Journal of Quality Engineering and Management

www.pqprc.ir

J. Qual. Eng. Manag. Vol. 15, No. 1 (2025) 67–82.

Paper Type: Original Article

Proposing a Conceptual Model for Influential Factors in Determining the Aggregation Coefficient in Production Planning Using Fuzzy Interpretive Structural Modeling

Mazdak Khodadadi Karimvand[1], Hadi Shirouyehzad[1,*], Farhad Hosseinzadeh Lotfi[2]

[1] Department of Industrial Engineering, Na.C., Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran; mazdak.khodadadi@sin.iaun.ac.ir; hadi.shirouyehzad@iau.ac.ir.

[2] Department of Mathematics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; hosseinzadeh_lotfi@yahoo.com.

Citation:

Received: 09 August 2024 *Revised: 27 October 2024* *Accepted: 04 December 2024*	Khodadadi Karimvand, M., Shirouyehzad, H., & Hosseinzadeh Lotfi, F. (2025). Proposing a conceptual model for influential factors in determining aggregation coefficient in production planning using fuzzy interpretive structural modeling. *Journal of Quality Engineering and Management, 15*(1), 67-82.

Abstract

Purpose: Given that determining the aggregate coefficient is a key constraint in Aggregate Production Planning (APP), this study seeks to identify the factors influencing this coefficient and to analyze them using Fuzzy Interpretive Structural Modeling (FISM) to explore their interrelationships.

Methodology: After identifying the key factors influencing the aggregate coefficient, an Interpretive Structural Modeling (ISM) questionnaire was distributed among experts, and the responses were aggregated. Subsequently, the FISM steps were carried out. Finally, an interaction network was constructed, and an analysis was performed to evaluate the degree of dependence and driving power among the identified factors.

Findings: The developed interpretive structural model comprised 11 hierarchical levels. The fuzzy analysis of dependence and driving power indicated that none of the factors were categorized as autonomous, reflecting a strong degree of interconnection among the variables within the model.

Originality/Value: Production planning for multiple products utilizing shared resources is a complex challenge. Thus, analyzing the variables that influence the determination of the aggregate coefficient in production planning provides valuable insights, facilitating informed decision-making, particularly in optimizing resource allocation to achieve an optimal production level.

Keywords: Aggregate coefficient, Aggregate production planning, Fuzzy logic, Interpretive structural modeling.

Corresponding Author: mazdak.khodadadi@sin.iaun.ac.ir

10.48313/jqem.2025.515177.1512

Licensee System Analytics. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

مهندسی و مدیریت کیفیت

www.pqprc.ir

دوره ۱۵، شماره (۱)، (۱۴۰۴)، ۸۲-۶۷

نوع مقاله: پژوهشی

ارایه مدل مفهومی از عوامل موثر بر تعیین ضریب ادغامی در برنامه‌ریزی تولید، با استفاده از مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی

مزدک خدادادی کریموند[۱]، هادی شیرویه زاد[۱،*]، فرهاد حسین زاده لطفی[۲]

[۱] گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

[۲] گروه ریاضی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

هدف: با توجه به این‌که یکی از محدودیت‌ها و مسایل در برنامه‌ریزی تولید ادغامی تعیین مقدار ضریب ادغام است، این پژوهش به شناسایی عوامل موثر بر ضریب ادغام در برنامه‌ریزی تولید و تجزیه‌وتحلیل آنان با استفاده از رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی می‌پردازد تا تاثیر این عوامل بر یکدیگر موردبررسی قرار گیرد.

روش‌شناسی پژوهش: در این پژوهش پس از شناسایی عوامل موثر در تعیین ضریب ادغام، پرسشنامه مدل‌سازی ساختاری تفسیری بین خبرگان توزیع و پس از تجمیع آن‌ها مراحل مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی طی و درنهایت ضمن ترسیم شبکه تعاملات به تجزیه‌وتحلیل شدت و نفوذ و وابستگی عوامل پرداخته شده است.

یافته‌ها: مدل ساختاری تفسیری ارایه‌شده دارای یازده سطح می‌باشد که پس از تجزیه‌وتحلیل نفوذپذیری و میزان وابستگی به‌صورت فازی هیچ‌یک از عوامل در دسته خودمختار قرار نگرفت که بیانگر ارتباط قوی متغیرها در مدل به‌دست آمده می‌باشد.

