دومین کنفرانس بین المللی مدیریت و صنعت
۸ بهمن ۱۴۰۰ - تفلیس / گرجستان
2nd International Conference in Management & Industry
28 January 2022 - Georgia

شناسایی روابط میان محرک های موثر صنعت ۴,۰ بر اقتصادچرخشی

مجتبی تقی پور[۱]
وحید یوسفی نیاسری[۲]

چکیده :
جهان امروز با مسائلی چون گرم شدن زمین، انواع آلودگی‌ها، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و... مواجه است که این مسائل به‌طور بالقوه می‌تواند منجر به انقراض نوع بشر شود؛ بنابراین حفظ محیط زیست و استراتژی‌های مربوط به آن خیلی زود در اولویت برنامه‌ها، به‌عنوان یک نوآوری مهم سازمانی قرار گرفت و برنامه های اقتصادی سازمان ها و جوامع را برای بهبود اوضاع حاکم از مدل خطی به مدل دایره ای تغییر داد. همچنین محیط های کسب و کار امروزی با موج جدیدی از تحولات گسترده در حوزه فناوری های نوظهور رو به رو شده اند که به ناچار جهت بقای خود باید در ساختار، عملکرد و مدل های مدیریتی تجدید نظر کنند یکی از این تحولات موج چهارم صنعت است که به انقلاب صنعتی ۴,۰ شهرت یافته است. در این تحقیق با معرفی اجمالی صنعت ۴,۰ و اقتصادچرخشی و مرور ادبیات و پیشینه تحقیقات صورت گرفته شده ۱۶ عامل به عنوان محرک های صنعت ۴,۰ در اقتصادچرخشی شناسایی و پس از بکارگیری تکنیک دلفی فازی نظرات خبرگان ۱۳ عامل به عنوان عوامل اصلی عنوان شد.به منظور تحلیل داده های این تحقیق از رویکرد دیمتل فازی بهره گرفته شد تا اثرات عوامل مشخص گردد. نتایج حاصل از تحلیل دیمتل فازی بیانگر این مطلب است که عامل بهبود سیستم های اشتراک گذاری ، دقت داده ها ، بهبود کیفیت و بهینه سازی منابع و فرآیندها از تاثیرگذار ترین عوامل در پیاده سازی صنعت ۴,۰ در اقتصادچرخشی می باشند.

کلید واژه ها: اقتصادچرخشی، صنعت ۴,۰، دیمتل فازی

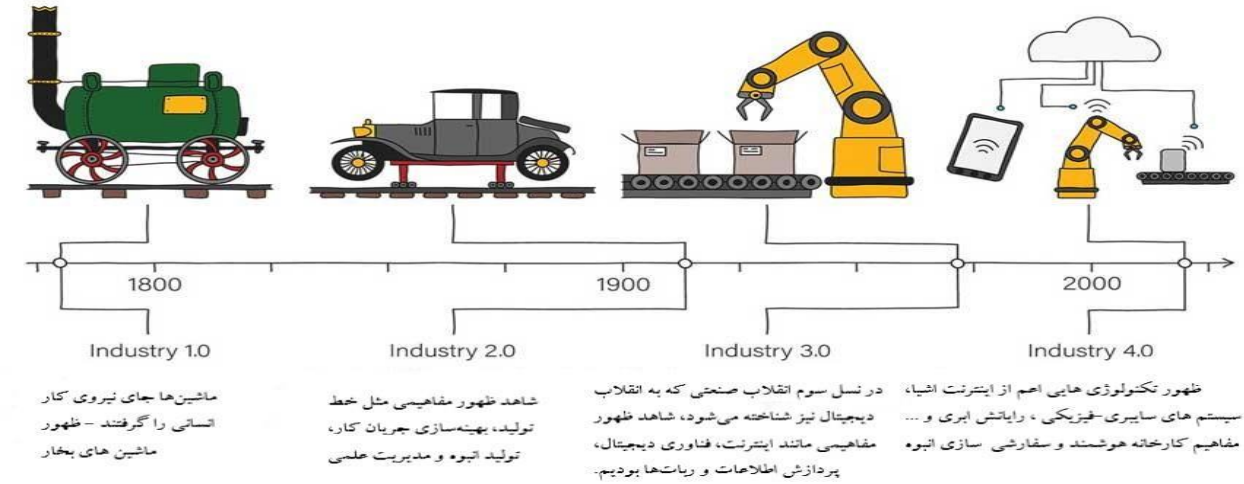
۱: مقدمه

۱-۱: صنعت ۴,۰

پارادایم های مختلف انقلاب صنعتی را می توان از نظر فناوری و همچنین جنبه های اجتماعی و سیاسی دسته بندی کرد. اولین انقلاب صنعتی در دهه ۱۷۰۰ رخ داد، زمانی که سیستم‌های تولیدی شروع به استفاده از ماشین‌هایی کردند که با بخار و آب کار می‌کردند. انقلاب صنعتی دوم در طول دهه ۱۸۰۰ رخ داد و با استفاده از برق و خط مونتاژ برای تولید انبوه مشخص می‌شود(Vinodh, S et al,2020). در دهه ۱۹۰۰، کامپیوترها و الکترونیک انقلاب صنعتی سوم را به وجود آوردند که مشخصه آن اتوماسیون است(Lasi, H et al, 2014). اصطلاح "صنعت ۴,۰" برای اولین بار در نمایشگاه هانوفر در سال ۲۰۱۱ مطرح شد. متعاقباً، در سال ۲۰۱۳، دولت آلمان آن را به عنوان یک ابتکار استراتژیک برای متحول کردن صنعت تولید پذیرفت (Xu, L et al,2018) . با این حال، تحقیقات آکادمیک در مورد صنعت ۴,۰ هنوز در مرحله نوپایی است.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی ، گرایش زنجیره تامین دانشکده مدیریت دانشگاه تهران – تهران- ایران (نویسنده مسئول)
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی ، گرایش زنجیره تامین دانشکده مدیریت دانشگاه تهران – تهران- ایران

www.SID.ir



شکل شماره ۱: سیر تحولات تاریخی انقلاب های صنعتی

صنعت ۴,۰ را می توان به عنوان همگرایی چندین مفهوم نوظهور و فناوری‌های جدید مانند شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)، داده‌های بزرگ، محاسبات ابری، حسگرهای هوشمند، یادگیری ماشین (ML)، روباتیک، ساخت افزودنی (AM)، هوش مصنوعی (AI)، واقعیت افزوده و اینترنت اشیا عنوان کرد (Li, L, 2017). با توجه به پیشرفت تکنولوژی در عصر دیجیتال، به دلیل به هم پیوستگی ماشین ها، سیستم ها و گره ها در یک شبکه تولیدی، داده های بیشتری نسبت به قبل تولید می شود. داده ها توسط تمام گره های سیستم تولید جمع آوری و به اشتراک گذاشته می شود و برای تولید دانش تجزیه و تحلیل می شود. ماشین‌ها به‌جای اینکه به‌صورت انفرادی کار کنند، به‌طور مستقل با هم ارتباط برقرار می‌کنند و با هم همکاری می‌کنند (Manesh, M et al,2020). استفاده از ظرفیت و کاهش هزینه ها در نتیجه پایداری شرکت را بهبود می بخشد. علاوه بر این، شفافیت داده‌ها می‌تواند تحویل‌های اشتباه و جریان‌های مواد غیرضروری را کاهش دهد و آسیب‌ها را در کل زنجیره ارزش از بین ببرد، در نتیجه اتلاف‌ها از بین رفته و عملکرد محیطی افزایش می یابد(Qiu, X et al,2015). پیش از این، بسیاری از مطالعات در مورد مفهوم نظری صنعت ۴,۰ انجام شده است. این مطالعات پیشنهاد کرده‌اند که فناوری های این نسل، کارایی را بهبود می‌بخشند و اتلاف انرژی ناشی از فرآیند تولید را کاهش می‌دهند(Nascimento et al, 2018). دنیای فیزیکی و دنیای مجازی از طریق صنعت ۴,۰ به هم متصل می شوند و در نتیجه تعامل انسان و ماشین صورت می گیرد. این فناوری، قطعات و کارخانه هوشمند را قادر می‌سازد تا یک شبکه ارتباطی را به منظور سازگاری و مدیریت خود بر این اساس تشکیل دهند.(Jabbour et al., 2018) بنابراین، فناوری‌های صنعت ۴,۰ نه تنها ارتباطات بین دنیای فیزیکی و مجازی را امکان‌پذیر می‌سازد، بلکه فرصت‌هایی را برای شرکت‌های تولیدی برای بهبود کارایی و افزایش ظرفیت تولید نیز فراهم می‌کند(Büchi, G et al,2020). طبق بیان گیلکریست تمرکز اصلی صنعت چهار این است که یک شبکه تولید هوشمند مبتنی بر دیجیتال سازی و اتوماسیون ایجاد کند که در آن ماشین ها و محصولات بدون دخالت انسانی با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند(Gilchrist, 2016).

جدول شماره ۱: تعریف صنعت ۴,۰ از دیدگاه محققان

تعریف	سال	محققان
صنعت ۴,۰ با استفاده از قدرت فناوری ارتباطات و اختراعات ابتکاری منجر به تقویت و توسعه صنعت تولید خواهد شد.	2013	Kagermann , Wahlster &

www.SID.ir

Johannes		
Qin, Liu & Grosvenor	2016	صنعت ۴,۰ با جمع آوری هوشمندانه داده ها ، تصمیم گیری صحیح و اجرای تصمیمات بدون هیچ گونه تردید ، کارایی تولید را تشویق می کند. با استفاده از پیشرفته ترین فناوری ها ، روش های تفسیر داده ها آسان تر می شود.
Schwab	2016	صنعت ۴,۰ با چند ویژگی فن آوری های جدید متمایز می شود ، به عنوان مثال: دنیای فیزیکی ، دیجیتالی و بیولوژیکی. بهبود فناوری ها تأثیرات قابل توجهی بر صنایع ، اقتصادها و برنامه های توسعه دولت ها می گذارد. شواب خاطرنشان کرد که صنعت ۴,۰ یکی از مهمترین مفاهیم در توسعه صنعت جهانی و اقتصاد جهان است.
de Sousa Jabbour.	2018	فناوری های انقلاب صنعتی چهارم می تواند به تحولات دیجیتالی یک سازمان برای دست یابی به اهداف توسعه پایدار از طریق اثربخشی بیشتر کمک کند.
Malik, A. A., Masood, T., & Kousar, R.	2020	انقلاب صنعتی چهارم با ایجاد کارخانه های هوشمند با استفاده از فناوری های اینترنت اشیا و رایانش ابری، صنعت را به روز می کند و تغییر شکل می دهد. همچنین با فناوری های دیگری شامل واقعیت افزوده ، واقعیت مجازی، دوقلوهای دیجیتال، رباتیک، شبیه سازی و ... فرایندهای تولیدی را توسعه می دهد.

۲-۱: اجزای صنعت ۴,۰

- سیستم های سایبری- فیزیکی

یک سیستم سایبری- فیزیکی (CPS) ، تکنولوژی را که بر پایه ترکیب فناوری اطلاعات و دنیای فیزیکی می باشد توصیف می کند.این سیستم ها نهاده هایی محاسباتی در ارتباط تنگاتنگ با محیط فیزیکی اطراف و فرآیندهای جاری آن می باشند(Monostori, L., 2014). بنابراین سیستم های باز و متقابل ایجاد می شوند که قادر به جمع آوری داده ها در موقعیت های مختلف دنیای فیزیکی هستند. این سیستم ها می توانند از طریق سیستم های محرک به فرآیندهای درون دنیای فیزیکی واکنش نشان دهند و بنابراین می توانند بر رفتار تجهیزات، اشیا و خدمات تأثیر بگذارند (Geisberger & Broy, 2012).

- اینترنت اشیا

مبنای اولیه دیجیتالی شدن صنعتی، شبکه سازی دستگاه ها است. که معمولاً به عنوان اینترنت اشیا شناخته می شود، مفهومی که نمی توان با توافق متفق القول آن را تعریف کند (Nagy J,2018). معمولاً به عنوان «اکوسیستمی از فناوری‌هایی توصیف می‌شود که وضعیت اشیاء فیزیکی را نظارت می‌کنند، داده‌های معنادار را جمع‌آوری می‌کنند و آن اطلاعات را از طریق شبکه‌ها به برنامه‌های نرم‌افزاری منتقل می‌کنند. موضوعات تکرارشونده در تمام تعاریف اینترنت اشیا شامل اشیاء هوشمند، ارتباطات ماشین به ماشین (M2M) و فناوری‌های فرکانس رادیویی است(Thrasher.J,2014) .

