فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال بیستم/ شماره ۷۱ / بهار ۱۴۰۴

شناسایی و رتبه‌بندی عوامل موثر بر زنجیره تامین و نقش بالانس خط تولید در آن با بکارگیری یک رویکرد ترکیبی تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه

امید آقامرادی بیستونی
گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد،، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
مهرداد نیکبخت (نویسنده مسؤل)
استادیار مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
E-mail: nikbakht2020@yahoo.com
محمد رضا فیلی زاده
دانشیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی ساخت و فناوری های صنعتی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
آرش شاهین
استادتمام گروه مدیریت کیفیت و مهندسی صنایع، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۲/۱۵

چکیده

مدیریت زنجیره تأمین در سه سطح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی عمل می‌کند. در حالی که رویکرد استراتژیک به طور کلی مربوط به بهینه‌سازی منابع شبکه مانند طراحی شبکه ها، مکان یابی و تعیین تعداد امکانات است، تصمیمات تاکتیکی مربوط به سطوح تولید در همه کارخانجات، سیاست مونتاژ، سطح موجودی و تصمیمات عملیاتی مربوط به چگونگی تصمیم‌گیری تاکتیکی در کوتاه مدت است. چگونگی تحقق بهینه سازی تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی در زنجیره تأمین بسیار حیاتی است. بنابراین، مساله شبکه زنجیره تامین به عنوان یک تصمیم استراتژیک در نظر گرفته می‌شود و مسئله تعادل خط مونتاژ به عنوان یک تصمیم تاکتیکی رسیدگی می‌شود. با توجه به اهمیت مساله ذکر شده، پژوهش فعلی این مهم را مورد توجه قرار داده و شناسایی و رتبه بندی عوامل موثر در زنجیره تامین و تعادل خط مونتاژ را هدف خود در نظر گرفته است. به این منظور رویکرد ترکیبی دیمتل–اولویت‌بندی ترتیبی را پیشنهاد می‌دهد. پژوهش فعلی بعد از تهیه فهرست کاملی از معیارهای تاثیرگذار بر زنجیره تامین، رویکرد دیمتل را برای ترسیم دیاگرام علت و معلولی میان معیارها و غربالگری آنها مورد توجه قرار می‌دهد. بعد از غربالگری و حذف معیارهای کم اهمیت بر مبنای نظر خبرگان، رویکرد اولویت‌بندی تریبی به منظور رتبه‌بندی معیارهای اثرگذار مستقل، به‌کار گرفته شد. معیارهای مدت زمان مونتاژ، میانگین فاصله میان تامین کنندگان تا کارخانه و هزینه انتقال مواد اولیه به کارخانه در جایگاه اول تا سوم به لحاظ با اهمیت ترین معیارها قرار گرفتند. در نهایت پژوهش فعلی بر اساس نتایج بدست آمده به ارائه پیشنهادات مدیریتی می پردازد.

کلمات کلیدی: زنجیره تامین، خط تولید، رویکرد دیمتل، رویکرد اولویت‌بندی ترتیبی.

۱-مقدمه

برنامه‌ریزی تولید فرآیند شناسایی و جمع‌آوری الزامات بازار است که مجموعه خصوصیات محصول را شفاف می‌کند. برنامه‌ریزی تولید پایه تصمیم‌گیری نسبت به قیمت توزیع و فروش محصولات است و از مرحله ایده در مورد محصول آغاز به کار میکند تا به هنگامی که تولید آن صورت گرفته و به بازار عرضه شود. در واقع مفهوم برنامه‌ریزی تولید، مدیریت محصول در طول عمر آن است که می‌تواند همراه با استراتژی‌های بازارایابی (مانند بهبود محصول و یا حتی خروج از بازار)، افزایش توزیع و تغییر قیمت‌ها باشد (Moreira et al., 2017). برنامه‌ریزی خط تولید فرایندی پیوسته است که در کارخانجات به منظور تولید محصول نهایی از محصولات خام یا از مواد اولیه انجام می‌شود. بخشهای عمده این عملیات شامل فرآوری، پالایش و مونتاژ هستند. خط مونتاژ یا فرایند مونتاژ مرحله‌ای از فرایند ساخت محصولات صنعتی در کارخانجات است(Kucukkoc & Zhang, 2015) که در واقع جریانی از مواد و اجزایی است که به صورت متوالی قرار گرفته‌اند؛ یک جز در این خط تولید حرکت میکند تا با دیگر قطعات یا به قطعه اصلی مونتاژ شود و محصول نهایی را ایجاد نماید(Petridis, 2015). یک خط مونتاژ یک توالی از ایستگاه‌های کاری است که با یک تسمه نقاله یا کمربند متحرک که در آن محصولات همگن تولید میشوند به یکدیگر مرتبط شده‌اند. خطوط مونتاژ یکی از سیستمهای تولید انبوه است که کاربردهای بسیاری دارد و بهینه‌سازی آن میتواند باعث بهره‌وری کل گردد. از دیگر سو، طراحی شبکه زنجیره تأمین[1] (SCND) فرایندی است که با تعیین زیرساخت‌های لجستیک در یک افق برنامه‌ریزی گسترده انجام می‌شود تا مؤثرترین راه حل استراتژیک از نظر هزینه و یا خدمات باشد(Farahani et al., 2017). تعداد، نوع، محل کارخانه، انبارها و تکالیف منابع بین آن و مشتریان ممکن است همه در نظر گرفته شود(Lia et al., 2017). مساله بالانس خط تولید از زمانی مورد توجه قرار گرفت که خط تولید انبوه به عنوان یک روش جدید تولید مورد استفاده قرار گرفت. ریشه بسیاری از مسائل موجود درخطوط تولید و مونتاژ از جمله کارائی و تولید پائین، وجود گلوگاه در سیستم، بیکاری اپراتورها، تخصیص نادرست کار و افزایش هزینه‌های تولید عمدتاً ناشی از بالانس نبودن این خطوط می‌باشد (Solís-Quinteros & Ávila-López, 2020).

لذا به منظور منتفی کردن این گونه مسائل، بهره‌گیری از تکنیک بالانس خطوط مونتاژ مفید واقع میگردد. گستره و محدوده استفاده از تکنیک بالانس، عبارت است از کلیه کارخانجات و شرکت‌هائی که دارای خطوط تولید و مونتاژ که به منظور افزایش حجم تولید، بهبود بهره وری، استفاده بهینه از منابع، کاهش هزینه‌های تولید و نیز کاهش زمان طراحی مجدد فرایندها می‌بایست از آن استفاده شود (Moreira et al., 2017). در مسائل طراحی زنجیره تأمین، معمولاً بهینه‌سازی بدون توجه به عملکرد و کارایی هر قسمت از زنجیره انجام می‌شود. از طرف دیگر، در مسائل بالانس خط مونتاژ، بهینه‌سازی با توجه به وضعیت مونتاژها است، در حالی که مسائلی مانند، تمرکز روی برخی از فاکتورها از جمله نحوه تهیه مواد اولیه و همچنین ارسال محصولات نهایی به مشتریان بسیار مهم است اما در کمتر تحقیقاتی به این مهم پرداخته شده است.

از آنجا که تصمیمات بهینه در هر مساله، تصمیمات دیگر را به دنبال خواهد داشت، لازم است همزمان این دو موضوع مورد بررسی قرار گیرد. در غیر این صورت، اعتبار نتایج کاهش می‌یابد. با توجه به این موارد و همچنین نیاز روزافزون به یکپارچگی فرآیند تولید، حمل ونقل و توزیع، در محیط رقباتی امروزی در چرخه تولید، بالانس خط تولید به جهت کاهش هزینه، افزایش راندامان، افزایش بهره‌وری نیروی انسانی و ... بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از طرفی با گسترش شرکت‌های تولیدی و متنوع‌تر شدن محصولات به مرور زمان شرکت‌های تولیدی از حالت منفرد خارج شده و به زنجیره‌ای از عرضه‌کنندگان و مصرف کنندگان تبدیل گشته که گاهاً در سرتاسر دنیا پراکنده شده‌اند و تحت عنوان زنجیره تأمین چند ملیتی شناخته می‌شوند. برنامه‌ریزی تولید در چنین وضعیتی دیگر منحصر به یک شرکت منفرد و یا حتی یک مجموعه واحد از قوانین و مقررات نیست و بایستی یک برنامه‌ریزی تولید خاص براساس بالانس خط تولید برای کل زنجیره و بالاخص توسط رهبر و شرکت اصلی این زنجیره بصورت متمرکز صورت پذیرد تا چنین برنامه‌ای با در نظر گرفتن شرایط تمام حلقه‌ها، برنامه‌ای واقع بینانه و قابل اجرا باشد. با توجه به

[1] Supply Chain Network Design (SCND)

اهمیت زنجیره تامین و نقش بالانس خط تولید در آن، در این تحقیق، یک چارچوب یکپارچه برای شبکه زنجیره تامین و بالانس خط مونتاژ به عنوان یک مساله تصمیم‌گیری استراتژیک و تاکتیکی پیشنهاد شده‌است. شبکه زنجیره تامین که در این پروژه مورد بررسی قرار می‌گیرد دارای موقعیت‌های معمول مانند مجموعه‌ای از نقاط تقاضای غیر قطعی برای خدمت، مجموعه‌ای از مولفه‌ها برای تولید تولید کنندگان و مجموعه‌ای از محصولات است که در بخش مونتاژکار، مونتاژ می‌شوند و به مناطق مشتری ارسال می‌شوند به حداقل رساندن هزینه‌های شبکه شامل هزینه‌های راه‌اندازی مجدد ایستگاه‌های کاری، هزینه کلی تاسیسات و هزینه حمل و نقل و زمان تحویل به عنوان تابع هدف مساله در نظر گرفته می‌شود. از اینرو پژوهش فعلی این مهم را هدف خود قرار داده است و در پی یافتن پاسخ برای سوالات زیر می‌باشد:

- عوامل موثر برای بالانس زنجیره تامین و بالانس خط تولید کدامند؟
- روابط علت و معلولی موجود میان این عوامل و میزان اثرگذاری آنها بر روی یکدیگر چگونه می‌باشد؟
- رتبه‌بندی عوامل موثر بر زنجیره تامین و بالانس خط تولید چگونه می‌باشد؟

پژوهش فعلی برای پاسخگویی به سوالات ذکر شده، رویکرد ترکیبی دیمتل- اولویت‌بندی ترتیبی[۲] را اتخاذ کرده است. رویکرد اولویت‌بندی ترتیبی جز رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره جدید می‌باشد، پتانسیل رتبه‌بندی همزمان شاخص‌ها، گزینه‌ها و خبرگان را دارد که وجه تمایز رویکرد پیشنهادی با سایر رویکردهای تصمیم‌گیری و ایده اصلی انتخاب رویکرد پیشنهادی برای پژوهش فعلی است.

