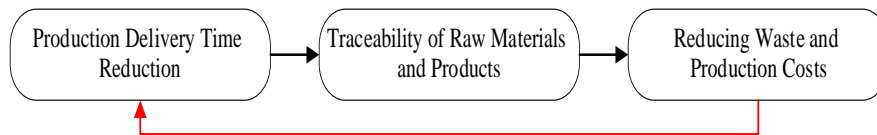


Figure 2. The path of the backward scenario for the achievement of "reduction of waste and production costs"

According to the findings of this study, the achievement of "transparency in information" has the greatest effect on the achievement of "reduction of waste and production costs" and therefore, because this achievement already existed in the scenario path, the continuation of the scenario path is stopped. The forward scenario for the achievement of "reducing waste and production costs" is shown in Figure 3.

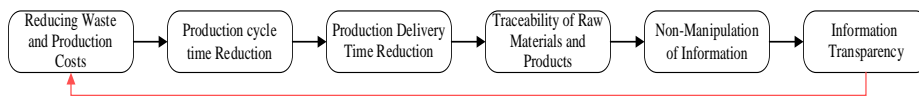


Figure 3. The path of the forward scenario for the achievement of "

reduction of waste and production costs"

Discussion and Conclusion

The research findings in the backward scenario section show that if the home appliance industry wants to achieve "reduction of waste and production costs", it should trace its raw materials and products. This issue can accelerate the way of wasting resources and cost reduction processes in different departments and increase the quality improvement. On the other hand, in order to improve the achievement of "tracking raw materials and products", the product delivery time should be reduced. In fact, if the product delivery time is reduced, it is possible to improve the organizational processes, which provides the possibility of opening time for better tracking of products and services. In fact, in order to "reduce waste and production costs", there should be a comprehensive plan to reduce product delivery time. The findings of the research in the forward scenario section indicate that if there is an

improvement in the "reduction of waste and production costs" factor, the ground will be provided to reduce the production cycle time. The continuation of the scenario in this section shows that the improvement in the reduction of the product production cycle leads to the reduction of the product delivery time. By reducing the product delivery time, the ground is provided for the proper tracking of products and services, which leads to the creation of processes that ensure the non-manipulation of information. In fact, if products and services can be fully tracked, the possibility of information manipulation is reduced. On the other hand, by reducing information manipulation, information transparency is provided, which improves the entire cycle of achievements. The findings obtained in this research have different research clues for other researchers interested in this field.

References

- [1] Aboelmaged, M. G. (2010). Six Sigma quality: a structured review and implications for future research. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(3), 268-317.
- [2] Akramzadeh, N., Honarvar, M., Abooei, M. H., & Khademi Zare, H. (2018). Pricing in reverse logistics considering product quality and stochastic demand. *Production and Operations Management*, 8(2), 1-27. (In Persian).
- [3] Ammar, M., Haleem, A., Javaid, M., Bahl, S., & Verma, A. S. (2022). Implementing Industry 4.0 technologies in self-healing materials and digitally managing the quality of manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 52, 2285-2294.
- [4] Arden, N. S., Fisher, A. C., Tyner, K., Lawrence, X. Y., Lee, S. L., & Kopcha, M. (2021). Industry 4.0 for pharmaceutical manufacturing: Preparing for the smart factories of the future. *International Journal of Pharmaceutics*, 602, 120554.
- [5] Badrick, T., Bietenbeck, A., Katayev, A., van Rossum, H. H., Loh, T. P., Cervinski, M. A., & International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine Committee on Analytical Quality. (2020). Implementation of patient-based real-time quality control. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 57(8), 532-547.
- [6] Bakhtavar, E., Valipour, M., Yousefi, S., Sadiq, R., & Hewage, K. (2021). Fuzzy cognitive maps in systems risk analysis: a comprehensive review. *Complex & Intelligent Systems*, 7, 621-637.
- [7] Brandenburger, J., Schirm, C., Melcher, J., Hancke, E., Vannucci, M., Colla, V., ... & Arteaga, A. (2021). Quality 4.0-transparent product quality supervision in the age of Industry 4.0. In *Impact and Opportunities of Artificial Intelligence Techniques in the Steel Industry: Ongoing Applications, Perspectives and Future Trends* (pp. 54-66). Springer International Publishing.