- رایانش ابری

با بهبود عملکرد فناوری‌ها، داده‌ها و پردازش ها به طور فزاینده‌ای در فضای ابری مستقر می‌گردد و خدمات مبتنی بر داده‌های بیشتری را برای سیستم‌های صنعتی ممکن می‌سازند(M. A. K. Bahrin, M. F. Othman,2016). رایانش ابری یک منطق

www.SID.ir

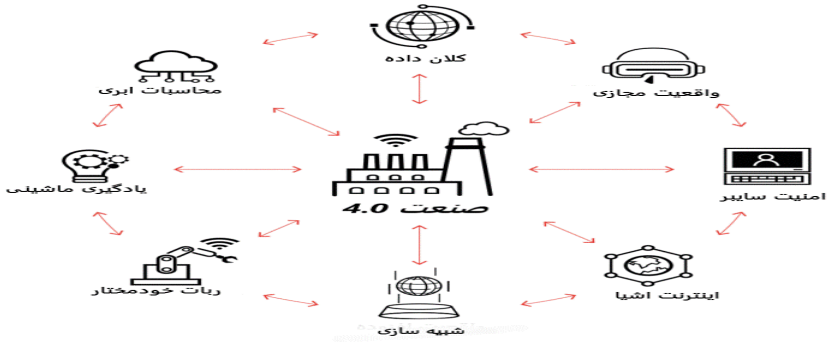
نسبتاً جدید سیستم است که فضای وسیعی از ذخیره سازی را برای کاربر فراهم می کند. ویژگی کلیدی رایانش ابری مقیاس پذیری آن می باشد. کاربران می توانند سخت افزارها و نرم افزارها را بر اساس نیازهای پویای خود در مرکز داده ابر اضافه یا حذف کنند.

- کلان داده

تجزیه و تحلیل کلان داده، فن آوری ها و تکنیک هایی هستند که برای تجزیه و تحلیل داده های پیچیده و در مقیاس بزرگ از برنامه های مختلف به منظور کسب هوش و استخراج روابط، الگوها و اطلاعات ناشناخته، پنهان، معتبر و مفید استفاده می کنند. روش های مختلفی برای مقابله با چنین داده هایی استفاده می شود. برخی از مهمترین آنها عبارتند از: تجزیه و تحلیل متن، تجزیه و تحلیل صوتی، تجزیه و تحلیل تصویری، تجزیه و تحلیل رسانه های اجتماعی، و تجزیه و تحلیل پیش بینی (Orenga-Roglá, S.,Chalmeta, R.,2018). کلان داده و تجزیه و تحلیل، جمع آوری و ارزیابی جامع داده ها از منابع و مشتریان مختلف را برای حمایت از تصمیم گیری در زمان واقعی، بهینه سازی کیفیت تولید، صرفه جویی در مصرف انرژی و بهبود خدمات تجهیزات امکان پذیر می کند(M. A. K. Bahrin, M. F. Othman,2016).

- شبیه سازی

شبیه‌سازی‌ها برای مدل‌سازی سیستم‌های استخراج‌شده از محیط واقعی برای ارزیابی رفتار آن‌ها در شرایط مختلف و درک پاسخ‌های آن‌ها به عوامل مستقیم و غیرمستقیم مختلف که ممکن است بر نتایج سیستم تأثیر بگذارند، استفاده می‌شوند (Rocca, R.2020). شبیه‌سازی‌ها به دلیل انعطاف‌پذیری، یک رکن اساسی در صنعت ۴,۰ هستند، زیرا ممکن است در هر زمینه‌ای مانند تولید، خدمات، طراحی و مراقبت‌های بهداشتی اجرا شوند.



شکل شماره ۲: اجزای صنعت ۴,۰

۳-۱: اقتصادچرخشی **(CE)**

مفهوم اقتصادچرخشی با رشد اقتصادی تجربه شده توسط چین در دهه ۱۹۹۰ و منابع طبیعی محدود موجود، برای تولید کالاها و خدمات رایج شد. مطالعاتی که در آن زمان در CE انجام شد به این نتیجه رسید که سیستم‌های تولیدی فاقد جنبه‌های اجتماعی و پایداری هستند. در حال حاضر عدم شفافیت در توجیه اینکه چگونه CE ممکن است سه ستون پایداری را از منظر اجتماعی برآورده کند، وجود دارد (Rajput, S.; Singh, S.P,2019). مفهوم اقتصادچرخشی به عنوان یک روش جدید پایداری تکامل یافته است و در کمبود منابع، گردش مواد و تسهیل استفاده مجدد و پارادایم بازیافت محبوبیت پیدا کرده است. در نتیجه، به دلیل سبک زندگی مصرف کننده، رشد پویا در صنایع تولیدی، انتشار کربن و تولید زباله به طور فزاینده ای شدید شده است (Michaeland Amir, 2016).اقتصادچرخشی دیدگاه متفاوتی از تولید و مصرف در بازگرداندن ارزش محصولات دور ریخته شده دارد، مطالعات قبلی در مورد اقتصادچرخشی درک آینده نگر و کاربردهای آن را در طراحی مجدد سیستم های تولیدی ارائه می دهد و ایده های زنجیره تامین حلقه بسته را به اشتراک می گذارد(Geissdoerfer,M et al,2017) . تعریف خوبی از

www.SID.ir

اقتصادچرخشی توسط بنیاد الن مک آرتور ارائه شده است ، که اقتصادچرخشی را به عنوان یک "سیستم ترمیمی و احیا کننده با طراحی" تعریف می کند که هدف آن حفظ محصولات، اجزا و مواد در حداکثر سودمندی و ارزش آنها است (Bressanelli, G et al,2018). راجپوت و سینگ ۲۰۱۹، بیان کردند که CE به عنوان یک زنجیره تامین بسته پیکربندی شده که به دنبال استفاده ترمیمی و احیاکنندگی می باشد ، به این معنی که سیستم در "پایان عمر" یا "طول عمر" محصولات، مفهوم سازی شده است و خدمات در سطح صنعتی، در نتیجه حذف مواد سمی، و استفاده مجدد و حذف زباله از طریق اجرای صریح مدل‌های طراحی انجام می پذیرد.از نظر زنجیره تامین، هدف اقتصادچرخشی این است که منابع را کارآمدتر کند و نتایج زیست محیطی را بهینه کند. علاوه بر این، اقتصادچرخشی به دلیل استفاده از یک مدل اقتصادی با هدف به حداقل رساندن مصرف مواد برای تمرکز بر استفاده هوشمندانه آنها شناخته شده است. انتقال مدل‌های اقتصادی از یک مدل اقتصادی خطی کلاسیک به یک مدل دایره‌ای بسته، با تمرکز بر ارائه مثبت و متعادل سازی اثرات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی صورت می گیرد (Rosa, P.; Sassanelli, C,2019). چرخه عمر کالاها یا خدمات، که توسط مراحل تولید و بازاریابی، از استخراج مواد خام تا دفع نهایی زباله، نشان داده می‌شود، معمولاً توسط تعبیر «گهواره تا گور» که در آن گهواره محیطی است که منابع طبیعی از آن استخراج می شود و گور نیز محیط زیست است و نقش مقصد نهایی زباله ها را دارد(Ghisellini, P,2016). برخی از مفاهیم دیگر توسط آکادمی ها برای تغییر درک زباله و تغییر آن به عنوان منبع پیشنهاد شد. یک مفهوم اقتصادچرخشی که تعریف توسعه پایدار را از کمیسیون جهانی محیط زیست در نظر می گیرد، بیان می کند : «اقتصادی است که از سیستم‌های تولید-مصرف اجتماعی ساخته شده است که خدمات تولید شده از جریان خطی طبیعت، جامعه و جریان انرژی را به حداکثر می‌رساند. این کار با استفاده از جریان‌های مواد چرخه‌ای، منابع انرژی تجدیدپذیر و جریان‌های انرژی از نوع آبشاری انجام می‌شود. اقتصادچرخشی موفق به هر سه بعد توسعه پایدار کمک می کند. اقتصادچرخشی جریان تولید را به سطحی محدود خواهد کرد که طبیعت آن را تحمل می‌کند و از چرخه‌های اکوسیستم در چرخه‌های اقتصادی با رعایت نرخ طبیعی بازتولید آن‌ها استفاده می‌کند (Korhonen, J et al,2018). اقتصادچرخشی بر پایه استفاده مجدد، بازیافت و اصول ساخت مجدد است. به طور مثال محققانی همچون، تسنگ ۲۰۱۸، از R۳ها، یعنی بازیافت، کاهش و استفاده مجدد نام می برد، در حالی که یاداو و همکاران۲۰۲۰، به R۶ها اشاره دارند، یعنی بازیافت، استفاده مجدد، کاهش، رد کردن، تجدید نظر و تعمیر. یانگ و همکاران ۲۰۱۸، اقتصادچرخشی را به طور کلی تر توصیف می کنند که محصولات را با طراحی و حفظ ارزش آنها به عنوان ترمیمی و احیا کننده بدل می سازد. یونگ۲۰۰۷ ، اقتصادچرخشی را از طریق یک رویکرد از بالا به پایین به عنوان یک مدل توسعه ای جدید برای راه اندازی ساختار اقتصادی پایدارتر معرفی کرد. گارسیا-موینا و همکاران ۲۰۱۸، به طور خلاصه اقتصادچرخشی را به عنوان "اقتصادی که قادر به بازسازی خود است" تعریف می کند.CE به عنوان یک پارادایم اقتصادی پایدار جدید تلقی می شود(Geissdoerfer, M et al,2017) . که شامل یک سیستم اقتصادی مبتنی بر استفاده مجدد، بازیافت و بازیابی مواد در فرآیندهای تولید، لجستیک و مصرف است(Kirchherr, J et al,2017). اساس اقتصادچرخشی طراحی محصول با تاکید بر اصطلاح "طراحی برای بازیافت" است زیرا در این مرحله تصمیمات در مورد میزان استفاده از مواد قابل بازیافت گرفته می شود. هدف اصلی طراحی برای بازیافت دستیابی به حداکثر کاهش در تولید مواد خام، استفاده از مواد بازیافتی و دستیابی به بالاترین سطح بازیافت پس از پایان چرخه عمر محصول است. طراحی به گونه ای است که مواد زائد با خواص مشخص را قادر می سازد تا بازیابی شوند و دوباره در فرآیند تولید یا توسط دیگران مرد استفاده قرار گیرند (Aguiar et al., 2017).CE در سال های اخیر توسط اقتصادهای بیشتری پذیرفته شده است(Farooque, M et al,2019). به عنوان مثال، کمیسیون اروپا به سرعت آن را پذیرفت و به طور مستمر سیاست های مربوطه را برای به حداکثر رساندن ارزش زیست محیطی و اقتصادی ارزیابی کرده است(Govindan, K. Hasanagic, M.2018). ژاپن و ایالات متحده از CE به عنوان یک ابزار عملی در طراحی سیاست های مدیریت زیست محیطی و پسماند استفاده کردند(Ghisellini et al., 2016).چین برای

www.SID.ir

رشد سریع اقتصادی خود به صنایع تولیدی پر انرژی و سنگین متکی است و لزوم اجرای سیاست های اقتصادچرخشی از اهمیت بالایی برخوردار است(Govindan, K. Hasanagic, M.2018). بنابراین، کاهش ذخایر انرژی و منابع طبیعی یک تهدید واقعی برای رشد اقتصادی و پایداری است. این چالش‌های پیشرو چین را وادار کرد تا CE را به عنوان بخشی از استراتژی توسعه ملی خود بپذیرد. قانون ارتقای اقتصادچرخشی در سال ۲۰۰۹ به تصویب رسید و چین را به یکی از سه کشوری تبدیل کرد که سیاست های مرتبط با CE را وضع کرده است (Su, B et al,2013) .