اصالت/ارزش افزوده علمی: برنامه‌ریزی تولید برای محصولات متفاوت با منبع یکسان یک مساله پیچیده است و از این‌رو تجزیه‌وتحلیل عوامل موثر بر تعیین مقدار ضریب ادغام در برنامه‌ریزی تولید سبب درک بهتر موضوع جهت اتخاذ تصمیم‌های مناسب به‌ویژه در به‌کار گیری منابع مشترک در راستای تعیین سطح تولید بهینه می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: ضریب تجمعی، برنامه‌ریزی تولید تجمعی، منطق فازی، مدل‌سازی ساختاری تفسیری.

۱- مقدمه

بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید در همه صنایع یک چالش بوده و امروزه با پیچیده‌تر شدن شرایط تولید، برنامه‌ریزی تولید نقش پر رنگ‌تری را در موفقیت شرکت‌های بزرگ تولیدی ایفا می‌نماید و در صنعت امروز، تولیدکنندگان دامنه گسترده‌ای از فرآیندها را برای تولید محصولات گوناگون درنظر می‌گیرند. این محصولات معمولا منابع مشترک دارد. با این‌حال، این رخداد ممکن است منجر به مشکلاتی در فرآیند برنامه‌ریزی تولید شود. جهت حل کردن این مساله، نیاز است که تخصیص منابع به‌صورت مناسبی در برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت صورت بگیرد [1]. به‌طور کلی،

دامنه گسترده‌ای از پیچیدگی‌ها در حوزه‌ی برنامه‌ریزی تولید وجود دارد. این مشکل زمانی بیشتر می‌شود که یک برنامه‌ریزی تولید برای چندین محصول متفاوت می‌بایست به‌صورت هم‌زمان اجرا می‌شود [2]، [3]. یک مشکل هزینه‌های دیگر در برنامه‌ریزی تولید، عدم تعادل میان برنامه ریزی‌های اولیه و درصد اجرایی شدن آن‌ها است. واضح است که شناسایی این مشکلات در برنامه‌ریزی بلندمدت منجر به کاهش هزینه‌ها در کوتاه مدت و میان مدت می‌شود [4]. در برنامه‌ریزی تولید ادغامی تلاش می‌شود تا ضمن بهترین استفاده از منابع موجود، هزینه‌های کل سیستم تولیدی کمینه گردد و به‌عنوان یک ابزار حیاتی برای تولید و عملیات جز لاینفک مدیریت تولید است که بین برنامه‌ریزی بلند مدت و کوتاه مدت قرار می‌گیرد. هدف برنامه‌ریزی تولید ادغامی تعیین سطح کل تولید برای هر خانواده محصول، اتخاذ تصمیمات مربوط به استخدام یا برون‌سپاری، رسیدگی به اضافه‌کاری، سفارش‌های عقب‌افتاده، پیمانکاران فرعی، مدیریت سطوح موجودی و شناسایی مناسب‌ترین منابع موردنیاز است [5]. اساسا، برنامه‌ریزی تولید ادغامی به پیش‌بینی تقاضای مشتری با تنظیم نرخ تولید، سطوح اضافه‌کاری، سطح موجودی، سطح نیروی کار، قراردادهای فرعی، سفارش‌های عقب‌افتاده و سایر متغیرهای کنترلی کمک می‌کند. این رویکرد با همسوسازی ظرفیت و پیش‌بینی تقاضا در زمانی که سفارش‌های مشتری به‌طور غیرمنتظره‌ای تغییر می‌کند کاربرد دارد [6].