الف) مرور ادبیات تحقیق

کوئینتروز و لوپز[۳](۲۰۲۰)، معیارهایی برای طراحی موثر زنجیره‌های تأمین در بخش خدمات در مکزیک ارائه شده است. در وهله اول، سناریویی در بخش خدمات در کشور ارائه شد. متعاقبا فرایندهای بهترین روشهایی را که می‌توانند برای اجرای آنها مرجع باشند شناسایی گردید. تجزیه و تحلیل عناصر مرتبط با طراحی شبکه توزیع، استقرار مدیریت و شاخص‌های خدمات به مشتری، همچنین ویژگی‌های زنجیره تأمین ناب و اهمیت فناوری را برای دستیابی به مزیت رقابتی در SC نشان می‌دهد (Solís-Quinteros & Ávila-López, 2020). سابوگال د لا پاوا[۴] و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی یک زنجیره تأمین محلی که بهینه سازی هزینه فعلی معادل[۵](EPC) را پس از کسر مالیات در نظر می‌گیرد را ارائه کردند. علاوه بر این، یک بررسی اکتشافی مبتنی بر بهینه‌سازی برای حل مدل ارائه شد. این مساله، تقاضاهای تعیین کننده چند مشتری، چندین محصول، چند دوره و افق برنامه ریزی بلند مدت را در نظر گرفت (Sabogal-De La Pava et al., 2020). راموس هرناندز[۶] و همکاران (۲۰۲۰)، طراحی ساختار لجستیک مبتنی بر زیست توده یا زنجیره تأمین برای تولید برق را پیشنهاد کردند. برای این منظور، از روش پویایی سیستم استفاده شد و کلیدهای اصلی تهیه، تولید و توزیع را در نظر گرفتند. به همین ترتیب، یک نمودار علی و معلولی ایجاد شد تا متغیرهایی را که کلید اصلی توسعه زنجیره تأمین است و نیز مواردی که ایجاد اختلال در زنجیره تأمین می‌کند، شناسایی شود (Ramos-Hernández et al., 2020). صمدی و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل برنامه‌ریزی پایدار چند منظوره استوار برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین انرژی زیستی تحت عدم قطعیت معرفتی داده‌های ورودی با توجه به اهداف متناقض اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی ارائه کردند. جدیدترین و مؤثرترین روشهای ارزیابی چرخه زندگی محیطی و اجتماعی بر اساس مدل پیشنهادی برای اندازه‌گیری تأثیرات زیست محیطی و اجتماعی مربوطه استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش ۲.۴۳٪ در عملکرد اقتصادی، سطح مطلوبی از حفاظت از محیط زیست و اجتماعی حاصل می‌شود (Samadi et al., 2018). میخائیل[۷] و همکاران (۲۰۱۹)، ایجاد یک ابزار تصمیم گیری که معماران زنجیره تأمین را قادر می سازد تا شبکه های SC انعطاف پذیر را طراحی کنند را ارائه دادند. دو عامل

[2] Ordinal Priority Approach (OPA)
[3] Solís-Quinteros & Ávila-López
[4] Sabogal-De La Pava
[5] Equivalent Present Cost
[6] Ramos-Hernández
[7] Mikhail et al.,

طراحی تاب آوری در نظر گرفته شده است: تراکم SC و حساسیت گره. یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی مختلط عدد صحیح به عنوان یک استراتژی فعال برای توسعه ساختارهای انعطاف پذیر پیشنهاد شد. عوامل طراحی فرموله شده و به عنوان محدودیت در نظر گرفته شد (Mikhail et al., 2019). ذکایی و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل بهینه سازی استوار برای طراحی زنجیره تأمین با عدم قطعیت در تقاضا، ظرفیت تأمین و داده‌های اصلی هزینه از جمله حمل و نقل و پارامترهای هزینه کمبود را ارائه کردند. ابتدا یک مدل پایه ارائه شد که هدف آن تعیین تصمیمات "مکان" و "تخصیص تاکتیکی" استراتژیک برای زنجیره تأمین قطعی چهار لایه است. سپس این مدل برای گنجاندن عدم اطمینان در پارامترهای ورودی اصلی با استفاده از یک روش بهینه‌سازی استوار گسترش یافت (Zokaee et al., 2017). سسمه و اوزبکار[8] (۲۰۱۹)، یک خط مونتاژ اجاق گاز که در حال برنامه‌ریزی برای بازسازی تولید برای افزایش بهره‌وری فرآیند مونتاژ است، بررسی کردند. برای مقابله با این مساله یک تابع هدف مبتنی بر هزینه استفاده شد. همچنین، هدف اصلی مساله به حداقل رساندن تعداد کل ایستگاه‌ها در حالی که محدودیت‌های محصول محور را برآورده می‌کند، می‌باشد. یک رویکرد فرا ابتکاری مبتنی بر تیبرید شبیه‌سازی شده برای مساله بالانس خط تولید اجاق گاز با تکالیف و محدودیت‌های عملیاتی با اهداف متعدد تطبیق داده شد. نتایج نشان می‌دهد که ضمن برآوردن محدودیت های بیشتر، می‌توانید راه حل‌های بهتری در سطح بالانس خط فعلی پیدا کنید (Seçme & Özbakır, 2019). مقاله لای[9] و همکاران (۲۰۱۹)، یک مساله بالانس خط مونتاژ ساده را در نظر گرفتند که در آن باید هر یک از عناصر عملیات مونتاژ سفارش داده شده، به یک عنصر از مجموعه ایستگاه‌های کاری مورد استفاده برای پردازش عملیات اختصاص یابد. هدف به حداقل رساندن تعداد ایستگاههای کاری مورد استفاده در بالانس خط و زمان چرخه بالانس خط است. این مقاله تجزیه و تحلیل پایداری بالانس خط بهینه را انجام می دهد. ابتدا شرط کافی و لازم را برای ثبات بالانس خط به دست می آورد. سپس، نشان داده می‌شود که شعاع پایداری بالانس خط بهینه می‌تواند بی نهایت بزرگ باشد (Lai et al., 2019). هزیر و داگایی[10] (۲۰۱۵) یک الگوریتم مبتنی بر راه‌حل بالانس خط مونتاژ U شکل با داده‌های فاصله‌ای ارائه دادند. آن‌ها در مقاله خود فرض کرده‌اند که زمان عملیات ثابت نیست و می‌تواند متغیر باشد. نویسندگان از بهینه‌سازی پایدار استفاده کرده‌اند که بدترین حالت را در نظر می‌گیرد. برای حل این مشکل مقاله یک الگوریتم راه‌حل تقریبی تکراری را پیشنهاد دادند (Hazır and Dolgui, 2015) . سان و وانگ[11](۲۰۱۹)، به یک مساله طراحی شبکه زنجیره تأمین با بالانس خط مونتاژ پرداختند، که یک زنجیره تأمین سه لایه از جمله تولیدکنندگان، مونتاژکاران و مشتریان را در نظر می‌گیرد. برای حل مساله به طور مؤثر، ریاضیات مبتنی بر تجزیه با تلفیق رویکردهای متاهیورستیک و مبتنی بر مدل ارائه شد. با حل مسائل سطح پایین می‌توان عملکرد هزینه مساله سطح بالا را ارزیابی کرد. برای بهینه‌سازی مساله سطح بالا، یک استعاره مبتنی بر تکامل افتراقی ارائه شد (Sun & Wang, 2019). همتا و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی چگونگی بهینه‌سازی همزمان تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی در طراحی شبکه زنجیره تأمین پرداختند. برای این منظور، یک مدل برنامه‌ریزی دو سطحی ایجاد شد که در آن مشکل طراحی شبکه زنجیره تأمین به عنوان یک تصمیم استراتژیک در مدل سطح بالایی در نظر گرفته می‌شود، در حالی که مدل سطح پایین شامل بالانس خط مونتاژ به عنوان یک تصمیم تاکتیکی است. بر اساس ساختار ویژه مدل، یک روش اکتشافی برای حل مدل توسعه یافته دو سطحی ارائه شد (Hamta et al., 2016). صیدی (۱۳۹۵) به حل مساله بالانس خط مونتاژ در حالت توالی عملیات چندگزینه‌ای با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری GRASP[12] (روش جستجوی تطابقی تصادفی حریصانه) و الگوریتم ژنتیک پرداخت. هدف از این مقاله یافتن جواب‌های خوب و نزدیک بهینه و زمان‌های محاسباتی کوچک است. نتایج حاکی از آن است که تعداد ایستگاه‌های کاری و زمان محاسباتی موردنیاز به‌منظور تخصیص عناصر کاری مونتاژ، در روش GRASP کمتر از

[8] Seçme & Özbakır
[9] Lai et al.,
[10] Hazır and Dolgui
[11] Sun & Wang
[12] Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP)

الگوریتم ژنتیک است(Saidi & Sadeghian, 2014). سمیع‌زاده (۱۳۹۵) مدلی یکپارچه برای بهینه‌سازی شبکه توزیع و برنامه‌ریزی تولید با در نظر گرفتن بالانس خط مونتاژ ارائه داد. در این تحقیق مساله برنامه‌ریزی تولید، بالانس خط مونتاژ و بهینه‌سازی زنجیره تأمین به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته‌شد. اهداف مقاله در چهار بخش دسته‌بندی‌شد: بخش اول، هزینه‌های تولید، نگهداری قطعات و تهیه و کمبود منابع تولیدی، بخش دوم مربوط به هزینه انتقال قطعات بین تولیدکنندگان و مونتاژگران، بخش سوم هزینه انتقال محصول نهایی بین مونتاژگران و تولیدکنندگان و در نهایت بخش آخر هزینه تأسیس ایستگاه‌های کاری را نشان می‌دهد. برخی از محدودیت‌های مدل عبارت‌اند از: محدودیت‌های مرتبط با موجودی، محدودیت‌های مرتبط با تقاضا، محدودیت‌های مرتبط با به‌کارگیری منابع، تعداد محصولات ارسال‌شده (Samizadeh, 2015). علی‌بخشی و همکاران (۱۴۰۲) به شناسایی ورتبه‌بندی عوامل موثر بر راهبردهای زنجیره تامین تاب آور در مراکز درمانی با تکنیک دیمتل خاکستری و ANP[13] پرداختند. تحقیق به صورت کیفی و کمی انجام شده که عوامل و زیر عوامل از طریق مصاحبه با خبرگان و روش داده بنیاد استخراج شدند. سپس با روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای مبتنی بر دیمتل خاکستری میزان اهمیت آن‌ها مشخص شد. یافته‌های بخش کیفی با روش داده بنیاد نشان داد مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر راهبردها: سیستم پشتیبانی زنجیره تامین، مدیریت تامین‌کنندگان کالا، می‌باشند و با تکنیک مارکوس خاکستری رتبه‌بندی شدند یافته‌های دیمتل نشان داد که عوامل مدیریت ریسک تأثیرگذارترین و شیوه‌های مدیریت زنجیره تامین تأثیرپذیر می‌باشند(Ali Bakshi et al., 2023).

ب) شکاف تحقیق

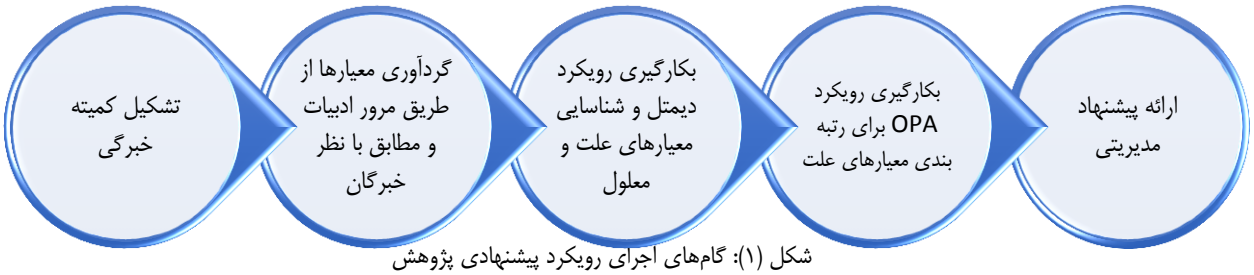
امروزه، طراحی شبکه زنجیره تأمین و سنجش عملکرد آن، موضوعات مهمی برای شرکتها در سراسر جهان است. آنها به دلیل تغییرات سریع در شرایط فعلی اقتصادی، باید توجه زیادی به ساختار و فرآیند شبکه زنجیره تأمین خود داشته باشند. در سالهای اخیر، محققان و دست اندرکاران عمدتاً به جای بررسی فرآیندهای مختلف بطور جداگانه، روی عملکرد زنجیره تأمین و همچنین طراحی و تحلیل آن به طور کلی متمرکز شده‌اند(Haddadsisakht & Ryan, 2018). در مدیریت زنجیره تأمین، بسته به افق زمانی (بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت)، تصمیمات به سه سطح شامل تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی طبقه‌بندی می شوند. تصمیمات مربوط به منابع زنجیره تأمین به طور کلی در سطح استراتژیک است، در حالی که تصمیمات میان مدت مانند سطح تولید به عنوان تاکتیکی شناخته می‌شوند و همچنین تصمیم‌گیری‌های عملیاتی شامل اجرای تصمیمات تاکتیکی در کوتاه مدت است. برای دستیابی به تصمیم‌گیری طولانی مدت در کل زنجیره تأمین، لازم است طراحی شبکه زنجیره تأمین به عنوان یکی از مهمترین مسائل استراتژیک بهینه شود((Petridis, 2015). تصمیم‌گیری استراتژیک در SCND معمولاً به سرمایه گذاری زیادی احتیاج دارد و همچنین تأثیرات طولانی مدت بر عملکرد زنجیره تأمین خواهد داشت. طبق رویکرد مدل‌سازی، طراحی و تجزیه و تحلیل زنجیره تامین از دسته های مدل های تحلیلی قطعی، مدل‌های تصادفی، مدل های اقتصادی و مدل های شبیه‌سازی، تشکیل شده است(Govindan et al., 2017). اکثر محققان در این زمینه ترجیح می‌دهند مدل‌های تحلیلی قطعی را برای مسائل غیرقطعی توسعه دهند. یک مدل قطعی را می توان در طیف گسترده‌ای از مدل های ساده تا حالت پیچیده فرموله کرد. با استفاده از مدل‌سازی ریاضی مطابق با فناوری بالانس خط، پیشرفت عملی‌تر در طراحی SCN امکان‌پذیر است زیرا شبکه زنجیره تأمین را می‌توان به عنوان فرمت بالانس خط مونتاژ[14] (ALB) بررسی کرد. بنابراین، طراحی SCN به عنوان یک مساله استراتژیک می‌تواند با ALB به عنوان یک مساله تاکتیکی ادغام شود. در چند سال گذشته، بالانس خطوط مونتاژ به عنوان یک تصمیم تاکتیکی به طور گسترده مورد نظر قرار گرفته است و بسیاری از تلاش‌ها به منظور پیوستگی تحقیقات آکادمیک در برابر واقعیت صنعتی اتخاذ شده‌اند (Alavidoost et al., 2016). با گسترش شرکت‌های تولیدی و متنوع‌تر شدن محصولات، به مرور زمان شرکت‌های تولیدی از حالت منفرد خارج شده و به زنجیره‌ای از عرضه کنندگان و مصرف کنندگان تبدیل گشته که گاهاً در سرتاسر دنیا پراکنده شده‌اند و تحت عنوان زنجیره تأمین چند ملیتی شناخته می‌شوند (Arifin et al., 2015). بالانس خط تولید در چنین وضعیتی دیگر منحصر به یک شرکت منفرد و یا حتی یک