جدول شماره ۲: تعاریف کلیدی اقتصادچرخشی از دیدگاه محققان

مفهوم کلیدی	تعریف	محققان
کاهش مصرف مواد	اقتصادچرخشی رسالت خود را حل مشکلات از منظر کاهش هدر رفت مواد و متعادل کردن جریان مواد بین اکوسیستم و سیستم اجتماعی-اقتصادی تعریف می کند.	Liu, Q, et al, 2009
بهره وری زیست محیطی و بهره وری منابع	اقتصادچرخشی (CE) بر بهره وری منابع و بهبود بهره وری زیست محیطی به روشی جامع، به ویژه بر بهینه سازی ساختار صنعتی و کاربرد فناوری جدید، نوسازی تجهیزات و نوسازی مدیریت تمرکز دارد.	Hu, J. et al,2011
بستن حلقه جریان مواد	"اقتصادچرخشی یک سیستم صنعتی است که بر بستن حلقه جریان مواد و انرژی و کمک به پایداری طولانی مدت متمرکز است."	Geng, Y.et al, 2013
ترمیم کننده (احیا کننده) به وسیله طراحی	اقتصادچرخشی اقتصادی است که از نظر طراحی ترمیم کننده است و هدف آن حفظ محصولات، اجزا و مواد در بالاترین ارزش و کاربردشان در همه زمان ها است.	Webster, K.2020
تبدیل زباله به منبع	اقتصادچرخشی به معنای استفاده مجدد، تعمیر، نوسازی و بازیافت مواد و محصولات موجود است. آنچه قبلاً به عنوان زباله در نظر گرفته می شد به یک منبع تبدیل می شود.	Jurgilevich, A.2016
ترویج پایداری	طبق گفته بنیاد الن مک آرتور و کمیسیون اروپا، اقتصادچرخشی (CE) به عنوان یک رویکرد امیدوارکننده برای کمک به کاهش فشارهای پایداری جهانی ما در نظر گرفته می شود.	Bocken, N,et al 2016
اقتصادچرخشی به عنوان یک احیا کننده	اقتصادچرخشی به عنوان یک سیستم احیا کننده که در آن ورودی منابع و اتلاف، انتشار و نشت انرژی با کند کردن، بسته شدن و باریک کردن حلقه های مواد و انرژی به حداقل می رسد. این را می توان از طریق طراحی طولانی مدت، نگهداری، تعمیر، استفاده مجدد، ساخت مجدد،	Geissdoerfer, M.2017

www.SID.ir

	نوسازی و بازیافت به دست آورد.	
کاهش بار زیست محیطی با رویکرد تئوری سیستم اکولوژیکی	اقتصادچرخشی ، مجموعه ای از فرآیندها برای کاهش مواد مورد استفاده در تولید و مصرف، ارتقای انعطاف پذیری مواد، حلقه بسته شدن و ارائه پایداری مبادله به گونه ای که سیستم اکولوژیکی را به حداکثر برساند.	Awan, U,2020

۴-۱: صنعت ۴,۰ و اقتصادچرخشی

اجرای اقتصادچرخشی (CE) نیازمند تغییراتی در مدل های کسب و کار و جامعه است. علاوه بر این، به نظر می رسد ایجاد راه حل های فناورانه جدید مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات، تسهیل کننده ای برای معرفی اقتصادچرخشی به حوزه تجارت باشد.صنعت ۴,۰ یک تغییر پارادایم است که مدل کسب و کار سنتی شرکت های تولیدی را با ادغام شیوه های اقتصادچرخشی تغییر می دهد (Rosa, P,2020). این فناوری‌های تحول‌آفرین، کارایی تولید، انعطاف‌پذیری تولید و بهره‌وری کلی عوامل سبز را از طریق چندین فناوری اطلاعات، ارتباطات و هوش مصنوعی تسهیل می کنند (Büchiet al., 2020؛ Durach et al., 2021; Kohizadeh et al., 2021). اجزای صنعت ۴,۰ راه را برای اصول اقتصادچرخشی هموار می کند که می تواند به ردیابی مواد خام، ایجاد اطلاعات بلادرنگ در خطوط تولید، قطعات، ماشین آلات و پس از مصرف محصولات کمک کند. این اطلاعات را می توان به منظور تصمیم گیری آگاهانه، نظارت بر عملکرد و ردیابی چرخه عمر محصولات محصور کرد. صنعت ۴,۰ پشتیبانی فوق العاده ای را برای تسهیل اقتصادچرخشی ای ارائه می دهد که در آن فرآیند تولید بر اصول پایداری مانند خرید سبز، استفاده مجدد، بازیافت و تولید سبز استوار می باشد(Razzaq, A et al,2021). تحت عنوان صنعت ۴,۰اقتصادچرخشی با انواع نوآوری های تکنولوژیکی مرتبط است که عمدتاً شامل بلاک چین، تجزیه و تحلیل داده های بزرگ، هوش مصنوعی، ابر، شبیه سازی صنعتی، اینترنت اشیا، و تولید مواد افزودنی و غیره است (Dalenogareet al., 2018؛ Rüßmann et al, 2015). این فناوری‌ها ساختار صنعتی غالب را از طریق فرآیندهای مبتنی بر نوآوری با تضمین نظارت مالی و محیطی بهبود می‌بخشند (Huynh et al., 2020). صنعت ۴,۰ و اقتصادچرخشی در حال ظهور در مرحله ی سازمانی هستند و روندهای تکنولوژیکی که بهره وری و تولید پایدار شرکت را بهبود می بخشد (Dalenogare et al., 2018) .توسعه سریع مفاهیم و فن‌آوری‌های صنعت ۴,۰، شرکت‌ها را برای انطباق، حرکت از عملیات زنجیره تامین خطی کنونی به مدل دایره‌ای مجهز می‌کند (Batista, L et al,2018) و «مدیریت هوشمند زباله» را ممکن می‌سازد (Chowdhury, B., & Chowdhury, M. U. ,2007). رویکرد CE حجم عظیمی از داده‌ها را با توجه به ضایعات، محصولات جانبی، مواد خام و غیره تولید می‌کند و برای نظارت و دسترسی به اطلاعات بلادرنگ نیاز به دیجیتالی شدن در زنجیره تامین دارد. در این راستا، صنعت ۴,۰ نوآوری های کلیدی در عملیات پایدار را ارائه می دهد و زنجیره را پویاتر و کارآمدتر می کند. به همین منظور، بسیاری از نویسندگان مطالعات خود را در ارزیابی و تعیین عوامل موفقیت، توانمندسازی‌ها، ویژگی‌ها و الزامات صنعت ۴,۰برای پیاده‌سازی مؤثر انجام داده‌اند...آرورا و همکاران، (۲۰۰۶)؛ میوراندی و همکاران (۲۰۱۲)؛ آتریا و تاگ (۲۰۱۳)؛ مونوستوری (۲۰۱۴)؛ پوزا و همکاران (۲۰۱۵)؛ ژونگ و همکاران (۲۰۱۶)؛ راجپوت و سینگ (۲۰۱۸) توانمندسازهای اساسی مانند انعطاف پذیری، قابلیت اطمینان، مقیاس پذیری، کلان داده، تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده، بازیابی خدمات، کیفیت خدمات، خودبهینه‌سازی، یکپارچه‌سازی، قابلیت همکاری، قابلیت‌های رابط و شبکه و غیره در یک زنجیره تامین حلقه بسته را تعیین کرده اند. همانطورکه از پژوهش های محققان بر می آید رابطه تنگاتنگی بین پیاده سازی اجزای صنعت ۴,۰ و بهبود در فرآیندهای اقتصادچرخشی می باشد. یک سازمان غیرمتمرکز مبتنی بر پایداری برای یک اقتصادچرخشی در یک کارخانه هوشمند، بر تخصیص کارآمد محصولات، مواد، انرژی و آب با در نظر گرفتن

www.SID.ir

محدودیت‌های دینامیکی تمرکز می‌کند، به عنوان مثال. لجستیک هوشمند، شبکه هوشمند، عرضه خودکفا (Stock & Seliger, 2016)چنین مفهومی نسبت به بهره وری کل نگر منابع در مفهوم اقتصادچرخشی به عنوان یکی از مزایای اساسی صنعت ۴,۰ در نظر گرفته می شود(Kagermann et al,2016) .در دنیایی از اطلاعات کامل، می توان حتی کارآمدتر از اتوماسیونی که قبلاً فعال شده بود، تولید کرد. استفاده از منابع کمتر امکان پذیر می شود، در حالی که نتایج مشابه قبلی بدست می آید و تولید انعطاف پذیرتر می شود. در نتیجه دسته های تولید کوچکتر امکان پذیر است. چنین بهبودهای بهره وری را می توان برای اجرای یک اقتصادچرخشی نیز مورد استفاده قرار داد. نوآوری های اقتصادی در سال های آینده در صنعت ۴,۰، فرآیندهای تولید فیزیکی و فناوری اطلاعات و ارتباطات با هم رشد می کنند. سیستم‌های تعبیه‌شده، حسگرها، محرک‌ها، دستگاه‌های تلفن همراه و امکانات تولیدی می‌توانند از طریق اینترنت با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. از طریق این توسعه فرآیندهای تولید شفاف می شوند و به راحتی قابل نفوذ هستند. علاوه بر عوامل موفقیت قابل اندازه گیری اقتصادی از طریق اجرای برنامه های صنعت ۴,۰ ، برای شرکت ها مهم است که اثرات زیست محیطی و اجتماعی مانند آینده کار و بهره وری منابع را نیز در نظر بگیرند تا از رقابت بادوام اطمینان حاصل کنند(Gabriel, M. & Pessl, E.,2016) . حصول اطمینان از اینکه کسب و کارها در سراسر جهان قادر به اتخاذ تصمیمات صحیح، ریشه کن کردن ضایعات و استفاده مؤثر از منابع هستند، بسیار مهم است صنعت ۴,۰ و فناوری‌های آن مانند اینترنت اشیا می‌توانند نقش کلیدی در ارائه چنین اطلاعات ارزشمندی در مورد مواردی مانند مصرف انرژی، دارایی‌های کم استفاده و جریان‌های مواد داشته باشند(بنیاد آلن مک آرتور ۲۰۱۶).. زمانی که فناوری ها به درستی مورد استفاده قرار گرفتند، صنعت ۴,۰ قرار است منجر به تولید بسیار سازگار و در نتیجه منابع کارآمد و ارگونومیک شود.

۲: ادبیات تحقیق

صنعت تولید در حال تجربه یک انقلاب از مدل اقتصادی خطی به یک مدل چرخشی است (Frank, A.G.; Dalenogare, L.S,2019) خود بهینه سازی و خود پیکربندی نقش مهمی در پویاتر و کارآمدتر کردن سیستم دارد (Sajjad, A.; Eweje, G,2015). به عقیده پینیرو و همکاران ۲۰۱۹ ، ویژگی های حیاتی شناسایی شده برای I4.0 شامل مقیاس پذیری، رابط، امنیت، کیفیت خدمات(QoS) ، قابلیت اطمینان، مدولار بودن، قابلیت های شبکه، یکپارچه سازی و قابلیت همکاری است. انتقال از اقتصاد خطی به اقتصادچرخشی منجر به تغییر قابل توجهی در بخش بازار/مشتری می شود. بنابراین، برای دستیابی به حداکثر ارزش مشتری، شرکت‌ها با یکپارچه‌سازی شبکه‌های ارزش کامل و شفافیت سیستم‌ها، سرمایه‌گذاری زیادی روی فناوری‌های I4.0 می‌کنند(Gangi, F.; Daniele, L.M,2020).

جدول شماره ۳: مرور ادبیات تحقیق

محققان	عنوان مقاله	نتایج
Van Fan et al. (2019)	رویکردهای انضباطی به سمت اقتصادچرخشی هوشمند، تاب آور و پایدار	ایجاد اجماع بین ذینفعان، شناسایی موانع مشترک مشارکت ذینفعان
Rajput and Singh (2019b)	چالش های پیاده سازی صنعت ۴,۰ در یک اقتصادچرخشی	این مطالعه استانداردها و مشخصات سیستم‌های فیزیکی-سایبری را شناسایی می‌کند، فناوری حسگر تأثیرگذارترین موانع صنعت ۴,۰ برای دستیابی به اقتصاد دایره‌ای است.
Lopes de Sousa	"صنعت ۴,۰ و اقتصادچرخشی: دستور کار تحقیقاتی پیشنهادی	محققان آینده باید اتصال سیستم‌های فیزیکی-سایبری به اینترنت اشیا را برای حمایت از تولید مجدد هوشمند بررسی

www.SID.ir

Jabbour et al. (2019)	و نقشه راه اصلی برای عملیات پایدار"	کنند.
Zheng et al. (2019)	"بررسی محصول-خدمات هوشمند: جنبه های کلیدی، چالش ها و چشم اندازهای آینده"	جنبه های کلیدی در دستیابی به اقتصادچرخشی: پیکربندی مجدد هوشمند، تعمیر و نگهداری پیش بینی، محصولات تعبیه شده با حسگرها یا پیش بینی پایان عمر، چشم انداز ارزش مشترک،
Nascimento et al. (2019)	"کاوش در فناوری های صنعت ۴,۰ برای فعال کردن شیوه های اقتصادچرخشی در زمینه تولید"	محققان آینده باید بررسی کنند که چگونه فناوری‌های رو به رشد صنعت ۴,۰ می‌توانند با شیوه‌های اقتصاد دایره‌ای ادغام شوند.
Daú et al. (2019)	"زنجیره تامین پایدار مراقبت های بهداشتی ۴,۰: چارچوب مفهومی گذار اقتصادچرخشی با آینه مسئولیت اجتماعی شرکت"	انقلاب صنعتی چهارم ، روند چرخشی را به ارمغان می‌آورد و به اهداف توسعه پایدار کمک می‌کند.
Lin (2018)	"طراحی محصول مبتنی بر تجربه کاربر برای تولید هوشمند برای توانمندسازی صنعت ۴,۰ در اقتصادچرخشی بازیافت شیشه"	راهکارهای صنعت ۴,۰ برای تولید هوشمند از بازیافت شیشه
Bachér, Pihkola, Kujanpää, and Mroueh (2018)	"پیشبرد اقتصادچرخشی از طریق تصمیم گیری گروهی و مشارکت ذینفعان"	اطلاعات شفاف و در زمان واقعی در مورد تجزیه و تحلیل جریان مواد در زنجیره ارزش برای پیشبرد اقتصادچرخشی ضروری است. توسعه اطلاعات شفاف مستلزم کاربرد برنامه ریزی شده تری از راه حل های فناوری جدید است
Zhong et al. (2017)	بررسی تولید هوشمند در زمینه صنعت ۴,۰	این مطالعه نشان می‌دهد که تولید هوشمند از نظر اقتصادی نقش مهمی در سفارشی‌سازی انبوه، کیفیت بهتر و بهبود بهره‌وری دارد.