همان‌طور که اشاره شد، یکی از اهداف برنامه‌ریزی تولید ادغامی به‌کار گیری بهتر منابع در جهت ارایه‌ی پاسخ مناسب به تقاضا است [7]. افق زمانی برنامه‌ریزی تولید ادغامی میان‌مدت است برنامه‌ریزی تولید برای محصولات متفاوت با منبع یکسان یک مساله‌ی پیچیده است [8]. برنامه‌ریزی تولید ادغامی به‌عنوان روشی مفید می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا منابع تولید خود را بهتر تخصیص دهند، پس از آن‌جایی که در فرآیند تولید، منابع مشترک جهت تولید محصولات مختلفی اختصاص داده می‌شوند که ضرایب مصرف متفاوتی دارند، برنامه‌ریزی تولید ادغامی باید یک بخش مشترک بین محصولات ایجاد کند تا برنامه‌ریزی تولید دربرگیرنده همه محصولات باشد [9]، [10]. ضریب ادغامی می‌تواند معیاری برای همگن‌سازی در برنامه‌ریزی تولید ادغامی در تعیین سطح تولید بهینه برای یک دوره خاص در رابطه با محدودیت‌های منابع باشد [6]، [11]. علی‌رغم اهمیت آن، تنها مطالعات اندکی در مورد تعیین ضریب ادغامی در زمینه برنامه‌ریزی تولید ادغامی انجام شده است [12-14]. برنامه‌ریزی، تمرکز بر پیش‌بینی بازار یا سیاست‌های تولید بوده است [15]؛ اما یکی از موضوعاتی که در برنامه‌ریزی تولید ادغامی مطرح می‌شود، تعیین ضریب ادغام است که به‌عنوان پل ارتباطی بین پیش‌بینی بازار یا سفارش‌ها و سیاست‌های تولید عمل می‌کند. در برخی از مطالعات به مراحل قبل و بعد از برنامه‌ریزی تولید مانند پیش‌بینی تقاضا، بازاریابی، سفارش‌ها، استراتژی‌ها و سیاست‌ها توجه بیشتری شده است. در مواردی که استراتژی تولید مبتنی بر موقعیت سفارش، مونتاژ مبتنی بر سفارش[1] یا مهندسی مبتنی بر سفارش[2] است و دغدغه اصلی تولیدکننده پیش‌بینی تقاضا و بازار نیست، محاسبه دقیق و علمی ضریب ادغام برای بهینه‌سازی بسیار مهم است [16]، [17]؛ بنابراین، تعیین نادرست این ضریب می‌تواند منجر به انحراف از سطح بهینه تولید و عدم همسویی مناسب ظرفیت و ایجاد چالش‌هایی برای مدیران حوزه تولید شود. از این‌رو با توجه به این‌که ضریب ادغام یک معیار جهت همگن‌سازی است و مساله ادغام، مشکل دشوار یافتن روشی تجربی یا نظری معتبر برای یک ادغام است. به‌عنوان مثال ادغام تقاضاها جهت محاسبه تقاضای کل[3] (ادغامی)، ادغام عرضه‌ها جهت محاسبه عرضه کل[4] (ادغامی) و همچنین ادغام محصولات در برنامه‌ریزی تولید ادغامی[5]، ادغام مشتریان و محصولات جهت کاربردهای گوناگون موردتوجه پژوهشگران بوده است. به‌ویژه در برنامه‌ریزی تولید هنگامی‌که تعداد زیادی از محصولات از منابع یکسانی تولید می‌شوند مسایل پیچیده‌تر می‌شود. برنامه‌ریزی تولید می‌تواند به مدیران کمک کند تا به‌گونه‌ای تخصیص منابع را انجام دهد که نیازهای مصرف‌کنندگان با بالاترین سطح بهره‌وری برطرف شود. برنامه‌ریزی تولید ادغامی زمانی به‌کار می‌رود که محصولات گوناگون در یک سازمان تولید شوند. به همین جهت برنامه‌ریزی معمولا بر مبنای یک ضریب ادغامی صورت می‌پذیرد؛ لذا هدف برنامه‌ریزی تولید ادغامی تعیین سطح تولید بهینه برای مدت زمانی خاص در رابطه با محدودیت منابع است و تعیین نادرست ضریب ادغام می‌تواند منجر به انحراف تولید از سطح بهینه و عدم همسان کردن ظرفیت و پیش‌بینی‌های تقاضاها به‌صورت اصولی گردد و به دنبال آن اجرای برنامه تولید را با اختلال مواجه نماید، درنتیجه تعیین ضریب ادغام یکی از چالش‌های مدیران است. هدف اصلی در این مقاله با توجه به اهمیت برنامه‌ریزی ادغامی و تعیین ضریب

[1] Assembly to Order (ATO)
[2] Engineer to Order (ETO)
[3] Aggregate demand
[4] Aggregate supply
[5] Aggregate Production Planning (APP)

ادغامی، شناسایی مهم‌ترین عوامل موثر بر ضریب ادغام است که در ادامه پس از شناسایی این عوامل موثر با استفاده از رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی و تجزیه‌وتحلیل نفوذپذیری و میزان وابستگی[1] این عوامل موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند تا تصمیم‌گیری جهت تعیین سطح تولید بهینه و تخصیص بهتر منابع مشترک تسهیل گردد.