[13] Analytic Network Process (ANP)
[14] Assemble Line Balance (ALB)

مجموعه واحد از قوانین و مقررات نیست و بایستی بالانس خط تولید برای کل زنجیره و بالاخص توسط رهبر و شرکت اصلی این زنجیره بصورت متمرکز صورت پذیرد تا چنین برنامه‌ای با در نظر گرفتن شرایط تمام حلقه‌ها، برنامه‌ای واقع بینانه و قابل اجرا باشد (Fattahi & Turkay, 2015). با توجه به تمامی این مباحث در این تحقیق به شناسایی عوامل موثر در شبکه زنجیره تامین و بالانس خط تولید، تعیین روابط علت و معلولی و رتبه‌بندی میان آنها می‌پردازد.

۲-روش تحقیق

با توجه به هدف تعریف شده پژوهش حاضر از نوع هدف کاربردی و از نوع گردآوری اطلاعات توصیفی می‌باشد. همانگونه که پیشتر اشاره شد، پژوهش فعلی رویکرد ترکیبی دیمتل-اولویت‌بندی ترتیبی را به کار می‌گیرد گام های اجرای این رویکرد به صورت شکل می باشد که در ادامه به تشریح این رویکردها پرداخته می‌شود.



شکل (۱): گام‌های اجرای رویکرد پیشنهادی پژوهش

الف) روش دیمتل

این تکنیک که یکی از انواع روش‌های تصمیم‌گیری گروهی بر اساس مقایسه‌های زوجی و قضاوت کارشناسان است، در بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۱۹۷۶ میلادی برای مطالعه و حل مسائل پیچیده ارائه شد. این روش برای آشکار کردن وابستگی متقابل یک متغیر به متغیر دیگر استفاده می شود. وابستگی متقابل بین متغیرها با کمک نمودار علی به نام نمودار نشان داده می شود این رابطه در مقیاس ۰ تا ۴ اندازه‌گیری می‌شود که در آن ۰ نشان می‌دهد که متغیر «x» هیچ تأثیری بر «y» ندارد و ۴ نشان می‌دهد که «x» به طور قابل‌توجهی بر «y» تأثیر می‌گذارد(Sharma et al., 2020). در ادامه گام های اجرای این رویکرد به شرح ذیل می‌باشد:

گام اول: تعیین معیارهای تاثیرگذار و قرار دادن آنها در رئوس یک دیاگراف

گام دوم: روابط حاکم بین عوامل با ایجاد ماتریس مقایسه زوجی به صورت رابطه (۱) با نظر خبرگان تشکیل می‌شود.

$$Z = \begin{array}{c} \\ C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} C_1 & C_2 & \dots & \dots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{m1} & \dots & \dots & \dots & R_{mn} \end{bmatrix} \end{array}$$

رابطه (۱)

که در این ماتریس a_{ij}، درجه نفوذ معیار c_i بر c_j را نشان می‌دهد.

گام سوم: ماتریس‌های حاصل از گام قبل را بررسی کرده و وجود یا عدم وجود رابطه نهایی بین دو عامل را توسط رای اکثریت کارشناسان مشخص کرده و ماتریس ارتباط مستقیم (میانگین) M تشکیل می‌شود.

گام چهارم: دیاگراف متناظر با ماتریس ارتباط مستقیم M به گونه‌ای رسم می‌شود که راس‌های آن نشان دهنده عوامل، کمان‌های آن در جهات روابط مستقیم موجود بین هر دو عامل و وزن هر یال امتیاز داده شده به هر رابطه مستقیم را نشان دهد.

گام پنجم: نرمال‌سازی ماتریس M؛ جمع سطری درایه‌های ماتریس M محاسبه شده و معکوس بیشترین آن در درایه‌های ماتریس M ضرب می‌شوند. با این کار شدت نسبی حاکم بر روابط مستقیم تعیین می‌شود.

$$N = \alpha \times M$$
$$\alpha = \frac{1}{Max \sum_{j=1}^{n} a_{ij}}$$
رابطه (۲)

گام ششم: محاسبه ماتریس روابط کل؛ در این گام ماتریس شرط نسبی موجود از روابط مستقیم و غیر مستقیم (S) با توجه به رابطه زیر تشکیل می‌شود:

$$S = N + N^2 + N^3 + \cdots + N^t = \frac{N(I - N^t)}{I - N} = \frac{N}{I - N} = N(1 - N)^{-1}$$
$$\lim_{t \to \infty} N^t = 0$$
رابطه (۳)

شدت ممکن از روابط غیر مستقیم (از عناصر موجود بر یکدیگر) از طریق مجموع تصاعد هندسی به صورت رابطه (۴) با استدلالی مشابه قبل، محاسبه می‌شود.

$$T_{t \to \infty} = N^2 + N^3 + \cdots + N^t = N^2(1 - N)^{-1}$$
رابطه (۴)

گام هفتم: رسم نمودار علی؛ برای این کار اصول زیر رعایت می‌شود:

R: جمع سطری درایه‌ها، برای هر عامل معرف میزان تاثیرگذاری آن بر سایر عناصر سیستم مورد بررسی است.

D: جمع ستونی درایه‌ها، برای هر عامل معرف شدت عامل مذکور از سایر عناصر سیستم مورد بررسی است.

R+D: بردار برتری، که بردار افقی بوده و میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم است. به عبارت دیگر هر چه مقدار R+D برای عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عناصر سیستم دارد، لذا وزن (اهمیت) عامل در سیستم بیشتر است.

R-D: بردار ارتباط، که بردار عمودی بوده و مقدار نهایی تاثیرگذاری هر عامل بر مجموعه عناصر دیگر سیستم را نشان می‌دهد.

$R \succ D \Rightarrow \text{R-D} \succ 0 \Rightarrow$ عامل یک تاثیرگذار قطعی است و یک متغیر علت (اثرگذار) محسوب می‌شود.

$R \prec D \Rightarrow \text{R-D} \prec 0 \Rightarrow$ عامل یک تاثیرپذیر قطعی است و یک متغیر معلول (اثرپذیر) محسوب می‌شود.

بنابراین نمودار علی می‌تواند بر اساس ترسیم زوج مرتب‌های (R+D, R-D) به دست آید که درون‌بینی با ارزشی برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند.

گام هشتم: مشخص نمودن سلسله مراتب یا ساختار ممکن معیارها؛ در این گام با مرتب کردن عوامل بر اساس مقادیر R و D و R+D و R-D حاصله از ماتریس S می‌توان یک رتبه بندی ممکن از عوامل به دست آورد.

گام نهم: رسم نقشه روابط شبکه (NRM)؛ یک نقشه روابط شبکه بین عوامل قابل رسم است. جهت رسم NRM[15] باید ارزش آستانه روابط از طریق میانگین مقادیر ماتریس S محاسبه شود.

د) رویکرد OPA

با علم به هدف پژوهش فعلی رویکرد اولویت بندی ترتیبی پیشنهاد شده توسط عطایی و همکاران (۲۰۲۰) بکار گرفته می‌شود پیش از ارائه گام های رویکرد، مجموعه‌ها، شاخص‌ها، پارامترها و متغیرهای موردنیاز به شرح ذیل می باشد (Ataei et al., 2020).

جدول شماره (۱): مجموعه‌ها، شاخص‌ها و متغیرها در رویکرد OPA

مجموعه‌ها	
مجموعه خبره‌ها $\forall i \in I$	I
مجموعه معیارها $\forall j \in J$	J
مجموعه گزینه‌ها $\forall k \in K$	K

[15] Network Relationships Map

شاخص ها	
شاخص مربوط به خبره‌ها $(1, 2, \ldots, p)$	i
شاخص مربوط به معیارها $(1, 2, \ldots, n)$	j
شاخص مربوط به گزینه‌ها $(1, 2, \ldots, m)$	k
متغیرها	
تابع هدف	Z
وزن (اهمیت) kامین گزینه بر اساس ویژگی jام توسط متخصص در رتبه r	$W_{ijk}{}^{r}$
k امین گزینه بر اساس ویژگی j توسط متخصص i در رتبه r	$A_{ijk}{}^{r}$

ب) طراحی مدل

در فرآیند تصمیم‌گیری می‌توان گزینه‌ها و شاخص‌ها و خبرگان را به عنوان سه ضلع مثلث تصمیم‌گیری به صورت همزمان در تعیین اهمیت یکدیگر دخالت داد. در این مدل پیشنهادی می‌شود بصورت همزمان از ویژگی‌های هریک از این اضلاع به منظور تصمیم‌گیری استفاده گردد و با روندی ساده‌تری از خبرگان پیرامون گزینه‌ها بر حسب شاخص‌ها اظهار نظر نماید و در پایان اهمیت هر یک از اجزاء مشخص خواهد گردید. فرض کنید بر حسب مراحل زیر رتبه‌بندی از k گزینه موجود می‌باشد:

- رتبه‌بندی خبرگان (بر حسب نمودار سازمانی، درجه علمی، سابقه و...)
- رتبه‌بندی شاخص‌ها توسط هر یک از خبرگان
- رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس هر یک از شاخص‌ها توسط هر یک از خبرگان

با توضیحات ذکر شده و حل مدل (۵) می‌توان به مقادیر مناسب برای وزن (اهمیت) هر رتبه برای هر گزینه بر اساس رتبه شاخص و رتبه خبره دست یابیم.

Max: Z

s.t:

$$Z \le i\left(j\left(r\left(W_{ijk}{}^{r} - W_{ijk}{}^{r+1}\right)\right)\right) \qquad \forall i,j,r$$
$$Z \le ijmW_{ijk}{}^{m} \qquad \forall i,j \quad , \; r = m$$
$$\sum_{i}\sum_{j}\sum_{k} W_{ijk}{}^{r} = 1 \qquad \forall r$$
$$W_{ijk}{}^{r} \ge 0$$

رابطه (۵)

لازم به ذکر می باشد که متغیر تصمیم این مدل ریاضی خطی $W_{ijk}{}^{(r)}$ است که نشان‌دهنده وزن کاردینال گزینه kام بر حسب شاخص jام توسط خبره iام در رتبه rام است. از طریق حل مدل ریاضی خطی (۵) به ازای خبره(i) و شاخص (j) برای هر گزینه چند مقدار بدست خواهد آمد. بنابراین وزن گزینه‌ها، شاخص‌ها و خبرگان طبق روابط (۶)، (۷) و (۸) عبارت می باشند از:

وزن گزینه‌ها:

$$\sum_{k} W_{ijk}{}^{r} \qquad \forall i,j,r$$

رابطه (۶)

وزن شاخص‌ها:

$$\sum_{j} W_{ijk}{}^{r} \qquad \forall i,k,r$$

رابطه (۷)

وزن خبرگان:

$$\sum_{i} W_{ijk}{}^{r} \qquad \forall j,k,r$$

رابطه (۸)

در ادامه این بخش، بر اساس روابط ذکر شده، مراحل مدل پیشنهادی برای تصمیم‌گیری گروهی بیان خواهد شد.