- [8] Carvalho, A.V., et al., Quality 4.0: an overview. *Procedia Computer Science*, 2021. 181: p. 341-346. 2018. 19(166): p. 50-55.
- [9] Chukalov, K. (2017). Horizontal and vertical integration, as a requirement for cyber-physical systems in the context of industry 4.0. *Industry 4.0*, 2(4), 155-157.
- [10] De Giovanni, P., & Cariola, A. (2021). Process innovation through industry 4.0 technologies, lean practices and green supply chains. *Research in Transportation Economics*, 90, 100869.
- [11] Duman, M. C., & Akdemir, B. (2021). A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120615.
- [12] Dutta, G., Kumar, R., Sindhvani, R., & Singh, R. K. (2021). Digitalization priorities of quality control processes for SMEs: A conceptual study in perspective of Industry 4.0 adoption. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(6), 1679-1698.
- [13] Falatouri, T., Darbanian, F., Brandtner, P., & Udokwu, C. (2022). Predictive analytics for demand forecasting—a comparison of SARIMA and LSTM in retail SCM. *Procedia Computer Science*, 200, 993-1003.
- [14] Godina, R. and J.C. Matias. (2019). Quality control in the context of industry 4.0. in *Industrial Engineering and Operations Management II: XXIV IJCIEOM*, Lisbon, Portugal, July 18–20 24. Springer.
- [15] Granillo-Macías, R., Simón-Marmolejo, I., González-Hernández, I. J., & Zuno-Silva, J. (2020). Traceability in industry 4.0: A case study in the metalmechanical sector. *Acta logística*, 7(2), 95-101.
- [16] Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Ngai, W. T. E. (2019). Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. *International journal of production economics*, 207, 125-129.
- [17] Gunawan, P. A., Gozali, L., Widodo, L., Daywin, F. J., & Doaly, C. O. (2021). Production planning and capacity control with demand forecasting using artificial neural network (Case study PT. Dynaplast) for industry 4.0. In *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 2722-2732).
- [18] Jasti, N. V. K., Venkateswaran, V., Kota, S., & Sangwan, K. S. (2022). A literature review on total quality management (models, frameworks, and tools and techniques) in higher education. *The TQM Journal*, 34(5), 1298-1319.
- [19] Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.

- [20] Krugh, M., & Mears, L. (2018). A complementary cyber-human systems framework for industry 4.0 cyber-physical systems. *Manufacturing letters*, 15, 89-92.
- [21] Kumar, M. P., Sahithi, P., & Revanth, S. S. (2020). Industry of quality (IoQ)–an industry 4.0 perspective. *International Journal of Applied Research*, 6(4), 109-114.
- [22] Liagkou, V., Salmas, D., & Stylios, C. (2019). Realizing virtual reality learning environment for industry 4.0. *Procedia Cirp*, 79, 712-717.
- [23] Lin, B., Wu, W., & Song, M. (2019). Industry 4.0: Driving factors and impacts on firm's performance: An empirical study on China's manufacturing industry. *Annals of Operations Research*, 1-21.
- [24] Malik, P. K., Sharma, R., Singh, R., Gehlot, A., Satapathy, S. C., Alnumay, W. S., ... & Nayak, J. (2021). Industrial Internet of Things and its applications in industry 4.0: State of the art. *Computer Communications*, 166, 125-139.
- [25] Orellana, F., & Torres, R. (2019). From legacy-based factories to smart factories level 2 according to the industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(4-5), 441-451.
- [26] Rodriguez-Repiso, L., Setchi, R., & Salmeron, J. L. (2007). Modelling IT projects success with fuzzy cognitive maps. *Expert systems with applications*, 32(2), 543-559.
- [27] Schuitemaker, R., & Xu, X. (2020). Product traceability in manufacturing: A technical review. *Procedia CIRP*, 93, 700-705.
- [28] Şen, G., Medeni, İ. T., Şen, K. Ö., Durakbasa, N. M., & Medeni, T. D. (2022). Sensor Based Intelligent Measurement and Blockchain in Food Quality Management. In *Digitizing Production Systems: Selected Papers from ISPR2021, October 07-09, 2021 Online, Turkey* (pp. 323-334). Springer International Publishing.
- [29] Zeng, P., Wang, Z., Jia, Z., Kong, L., Li, D., & Jin, X. (2019). Time-slotted software-defined Industrial Ethernet for real-time Quality of Service in Industry 4.0. *Future Generation Computer Systems*, 99, 1-10.
- [30] Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922-1954.