۲-مبانی نظری

۲-۱- برنامه‌ریزی تولید ادغامی

از هنگامی‌که هالت و همکاران [18] قاعده *HMMS*[2] را ارایه کردند، محققان مدل‌های بی‌شماری را با مزایا و معایب مختص به خود، جهت کمک به حل مسایل برنامه‌ریزی تولید ادغامی توسعه داده‌اند. بر اساس یافته‌های مقاله ساد [19]، بیشتر مدل‌ها در برنامه‌ریزی تولید ادغامی می‌تواند به شش گروه طبقه‌بندی شود: برنامه‌ریزی خطی[3]، قاعده تصمیم‌گیری خطی[4]، روش‌های حمل‌ونقل[5]، روش ضریب مدیریت[6]، قاعده جستجوی تصمیم[7] و شبیه‌سازی[8]. در پژوهشی، پیشنهاد گردید که می‌توان از برنامه‌ریزی آرمانی خطی[9] برای مدل‌سازی سامانه تولید چند محصولی استفاده نمود. از ظرفیت‌های مدل‌سازی منحصربه‌فرد از این نوع برنامه‌ریزی برای حل مساله برنامه‌ریزی تولید با پارامترهای منبع متغیر استفاده شد. یافته‌های اولیه اطلاعات ارزشمندی در مورد برنامه‌ریزی تولید ادغامی و تاثیر هزینه تولید، ظرفیت تولید، نوع کارگر موردنیاز، فروش و فضای موردنیاز برای هر واحد یا نوع از محصول در اختیار پژوهشگران قرار داد [20].

مروری جامع بر پژوهش‌های اولیه در مقاله‌ای از نم و لوگندران [7] ارایه شده است. آن‌ها مقالات پژوهشی برنامه‌ریزی تولید ادغامی را که شامل ۱۴۰ مقاله ژورنالی و ۱۲ کتاب بود مرور کردند و سپس طبقه‌بندی را ارایه کردند و انواع تکنیک‌های موجود را به‌طور خلاصه در چارچوبی مشخص ارایه نمودند. تکنیک‌های آن تحقیقات از روش‌های گرافیکی ساده تا جست‌وجوهای پیچیده، روش‌های دینامیکی و اکتشافی را دربر می‌گرفت که می‌توان این روش‌ها را در دو دسته جای داد: روش‌هایی که راه‌حل بهینه دقیق را تضمین می‌کند و روش‌هایی که این‌گونه نبودند. در دهه‌های اخیر، بسته به فرضیات و مدل‌سازی‌های پیشرفته مطرح‌شده، مسایل برنامه‌ریزی تولید ادغامی نسبتا پیچیده شده و مقیاس آن افزایش یافته است. در ادبیات این حوزه، تمایلی خاص برای حل مسایل بزرگ پیچیده با استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی مدرن دیده می‌شود. برنامه‌ریزی تولید ادغامی بهترین راه برآورده کردن تقاضای مشتریان را از طریق تنظیم نرخ تولید در وقت عادی و اضافه‌کاری، سطوح موجودی، سطوح نیروی کار، قراردادهای جنبی، سفارش‌های عقب‌افتاده و سایر متغیرهای کنترلی، مشخص می‌نماید [21]. در پژوهشی دیگر، روش نوینی از برنامه‌ریزی خطی فازی[10] برای حل مساله برنامه‌ریزی تولید ادغامی با اهداف چندگانه ارایه شد که طی آن، قیمت محصول، هزینه واحد به قرارداد فرعی، سطح نیروی کار، ظرفیت تولید و تقاضای بازار، ذاتا، فازی درنظر گرفته شدند. در این مطالعه فروش هر واحد محصول به‌عنوان موثرترین عامل در برنامه‌ریزی تولید شناخته شده است [8]. در مطالعه‌ای که در یکی از بنگاه‌های اقتصادی اروپا انجام پذیرفته یک مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی بر اساس معیارهای عملکرد همچون به حداکثر رساندن سود، به حداقل رساندن تاخیر در سفارش و به حداقل رساندن سطح تغییرات نیروی کار، مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چند معیاری[11] توسعه داده شد. این مدل ویژگی‌های عملیاتی خاصی، از جمله انعطاف‌ناپذیری جزیی نیروی کار، محدودیت‌های قانونی در مورد اضافه‌کاری، اندازه نیروی کار (تعداد کارکنان استخدام‌شده و تعدیل نیروی کار)، کارکنان تحت آموزش و تولید و ظرفیت انبار دارد [22]. در مقاله‌ای دیگر، مساله برنامه‌ریزی تولید ادغامی با شروط عملیاتی متفاوتی بررسی شد که از جمله می‌توان به ظرفیت تولید، سطح نیروی کار، مکان کارخانه، بهره‌گیری از ماشین‌آلات، فضای انبار کردن و دیگر محدودیت‌های منبع اشاره کرد. سه کارخانه تولیدی در آمریکای شمالی و یک کارخانه در چین را به‌طور هم‌زمان موردمطالعه قرار گرفتند [23]. در پژوهشی دیگر نیز با استفاده از داده‌های یک شرکت تولیدکننده قطعات، اقدام به بهینه‌سازی