گام اول. تعیین خبرگان و کارشناسان آگاه به موضوع و رتبه‌بندی آنها: خبرگانی که بر اساس تخصصشان در تصمیم‌گیری شرکت می‌نمایند را رتبه‌بندی کنید. به منظور رتبه‌بندی می‌توان از چارت سازمانی، میزان سابقه و ... استفاده نمود.

گام دوم. شناسایی شاخص‌های پژوهش: با توجه به موضوع تصمیم‌گیری شاخص‌های کلیدی مورد نظر انتخاب شوند. شاخص‌هایی که دارای زیرمعیار هستند، بر حسب زیرمعیارهای آنها در تصمیم‌گیری مشارکت داده شوند و در پایان در صورت تمایل می‌توان وزن شاخص را بر حسب وزن زیر معیارها تعیین نمود.

گام سوم. رتبه‌بندی شاخص‌های پژوهش توسط هر یک از خبرگان آگاه به موضوع: در این مرحله، خبرگان بر اساس تخصصشان شاخص‌های تصمیم‌گیری را اولویت‌بندی می نمایند. در صورتی که از نظر برخی خبرگان بعضی از شاخص‌ها مهم نباشند در این صورت آن خبره می‌تواند آن شاخص‌ها را لحاظ نکند.

گام چهارم. رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس هر یک از شاخص‌ها توسط هر یک از خبرگان آگاه به موضوع: در این بخش از رویکرد، از خبرگان درخواست می گردد تا بر حسب هر یک از شاخص‌ها، گزینه‌ها را رتبه‌بندی نمایند که بصورت رابطه (۹) بیان میشود:

$$A_{ijk}{}^{(1)}, A_{ijk}{}^{(2)}, \dots, A_{ijk}{}^{(m)}$$ رابطه (۹)

که $A_{ijk}{}^{(r)}$ بیانگر رتبه گزینه kام بر اساس شاخص j ام توسط خبره iام است.

گام پنجم. یافتن وزن بهینه $(W_{ijk}{}^{(1)}, W_{ijk}{}^{(2)}, \dots, W_{ijk}{}^{(m)})$

به عنوان آخرین مرحله برای تعیین وزن بهینه گزینه kام بر اساس شاخص j ام توسط خبره iام در رتبه rام از مدل ریاضی خطی (۵) استفاده می‌گردد. سپس با بکارگیری روابط (۶)، (۷) و (۸) به ترتیب وزن نهایی گزینه‌ها، شاخص‌ها و خبرگان محاسبه می‌شود که بر حسب این وزن‌ها می‌توان رتبه‌بندی انجام گیرد باشد (Ataei et al., 2020). شایان ذکر است که علاوه بر مدل شرح داده شده، یکی از پتانسیل‌های این رویکرد، حل مدل پیشنهادی با استفاده از نرم افزار OPA Solver است که مطالعه فعلی نرم افزار ذکر شده را بکار می‌گیرد.

۳-بحث و نتایج

در این بخش به ارائه نتایج بدست آمده پرداخته می‌شود. پیش از ارائه نتایج، اطلاعات جمعیت شناختی پژوهش خبرگان در جدول (۲) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول شماره (۲): اطلاعات جمعیت شناختی پژوهش

خبره‌ها	پست سازمانی	سابقه خدمت	تحصیلات
E_1	مدیر برنامه‌ریزی تولید	۲۳ سال	کارشناسی ارشد
E_2	مدیر بخش پشتیبانی و تدارکات	۲۱ سال	کارشناسی ارشد
E_3	کارمند بخش انبار	۱۱ سال	کارشناسی
E_4	اپراتور بخش تولید	۳ سال	کارشناسی
E_5	معاونت بخش امور اجرایی	۱۸ سال	کارشناسی
E_6	معاونت بخش مطالعات استراتژیک و ارزیابی عملکرد	۱۴ سال	کارشناسی
E_7	اپراتور بخش تولید	۵ سال	کارشناسی

مطابق با گام‌های تعریف شده، بعد از تشکیل کمیته خبرگی، وارد مرحله گردآوری معیارها می‌شویم که این معیارها بر اساس مرور ادبیات و نظر خبرگان به صورت جدول می‌باشد.

جدول شماره (۳): عوامل کلیدی تاثیر گذار زنجیره تامین و نقش بالانس خط تولید در آن

ردیف	شاخص	تعریف متغیر	منبع	نماد
۱	ظرفیت تامین کنندگان	میزان تعدادی و مقداری پاسخگویی مواد اولیه در واحد زمان	(Zokaee et al., 2017)	C01
۲	میانگین فاصله میان تامین کنندگان تا کارخانه	مجموع فاصله مکانی میان تامین‌کنندگان و کارخانه تقسیم بر تعداد تامین‌کنندگان	(Che, 2017)	C02
۳	توان تامین به موقع مواد اولیه	قابلیت پیاده سازی تولید به هنگام	(Bortolini et al., 2017)	C03

ردیف	شاخص	تعریف متغیر	منبع	نماد
۴	هزینه انتقال مواد اولیه به کارخانه	-	(Arampantzi et al., 2019)	C04
۵	هزینه نگهداری موجودی	هزینه نگهداری مواد اولیه قبل از ورود به پروسه تولید	(Arampantzi et al., 2019)	C05
۶	هزینه حمل و نقل بین واحدها	هزینه هایی مانند سوخت لیفتراک، نیروی انسانی و ...	(Masmoudi et al., 2017)	C06
۷	هزینه ارسال کالا برای مشتری	هزینه‌هایی مانند هزینه حمل‌ونقل، سوخت، نیروی انسانی و ...	(Zokaee et al., 2017)	C07
۸	زمان حمل و نقل بین واحدها	میانگین فاصله زمانی انتقال مواد و کالاهای نیمه‌ساخته میان ایستگاه‌های کاری	(Masmoudi et al., 2017)	C08
۹	تنوع محصول	تعداد محصولات تولیدشده غیرهمگن	-	C09
۱۰	مدت زمان مونتاژ	متوسط زمان سپری شده جهت مونتاژ تمامی قطعات تا تولید محصول نهایی	(Sun & Wang, 2019)	C10
۱۱	نرخ بیکاری اپراتورها	نسبت ساعات بیکاری اپراتورها به کل زمان کاری آن‌ها	(Hamzas et al., 2017)	C11
۱۲	سطح بالانس خط مونتاژ	زمان را یکسان بین تمام ایستگاه‌های مونتاژ تقسیم کردن، بطوری‌که بهره‌وری کارگران در خط تولید افزایش یابد	(Hamzas et al., 2017)	C12
۱۳	نرخ بهره وری تولید	سازمان در قبال مقدار معینی از محصول به چه نسبتی از منابع تولیدی استفاده می کند	(Pachghare & Dalu, 2014)	C13
۱۴	ظرفیت نیروی انسانی	توانایی و قابلیت نیروی انسانی در ایجاد ارزش افزوده	(Nallusamy, 2016)	C14
۱۵	توان اسمی ماشین آلات	میزان تولید دستگاه در بهترین حالت و زمانی که همه منابع در دسترس باشد	(Binninger et al., 2018)	C15
۱۶	ظرفیت تولید	حجم محصولاتی که کارخانه یا شرکت تولیدی می تواند در یک دوره معین با استفاده از منابع موجود، تولید کند	(Hamzas et al., 2017)	C16
۱۷	نرخ خروجی محصول	تعداد محصول تولید شده در واحد زمان آماده ارسال به مشتری	(Fischer et al., 2020)	C17
۱۸	نرخ نیاز به مواد اولیه	میزان نیاز به مواد اولیه در واحد زمان جهت تولید محصول	(Li et al., 2019)	C18
۱۹	تقاضای مشتری	میل، خواست و توانایی یک فرد، برای دریافت کالا	(Sabogal-De La Pava et al., 2020).	C19
۲۰	نرخ تمایل به خرید محصول	تعداد درخواست جهت خرید که هنوز به سفارش ختم نشده است	(Sabogal-De La Pava et al., 2020).	C20

بعد از گردآوری، مرتب‌سازی و نهایی‌سازی معیارها، بر اساس نظر خبرگان مطالعه فعلی، وارد مرحله بعد که بکارگیری رویکرد دیمتل به منظور دسته‌بندی معیارها به دو دسته معیارهای تاثیرگذار و تاثیر پذیر می‌شویم. مطابق با گام‌های ذکر شده برای رویکرد دیمتل، نتایج بدست آمده در این مرحله به شرح ذیل می‌باشد:

در ابتدا، بر اساس نظر خبرگان اقدام به گردآوری ماتریس ارتباط مستقیم میان معیارها می‌گردد.

جدول (۴): ماتریس ارتباط مستقیم

	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C01	۰	۲	۳	۳	۳	۲	۳	۲	۳	۲	۳	۳	۱	۳	۲	۳	۲	۳	۲	۲
C02	۳	۰	۳	۲	۲	۱	۳	۲	۲	۰	۳	۳	۲	۳	۳	۱	۲	۲	۲	۱
C03	۲	۲	۰	۲	۳	۱	۳	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۳

C04	۳	۳	۲	۰	۲	۲	۲	۲	۳	۲	۳	۲	۲	۳	۲	۳	۲	۳	۲	۳
C05	۲	۳	۳	۲	۰	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۳	۲
C06	۲	۱	۳	۲	۲	۰	۲	۳	۱	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۳	۲	۲	۱	۲
C07	۲	۲	۳	۲	۳	۲	۰	۳	۳	۲	۳	۲	۲	۲	۳	۲	۱	۲	۲	۲
C08	۲	۲	۲	۳	۳	۲	۲	۰	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۲	۲	۲	۳	۱	۱
C09	۳	۳	۲	۲	۲	۱	۳	۲	۰	۱	۲	۳	۲	۳	۲	۱	۲	۲	۱	۱
C10	۲	۲	۳	۳	۲	۱	۲	۱	۲	۰	۲	۴	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲	۲
C11	۲	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۳	۳	۲	۰	۳	۲	۳	۳	۱	۲	۳	۲	۲
C12	۳	۲	۱	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۰	۲	۳	۳	۲	۲	۳	۳	۳
C13	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۰	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۳
C14	۲	۳	۳	۲	۳	۳	۲	۳	۲	۲	۲	۳	۳	۰	۳	۲	۲	۳	۳	۳
C15	۲	۳	۲	۲	۳	۳	۳	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۰	۲	۲	۲	۳	۲
C16	۱	۲	۳	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۳	۱	۳	۲	۰	۲	۳	۳	۳
C17	۲	۱	۲	۱	۲	۲	۲	۱	۳	۴	۳	۳	۲	۳	۲	۳	۰	۳	۳	۲
C18	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۲	۳	۲	۳	۳	۳	۲	۲	۰	۲	۲
C19	۲	۱	۳	۱	۲	۱	۳	۱	۲	۲	۲	۳	۲	۳	۳	۱	۱	۲	۰	۳
C20	۳	۱	۱	۲	۳	۲	۱	۱	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۳	۰

این ماتریس بر اساس ارزیابی‌های خبرگان و با به‌کارگیری مقیاس لیکرت پنج‌سطحی (۰ = عدم تأثیر، ۱ = تأثیر ضعیف، ۲ = تأثیر متوسط، ۳ = تأثیر قوی، ۴ = تأثیر بسیار قوی) تدوین شده است. در این ماتریس، هر سطر (C_i) و ستون (C_j) به‌عنوان نماینده‌ای از معیارهای کلیدی مؤثر بر زنجیره تأمین و توازن خط تولید در نظر گرفته شده‌اند. مقدار عددی هر سلول (a_ij) بیانگر شدت تأثیر علّی معیار سطری (C_i) بر معیار ستونی (C_j) است. این ماتریس به‌عنوان داده‌ورودی پایه برای تحلیل روابط علت–معلولی با استفاده از روش دیمتل (DEMATEL) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بعد از تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم، اقدام به نرمال‌سازی این ماتریس می‌شود که به صورت جدول (۵) می‌باشد.