با توجه به مرور ادبیات پیشینه پژوهش جدول شماره ۴ عوامل شناسایی شده از به کارگیری صنعت ۴,۰ بر اقتصادچرخشی را معرفی می کند.

جدول شماره ۴: متغییر های استخراج شده از ادبیات تحقیق

عامل	تعریف
حداکثر سازی سود	این محرک، منفعت مالی کلی مرتبط با استفاده از فناوری های صنعت ۴,۰ در مدیریت پسماندها و بازیافت محصولات برای بهبود پایداری عملیات زنجیره تامین است.

www.SID.ir

صرفه جویی در هزینه	فناوری های صنعت ۴,۰ می توانند در هزینه های سازمان ها در مدیریت پسماند صرفه جویی کنند. به عنوان مثال، حسگرهای اینترنت اشیاء را می توان برای ارائه اطلاعات مکانی در مورد پر بودن سطل های زباله، اطلاع رسانی استفاده کارآمد از وسایل نقلیه جمع آوری زباله استفاده کرد (Gutierrez et al., 2015).
بازیابی ارزش از پسماندها	فناوری‌های صنعت ۴,۰ باعث افزایش ارزش در بازیابی پسماندها و محصولات بازیافتی خواهد شد به طور مثال سطل های زباله هوشمند مجهز به حسگر ها که قادر به تشخیص و تفکیک انواع زباله ها هستند می توانند پسماندهای بیشتری را به چرخه اقتصاد برگردانند.
بهبود رفع موانع در مدیریت پسماند	برخی از چالش‌ها در عملیات زنجیره تامین مدیریت زباله غیرقابل حل هستند تا زمانی که فناوری جدید صنعت ۴,۰ بکار گرفته شود. به عنوان مثال، جداسازی از منبع بهترین روش در مدیریت پایدار زباله های خانگی است. با این حال، به دلیل انواع موانع زیرساختی، فرهنگی و رفتاری، در بسیاری از کشورهای در حال توسعه گسترده نشده است. در چین، یک پروژه آزمایشی از بارکدهای دوبعدی برای شناسایی و ردیابی هر کیسه زباله استفاده شده و ساکنان را مسئول عدم تفکیک زباله ها دانست(Xu, R., 2017) .
بهبود سرعت عملیات در مدیریت پسماند	بسیاری از فعالیت‌های مدیریت پسماند کار فشرده و زمان‌بر هستند. برخی از فناوری‌های صنعت ۴,۰ می‌توانند از طریق اتوماسیون سرعت عملیات را افزایش دهند. برای مثال، شرکت اپل از ربات‌ها برای جدا کردن آیفون‌های آخر عمر برای بازیابی مواد فنی استفاده می‌کند. این بسیار سریعتر و مقرون به صرفه تر از عملیات دستی است.
تقاضای بازار	مشتریان و مصرف کنندگان سهامداران مهم هر سازمانی هستند. همانطور که در دهه گذشته مردم نسبت به محیط زیست آگاه تر شده اند، تقاضای فزاینده ای برای محصولاتی که ارگانیک بوده و پسماند آنها به چرخه تولید مجدد باز می گردد و حافظ محیط زیست هستند به وجود آمده است (Mangan & Lalwani, 2016).
استفاده بهینه از مواد و فرآیندها	با فعال‌سازی IoT وCPS ، امکان مشاهده فرآیندها در زمان واقعی وجود دارد. ارتباط متقابل ماشین‌ها، محصولات و انسان‌ها و اطلاعات همه جانبه در مورد همه چیز، واکنش بسیار سریع، کارآمد و کاملاً خودکار به هر شرایطی را در طول تولید ممکن می‌سازد. بنابراین می تواند دقیقاً میزان منابع مورد نیاز برای هر مرحله تولید را ارزیابی کند. فرآیندهای با مصرف بیش از حد منابع را می توان شناسایی و بهینه کرد یا حذف کرد. از طریق ترکیب «مواد هوشمند»، مجهز به فناوری حسگر و محرک، این منابع را می توان نه تنها در طول فرآیند تولید، بلکه در کل چرخه عمر محصولی که در آن گنجانده شده است، مشاهده کرد. و مکان یابی مواد با ارزش (مانند فلزات کمیاب مورد استفاده در قطعات الکترونیکی) با استفاده از فناوری RFID باعث کاهش ضایعات و افزایش استفاده مجدد از این منابع کمیاب خواهد شد.(Song, Z. , Moon, Y., 2016).

www.SID.ir

استفاده بهینه از دارایی ها	در اکثر کارخانه ها تجهیزات تولیدی یک کالای سرمایه ای با فاز استفاده طولانی تا ۲۰ سال یا بیشتر است. از طریق استفاده از فناوری‌های صنعت ۴,۰می‌توان دانش مربوط به مکان، وضعیت و در دسترس بودن دارایی‌ها را جمع‌آوری کرد. علاوه بر آن، تسهیل کننده مهمی برای به اشتراک گذاری مدل هایی است که به استفاده پایدار از منابع کمک می کند. به طور مثال تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده و جایگزینی اجزای معیوب می‌تواند زمان‌های خرابی را به حداقل برساند (Stock, T. , Seliger, G., 2016).
بهره وری نیروی کار	در صنعت ۴,۰، انسان ها همچنان سازمان دهندگان خلق ارزش خواهند بود با این وجود، نیاز به مهارت ها تغییر خواهد کرد و شایستگی های مختلف مهم خواهند بود. مشاغل معمولی وجود ندارند و از طریق دیجیتالی شدن سریع، عملکردهای جدید پیچیده تر شده و حوزه های شغلی جدیدی پدید می آیند(McKinsey Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft ,2016) برای مقابله با چالش اجتماعی صنعت ۴,۰ به روشی پایدار، کارایی آموزش کارگران را می توان با ترکیب فناوری های جدید اطلاعات و ارتباطات (ICT) بهبود بخشید.
مدیریت موجودی ها	مدیریت موجودی ها از طریق داده های زمان واقعی در مورد سطوح موجودی، می توان زمان انتظار، هزینه های موجودی و فضای ذخیره سازی را کاهش داد(Song, Z. , Moon, Y., 2016). موجودی بیش از حد نه تنها منجر به هزینه های سرمایه ای زیاد، بلکه به منابع استفاده نشده و مازاد می شود. به‌علاوه، فناوری‌های صنعت ۴,۰می‌توانند برنامه‌ریزی تقاضای غیرقابل اعتماد و تولید بیش از حد را به حداقل برسانند. یک سیستم هوشمند، که به‌طور خودکار در صورت رسیدن به حداقل سطح پر شدن، دوباره سفارش می‌دهد، از مواد اضافی جلوگیری می‌کند و منجر به بهینه‌سازی بلادرنگ زنجیره تأمین می‌شود(McKinsey 2015) . چنین کاهشی در سطوح موجودی منجر به کاهش نیازهای انرژی برای ذخیره سازی مناسب موجودی و همچنین ضایعات کمتر ایجاد شده توسط مواد قدیمی یا قدیمی به دلیل پیشرفت فنی می شود. در نتیجه، استفاده بهینه از اجزای تولید را می توان با استفاده از برنامه های صنعت ۴,۰به دست آورد که منجر به مزایای پایدار نهایی می شود.
بهبود کیفیت	بهبود کیفیت محصولات و فرآیندها با استفاده از حل مسئله بلادرنگ، کنترل فرآیند پیشرفته یا زمان واقعی اصلاحات خطا افزایش می یابد. کیفیت محصول منجر به دوباره کاری کمتر می شود و ضایعات کمتری در طول فرآیند تولید. این همچنین باعث کاهش ضایعات می شود.
کاهش زمان عرضه به بازار	فناوری های صنعت ۴,۰ فرایندهای تحقیق و توسعه را ارزان تر و سریع تر می کند این امر از طریق روش هایی مانند مهندسی همزمان یا نمونه سازی سریع، که به آن تولید افزودنی نیز می گویند، با استفاده از چاپ سه بعدی امکان پذیر خواهد بود. تولید افزودنی پتانسیل ایجاد قطعات هندسی پیچیده ای را دارد که به درجه بالایی از سفارشی سازی، مواد بدون استفاده و تولید زباله کمتر نیاز دارند.
فشارهای مقرراتی	فشار مقرراتی یکی از محرک های کلیدی سبز کردن عملیات زنجیره تامین است (Mangan, J.;Lalwani, C,2016)شرکت ها به طور فزاینده ای تحت تأثیر هنجارهای نظارتی قرار می گیرند تا فناوری های صنعتی ۴,۰ را برای کاهش ضایعات مضر و برآورده کردن الزامات زیست محیطی اتخاذ

www.SID.ir

کنند.

با استفاده از فناوری های صنعت ۴,۰ می توان از داده های ماهواره ای استفاده و تغییرات اب و هوایی را پیش بینی کرد یا به عنوان مثال با استفاده از اینترنت اشیا داده های ترافیکی بررسی و با کاهش ترافیک به کاهش دی اکسید کربن و انتشار آن کمک کرد	بهینه سازی مسیرهای حمل و نقل
صنعت ۴,۰ داده های واقعی (حذف داده های پرت) در زمان مناسب ، برای تصمیم گیری ارائه می دهد از اینرو تصمیم گیران دید واضح تری و کاملتری نسبت به سرتاسر زنجیره ارزش خواهد داشت این داده ها می تواند محل دقیق کامیون ها ، داده های اب و هوایی ، پیش بینی مسیر بهینه و... باشد	دقت داده ها
فناوری هایی مانند رایانش ابری ، اینترنت اشیا و ... ما را در امر به اشتراک گذاری هر چه بهتر منابع و برنامه ریزی و کنترل عملکرد ها یاری می رساند.	بهبود سیستم اشتراک گذاری

۴: روش تحقیق

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر نحوه گردآوری داده ها از نوع توصیفی می باشد. در این راستا برای شناسایی متغیر ها و روابط موجود بر اساس مبانی نظری و نظریات خبرگان و بکارگیری تکنیک دلفی فازی، متغیرهای تحقیق شناسایی شده است. و در ادامه اثر متغییر ها با تکنیک دیمتل فازی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور شناسایی عوامل و ارزیابی اثرات هر یک از عوامل بر یکدیگر، از نظر ۵ نفر از خبرگان استفاده شده است که خبرگان در این پژوهش سه نفر از فعالان صنعت و دو نفر از اساتید دانشگاهی که آشنایی کافی در مورد مسائل اقتصادی و صنعت ۴,۰ را دارا می باشند.

جدول شماره ۵ : مشخصات خبرگان

محل اشتغال	تحصیلات	سابقه کار	سمت
صنعت پتروشیمی	دکتری مدیریت	۱۰ سال	مدیر بازرگانی
صنایع غذایی	کارشناسی ارشد مهندسی صنایع	۱۵ سال	مدیر لجستیک و پشتیبانی
صنایع دارویی	دکتری شیمی کاربردی	۱۲ سال	مدیر تحقیق و توسعه R&D
دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران	دکتری اقتصاد	۱۵ سال	استاد دانشگاه
دانشکد مدیریت دانشگاه تهران	دکتری مدیریت	۲۰ سال	استاد دانشگاه

۴-۱: روش دلفی فازی تک مرحله ای

تکنیک دلفی یک فرآیند قوی مبتنی بر ساختار ارتباطی گروهی است که در مواردی که دانشی ناکامل و نامطمئن در دسترس باشد با هدف دستیابی به اجماع گروهی در بین خبرگان استفاده میشود(Keeney et al., 2001) .در روش دلفی کلاسیک، نظرات خبرگان در قالب اعداد قطعی بیان میشود، در حالی که افراد خبره از شایستگی های ذهنی خود برای بیان نظر استفاده میکنند و این نشان دهنده احتمالی بودن عدم قطعیت حاکم بر این شرایط است. احتمالی بودن عدم قطعیت، با مجموعه های فازی

www.SID.ir

سازگاری دارد. بنابراین، بهتر است داده ها در قالب زبان طبیعی از خبرگان اخذ و با استفاده از مجموعه های فازی مورد تحلیل قرار گیرند.بدین منظور، پیشنهاد ادغام روش دلفی سنتی با تئوری فازی تحت عنوان روش دلفی فازی ارائه شد .در این روش از توابع عضویت برای نشان دادن نظر خبرگان استفاده میشود(Kardaras et al,2013) .