[1] Matrix Cross-reference Multiplication Applied to a Classification (MICMAC)
[2] Holt, Modigliani, Muth and Simon (HMMS)
[3] Linear Programming (LP)
[4] Linear Decision Rule (LDR)
[5] Transportation methods
[6] Management coefficient approach
[7] Search decision rule
[8] Simulation
[9] Linear Goal Programming (LGP)
[10] Fuzzy Linear Programming (FLP)
[11] Multiple Criteria Mixed Integer Linear Programming (MCMILP)

برنامه تولید در راستای کاهش هزینه‌ها، کاهش تاخیر در تحویل قطعات با توجه به عدم قطعیت‌های موجود نموده‌اند [24]. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، برنامه‌ریزی تولید برای محصولات متفاوت با منبع یکسان یک مساله‌ی پیچیده است. برنامه‌ریزی تولید ادغامی به‌عنوان روشی مفید می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا منابع تولید خود را در جهت تولید بهتر تخصیص دهند داده و به مدیر کمک کند تا تصمیمات بهتری در حوزه‌ی استخدام، تعلیق از خدمت، اضافه‌کاری، کمبود کالا، تامین منبع از خارج، تعیین سطح تولید و صورت کالا اتخاذ نماید [9]. در مطالعه‌ای دیگر روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات[1] از مدل‌های دسته شدن پرندگان[2] مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه عواملی همچون نوع و تعداد کارگر، هزینه مواد و هزینه نگه‌داری موجودی در واحد محصول، هزینه ذخیره‌سازی برای هر محصول، هزینه قرارداد، استخدام، اخراج و اضافه‌کاری مدنظر قرار گرفت [25].

۲-۲- مدل‌سازی ساختاری تفسیری

وارفیلد [26] مدل‌سازی ساختاری تفسیری را در سال ۱۹۷۴ ارایه کرده است. این روش به طبقه‌بندی عوامل و شناسایی روابط بین معیارها می‌پردازد. فرآیند مدل‌سازی ساختاری تفسیری مدل‌های ذهنی نامشخص و ضعیف سیستم‌ها را به مدل‌های قابل‌مشاهده و کاملا تعریف‌شده تبدیل می‌کند. این سیستم ممکن است کوچک یا بزرگ باشد و ممکن است فنی، اجتماعی، پزشکی یا هر سیستمی باشد که حاوی عناصر قابل‌شناسایی است که به‌نوعی با یکدیگر مرتبط هستند [26]. رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری یک متدولوژی موثر و کارا برای موضوعاتی است که در آن متغیرهای کیفی در سطوح مختلف اهمیت بر یکدیگر آثار متقابل دارند. با استفاده از این تکنیک می‌توان ارتباطات و وابستگی‌های بین متغیرهای کیفی مساله را کشف کرد [27]. در زیر تمامی مراحلی که برای توسعه مدل موردنظر با استفاده از مدل‌سازی ساختاری تفسیری موردنیاز است، اشاره می‌شود [28-30].

۱. تعیین متغیرهای مورد استفاده در مدل
۲. به‌دست آوردن ماتریس ساختاری روابط درونی متغیرها *SSIM*[3]
۳. به‌دست آوردن ماتریس دست‌یابی
۴. سازگار کردن ماتریس دست‌یابی
۵. تعیین سطح و اولویت متغیرها
۶. ترسیم مدل ساختاری تفسیری
۷. تجزیه‌وتحلیل نفوذپذیری و میزان وابستگی با استفاده از نمودار *MICMAC*[4]

۲-۳- مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی

مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی توسعه مدل‌سازی ساختاری تفسیری اولیه است که با هدف مدل‌سازی روابط انتزاعی بین متغیرهای مربوط به یک رویداد، پدیده، فعالیت یا نتیجه خاص که نسبتا ساختاری است و یک تصویر منطقی و ساده ارایه می‌دهد به وجود آمد. برای این منظور، نظرات و قضاوت‌های تعداد معقولی از متخصصان با استفاده از هر تکنیک تعامل گروهی (رویکرد اجماع) یا حتی روش نظر گسسته (که در آن تصمیم بر اساس تمایل اکثریت است) جستجو می‌شود. این باعث می‌شود این تکنیک مدل‌سازی ماهیت تفسیری و ساختاری داشته باشد [31-35].