جدول شماره (۵): نرمال سازی ماتریس ارتباط مستقیم

	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10
C01	0.000	0.048	0.057	0.066	0.054	0.045	0.057	0.039	0.060	0.048
C02	0.069	0.000	0.063	0.036	0.048	0.030	0.066	0.051	0.048	0.006
C03	0.045	0.051	0.000	0.042	0.063	0.021	0.066	0.051	0.069	0.036
C04	0.054	0.054	0.048	0.000	0.045	0.039	0.042	0.042	0.063	0.033
C05	0.042	0.069	0.069	0.033	0.000	0.054	0.060	0.054	0.054	0.054
C06	0.048	0.021	0.054	0.051	0.045	0.000	0.039	0.063	0.015	0.051
C07	0.051	0.045	0.054	0.051	0.054	0.036	0.000	0.057	0.066	0.033
C08	0.033	0.036	0.033	0.054	0.054	0.039	0.033	0.000	0.021	0.045
C09	0.063	0.063	0.039	0.039	0.036	0.027	0.057	0.048	0.000	0.024
C10	0.051	0.033	0.063	0.054	0.048	0.024	0.039	0.030	0.051	0.000
C11	0.051	0.033	0.036	0.060	0.036	0.042	0.051	0.069	0.054	0.036
C12	0.054	0.033	0.027	0.036	0.030	0.039	0.048	0.033	0.039	0.051
C13	0.051	0.045	0.033	0.018	0.033	0.033	0.063	0.054	0.039	0.036
C14	0.033	0.060	0.054	0.045	0.063	0.054	0.042	0.060	0.042	0.042
C15	0.048	0.066	0.036	0.039	0.060	0.054	0.057	0.051	0.054	0.048
C16	0.030	0.042	0.060	0.051	0.057	0.054	0.069	0.063	0.054	0.045
C17	0.042	0.021	0.051	0.030	0.051	0.045	0.045	0.027	0.057	0.075
C18	0.054	0.033	0.051	0.048	0.039	0.048	0.063	0.063	0.063	0.036
C19	0.039	0.030	0.057	0.024	0.039	0.024	0.069	0.018	0.036	0.048
C20	0.060	0.027	0.030	0.039	0.057	0.033	0.030	0.030	0.036	0.024

ادامه جدول شماره (۵): نرمال سازی ماتریس ارتباط مستقیم

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C01	0.060	0.060	0.027	0.069	0.042	0.054	0.036	0.054	0.045	0.039
C02	0.054	0.057	0.042	0.057	0.054	0.021	0.036	0.042	0.048	0.021
C03	0.036	0.033	0.033	0.042	0.036	0.066	0.045	0.045	0.042	0.057
C04	0.057	0.036	0.042	0.060	0.033	0.066	0.039	0.069	0.051	0.054
C05	0.051	0.036	0.039	0.051	0.048	0.039	0.030	0.036	0.063	0.033
C06	0.018	0.051	0.039	0.036	0.036	0.057	0.033	0.036	0.030	0.045
C07	0.063	0.048	0.048	0.048	0.057	0.045	0.021	0.033	0.045	0.048
C08	0.051	0.048	0.018	0.018	0.036	0.051	0.045	0.057	0.030	0.015
C09	0.048	0.066	0.036	0.057	0.048	0.030	0.045	0.051	0.021	0.030
C10	0.042	0.075	0.048	0.048	0.042	0.051	0.057	0.063	0.042	0.048
C11	0.000	0.069	0.039	0.060	0.054	0.030	0.039	0.057	0.039	0.048
C12	0.057	0.000	0.039	0.066	0.066	0.036	0.051	0.057	0.069	0.054
C13	0.048	0.048	0.000	0.033	0.042	0.021	0.045	0.042	0.039	0.060
C14	0.036	0.057	0.066	0.000	0.063	0.048	0.051	0.057	0.054	0.060
C15	0.045	0.045	0.051	0.051	0.000	0.045	0.042	0.042	0.063	0.051
C16	0.039	0.057	0.015	0.054	0.045	0.000	0.039	0.066	0.069	0.063
C17	0.060	0.060	0.045	0.069	0.045	0.057	0.000	0.054	0.060	0.048
C18	0.054	0.042	0.057	0.063	0.072	0.042	0.048	0.000	0.042	0.033
C19	0.048	0.060	0.039	0.054	0.054	0.015	0.024	0.039	0.000	0.057
C20	0.033	0.042	0.045	0.051	0.036	0.027	0.048	0.036	0.057	0.000

در مرحله بعد اقدام به تشکیل ماتریس کل که مجموع تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم را نشان می‌دهد، می‌شود که به این منظور لازم است ماتریس (I-N) و ماتریس معکوس آن محاسبه شود. این ماتریس‌ها به ترتیب در جداول (۶) و (۷) قابل مشاهده است. در نهایت ماتریس کل به صورت جدول (۸) بدست آمد.

جدول شماره (۶): تشکیل ماتریس (I-N)

	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10
C01	1.000	-0.048	-0.057	-0.066	-0.054	-0.045	-0.057	-0.039	-0.060	-0.048
C02	-0.069	1.000	-0.063	-0.036	-0.048	-0.030	-0.066	-0.051	-0.048	-0.006
C03	-0.045	-0.051	1.000	-0.042	-0.063	-0.021	-0.066	-0.051	-0.069	-0.036
C04	-0.054	-0.054	-0.048	1.000	-0.045	-0.039	-0.042	-0.042	-0.063	-0.033
C05	-0.042	-0.069	-0.069	-0.033	1.000	-0.054	-0.060	-0.054	-0.054	-0.054
C06	-0.048	-0.021	-0.054	-0.051	-0.045	1.000	-0.039	-0.063	-0.015	-0.051
C07	-0.051	-0.045	-0.054	-0.051	-0.054	-0.036	1.000	-0.057	-0.066	-0.033
C08	-0.033	-0.036	-0.033	-0.054	-0.054	-0.039	-0.033	1.000	-0.021	-0.045
C09	-0.063	-0.063	-0.039	-0.039	-0.036	-0.027	-0.057	-0.048	1.000	-0.024
C10	-0.051	-0.033	-0.063	-0.054	-0.048	-0.024	-0.039	-0.030	-0.051	1.000
C11	-0.051	-0.033	-0.036	-0.060	-0.036	-0.042	-0.051	-0.069	-0.054	-0.036
C12	-0.054	-0.033	-0.027	-0.036	-0.030	-0.039	-0.048	-0.033	-0.039	-0.051
C13	-0.051	-0.045	-0.033	-0.018	-0.033	-0.033	-0.063	-0.054	-0.039	-0.036
C14	-0.033	-0.060	-0.054	-0.045	-0.063	-0.054	-0.042	-0.060	-0.042	-0.042
C15	-0.048	-0.066	-0.036	-0.039	-0.060	-0.054	-0.057	-0.051	-0.054	-0.048
C16	-0.030	-0.042	-0.060	-0.051	-0.057	-0.054	-0.069	-0.063	-0.054	-0.045
C17	-0.042	-0.021	-0.051	-0.030	-0.051	-0.045	-0.045	-0.027	-0.057	-0.075
C18	-0.054	-0.033	-0.051	-0.048	-0.039	-0.048	-0.063	-0.063	-0.063	-0.036
C19	-0.039	-0.030	-0.057	-0.024	-0.039	-0.024	-0.069	-0.018	-0.036	-0.048
C20	-0.060	-0.027	-0.030	-0.039	-0.057	-0.033	-0.030	-0.030	-0.036	-0.024

ادامه جدول شماره (۶): تشکیل ماتریس (I-N)

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20

C01	-0.060	-0.060	-0.027	-0.069	-0.042	-0.054	-0.036	-0.054	-0.045	-0.039
C02	-0.054	-0.057	-0.042	-0.057	-0.054	-0.021	-0.036	-0.042	-0.048	-0.021
C03	-0.036	-0.033	-0.033	-0.042	-0.036	-0.066	-0.045	-0.045	-0.042	-0.057
C04	-0.057	-0.036	-0.042	-0.060	-0.033	-0.066	-0.039	-0.069	-0.051	-0.054
C05	-0.051	-0.036	-0.039	-0.051	-0.048	-0.039	-0.030	-0.036	-0.063	-0.033
C06	-0.018	-0.051	-0.039	-0.036	-0.036	-0.057	-0.033	-0.036	-0.030	-0.045
C07	-0.063	-0.048	-0.048	-0.048	-0.057	-0.045	-0.021	-0.033	-0.045	-0.048
C08	-0.051	-0.048	-0.018	-0.018	-0.036	-0.051	-0.045	-0.057	-0.030	-0.015
C09	-0.048	-0.066	-0.036	-0.057	-0.048	-0.030	-0.045	-0.051	-0.021	-0.030
C10	-0.042	-0.075	-0.048	-0.048	-0.042	-0.051	-0.057	-0.063	-0.042	-0.048
C11	1.000	-0.069	-0.039	-0.060	-0.054	-0.030	-0.039	-0.057	-0.039	-0.048
C12	-0.057	1.000	-0.039	-0.066	-0.066	-0.036	-0.051	-0.057	-0.069	-0.054
C13	-0.048	-0.048	1.000	-0.033	-0.042	-0.021	-0.045	-0.042	-0.039	-0.060
C14	-0.036	-0.057	-0.066	1.000	-0.063	-0.048	-0.051	-0.057	-0.054	-0.060
C15	-0.045	-0.045	-0.051	-0.051	1.000	-0.045	-0.042	-0.042	-0.063	-0.051
C16	-0.039	-0.057	-0.015	-0.054	-0.045	1.000	-0.039	-0.066	-0.069	-0.063
C17	-0.060	-0.060	-0.045	-0.069	-0.045	-0.057	1.000	-0.054	-0.060	-0.048
C18	-0.054	-0.042	-0.057	-0.063	-0.072	-0.042	-0.048	1.000	-0.042	-0.033
C19	-0.048	-0.060	-0.039	-0.054	-0.054	-0.015	-0.024	-0.039	1.000	-0.057
C20	-0.033	-0.042	-0.045	-0.051	-0.036	-0.027	-0.048	-0.036	-0.057	1.000

جدول شماره (۷): محاسبه ماتریس $(I-N)^{-1}$

	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10
C01	1.368	0.377	0.420	0.393	0.418	0.344	0.453	0.402	0.429	0.356
C02	0.391	1.294	0.383	0.328	0.371	0.296	0.417	0.371	0.376	0.283
C03	0.379	0.351	1.335	0.342	0.395	0.296	0.427	0.381	0.405	0.318
C04	0.406	0.369	0.398	1.318	0.396	0.328	0.425	0.391	0.418	0.330
C05	0.388	0.377	0.411	0.344	1.346	0.334	0.434	0.395	0.402	0.344
C06	0.340	0.285	0.345	0.314	0.338	1.241	0.356	0.350	0.313	0.299
C07	0.392	0.353	0.392	0.357	0.393	0.316	1.372	0.394	0.409	0.321
C08	0.311	0.285	0.310	0.303	0.329	0.267	0.335	1.276	0.304	0.280
C09	0.380	0.347	0.355	0.325	0.353	0.289	0.401	0.362	1.323	0.294
C10	0.398	0.346	0.407	0.364	0.394	0.310	0.417	0.374	0.403	1.296
C11	0.393	0.341	0.376	0.366	0.378	0.322	0.421	0.405	0.398	0.326
C12	0.391	0.336	0.364	0.339	0.367	0.316	0.413	0.367	0.380	0.336
C13	0.348	0.310	0.328	0.286	0.329	0.276	0.382	0.346	0.338	0.287
C14	0.405	0.391	0.422	0.376	0.431	0.356	0.445	0.425	0.416	0.355
C15	0.405	0.385	0.392	0.359	0.414	0.345	0.443	0.403	0.413	0.349
C16	0.397	0.370	0.423	0.379	0.421	0.352	0.464	0.423	0.423	0.354
C17	0.401	0.344	0.407	0.353	0.408	0.338	0.434	0.383	0.418	0.376
C18	0.413	0.358	0.408	0.371	0.399	0.343	0.452	0.419	0.425	0.342
C19	0.336	0.297	0.350	0.291	0.335	0.267	0.388	0.312	0.337	0.297
C20	0.342	0.283	0.314	0.293	0.338	0.266	0.339	0.310	0.323	0.266

ادامه جدول شماره (۷): محاسبه ماتریس $(I-N)^{-1}$

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C01	0.420	0.452	0.339	0.462	0.410	0.375	0.347	0.427	0.409	0.385
C02	0.375	0.403	0.317	0.405	0.379	0.307	0.311	0.371	0.369	0.328
C03	0.368	0.393	0.316	0.402	0.372	0.357	0.328	0.385	0.375	0.370
C04	0.404	0.415	0.341	0.439	0.387	0.372	0.338	0.426	0.400	0.385
C05	0.391	0.408	0.332	0.421	0.393	0.342	0.324	0.387	0.403	0.359
C06	0.309	0.364	0.286	0.351	0.329	0.314	0.283	0.336	0.323	0.322