مراحل روش دلفی فازی تک مرحله ای به شرح ذیل می باشد:

- ✓ شناسایی شاخص های پژوهش با استفاده از مرور جامع مبانی نظری پژوهش
- ✓ جمع آوری نظرهای متخصصان تصمیم گیرنده: در این گام بعد از شناسایی معیارهای گروه تصمیم گیری متشکل از خبرگان مرتبط با موضوع پژوهش تشکیل شده و پرسشنامه ها به منظور تعیین مرتبط بودن شاخص های شناسایی شده با موضوع اصلی پژوهش و غربالگری برای آن ها ارسال می شود که در آن متغیرهای زبانی جدول ۲ ، برای بیان اهمیت هر شاخص به کار میروند. در این پژوهش از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است.

جدول شماره ۶ : عبارت زبانی و اعداد دلفی فازی

عبارت زبانی	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم	(۰,۰,۰.۲۵)
کم	(۰,۰.۲۵,۰.۵)
متوسط	(۰.۲۵,۰.۵,۰.۷۵)
زیاد	(۰.۵,۰.۷۵,۱)
خیلی زیاد	(۰.۷۵,۱,۱)

- ✓ تایید و غربالگری شاخصها: این کار از طریق مقایسه مقدار ارزش اکتسابی هر شاخص با مقدار آستانه $S^{\sim}$ صورت می پذیرد . مقدار آستانه با استنباط ذهنی تصمیم گیرنده معین میشود و مستقیم بر روی تعداد عواملی که غربال میشوند تاثیرخواهد داشت هیچ راه ساده و قانونی برای تعیین مقدار آستانه وجود ندارد. در این پژوهش با توجه به تعداد عوامل و نظرات خبرگان مقدار ۰,۷ به عنوان مقدار آستانه در نظر گرفته شده است. برای این کار ابتدا باید مقادیر فازی مثلثی نظرهای خبرگان محاسبه شده سپس برای محاسبه میانگین نظرات n پاسخ دهنده، میانگین فازی آن ها محاسبه شود. محاسبه عدد فازی τ برای هر یک از شاخص ها با استفاده از روابط زیر صورت میگیرد.

رابطه ۱

$$\tau^{\sim} i\,j = (ai\,j, bi\,j, ci\,j),\ i = ۱,۲,\ldots,n \quad j = ۱,۲,\ldots,m$$

رابطه ۲

$$aj = \Sigma\, aij/n$$

رابطه ۳

$$bj = \Sigma\, bij/\mathrm{n}$$

رابطه ۴

$$cj = \Sigma\, cij/n$$

www.SID.ir

در روابط بالا اندیس i به فرد خبره و اندیس j به شاخص تصمیم گیری اشاره دارد. همچنین مقدار دیفازی شده میانگین عدد فازی از رابطه زیر بدست می آید.

رابطه ۵

$$Crisp= a+b+c/3$$

جدول شماره ۷: نتایج دلفی فازی

کد عامل	نتایج	فازی زدایی	میانگین نظرات خبرگان			معیارها
C1	پذیرش	۰,۷۷	۰,۹۵	۰,۸	۰,۵۵	حداکثر سازی سود
C2	پذیرش	۰,۷۲	۰,۹	۰,۷۵	۰,۵	تقاضای بازار
C3	پذیرش	۰,۸۲	۱	۰,۸۵	۰,۶	بهبود کیفیت
C4	پذیرش	۰,۷۲	۰,۹	۰,۷۵	۰,۵	بهبود سیستم اشتراک گذاری
C5	پذیرش	۰,۷۳	۰,۹۵	۰,۷۵	۰,۵	بهینه سازی مسیر حمل و نقل
C6	پذیرش	۰,۷۲	۰,۹	۰,۷۵	۰,۵	صرفه جویی در هزینه
C7	پذیرش	۰,۷۳	۰,۹۵	۰,۷۵	۰,۵	بهبود رفع موانع در مدیریت پسماند
___	رد	۰,۴۲	۰,۶۵	۰,۴	۰,۲	استفاده بهینه از دارایی ها
___	رد	۰,۶۸	۰,۹	۰,۷	۰,۴۵	بهره وری نیروی کار
C8	پذیرش	۰,۷۳	۰,۹۵	۰,۷۵	۰,۵	بهبود سرعت عملیات در مدیریت پسماند
C9	پذیرش	۰,۷۲	۰,۹	۰,۷۵	۰,۵	مدیریت موجودی
C10	پذیرش	۰,۷۳	۰,۹۵	۰,۷۵	۰,۵	بازیابی ارزش از پسماندها
___	رد	۰,۴۲	۰,۶۵	۰,۴	۰,۲	فشارهای مقرراتی
C11	پذیرش	۰,۷۵	۱	۰,۷۵	۰,۵	استفاده بهینه از مواد و فرآیندها
C12	پذیرش	۰,۸۸	۱	۰,۹۵	۰,۷	کاهش زمان عرضه به بازار
C13	پذیرش	۰,۷۳	۰,۹۵	۰,۷۵	۰,۵	دقت داده ها

۲-۴: گام های روش دیمتل

دیمتل یک روش جامع برای ساخت و تجزیه وتحلیل یک مدل ساختاری از روابط سببی میان عوامل پیچیده و متعدد است (Lin, K., & Lin, C. 2008). این تکنیک علاوه بر تبیین روابط علت معلولی به یک مدل ساختاری – بصری قادراست وابستگی های درونی بین عوامل را نیز شناسایی و آن ها را قابل فهم کند (Wu, W. -W. 2008) . به طور کلی برآورد نظر خبرگان با مقادیر

www.SID.ir

عددی دقیق ، مخصوصا در شرایط عدم قطعیت، بسیار دشوار است به این دلیل تکنیک دیمتل فازی از متغییر های کلامی فازی استفاده تا شرایط عدم اطمینان محیطی را تسهیل کند (Patil, S. K, and R. Kant. 2014).

جدول شماره ۸: طیف فازی

کد	عبارت کلامی	L	M	U
1	بدون تاثیر	0	0.1	0.3
2	تاثیر خیلی پایین	0.2	0.3	0.5
3	تاثیر پایین	0.3	0.5	0.7
4	تاثیر بالا	0.5	0.7	0.9
5	تاثیر خیلی بالا	0.7	0.9	1

گام ۱: تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم فازی

برای شناسائی الگوی روابط میان n معیار ابتدا یک ماتریس n×n تشکیل می‌شود. تاثیر عنصر مندرج در هر سطر بر عناصر مندرج در ستون در این ماتریس به صورت یک عدد فازی درج می‌شود. اگر از دیدگاه بیش از یک نفر استفاده شود، هریک از خبرگان باید ماتریس موجود را تکمیل کنند. سپس از میانگین ساده نظرات استفاده شده و ماتریس ارتباط مستقیم z را تشکیل داده می شود.

$$z = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & \tilde{z}_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{z}_{1n} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

جدول زیر ماتریس ارتباط مستقیم که همان مقایسات زوجی خبرگان هست را نشان می دهد. اگر در ارزیابی از چند خبره استفاده شده است ماتریس زیر میانگین حسابی تمام خبرگان می باشد.

www.SID.ir

جدول شماره ۹: ماتریس ارتباط مستقیم

	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
C۱	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۳۵,۰.۵,۰.۷)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۵,۰.۷,۰.۹)	(۰.۴۵,۰.۶,۰.۷۵)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)
C۲	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۵,۰.۷,۰.۸۵)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۳۵,۰.۵,۰.۷)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)	(۰.۳۵,۰.۵,۰.۷)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)
C۳	(۰.۳۰,۰.۵,۰.۷)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۳۵,۰.۵,۰.۷)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)	(۰.۴۵,۰.۶,۰.۷۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۴,۰.۶,۰.۸)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)
C۴	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۴۵,۰.۶,۰.۷۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۳۵,۰.۵,۰.۷)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)
C۵	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۵,۰.۷,۰.۸۵)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۳,۰.۵,۰.۷)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)
C۶	(۰.۳۰,۰.۵,۰.۷)	(۰.۵,۰.۷,۰.۸۵)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)
C۷	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۳۵,۰.۵,۰.۷)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۳۵,۰.۵,۰.۷)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)
C۸	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۳,۰.۵,۰.۷)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)
C۹	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)
C۱۰	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)	(۰.۴,۰.۶,۰.۸)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)
C۱۱	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۴,۰.۶,۰.۸)	(۰.۶,۰.۸,۰.۹۵)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۴,۰.۶,۰.۸)
C۱۲	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)
C۱۳	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۱۵,۰.۳,۰.۵)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۱,۰.۲,۰.۴)	(۰.۲۵,۰.۴,۰.۶)	(۰.۰,۰.۱,۰.۳)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)

گام ۲: نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم فازی

برای نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم فازی از رابطه زیر استفاده می شود.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l_{ij}}{r}, \frac{m_{ij}}{r}, \frac{u_{ij}}{r}\right) \quad (1)$$

که

$$r = \max_{i,j}\left\{\max_{i}\sum_{j=1}^{n} u_{ij}, \max_{j}\sum_{i=1}^{n} u_{ij}\right\} \qquad i,j \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (2)$$

www.SID.ir

جدول شماره ۱۰: ماتریس ارتباط مستقیم فازی

	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	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۴۹,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۷۰,۰.۰۹۸,۰.۱۲۶)	(۰.۰۶۳,۰.۰۸۴,۰.۱۰۵)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)
C_2	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۷۰,۰.۰۹۸,۰.۱۱۹)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۴۹,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)	(۰.۰۴۹,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)
C_3	(۰.۰۴۲,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۴۹,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)	(۰.۰۶۳,۰.۰۸۴,۰.۱۰۵)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۵۶,۰.۰۸۴,۰.۱۱۲)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)
C_4	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۶۳,۰.۰۸۴,۰.۱۰۵)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۴۹,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)
C_5	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۷۰,۰.۰۹۸,۰.۱۱۹)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۴۲,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)
C_6	(۰.۰۴۹,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۷۰,۰.۰۹۸,۰.۱۱۹)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)
C_7	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۴۹,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۴۹,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)
C_8	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۴۲,۰.۰۷۰,۰.۰۹۸)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)
C_9	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)
C_{10}	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)	(۰.۰۵۶,۰.۰۸۴,۰.۱۱۲)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)
C_{11}	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۵۶,۰.۰۸۴,۰.۱۱۲)	(۰.۰۸۴,۰.۱۱۲,۰.۱۳۳)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۵۶,۰.۰۸۴,۰.۱۱۲)
C_{12}	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۲۸,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)
C_{13}	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۲۱,۰.۰۴۲,۰.۰۷۰)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۱۴,۰.۰۲۸,۰.۰۵۶)	(۰.۰۳۵,۰.۰۵۶,۰.۰۸۴)	(۰.۰۰۰,۰.۰۱۴,۰.۰۴۲)	(۰.۰,۰.۰,۰.۰)

گام ۳: محاسبه ماتریس فازی ارتباط کامل

در این گام طبق رابطه زیر ماتریس فازی روابط کل تشکیل می شود.

$$\tilde{T} = \lim_{k \to +\infty} (\tilde{x}^1 \oplus \tilde{x}^2 \oplus \ldots \oplus \tilde{x}^k)$$

(3)

اگر هر درایه عدد فازی ماتریس روابط کل به صورت $\tilde{t}_{ij} = (l''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij})$ است به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$[l''_{ij}] = x_l \times (I - x_l)^{-1}$$

(4)

$$[m''_{ij}] = x_m \times (I - x_m)^{-1}$$

(5)

$$[u''_{ij}] = x_u \times (I - x_u)^{-1}$$

(6)

www.SID.ir

به عبارت دیگر ابتدا معکوس ماتریس نرمال را محاسبه نموده و سپس آن را از ماتریس I کم می کنیم و در انتها ماتریس نرمال را در ماتریس حاصل ضرب می کنیم. جدول زیر ماتریس ارتباط کامل فازی را نشان می دهد.