C07	0.399	0.414	0.336	0.415	0.398	0.344	0.312	0.382	0.384	0.369
C08	0.325	0.345	0.254	0.320	0.315	0.294	0.280	0.339	0.307	0.279
C09	0.363	0.405	0.306	0.399	0.367	0.310	0.315	0.374	0.339	0.330
C10	0.386	0.445	0.342	0.423	0.391	0.355	0.352	0.416	0.389	0.376
C11	1.341	0.434	0.330	0.427	0.397	0.332	0.330	0.405	0.379	0.370
C12	0.389	1.365	0.327	0.428	0.403	0.331	0.337	0.399	0.403	0.372
C13	0.341	0.366	1.253	0.353	0.340	0.282	0.296	0.343	0.334	0.337
C14	0.403	0.453	0.379	1.400	0.433	0.372	0.365	0.433	0.422	0.408
C15	0.398	0.429	0.353	0.435	1.360	0.357	0.345	0.405	0.416	0.387
C16	0.401	0.448	0.328	0.447	0.412	1.323	0.350	0.436	0.431	0.406
C17	0.412	0.445	0.350	0.454	0.405	0.370	1.307	0.419	0.416	0.388
C18	0.410	0.429	0.362	0.449	0.431	0.359	0.354	1.369	0.400	0.374
C19	0.340	0.376	0.292	0.372	0.351	0.276	0.277	0.340	1.297	0.336
C20	0.315	0.347	0.286	0.357	0.321	0.276	0.288	0.325	0.338	1.270

جدول شماره (۸): ماتریس کل (T)

	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10
C01	0/368	0/377	0/420	0/393	0/418	0/344	0/453	0/402	0/429	0/356
C02	0/391	0/294	0/383	0/328	0/371	0/296	0/417	0/371	0/376	0/283
C03	0/379	0/351	0/335	0/342	0/395	0/296	0/427	0/381	0/405	0/318
C04	0/406	0/369	0/398	0/318	0/396	0/328	0/425	0/391	0/418	0/330
C05	0/388	0/377	0/411	0/344	0/346	0/334	0/434	0/395	0/402	0/344
C06	0/340	0/285	0/345	0/314	0/338	0/241	0/356	0/350	0/313	0/299
C07	0/392	0/353	0/392	0/357	0/393	0/316	0/372	0/394	0/409	0/321
C08	0/311	0/285	0/310	0/303	0/329	0/267	0/335	0/276	0/304	0/280
C09	0/380	0/347	0/355	0/325	0/353	0/289	0/401	0/362	0/323	0/294
C10	0/398	0/346	0/407	0/364	0/394	0/310	0/417	0/374	0/403	0/296
C11	0/393	0/341	0/376	0/366	0/378	0/322	0/421	0/405	0/398	0/326
C12	0/391	0/336	0/364	0/339	0/367	0/316	0/413	0/367	0/380	0/336
C13	0/348	0/310	0/328	0/286	0/329	0/276	0/382	0/346	0/338	0/287
C14	0/405	0/391	0/422	0/376	0/431	0/356	0/445	0/425	0/416	0/355
C15	0/405	0/385	0/392	0/359	0/414	0/345	0/443	0/403	0/413	0/349
C16	0/397	0/370	0/423	0/379	0/421	0/352	0/464	0/423	0/423	0/354
C17	0/401	0/344	0/407	0/353	0/408	0/338	0/434	0/383	0/418	0/376
C18	0/413	0/358	0/408	0/371	0/399	0/343	0/452	0/419	0/425	0/342
C19	0/336	0/297	0/350	0/291	0/335	0/267	0/388	0/312	0/337	0/297
C20	0/342	0/283	0/314	0/293	0/338	0/266	0/339	0/310	0/323	0/266

ادامه جدول شماره (۸): ماتریس کل (T)

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C01	0.420	0.452	0.339	0.462	0.410	0.375	0.347	0.427	0.409	0.385
C02	0.375	0.403	0.317	0.405	0.379	0.307	0.311	0.371	0.369	0.328
C03	0.368	0.393	0.316	0.402	0.372	0.357	0.328	0.385	0.375	0.370
C04	0.404	0.415	0.341	0.439	0.387	0.372	0.338	0.426	0.400	0.385
C05	0.391	0.408	0.332	0.421	0.393	0.342	0.324	0.387	0.403	0.359
C06	0.309	0.364	0.286	0.351	0.329	0.314	0.283	0.336	0.323	0.322
C07	0.399	0.414	0.336	0.415	0.398	0.344	0.312	0.382	0.384	0.369

C08	0.325	0.345	0.254	0.320	0.315	0.294	0.280	0.339	0.307	0.279
C09	0.363	0.405	0.306	0.399	0.367	0.310	0.315	0.374	0.339	0.330
C10	0.386	0.445	0.342	0.423	0.391	0.355	0.352	0.416	0.389	0.376
C11	0.341	0.434	0.330	0.427	0.397	0.332	0.330	0.405	0.379	0.370
C12	0.389	0.365	0.327	0.428	0.403	0.331	0.337	0.399	0.403	0.372
C13	0.341	0.366	0.253	0.353	0.340	0.282	0.296	0.343	0.334	0.337
C14	0.403	0.453	0.379	0.400	0.433	0.372	0.365	0.433	0.422	0.408
C15	0.398	0.429	0.353	0.435	0.360	0.357	0.345	0.405	0.416	0.387
C16	0.401	0.448	0.328	0.447	0.412	0.323	0.350	0.436	0.431	0.406
C17	0.412	0.445	0.350	0.454	0.405	0.370	0.307	0.419	0.416	0.388
C18	0.410	0.429	0.362	0.449	0.431	0.359	0.354	0.369	0.400	0.374
C19	0.340	0.376	0.292	0.372	0.351	0.276	0.277	0.340	0.297	0.336
C20	0.315	0.347	0.286	0.357	0.321	0.276	0.288	0.325	0.338	0.270

پس از محاسبه ماتریس روابط کل، با در نظر گرفتن حد آستانه ۰/۳۶۳ مجموع سطر و ستون‌های ماتریس که نشان دهنده میزان تاثیرگذاری (D) و تاثیرپذیری (R) هر شاخص می‌باشد محاسبه می‌شود. مقادیر نتایج حاصل شده از این محاسبات به صورت جدول (۹) می‌باشد.

جدول شماره (۹): میزان تاثیر گذاری و تاثیرپذیری شاخص‌ها

	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C01	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱
C02	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰
C03	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱
C04	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱
C05	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰
C06	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C07	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱
C08	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C09	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰
C10	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱
C11	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱
C12	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱
C13	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C14	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
C15	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱
C16	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱
C17	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱
C18	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱
C19	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C20	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

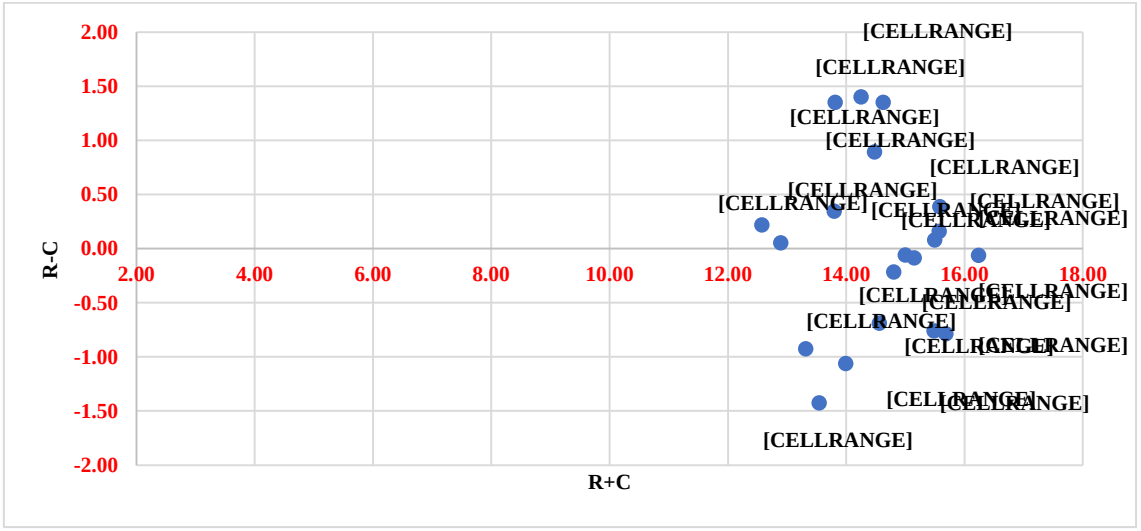
برای رسم دیاگرام علت و معلولی باید مقادیر D-R و D+R بدست آید. مقادیر D+R که محور افقی دیاگرام علت و معلولی را نشان می‌دهد به طور مشابه محور عمودی (D-R) نشان دهنده موقعیت یک عنصر در طول محور عرض‌ها می‌باشد. این موقعیت در صورت مثبت بودن مقدار به طور قطع تاثیرگذار است و در صورت منفی بودن آن به طور قطع تاثیر پذیر خواهد بود. جدول (۱۰) میزان تاثیرپذیری و تاثیرگذاری معیارها، رتبه‌بندی و دسته‌بندی آنها به دو گروه علت و معلول را ارائه می‌کند.

جدول شماره (۱۰): مرتب‌سازی شاخص‌ها بر اساس مقادیر D، R، D+R و D-R

شاخص	R	D	R+D	R-D	علت– معلول
C01	۷/۹۹	۷/۶۰	۱۵/۵۹	۰/۳۹	علت
C02	۷/۰۷	۶/۷۳	۱۳/۸۰	۰/۳۴	علت
C03	۷/۳۰	۷/۵۱	۱۴/۸۱	−۰/۲۲	معلول
C04	۷/۶۹	۶/۸۰	۱۴/۴۸	۰/۸۹	علت
C05	۷/۵۳	۷/۶۲	۱۵/۱۶	−۰/۰۹	معلول
C06	۶/۴۰	۶/۱۸	۱۲/۵۸	۰/۲۲	معلول
C07	۷/۴۵	۸/۲۴	۱۵/۶۹	−۰/۷۹	معلول
C08	۶/۰۶	۷/۴۹	۱۳/۵۴	−۱/۴۳	معلول
C09	۶/۹۴	۷/۶۳	۱۴/۵۴	−۰/۶۹	معلول
C10	۷/۵۸	۶/۲۴	۱۳/۸۲	۱/۳۵	علت
C11	۷/۴۷	۷/۵۳	۱۵/۰۰	−۰/۰۶	معلول
C12	۷/۳۶	۸/۱۲	۱۵/۴۹	−۰/۷۶	معلول
C13	۶/۴۷	۶/۴۲	۱۲/۹۰	۰/۰۵	علت
C14	۸/۰۹	۸/۱۵	۱۶/۲۴	−۰/۰۶	معلول
C15	۷/۷۹	۷/۷۱	۱۵/۵۰	۰/۰۸	علت
C16	۷/۹۹	۶/۶۴	۱۴/۶۳	۱/۳۵	علت
C17	۷/۸۳	۶/۴۳	۱۴/۲۶	۱/۴۰	علت
C18	۷/۸۷	۷/۷۱	۱۵/۵۷	۰/۱۶	علت
C19	۶/۴۷	۷/۵۳	۱۴/۰۰	−۱/۰۶	معلول
C20	۶/۲۰	۷/۱۲	۱۳/۳۲	−۰/۹۳	معلول

- مجموع سطری ماتریس کل (تاثیرگذاری): نشان دهنده قدرت تاثیرگذاری یک معیار بر سایر معیارها
- مجموع ستونی ماتریس کل (تاثیرپذیر): نشان دهنده قدرت تاثیرپذیر یک معیار بر سایر معیارها
- بردار برتری (R+D): هر چه این مقدار بالاتر باشد، تعامل با سیستم بیشتر است.
- بردار ارتباط (R-D): اگر مثبت (تاثیرگذار) باشد، معیار علت و اگر منفی (تاثیرپذیر) باشد معیار معلول است.

بر اساس جدول (۱۰) دیاگرام علت و معلولی به صورت شکل (۲) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل شماره (۲): دیاگرام علت و معلولی معیارها

با در نظر گفتن دیاگرام علت و معلولی، معیارهای تاثیرگذار (علت) به صورت جدول (۱۱) بدست می آید.