جدول شماره ۱۱: ماتریس ارتباط کامل فازی

	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	(۰.۰۱۹,۰.۰۶۹,۰.۶۳۱)	(۰.۰۵۲,۰.۱۲۱,۰.۷۰۵)	(۰.۰۳۷,۰.۱۰۴,۰.۶۷۱)	(۰.۰۳۸,۰.۱۰۵,۰.۶۶)	(۰.۰۴۰,۰.۰۹۶,۰.۶۲۷)	(۰.۰۶۲,۰.۱۲۳,۰.۶۵۳)	(۰.۰۵۲,۰.۱۲۱,۰.۷۱۱)	(۰.۰۴۴,۰.۱۰۴,۰.۶۷۵)	(۰.۰۸۶,۰.۱۶۶,۰.۷۸۴)	(۰.۰۷۶,۰.۱۳۸,۰.۶۶۷)	(۰.۰۳۶,۰.۰۸۶,۰.۵۸۵)	(۰.۰۴۱,۰.۱۱۴,۰.۷۱۹)	(۰.۰۱۴,۰.۰۷۲,۰.۶۱۵)
C_2	(۰.۰۵۱,۰.۱۲۰,۰.۷۰۲)	(۰.۰۱۹,۰.۰۶۸,۰.۶۲۳)	(۰.۰۵۰,۰.۱۱۶,۰.۶۷۸)	(۰.۰۸۴,۰.۱۵۵,۰.۷۰۴)	(۰.۰۴۱,۰.۰۹۷,۰.۶۲۴)	(۰.۰۴۷,۰.۱۰۸,۰.۶۳۵)	(۰.۰۶۶,۰.۱۳۵,۰.۷۱۹)	(۰.۰۲۹,۰.۰۹۰,۰.۶۵۷)	(۰.۰۵۴,۰.۱۲۸,۰.۷۴۴)	(۰.۰۴۹,۰.۱۱۲,۰.۶۴۴)	(۰.۰۱۱,۰.۰۶۲,۰.۵۵۸)	(۰.۰۶۸,۰.۱۳۹,۰.۷۳۹)	(۰.۰۱۴,۰.۰۷۱,۰.۶۱۰)
C_3	(۰.۰۵۷,۰.۱۳۳,۰.۷۲۵)	(۰.۰۳۷,۰.۱۰۸,۰.۶۹۸)	(۰.۰۱۵,۰.۰۶۳,۰.۶۱۰)	(۰.۰۶۲,۰.۱۲۸,۰.۶۹۴)	(۰.۰۱۵,۰.۰۷۲,۰.۶۱۰)	(۰.۰۱۴,۰.۰۷۲,۰.۶۰۹)	(۰.۰۷۹,۰.۱۴۹,۰.۷۳۶)	(۰.۰۵۰,۰.۱۱۸,۰.۶۹۳)	(۰.۰۷۳,۰.۱۵۴,۰.۷۷۹)	(۰.۰۳۵,۰.۱۰۱,۰.۶۴۲)	(۰.۰۴۴,۰.۱۰۲,۰.۶۰۴)	(۰.۰۵۳,۰.۱۲۶,۰.۷۳۶)	(۰.۰۴۸,۰.۱۱۳,۰.۶۵۸)
C_4	(۰.۰۵۰,۰.۱۲۰,۰.۷۱۲)	(۰.۰۵۲,۰.۱۲۲,۰.۷۱۱)	(۰.۰۴۳,۰.۱۰۴,۰.۶۷۶)	(۰.۰۱۶,۰.۰۶۳,۰.۶۰۵)	(۰.۰۴۹,۰.۱۱۱,۰.۶۴۶)	(۰.۰۲۸,۰.۰۸۴,۰.۶۲۱)	(۰.۰۷۹,۰.۱۴۸,۰.۷۳۶)	(۰.۰۵۰,۰.۱۱۷,۰.۶۹۳)	(۰.۰۵۴,۰.۱۳۰,۰.۷۵۵)	(۰.۰۳۶,۰.۱۰۰,۰.۶۴۱)	(۰.۰۳۲,۰.۰۹۰,۰.۵۹۳)	(۰.۰۶۷,۰.۱۳۹,۰.۷۴۸)	(۰.۰۴۸,۰.۱۱۲,۰.۶۵۸)
C_5	(۰.۰۳۷,۰.۱۰۶,۰.۶۸۶)	(۰.۰۴۹,۰.۱۱۷,۰.۶۹۴)	(۰.۰۴۹,۰.۱۱۵,۰.۶۷۴)	(۰.۰۴۳,۰.۱۰۲,۰.۶۵۷)	(۰.۰۱۳,۰.۰۵۵,۰.۵۵۴)	(۰.۰۲۷,۰.۰۸۳,۰.۶۰۸)	(۰.۰۵۲,۰.۱۲۱,۰.۷۰۳)	(۰.۰۴۳,۰.۱۰۳,۰.۶۶۷)	(۰.۰۸۶,۰.۱۶۴,۰.۷۶۹)	(۰.۰۲۸,۰.۰۸۴,۰.۶۱۵)	(۰.۰۵۰,۰.۱۱۳,۰.۶۰۴)	(۰.۰۵۲,۰.۱۲۳,۰.۷۲۰)	(۰.۰۳۴,۰.۰۹۸,۰.۶۳۳)
C_6	(۰.۰۶۴,۰.۱۲۹,۰.۶۸۹)	(۰.۰۸۴,۰.۱۵۵,۰.۷۰۵)	(۰.۰۴۲,۰.۰۹۹,۰.۶۴۱)	(۰.۰۵۱,۰.۱۱۴,۰.۶۵۰)	(۰.۰۳۳,۰.۰۹۲,۰.۶۰۰)	(۰.۰۱۳,۰.۰۵۳,۰.۵۳۶)	(۰.۰۴۶,۰.۱۰۶,۰.۶۷۰)	(۰.۰۴۸,۰.۱۱۱,۰.۶۵۷)	(۰.۰۴۰,۰.۱۱۱,۰.۷۰۵)	(۰.۰۴۲,۰.۰۹۶,۰.۶۰۹)	(۰.۰۲۳,۰.۰۷۱,۰.۵۴۸)	(۰.۰۳۳,۰.۰۹۵,۰.۶۷۵)	(۰.۰۲۵,۰.۰۷۹,۰.۵۹۷)
C_7	(۰.۰۳۴,۰.۰۹۸,۰.۶۴۴)	(۰.۰۶۱,۰.۱۲۳,۰.۶۶۷)	(۰.۰۲۸,۰.۰۸۳,۰.۶۱۱)	(۰.۰۲۸,۰.۰۸۳,۰.۶۰۶)	(۰.۰۴۶,۰.۱۰۲,۰.۵۹۶)	(۰.۰۲۶,۰.۰۷۷,۰.۵۷۲)	(۰.۰۱۵,۰.۰۵۹,۰.۵۸۴)	(۰.۰۲۷,۰.۰۸۲,۰.۶۱۴)	(۰.۰۵۰,۰.۱۱۸,۰.۶۹۶)	(۰.۰۴۶,۰.۱۰۴,۰.۶۰۳)	(۰.۰۲۲,۰.۰۶۹,۰.۵۳۴)	(۰.۰۶۳,۰.۱۲۸,۰.۶۹۱)	(۰.۰۴۴,۰.۱۰۲,۰.۶۰۵)
C_8	(۰.۰۳۸,۰.۰۸۹,۰.۵۸۶)	(۰.۰۵۱,۰.۱۱۵,۰.۶۰۹)	(۰.۰۳۱,۰.۰۸۶,۰.۶۶۷)	(۰.۰۲۵,۰.۰۷۴,۰.۵۵۱)	(۰.۰۲۳,۰.۰۶۸,۰.۵۱۹)	(۰.۰۲۳,۰.۰۶۸,۰.۵۱۹)	(۰.۰۲۶,۰.۰۷۸,۰.۵۷۹)	(۰.۰۱۰,۰.۰۴۶,۰.۵۰۵)	(۰.۰۲۷,۰.۰۸۲,۰.۶۰۹)	(۰.۰۲۳,۰.۰۷۰,۰.۵۲۵)	(۰.۰۲۰,۰.۰۶۲,۰.۴۸۵)	(۰.۰۴۶,۰.۱۰۵,۰.۶۱۷)	(۰.۰۲۸,۰.۰۸۱,۰.۵۴۰)
C_9	(۰.۰۴۷,۰.۱۰۸,۰.۶۳۴)	(۰.۰۲۸,۰.۰۸۳,۰.۶۰۸)	(۰.۰۴۶,۰.۱۰۵,۰.۶۱۳)	(۰.۰۳۹,۰.۰۹۱,۰.۵۹۶)	(۰.۰۳۱,۰.۰۸۵,۰.۵۶۳)	(۰.۰۴۴,۰.۰۹۸,۰.۵۷۵)	(۰.۰۲۸,۰.۰۸۳,۰.۶۱۴)	(۰.۰۲۶,۰.۰۷۹,۰.۵۹۲)	(۰.۰۱۶,۰.۰۶۲,۰.۵۹۵)	(۰.۰۴۵,۰.۱۰۱,۰.۵۸۲)	(۰.۰۰۹,۰.۰۵۴,۰.۵۰۳)	(۰.۰۴۸,۰.۱۱۱,۰.۶۵۴)	(۰.۰۳۷,۰.۰۸۶,۰.۵۷۲)
C_{10}	(۰.۰۴۶,۰.۱۰۹,۰.۶۴۷)	(۰.۰۲۸,۰.۰۸۵,۰.۶۲۲)	(۰.۰۴۶,۰.۱۰۷,۰.۶۲۶)	(۰.۰۳۳,۰.۰۹۳,۰.۶۰۸)	(۰.۰۲۴,۰.۰۷۵,۰.۵۶۳)	(۰.۰۳۱,۰.۰۸۷,۰.۵۷۵)	(۰.۰۴۰,۰.۰۹۷,۰.۶۳۹)	(۰.۰۴۵,۰.۱۰۶,۰.۶۳۰)	(۰.۰۳۶,۰.۱۰۳,۰.۶۷۳)	(۰.۰۱۱,۰.۰۴۹,۰.۵۱۶)	(۰.۰۰۹,۰.۰۵۶,۰.۵۱۴)	(۰.۰۶۸,۰.۱۳۹,۰.۶۹۳)	(۰.۰۳۰,۰.۰۸۸,۰.۵۸۵)
C_{11}	(۰.۰۴۹,۰.۱۱۵,۰.۶۸۳)	(۰.۰۱۸,۰.۰۸۲,۰.۶۴۹)	(۰.۰۳۳,۰.۰۹۸,۰.۶۴۷)	(۰.۰۴۶,۰.۱۰۹,۰.۶۵۳)	(۰.۰۲۷,۰.۰۸۱,۰.۵۹۶)	(۰.۰۴۵,۰.۱۰۴,۰.۶۱۸)	(۰.۰۷۰,۰.۱۴۳,۰.۷۱۳)	(۰.۰۹۵,۰.۱۶۵,۰.۷۰۸)	(۰.۰۳۱,۰.۰۹۷,۰.۶۹۹)	(۰.۰۱۳,۰.۰۶۹,۰.۵۸۹)	(۰.۰۱۰,۰.۰۴۷,۰.۵۰۴)	(۰.۰۳۰,۰.۰۹۳,۰.۶۸۰)	(۰.۰۶۷,۰.۱۳۴,۰.۶۵۶)
C_{12}	(۰.۰۲۶,۰.۰۸۰,۰.۵۹۴)	(۰.۰۳۹,۰.۰۹۳,۰.۶۰۴)	(۰.۰۴۵,۰.۱۰۲,۰.۵۹۷)	(۰.۰۳۹,۰.۰۹۰,۰.۵۸۱)	(۰.۰۴۳,۰.۰۹۶,۰.۶۶۰)	(۰.۰۴۳,۰.۰۹۵,۰.۵۵۹)	(۰.۰۱۵,۰.۰۶۹,۰.۵۸۷)	(۰.۰۳۳,۰.۰۹۱,۰.۵۹۰)	(۰.۰۲۸,۰.۰۸۶,۰.۶۳۰)	(۰.۰۲۳,۰.۰۷۱,۰.۵۴۱)	(۰.۰۲۸,۰.۰۷۹,۰.۵۱۵)	(۰.۰۱۳,۰.۰۵۴,۰.۵۵۹)	(۰.۰۳۰,۰.۰۸۵,۰.۵۵۹)
C_{13}	(۰.۰۲۴,۰.۰۷۶,۰.۵۷۵)	(۰.۰۳۰,۰.۰۸۸,۰.۵۸۴)	(۰.۰۳۰,۰.۰۸۶,۰.۵۶۷)	(۰.۰۱۰,۰.۰۶۰,۰.۵۳۸)	(۰.۰۴۱,۰.۰۹۳,۰.۵۴۳)	(۰.۰۲۲,۰.۰۶۷,۰.۵۱۹)	(۰.۰۳۲,۰.۰۹۱,۰.۵۹۲)	(۰.۰۳۱,۰.۰۸۷,۰.۵۷۱)	(۰.۰۴۶,۰.۱۰۸,۰.۶۳۴)	(۰.۰۲۲,۰.۰۶۹,۰.۵۲۴)	(۰.۰۴۰,۰.۰۸۹,۰.۵۱۰)	(۰.۰۱۱,۰.۰۶۶,۰.۵۸۰)	(۰.۰۰۹,۰.۰۴۳,۰.۴۷۷)

گام ۴: فازی زدایی مقادیر ماتریس ارتباط کامل

برای فازی زدایی از روش CFCS اپریکویک و زنگ استفاده شده است. مراحل روش فازی زدایی به صورت زیر است:

$$l_{ij}^{n} = \frac{\left(l_{ij}^{t} - \min l_{ij}^{t}\right)}{\Delta_{min}^{max}} \quad (7)$$

$$m_{ij}^{n} = \frac{(m_{ij}^{t} - min\ l_{ij}^{t})}{\Delta_{min}^{max}} \quad (8)$$

$$u_{ij}^{n} = \frac{(u_{ij}^{t} - min\ l_{ij}^{t})}{\Delta_{min}^{max}} \quad (9)$$

به طوری که:

$$\Delta_{min}^{max} = \max u_{ij}^{t} - \min l_{ij}^{t} \quad (10)$$

محاسبه کران بالا و پایین مقادیر نرمال:

www.SID.ir

$$l_{ij}^{s} = {m_{ij}^{n}}/{(1 + m_{ij}^{n} - l_{ij}^{n})} \quad (11)$$

$$u_{ij}^{s} = {u_{ij}^{n}}/{(1 + u_{ij}^{n} - l_{ij}^{n})} \quad (12)$$

خروجی الگوریتم cfcs یک ماتریس با مقادیر قطعی است.

محاسبه کل مقادیر قطعی نرمال شده:

$$x_{ij} = \frac{[l_{ij}^{s}(1-l_{ij}^{s})+u_{ij}^{s}\times u_{ij}^{s}]}{[1-l_{ij}^{s}+u_{ij}^{s}]} \quad (13)$$

جدول شماره ۱۲: مقادیر دیفازی شده ماتریس ارتباط کامل

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	0.166	0.218	0.199	0.2	0.186	0.212	0.221	0.201	0.268	0.227	0.171	0.216	0.164
C2	0.218	0.164	0.21	0.246	0.186	0.197	0.233	0.186	0.232	0.202	0.147	0.24	0.163
C3	0.232	0.206	0.157	0.223	0.163	0.163	0.247	0.214	0.258	0.192	0.186	0.228	0.204
C4	0.219	0.22	0.2	0.157	0.2	0.175	0.246	0.214	0.235	0.191	0.174	0.241	0.203
C5	0.204	0.214	0.209	0.197	0.141	0.172	0.22	0.199	0.265	0.175	0.195	0.223	0.188
C6	0.224	0.247	0.191	0.205	0.178	0.137	0.203	0.204	0.213	0.184	0.153	0.195	0.167
C7	0.191	0.216	0.174	0.173	0.187	0.162	0.15	0.173	0.218	0.189	0.149	0.224	0.188
C8	0.175	0.2	0.169	0.158	0.146	0.147	0.165	0.126	0.174	0.149	0.136	0.194	0.16
C9	0.199	0.174	0.192	0.179	0.168	0.18	0.175	0.168	0.155	0.184	0.132	0.204	0.17
C10	0.201	0.178	0.195	0.181	0.159	0.171	0.191	0.196	0.202	0.131	0.135	0.233	0.173
C11	0.212	0.178	0.19	0.201	0.169	0.191	0.239	0.255	0.201	0.158	0.126	0.193	0.221
C12	0.169	0.182	0.187	0.176	0.176	0.176	0.159	0.177	0.18	0.153	0.154	0.142	0.167
C13	0.163	0.174	0.169	0.143	0.171	0.146	0.178	0.172	0.2	0.148	0.162	0.155	0.118

گام ۵: محاسبات حد آستانه

تمام مقادیر ماتریس ارتباط کامل قطعی شده که کمتر از میانگین ماتریس ارتباط کامل باشند، با استفاده از رابطه زیر شناسایی و صفر می شوند، به عبارت دیگر آن رابطه علی در نظر گرفته نمی شود.

$$TS = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} V_{ij}}{m\times n} \quad (14)$$

$$U_{ij} = \begin{cases} V_{ij} & V_{ij} \geq TS \\ 0 & Others \end{cases}$$

جدول زیر ماتریس ارتباط کامل که مقادیر کمتر از آستانه حذف شده است را نشان می دهد. بر اساس جدول زیر روابط علی معلولی بین عناصر ترسیم می‌شود. مقدار آستانه (TS) در این تحقیق برابر 0.187 است

جدول شماره ۱۳: ماتریس ارتباط کامل قطعی با حذف مقادیر کمتر آستانه

www.SID.ir

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	0	0.218	0.2	0.2	0	0.21	0.221	0.201	0.268	0.23	0	0.216	0
C2	0.218	0	0.21	0.246	0	0.2	0.233	0	0.232	0.2	0	0.24	0
C3	0.232	0.206	0	0.223	0	0	0.247	0.214	0.258	0.19	0	0.228	0.2
C4	0.219	0.22	0.2	0	0.2	0	0.246	0.214	0.235	0.19	0	0.241	0.2
C5	0.204	0.214	0.21	0.197	0	0	0.22	0.199	0.265	0	0.195	0.223	0.19
C6	0.224	0.247	0.19	0.205	0	0	0.203	0.204	0.213	0	0	0.195	0
C7	0.191	0.216	0	0	0	0	0	0	0.218	0.19	0	0.224	0.19
C8	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.194	0
C9	0.199	0	0.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0.204	0
C10	0.201	0	0.2	0	0	0	0.191	0.196	0.202	0	0	0.233	0
C11	0.212	0	0.19	0.201	0	0.19	0.239	0.255	0.201	0	0	0.193	0.22
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C13	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0

گام ۶: خروجی نهایی و ایجاد نمودار علی

گام بعدی به‌دست آوردن مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس T است. مجموع سطرها (D) و ستون‌ها (R) با توجه به فرمول‌های زیر به‌دست می‌آوریم.

$$D = \sum_{j=1}^{n} T_{ij}$$

$$R = \sum_{i=1}^{n} \tilde{T}_{ij}$$

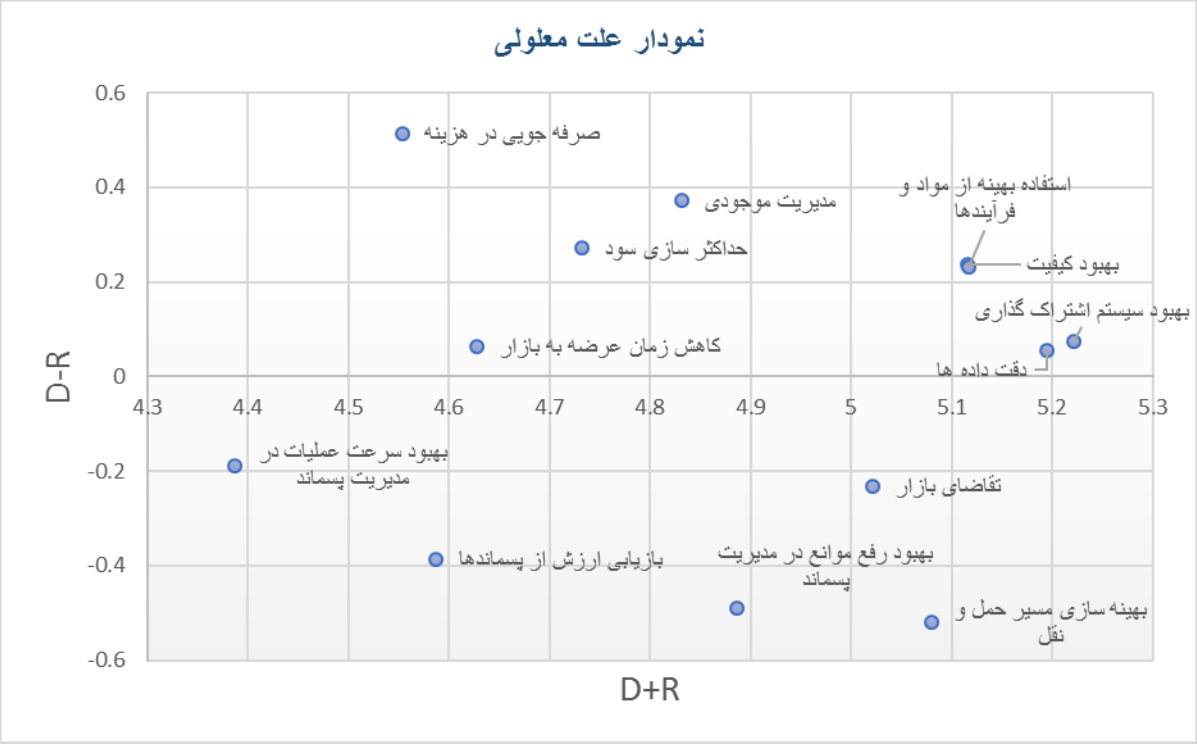
سپس با توجه به D و R ، مقادیر D+R و D-R را به دست می آوریم که به ترتیب نشان دهنده میزان تعامل و قدرت تاثیرگذاری عوامل هستند.

جدول شماره ۱۴: خروجی نهایی دیمتل فازی

عوامل	D	R	D+R	D-R
حداکثر سازی سود	2.502	2.23	4.732	0.271
تقاضای بازار	2.395	2.627	5.022	-0.232
بهبود کیفیت	2.677	2.439	5.116	0.238
بهبود سیستم اشتراک گذاری	2.648	2.574	5.222	0.075
بهینه سازی مسیر حمل و نقل	2.28	2.8	5.08	-0.52
صرفه جویی در هزینه	2.534	2.02	4.554	0.514
بهبود رفع موانع در مدیریت پسماند	2.198	2.689	4.886	-0.491
بهبود سرعت عملیات در مدیریت پسماند	2.099	2.288	4.387	-0.188

www.SID.ir

مدیریت موجودی	2.602	2.23	4.832	0.372
بازیابی ارزش از پسماندها	2.1	2.487	4.587	-0.387
استفاده بهینه از مواد و فرآیندها	2.674	2.443	5.117	0.231
کاهش زمان عرضه به بازار	2.346	2.282	4.628	0.064
دقت داده ها	2.624	2.571	5.195	0.054



شکل شماره ۴: نمودار موقعیت عوامل

۵: نتایج

در این پژوهش سعی شده است محرک های اصلی صنعت ۴,۰ بر اقتصادچرخشی مورد بررسی قرار گیرد. بر همین اساس، تعداد ۱۶ متغییر اصلی به عنوان محرک های اصلی از ادبیات پژوهش استخراج گردید . به منظور بررسی متغییر های استخراج شده در این پژوهش از تکنیک دلفی فازی تک مرحله ای استفاده شد که سه عامل بهره وری نیروی کار ، فشار مقرراتی و استفاده بهینه از دارایی به دلیل آنکه مقدار قطعی نظرات خبرگان آنها، کمتر از ۰,۷ حد آستانه بدست آمده است از سایر عوامل اصلی پژوهش خارج گردید. ۱۳ عامل باقی مانده با رویکرد دیمتل فازی مورد بررسی قرار گرفتند که مطابق با نتایج نمودار شکل شماره ۴ ،می توان بدین گونه نتیجه گرفت که متغییرهای مدیریت موجودی(C9)،صرفه جویی در هزینه(C6)، حداکثر سازی سود (C1)، کاهش زمان عرضه به بازار(C12)، دقت داده ها (C13)، استفاده بهینه از منابع (C11)، بهبود سیستم اشتراک گذاری منابع(C4)و بهبود کیفیت (C3)با توجه به مقدارمثبت بدست آمده برای (D-R) جز محرک های تاثیرگذار یا علت، شناسایی و

www.SID.ir

دسته بندی گردیده اند. همچنین متغییرهای بهبود سرعت عملیات در مدیریت پسماند (C8)،تقاضای بازار (C2)،رفع موانع در مدیریت پسماند (C7) ، بازیابی ارزش پسماند(C10)، بهینه سازی مسیر های حمل و نقل (C5)، با توجه به مقدار منفی بدست آمده برای (D-R) جز محرک های تاثیرپذیر یا معیارهای وابسته، شناسایی و دسته بندی گردیده اند. همچنین جمع عناصر هر سطر (D) برای هر عامل نشانگر میزان تاثیرگذاری آن عامل بر سایر عامل‌های سیستم است که متغییر بهبود کیفیت و استفاده بهینه از منابع، دارای بیشترین تاثیرپذیری در بین سایر متغییر های می باشد و همچنین جمع عناصر ستون (R) برای هر عامل نشانگر میزان تاثیرپذیری آن عامل از سایر عامل‌های سیستم است که عامل بهینه سازی مسیرهای حمل و نقل، تاثیرپذیرترین عامل بیان شده است .در ضمن بردار افقی (D + R) میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم را نشان می دهد. به عبارت دیگر هرچه مقدار D + R عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد. دراین تحقیق عامل بهبود سیستم اشتراک گذاری در درجه اول و متغییر های C13،C11،C3،C5،C2،C7،C9،C1،C12،C10،C6،وC8 در درجات بعدی تاثیرگذاری جای دارند.