جدول (۱۱): معیارهای تاثیرگذار (علت)

ردیف	شاخص	نماد
۱	ظرفیت تامین کنندگان	C1
۲	میانگین فاصله میان تامین کنندگان تا کارخانه	C2
۳	هزینه انتقال مواد اولیه به کارخانه	C4
۴	مدت زمان مونتاژ	C10
۵	نرخ بهره وری تولید	C13
۶	توان اسمی ماشین آلات	C15
۷	ظرفیت تولید	C16
۸	نرخ خروجی محصول	C17
۹	نرخ نیاز به مواد اولیه	C18

بر اساس گام‌های تعریف شده در رویکرد OPA، بعد از تعریف شاخص‌ها که در این مطالعه همان عوامل موثر بر زنجیره تامین و نقش بالانس خط تولید در آن می‌باشند (و این عوامل مستقل از هم هستند)، نیازمند تعریف فاکتورهای مستقل برای رتبه‌بندی شاخص‌های تاثیرگذاری می‌باشیم، که به صورت جدول (۱۲) می‌باشد:

جدول شماره (۱۲): فاکتورهای در نظر گرفته برای رتبه بندی معیارها

ردیف	فاکتور	نماد
۱	میزان هزینه	F_1
۲	میزان سودآوری	F_2
۳	مدیریت صحیح منابع	F_3
۴	تدوین استراتژی های رقابتی	F_4
۵	بکارگیری فناوری‌های مدرن	F_5

با در نظر گرفتن جداول ورودی (۱۱) و (۱۲) گام های اجرا و نتایج بدست آمده در هر مرحله به صورت ذیل می‌باشد:

مرحله اول: رتبه‌بندی خبرگان (بر اساس نمودار سازمانی، درجه علمی، سابقه و...)

بر اساس گام های رویکرد پیشنهادی، به منظور رتبه بندی خبرگان، این پژوهش بر آن شده است که خبرگان را در وهله نخست بر اساس سابقه خدمت و در صورت تساوی بودن سابقه خدمت، بر اساس تحصیلات رتبه‌بندی نماید. لذا رتبه‌بندی ۷ خبره این پژوهش با در نظر گرفتن اطلاعات جمعیت شناختی خبرگان جدول (۱۳) قابل مشاهده می‌باشد:

جدول شماره (۱۳): رتبه‌بندی خبرگان

خبره‌ها	پست سازمانی	سابقه خدمت	تحصیلات	رتبه
E_1	مدیر برنامه‌ریزی تولید	۲۳ سال	کارشناسی ارشد	۱
E_2	مدیر بخش پشتیبانی و تدارکات	۲۱ سال	کارشناسی ارشد	۲
E_3	کارمند بخش انبار	۱۱ سال	کارشناسی	۵
E_4	اپراتور بخش تولید	۳ سال	کارشناسی	۷
E_5	معاونت بخش امور اجرایی	۱۸ سال	کارشناسی	۳
E_6	معاونت بخش مطالعات استراتژیک و ارزیابی عملکرد	۱۴ سال	کارشناسی	۴
E_7	اپراتور بخش تولید	۵ سال	کارشناسی	۶

مرحله دوم: رتبه‌بندی فاکتورها توسط هر یک از خبرگان

در این مرحله از رویکرد از اعضای کمیته خبرگی درخواست گردید، فاکتورهایی که برای رتبه‌بندی معیارها در نظر گرفته می‌شود را بر اساس تجربه کاری خویش رتبه‌بندی نمایند که به صورت جدول (۱۴) می‌باشد:

جدول شماره (۱۴): رتبه بندی فاکتور ها توسط خبرگان

خبرگان / فاکتورها	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
خبره ۱	۵	۳	۱	۲	۴
خبره ۲	۱	۵	۲	۳	۴
خبره ۳	۴	۱	۲	۳	۵
خبره ۴	۵	۳	۱	۲	۴
خبره ۵	۵	۴	۱	۳	۲
خبره ۶	۵	۱	۲	۳	۴
خبره ۷	۴	۵	۱	۲	۳

مرحله سوم: رتبه‌بندی معیارها (عوامل تاثیر گذار بر زنجیره تامین) توسط هر یک از خبرگان

در این مرحله از رویکرد OPA، معیارهایی که هدف رتبه‌بندی آنها را داریم، توسط خبرگان رتبه‌بندی می‌شوند که به شرح جدول (۱۵) می‌باشد.

جدول شماره (۱۵): رتبه بندی معیارها توسط خبرگان

خبرگان / فاکتورها	معیارها	C_1	C_2	C_4	C_{10}	C_{13}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}
	F1	۲	۵	۱	۷	۹	۳	۴	۸	۶
	F2	۲	۵	۷	۱	۴	۸	۶	۹	۳
خبره ۱	F3	۱	۲	۷	۳	۴	۸	۵	۶	۹
	F4	۸	۵	۲	۱	۳	۹	۶	۴	۷
	F5	۷	۵	۱	۲	۳	۴	۶	۸	۹
	F1	۵	۱	۲	۳	۸	۷	۴	۹	۶
	F2	۸	۵	۲	۱	۴	۶	۷	۹	۳
خبره ۲	F3	۷	۱	۳	۲	۵	۸	۴	۶	۹
	F4	۸	۵	۲	۱	۳	۴	۶	۹	۷
	F5	۸	۴	۱	۲	۳	۵	۶	۷	۹
	F1	۱	۲	۵	۷	۸	۳	۴	۶	۹
	F2	۱	۲	۷	۵	۴	۸	۶	۳	۹
خبره ۳	F3	۲	۱	۳	۵	۴	۹	۷	۶	۸
	F4	۸	۹	۲	۱	۳	۵	۶	۴	۷
	F5	۸	۴	۱	۲	۳	۵	۶	۷	۹
	F1	۸	۵	۲	۷	۱	۳	۴	۹	۶
	F2	۷	۵	۲	۱	۴	۳	۶	۹	۸
خبره ۴	F3	۵	۱	۷	۳	۲	۸	۴	۶	۹
	F4	۸	۵	۲	۱	۳	۹	۷	۴	۶
	F5	۸	۴	۱	۲	۳	۵	۶	۹	۷
	F1	۹	۵	۲	۷	۱	۸	۴	۳	۶
خبره ۵	F2	۸	۵	۲	۱	۴	۷	۶	۹	۳
	F3	۷	۱	۲	۳	۵	۸	۴	۶	۹

	F4	۸	۵	۲	۱	۳	۹	۶	۴	۷
	F5	۹	۷	۱	۲	۳	۵	۶	۴	۸
	F1	۷	۵	۲	۱	۸	۳	۴	۶	۹
	F2	۸	۵	۳	۲	۱	۴	۶	۹	۷
خبره ۶	F3	۹	۱	۲	۳	۵	۴	۸	۷	۹
	F4	۸	۵	۲	۱	۳	۹	۶	۴	۷
	F5	۸	۴	۱	۲	۳	۵	۶	۷	۹
	F1	۹	۵	۲	۳	۱	۷	۸	۴	۶
	F2	۹	۵	۷	۱	۴	۸	۶	۲	۳
خبره ۷	F3	۸	۱	۲	۳	۵	۷	۴	۶	۹
	F4	۸	۶	۲	۱	۳	۹	۵	۴	۷
	F5	۸	۴	۱	۲	۳	۵	۶	۷	۹

نتایج بدست آمده از رویکرد پیشنهادی در قالب سه خروجی وزن خبرگان، وزن فاکتورها و وزن معیارها به شرح ذیل می‌باشد:

الف) محاسبه وزن خبرگان: وزن ۷ خبره در نظر گرفته شده در جدول (۱۶) قابل مشاهده است.

جدول شماره (۱۶): وزن خبرها

خبره‌ها	پست سازمانی	رتبه	وزن خبره ها
E_1	معاونت توسعه منابع انسانی و پشتیبانی	1	۰/۳۸۳۳۲۱
E_2	معاونت عملیات امداد و نجات	2	۰/۱۹۴۵۱۸
E_3	کارمند بخش عملیات امداد و نجات	5	۰/۰۷۷۸۰۷
E_4	کارمند بخش لجستیک و آمادگی	7	۰/۰۵۵۵۷۷
E_5	معاونت بخش لجستیک و آمادگی	3	۰/۱۲۹۶۷۹
E_6	معاونت بخش برنامه ریزی و آموزش های تخصصی	4	۰/۰۹۴۲۵۹
E_7	کارمند بخش لجستیک و آمادگی	6	۰/۰۶۴۸۳۹

ب) محاسبه وزن فاکتورها

در این مرحله از رویکرد، به محاسبه وزن فاکتورها بر اساس نظر خبرگان پرداخته می‌شود که این اوزان بر اساس نظر خبرگان به صورت جدول (۱۷) می‌باشد.

جدول شماره (۱۷): اوزان شاخص‌ها بر اساس رویکرد OPA

ردیف	شاخص	نماد	وزن شاخص‌ها
۱	میزان هزینه	F_1	۰/۱۵۳۹۱۵
۲	میزان سودآوری	F_2	۰/۱۷۸۴۹۴
۳	مدیریت صحیح منابع	F_3	۰/۳۵۸۷۴۲
۴	تدوین استراتژی‌های رقابتی	F_4	۰/۱۸۴۴۴۴
۵	بکارگیری فناوری‌های مدرن	F_5	۰/۱۲۵۳۰۴

ج) محاسبه وزن معیارهای موثر (گزینه‌ها)

در آخرین گام از رویکرد OPA، بعد از محاسبه اوزان خبره‌ها و فاکتورها، به محاسبه اوزان معیارهای موثر پرداخته می‌شود که در جدول (۱۸) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول شماره (۱۸): اوزان معیارها بر اساس رویکرد OPA

ردیف	شاخص	نماد	اوزان
۱	ظرفیت تامین کنندگان	C1	۰/۱۱۳۶۶۵
۲	میانگین فاصله میان تامین‌کنندگان تا کارخانه	C2	۰/۱۷۱۸۵۶

ردیف	شاخص	نماد	اوزان
۳	هزینه انتقال مواد اولیه به کارخانه	C4	۰/۱۶۷۷۲۶۰
۴	مدت زمان مونتاژ	C10	۰/۱۹۹۸۵۹
۵	نرخ بهره وری تولید	C13	۰/۱۲۲۲۳۳
۶	توان اسمی ماشین آلات	C15	۰/۰۵۰۰۹۵
۷	ظرفیت تولید	C16	۰/۰۷۵۷۸۰
۸	نرخ خروجی محصول	C17	۰/۰۵۸۸۶۰
۹	نرخ نیاز به مواد اولیه	C18	۰/۰۳۹۹۲۶

جدول ۱۸ نشان دهند وزن نهایی هر معیار را پس از ترکیب نظرات خبرگان، فاکتورهای ارزیابی و حل مدل ریاضی میباشد.