۶: بحث و نتیجه گیری

حرکت از اقتصاد خطی به سمت اقتصادچرخشی، نیازمند درک حضور در مرحله جدیدی از انقلاب صنعتی می باشد . انقلابی که تمامی جنبه های فعالیت سازمان ها و تعاملات را تحت تاثیر خود قرار داده است . در انقلاب صنعتی ۴،۰ با ظهور فناوری های جدید و پیوند تکنولوژی و فناوری اطلاعات رو به روهستیم در این موقعیت زمانی سازمان ها باید روی موج این انقلاب سوار شده و از مزایای آن بهرمند شوند در غیر اینصورت قطعا دچار زوال خواهند شد. در این پژوهش پس از بررسی ادبیات موضوعی انقلاب صنعتی و توانمندسازهای آن بر اقتصادچرخشی ، ۱۳ محرک اصلی و تاثیرگذار شناسایی شد که با روش دیمتل فازی روابط حاکم میان این محرک ها و شدت اثر آنها مورد بررسی قرار گرفت محرک هایی سیستم های اشتراک گذاری ، دقت داده ها و بهینه سازی منابع موجود و فرآیندها که جز عوامل کلیدی و تاثیرگذار در اقتصادچرخشی می باشند به لطف توانمند سازان صنعت ۴.۰ بیش از پیش کارآمد تر شده و می تواند سازمان و اقتصاد حاکم بر جوامع را بهبود بخشد. بنابریان دولت ها و مدیران سازمان هایی که دغدغه های زیست محیطی و اجتماعی علاوه بر سود بنگاه خود را دارند باید با پذیرش توانمندی های صنعت ۰.۴ و ایجاد زیر ساخت های ممکن فضای مناسب را برای انتقال این فناوری ها به بخش صنعت و حتی تمام بخش های جامعه را تسهیل نمایند به طور مثال دولت با گسترش زیر ساخت های فناوری و ارتباطاتی و اینترنت می تواند زمینه های لازم جهت بکارگیری اینترنت اشیا را توسط شرکت ها هموار سازد. مدل های تجاری نوآورانه و به روز رسانی ساختارها و فرآیند ها به کمک فناوری های صنعت ۰.۴ و الزام بکارگیری این فناوری ها در بخش تولید سبز ، مرجوعی ها ، بازیافت و ... کمک شایانی به هدر رفت منابع کرده است، همچنین دقت داده ها امروز به حدی زیاد است که زبان عصر حاضر را زبان تحلیل داده ها می نامند . سازمان ها امروز با انبوهی از داده های کمی و کیفی رو به رو هستند که تحلیل آنها به طور صحیح باعث افزایش توان سازمان در تصمیمات می شود بطور مثال تجزیه و تحلیل داده های هواشناسی ، تحلیل داده های ترافیکی ، تحلیل رفتار های اجتماعی مصرف کنندگان و ... که باعث کاهش آثار مخرب زیست محیطی و افزایش قدرت سازمان ها خواهد شد .

منابع:

Agrawal, V.; Atasu, A.; Ülkü, S. Leasing, Modularity, and the Circular Economy. Manag. Sci. 2021.
AkzoNobel, 2015. AkzoNobel Report 2015 - The Circular Economy. , p. 216. Available at: http://report.akzonobel.com/2015/ar/servicepages/ downloads/files/akzonobel_report15_entire.pdf.
Awan, U.; Kanwal, N.; Bhutta, M.K.S. 2020. A Literature Analysis of Definitions for a Circular Economy. In Logistics Operations and Management for Recycling and Reuse; Golinska-Dawson, P., Ed.; Springer, Heidelberg: Berlin/Heidelberg, Germany,

www.SID.ir

Batista, L., Bourlakis, M., Liu, Y., Smart, P., & Sohal, A. (2018). Supply chain operations for a circular economy. Production Planning & Control, 29(6), 419–424.
Bocken, N.M.P.; de Pauw, I.; Bakker, C.; van der Grinten, B. Product design and business model strategies for a circular economy. J. Ind. Prod. Eng. 2016, 33, 308–320.
Bressanelli, G.; Adrodegari, F.; Perona, M.; Saccani, N. Exploring How Usage-Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies. Sustainability 2018, 10, 639.
Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. Technological Forecasting and Social Change, 150, 119790.
Chowdhury, B., & Chowdhury, M. U. (2007). RFID-based real-time smart waste management system. In 2007 Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (pp. 175–180). Christchurch, New Zealand: IEEE.
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
Durach, C. F., Blesik, T., von Düring, M., & Bick, M. (2021). Blockchain applications in supply chain transactions. Journal of Business Logistics, 42(1), 7–24.
Farooque, M., Zhang, A., Thurer, M., Qu, T., Huisingh, D., 2019. Circular supply chain management: A definition and structured literature review. Journal of Cleaner Production, 228, 882-900.
Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. Production Planning & Control
Frank, A.G.; Dalenogare, L.S.; Ayala, N.F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. Int. J. Prod. Econ. 2019, 210, 15–26.
Gabriel, M. & Pessl, E., 2016. Industry 4.0 and Sustainability Impacts: Critical Discussion of Sustainability Aspects with a Special Focus on Future of Work and Ecological Consequences. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, pp.131–136.
Gangi, F.; Daniele, L.M.; Varrone, N. How do corporate environmental policy and corporate reputation affect risk-adjusted financial performance? Bus. Strat. Environ. 2020, 29, 1975–1991.
Garcia-Muina, F., Gonzalez-Sanchez, R., Ferrari, A. M., & Settembre-Blundo, D. (2018). The paradigms of industry 4.0 and circular economy as enabling drivers for the competitiveness of businesses and territories: The case of an Italian ceramic tiles manufacturing company. Social Sciences, 7(12).
Geissbauer, R., Vedsø, J. & Schrauf, S., 2016. Industry 4.0: Building the Digital Enterprise. , pp.6, 8–9, 12, 27.
Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., and Hultink, E. J. (2017), "The circular economy: A new sustainability paradigm?", Journal of Cleaner Production, Vol. 143, pp. 757–768.
Geng, Y.; Sarkis, J.; Ulgiati, S.; Zhang, P. Measuring China's circular economy. Science 2013, 339, 1526–1527.
Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. Journal of Cleaner Production, 114, 11–32.
Govindan, K., & Hasanagic, M. (2018). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. International Journal of Production Research, 56(1–2), 278–311.
Gutierreza, J. M. Jensenb, M., Heniusa, M. and Riazc, T. (2015). Smart waste collection system based on location intelligence. Procedia Computer Science, 61, 120-127.
Hu, J.; Xiao, Z.; Zhou, R.; Deng, W.; Wang, M.; Ma, S. Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model. J. Clean. Prod. 2011, 19, 221–228.
Huynh, T. L. D., Hille, E., & Nasir, M. A. (2020). Diversification in the age of the 4th industrial revolution: The role of artificial intelligence, green bonds and cryptocurrencies. Technological Forecasting and Social Change, 159, 120188.

www.SID.ir

Jabbour, C.J.C.; Fiorini, P.D.C.;Wong, C.W.; Jugend, D.; Jabbour, A.B.L.D.S.; Seles, B.M.R.P.; Pinheiro, M.A.P.; da Silva, H.M.R. First-mover firms in the transition towards the sharing economy in metallic natural resource-intensive industries: Implications for the circular economy and emerging industry 4.0 technologies. Resour. Policy 2020, 66, 101596.

Jabbour A. B. L. d. S, Jabbour C. J. C., Filho M. G., and Roubaud D. (2018), "industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations." Annals of Operations Research.

J. Nagy, J. Oláh, E. Erdei, D. Máté, and J. Popp, "The Role and Impact of industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain—The Case of Hungary," Sustainability, vol. 10, no. 10, pp. 1–25, 2018.

Jurgilevich, A.; Birge, T.; Kentala-Lehtonen, J.; Korhonen-Kurki, K.; Pietikäinen, J.; Saikku, L.; Schösler, H. Transition towards circular economy in the food system. Sustainability 2016, 8, 69.

Keeney, S., Hasson, F. & McKenna, H.P. (2001). A critical review of the Delphi technique as a research methodology for nursing. Internatinal Journal of Nursing Study, 38(2), 195-200.

Korhonen, J.; Nuur, C.; Feldmann, A.; Birkie, S.E. Circular economy as an essentially contested concept. J. Clean. Prod. 2018, 175, 544–552.

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (**2017**). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling, 127, 221–232.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. -., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. Business and Information Systems Engineering, 6(4), 239-242

Li, A.Q.; Found, P. Towards sustainability: PSS, digital technology and value co-creation. In Proceedings of the 9th CIRP IPSS Conference: Circular Perspectives on PSS, Copenhagen, Denmark, 19–21 June 2017; pp. 79–84.

Li, L. (2017). China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0". Technological Forecasting and Social Change.

Lin, K., & Lin, C. (2008).Cognition map of experiential marketing strategy for hot spring hotels in Taiwanusing the DEMATEL method. In Fourth International Conference on NaturalComputation. IEEE

Liu, Q.; Li, H.-M.; Zuo, X.-L.; Zhang, F.-F.; Wang, L. A survey and analysis on public awareness and performance for promoting circular economy in China: A case study from Tianjin. J. Clean. Prod. 2009, 17, 265–270.

Manesh, M. F., Pellegrini, M. M., Marzi, G., & Dabic, M. (2020). Knowledge management in the fourth industrial revolution: Mapping the literature and scoping future avenues. IEEE Transactions on Engineering Management, 68(1), 289-300

M. A. K. Bahrin, M. F. Othman, N. H. N. Azli, and M. F. Talib, "INDUSTRY 4.0: A REVIEW ON INDUSTRIAL AUTOMATION AND ROOTIC," Jurnal Teknologi, vol. 78, no. 6–13, Jun. 2016

McKinsey, 2015. Industry 4.0 - How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector. , pp.22–29, 35–37, 50.

McKinsey Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V., 2016.

Michael, L. and Amir, R. (2016), "Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry", Journal of Cleaner Production, Vol. 115, pp. 36-51

Monostori, L., 2014. Cyber-Physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. Procedia CIRP, 17, pp.9–13.

Nascimento, D.L.M., Alencastro,V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L.R. and Tortorella,G. (2018), "Exploring industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal", Journal of Manufacturing Technology Management.

Orenga-Roglá, S.; Chalmeta, R. 2018. Framework for implementing a big data ecosystem in organizations. Commun. ACM 2018, 62, 58–65.

www.SID.ir

Pinheiro, M.A.P.; Seles, B.M.R.P.; Fiorini, P.D.C.; Jugend, D.; Jabbour, A.B.L.D.S.; Da Silva, H.M.R.; Latan, H. The role of new product development in underpinning the circular economy. A systematic review and integrative framework. Manag. Decis. 2019, 57, 840–862.
Qiu, X., Luo, H., Xu, G., Zhong, R., Huang, G.Q., 2015. Physical assets and service sharing for IoTenabled Supply Hub in Industrial Park (SHIP). Int. J. Prod. Econ. 159, 4–15
Rajput, S.; Singh, S.P.2019, Connecting circular economy and industry 4.0. Int. J. Inf. Manag. 49, 98–113.
Razzaq, A., Sharif, A., Najmi, A., Tseng, M. L., & Lim, M. K. (2021). Dynamic and causality interrelationships from municipal solid waste recycling to economic growth, carbon emissions and energy efficiency using a novel bootstrapping autoregressive distributed lag. Resources, Conservation and Recycling, 166, 105372.
Rocca, R.; Rosa, P.; Sassanelli, C.; Fumagalli, L.; Terzi, S. Integrating Virtual Reality and Digital Twin in Circular Economy Practices: A Laboratory Application Case. Sustainability 2020, 12, 2286,
Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between circular economy and Industry 4.0: A systematic literature review. International Journal of Production Research, 58(6), 1662–1687.
Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group, 9(1), 54–89.
Sajjad, A.; Eweje, G.; Tappin, D. Sustainable Supply Chain Management: Motivators and Barriers. Bus. Strateg. Environ. 2015, 24, 643–655.
Shrivastava, M.; Tamvada, J.P. Which green matters for whom? Greening and firm performance across age and size distribution of firms. Small Bus. Econ. 2017, 52, 951–968.
Song, Z. & Moon, Y., 2016. Assessing Sustainability Benefits of Cybermanufacturing Systems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, pp.1–18.
Stock, T. & Seliger, G., 2016. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. Procedia CIRP, 40, pp.536–541.
Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. Journal of Cleaner Production, 42, 215–227.
Thrasher, J., 2014. A Primer On The Internet of Things & RFID. RFIDinsider. http://blog.atlasrfidstore.com/internet-of-things
Tseng, M. L., Tan, R. R., Chiu, A. S. F., Chien, C. F., & Kuo, T. C. (2018). Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis? Resources, Conservation and Recycling, 131, 146–147.
Vinodh, S., Antony, J., Agrawal, R., & Douglas, J. A. (2020). Integration of continuous improvement strategies with Industry 4.0: a systematic review and agenda for further research. The TQM Journal.
Wu, W. -W. 2008. Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach. Expert Systems with Applications 35 (3): 828-835.
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), 29412962
Xu, R., 2017. Technologies enable rubbish source separation in a residential community for beautiful homes and environment, Mandarin Pages. Mandarin Pages, Auckland.
Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S. K., Mangla, S. K., & Rai, D. P. (2020). A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry٤,٠ and circular economy: An automotive case. Journal of Cleaner Production, 254, 120112.
Yang, S., Raghavendra, M. R. A., Kaminski, J., & Pepin, H. (2018). Opportunities for industry ٤,٠ to support remanufacturing. Applied Sciences, 8(7).

www.SID.ir

Yong, R. (2007). The circular economy in China. Journal of Material Cycles and Waste Management, 9(2), 121–129.

www.SID.ir