در این تحقیق، یک چارچوب یکپارچه برای تصمیم گیری بهینه زنجیره تامین و بالانس خط مونتاژ به عنوان یک مساله تصمیم‌گیری استراتژیک و تاکتیکی پیشنهاد شد. شبکه زنجیره تامین که در این پروژه مورد بررسی قرار می‌گیرد دارای موقعیت‌های معمول مانند مجموعه‌ای از نقاط تقاضای غیر قطعی برای خدمت، مجموعه‌ای از مولفه‌ها برای تولید تولید کنندگان و مجموعه‌ای از محصولات است که در بخش مونتاژکار، مونتاژ می‌شوند و به مناطق مشتری ارسال می‌شوند. برای این کار در این پژوهش رویکردی تلفیقی از دو روش تصمیم گیری ارائه شد. به این منظور، در گام نخست با مطالعه و بررسی پیشینه پژوهش و مشورت با خبرگان، تعداد ۲۰ عامل تاثیرگذار بر زنجیره تامین و خط مونتاژ در آن شناسایی شد و سپس با بکارگیری رویکرد دیمتل و توسط نرم افزار اکسل تحلیل کمی روابط و تعامل میان این عوامل بر حسب اثرگذاری و اثرپذیری آنها ایجاد شد. بر اساس مدل گرافیکی ارائه شده، معیارهای ظرفیت تامین کنندگان، میانگین فاصله میان تامین‌کنندگان تا کارخانه، هزینه انتقال مواد اولیه به کارخانه، مدت زمان مونتاژ، نرخ بهره‌وری تولید، توان اسمی ماشین‌آلات، ظرفیت تولید، نرخ خروجی محصول و نرخ نیاز به مواد اولیه به عنوان ۹ عامل تاثیرگذار بدست آمدند. در مرحله بعد، به منظور تعیین مهم‌ترین عوامل اثرگذار و ایجاد رتبه بندی، رویکرد اولویت بندی ترتیبی مورد توجه قرار گرفت و که معیارهای مدت زمان مونتاژ، میانگین فاصله میان تامین کنندگان تا کارخانه و هزینه انتقال مواد اولیه به کارخانه در جایگاه اول تا سوم به لحاظ با اهمیت‌ترین معیارها قرار گرفتند. در انتها به عنوان ارائه پیشنهادات مدیریتی بر اساس نتایج بدست آمده تاکید می‌گردد از آنجایی که عملکرد مناسب یک زنجیره تامین نقش حیاتی در موفقیت سازمانها دارد. بنابراین، به کارگیری یک سیستم مناسب برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین به منظور بهبود مستمر آن امری ضروری به شمار می‌رود. از اینروی با توجه به اینکه در وضعیت رقابتی به ویژه در بنگاه‌های تولید، وضعیت عملکردی زنجیره تامین نقش مهمی در تولید ایفا می‌کند، ارزیابی مستمر عملکرد زنجیره تامین به ویژه از جنبه‌های هزینه، زمان تعیین شده از سمت کارخانه و فاصله میان تامین کنندگان و کارخانه گامی موثر در جهت بهبود عملکرد یک زنجیره تامین به شمار می‌رود. شایان به ذکر می‌باشد که نتایج بدست آمده در پژوهش فعلی وابستگی بالایی به نظر خبرگانی که مورد پژوهش قرار گرفتند دارد از اینرو ایجاد تغییر در نتایج با تغییر در جامعه آماری خبرگان متحمل می‌باشد که این مهم محدودیت پژوهش فعلی را شامل می‌شود. از اینرو پیشنهاد می‌شود که پژوهشگران به مطالعه رویکرد مفهوم و رویکرد پیشنهادی در سایر واحدهای تولیدی بپردازند تا تعمیم نتایج ایجاد شود و شناسایی عوامل موثر بر زنجیره تامین و بالانس خط تولید بر اساس اهداف تعریف شده در دیگر واحد تولیدی میسر شود. همچنین به عنوان یک پیشنهاد پژوهشی دیگر، می‌توان اذعان داشت با توجه به تعدد تکنیک‌های تصمیم‌گیری و مشاهده ردپای این مفهوم در هر سازمان و صنعت، بکارگیری سایر رویکرد های تصمیم‌گیری برای غربالگری معیارها، تعیین روابط علت و معلولی میان آنها و رتبه‌بندی معیارها، به عنوان پیشنهاد پژوهشی ارائه می‌شود.

٤- منابع

Alavidoost, M. H., Babazadeh, H., & Sayyari, S. T. (2016). An interactive fuzzy programming approach for bi-objective straight and U-shaped assembly line balancing

problem. *Applied Soft Computing, 40*, 221–235. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.07.019

Arampantzi, C., Minis, I., & Dikas, G. (2019). A strategic model for exact supply chain network design and its application to a global manufacturer. *International Journal of Production Research, 57*(5), 1371–1397. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1472944

Arifin, M. Z., Probowati, B. D., & Hastuti, S. (2015). Applications of queuing theory in the tobacco supply. *Agriculture and Agricultural Science Procedia, 3*, 255–261. https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.107

Ataei, Y., Mahmoudi, A., Feylizadeh, M. R., & Li, D. F. (2020). Ordinal priority approach (OPA) in multiple attribute decision-making. *Applied Soft Computing, 86*, 105893. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105893

Bakshi, F., Mahmoudi, M., Valmohammadi, M., & Hashemzadeh Khorasgani, G. (2023). Identifying and ranking the factors affecting the resilient supply chain strategies in medical centers with DIMATEl Gray technique and ANP. *Journal of Operations Management, 63*, 100951.

Binninger, M., Dlouhy, J., Müller, M., Schattmann, M., & Haghsheno, S. (2018). Short takt time in construction–a practical study. *Proceedings of the IGLC 26*, Chennai, India.

Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M., & Pilati, F. (2017). Multi-objective assembly line balancing considering component picking and ergonomic risk. *Computers & Industrial Engineering, 112*, 348–367. https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.07.018

Che, Z. H. (2017). A multi-objective optimization algorithm for solving the supplier selection problem with assembly sequence planning and assembly line balancing. *Computers & Industrial Engineering, 105*, 247–259. https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.07.022

Farahani, M., Shavandi, H., & Rahmani, D. (2017). A location-inventory model considering a strategy to mitigate disruption risk in supply chain by substitutable products. *Computers & Industrial Engineering, 108*, 213–224. https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.07.033

Fattahi, A., & Turkay, M. (2015). On the MILP model for the U-shaped assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research, 242*(1), 343–346. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.020

Fischer, S., Benzaman, B., Diegel, E., Soriano Gimenez, M., & Claudio, D. (2020). Effects of different types of imperfect advance demand information in production systems. *Journal of Simulation*, 1–13. https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1755673

Govindan, K., Fattahi, M., & Keyvanshokooh, E. (2017). Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions. *European Journal of Operational Research, 263*(1), 108–141. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.023

Haddadsisakht, A., & Ryan, S. M. (2018). Closed-loop supply chain network design with multiple transportation modes under stochastic demand and uncertain carbon tax. *International Journal of Production Economics, 195*, 118–131. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.12.017

Hamta, N., Shirazi, M. A., & Ghomi, S. F. (2016). A bi-level programming model for supply chain network optimization with assembly line balancing and push–pull strategy. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 230*(6), 1127–1143. https://doi.org/10.1177/0954405416646023

Hamzas, M. F. M. A., Bareduan, S. A., Zakaria, M. Z., Ghazali, S., & Zairi, S. (2017). A representation model for developing double-sided assembly line balancing model: An industrial case study. *AIP Conference Proceedings, 1885*(1), 020180. https://doi.org/10.1063/1.5014484

Hazır, Ö., & Dolgui, A. (2015). A decomposition-based solution algorithm for U-type assembly line balancing with interval data. *Computers & Operations Research, 59*, 126–131. https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.11.020

Kucukkoc, I., & Zhang, D. Z. (2015). Balancing of parallel U-shaped assembly lines. *Computers & Operations Research, 64*, 233–244. https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.02.003

Lai, T. C., Sotskov, Y. N., & Dolgui, A. (2019). The stability radius of an optimal line balance with maximum efficiency for a simple assembly line. *European Journal of Operational Research, 274*(2), 466–481. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.11.013

Li, L., Manier, H., & Manier, M. A. (2019). Hydrogen supply chain network design: An optimization-oriented review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 103*, 342–360. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.021

Lia, M., Tang, Q., Zheng, Q., Xia, X., & Floudas, C. (2017). Rules-based heuristic approach for the U-shaped assembly line balancing problem. *Applied Mathematical Modelling, 48*, 423–439. https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.11.029

Masmoudi, O., Yalaoui, A., Ouazene, Y., & Chehade, H. (2017). Lot-sizing in a multi-stage flow line production system with energy consideration. *International Journal of Production Research, 55*(6), 1640–1663. https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1153584

Mikhail, M., El-Beheiry, M., & Afia, N. (2019). Incorporating resilience determinants in supply chain network design model. *Journal of Modelling in Management, 14*(4), 908–927. https://doi.org/10.1108/JM2-02-2018-0011

Moreira, M. C. O., Pastor, R., Costac, A. M., & Miralles, C. (2017). The multi-objective assembly line worker integration and balancing problem of type-2. *Computers & Operations Research, 82*, 114–125. https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.03.007

Nallusamy, S. (2016). Productivity enhancement in a small-scale manufacturing unit through proposed line balancing and cellular layout. *International Journal of Performability Engineering, 12*(6), 523–534.

Pachghare, V., & Dalu, R. S. (2014). Assembly line balancing–a review. *International Journal of Science and Research, 3*(3), 807–811.

Petridis, K. (2015). Optimal design of multi-echelon supply chain networks under normally distributed demand. *Annals of Operations Research, 227*(1), 63–91. https://doi.org/10.1007/s10479-015-1933-4

Ramos-Hernández, R., Sánchez-Ramírez, C., Sandoval-Salas, F., Manotas-Duque, D. F., Rivera-Cadavid, L., & Pérez-Rodríguez, S. I. (2020). Systemic approach for the design of renewable energy supply chain generated from biomass. In *Techniques, tools and methodologies applied to global supply chain ecosystems* (pp. 259–283). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37095-8_14

Sabogal-De La Pava, M. L., Vidal-Holguín, C. J., Manotas-Duque, D. F., & Bravo-Bastidas, J. J. (2020). Supply chain design by minimizing equivalent present cost considering weighted variable costs. In *Techniques, tools and methodologies applied to global supply chain ecosystems* (pp. 285–305). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37095-8_15

Saidi, N. S., & Sadeghian, R. (2014). Solving the assembly line balance problem in multi-option operation sequence mode using integer linear programming model. In *International Conference on Modern Researches in Management and Industrial Engineering*. https://doi.org/10.1109/MRME.2014.25

Samadi, A., Mehranfar, N., Fathollahi Fard, A. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2018). Heuristic-based metaheuristics to address a sustainable supply chain network design problem. *Journal of Industrial and Production Engineering, 35*(2), 102–117. https://doi.org/10.1080/21681015.2017.1405316

Samizadeh, R. (2015). Presenting an integrated model to optimize distribution network and production planning considering assembly line balance. In *International Conference on Industrial Engineering and Management*. https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2015.118

Seçme, G., & Özbakır, L. (2019). An assembly line balancing application on oven production line with hyper-heuristics. *International Journal of Operations Research and Information Systems, 10*(3), 44–58. https://doi.org/10.4018/IJORIS.2019070103

Sharma, M., Joshi, S., & Kumar, A. (2020). Assessing enablers of e-waste management in circular economy using DEMATEL method: An Indian perspective. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(12), 13325–13338. https://doi.org/10.1007/s11356-019-07184-8

Solís-Quinteros, M. M., & Ávila-López, L. A. (2020). Effective design of service supply chains in México. In *Techniques, tools and methodologies applied to global supply chain ecosystems* (pp. 237–258). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37095-8_13

Sun, B. Q., & Wang, L. (2019). A decomposition-based matheuristic for supply chain network design with assembly line balancing. *Computers & Industrial Engineering, 131*, 408–417. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.03.023

Zokaee, S., Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Sadjadi, S. J. (2017). Robust supply chain network design: An optimization model with real-world application. *Annals of Operations Research, 257*(1–2), 15–44. https://doi.org/10.1007/s10479-017-2554-9

A Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Framework for Identifying and Prioritizing Factors Influencing Supply Chain Performance through Production Line Balancing

Omid Aghamoradi Bisetooni
Department of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
Mehrdad Nikbakht (Corresponding Author)
Assistant Professor of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
E-mail: nikbakht2020@yahoo.com
Mohammad Reza Feylizadeh
Associate Professor of Industrial Engineering, Faculty of Manufacturing Engineering and Industrial Technologies, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
Arash Shahin
Professor, Department of Quality Management and Industrial Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract
Supply chain management operates across three levels: strategic, tactical, and operational. Strategic decisions focus on optimizing the network's structure, including design, location, and the number of facilities. Tactical decisions relate to production scheduling, inventory control, and coordinating activities among facilities, while operational decisions involve the short-term execution of these strategies. Effectively integrating and optimizing decision-making across these levels is crucial. In this context, supply chain network design is considered a strategic decision, while production line balancing is a tactical issue. Recognizing the importance of these interconnected factors, this study aims to identify and prioritize the key elements that influence both supply chain efficiency and assembly line balancing. To achieve this, a hybrid decision-making framework combining the DEMATEL method and a Sequential Prioritization approach is proposed. First, a comprehensive list of criteria affecting the supply chain is compiled; then, the DEMATEL technique is used to clarify causal relationships among these factors and to eliminate less impactful ones. After expert-based filtering of insignificant criteria, the Triby prioritization method ranks the remaining key factors. The analysis identifies assembly time, the average distance between suppliers and manufacturing facilities, and transportation costs of raw materials as the most critical factors, ranked first through third, respectively. The results offer practical managerial recommendations to improve supply chain performance through targeted interventions on these key influences.

Keywords: Supply chain management, Production line balancing, DEMATEL, Sequential prioritization, Decision-making.

.