[1] Particle Swarm Optimization (PSO)
[2] Bird flocking
[3] Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)
[4] Matrix Cross-reference Multiplication Applied to a Classification (MICMAC)

۳- متدولوژی

۳-۱- شناسایی عوامل موثر در تعیین ضریب ادغام

در این تحقیق، ادبیات موضوع برای یک دوره زمانی وسیع موردبررسی قرار گرفت تا عوامل موثر در تعیین ضریب ادغامی شناسایی شوند. نتایج این بررسی پیشینه در **جدول ۲** ارایه شده است.

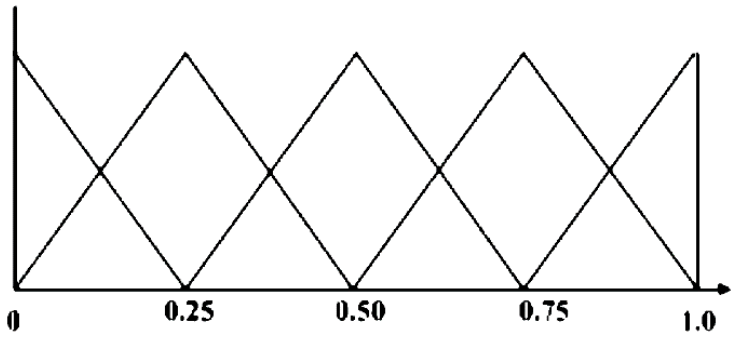
۳-۲- مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی

مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی برای مقابله با عدم قطعیت‌ها و ابهامات موجود در تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد که باعث دقت بیشتر در نتایج می‌گردد. گام‌های این روش در ادامه آورده شده است [38-36]:

۳-۲-۱- تشکیل ماتریس ارتباطات مستقیم فازی[1]

در این گام با استفاده از طیف **جدول ۱** ماتریس ارتباطات مستقیم فازی را برای هر خبره تشکیل می‌دهیم. در این جدول مجموعه مقادیر مربوط به متغیرهای زبانی $T(x)$ به‌صورت زیر است [39].

$$T(x) = \{W;\ W;\ R;\ S;\ VS\}, Variation\ range\ of\ the\ reference\ set\ = [0;\ 1] = U.$$



شکل ۱- تابع عضویت فازی مثلثی [38].

Figure 1- Triangular fuzzy membership functions [38].

جدول ۱- تعریف متغیرهای زبانی [38].

Table 1- Definition of verbal variables [38].

Code	Verbal Variable	Fuzzy Triangular Number
0	Very weak	(0,0,0.25)
1	Weak	(0,0.25,0.5)
2	Relatively	(0.25,0.5,0.75)
3	Strong	(0.5,0.75,1)
4	Very strong	(0.75,1,1)

۳-۲-۲- غیرفازی کردن ماتریس ارتباطات مستقیم[2]

[1] Initial direct-relation fuzzy matrix

[2] Initial direct-relation de-fuzzy matrix

در این گام با استفاده از **رابطه (۱)** ماتریس ارتباطات مستقیم را دیفازی می‌کنیم. در این رابطه L حد پایین عدد فازی، M حد میانی و U حد بالای عدد فازی است. لی و لی [40] از این رابطه استفاده نمودند و مقادیر دیفازی از این روش بسیار نزدیک به مقادیر حاصل از روش مرکز سطح[1] و چن و هوانگ [41] و خروجی فرمول مینکوفسکی است [42-44].

$$\frac{L+M+U}{3}. \qquad (۱)$$

۳-۲-۳- تشکیل ماتریس دست‌یابی اولیه

در این گام ابتدا پس از تجمیع پرسشنامه‌ها، ماتریس ارتباط مستقیم دیفازی شده با تعیین مقدار آستانه و بر اساس نظر خبره‌ها صورت می‌پذیرد و سپس هر درایه ماتریس دیفازی شده از مقدار آستانه کمتر بود، مقدار صفر و در غیر این صورت مقدار یک اختیار می‌کند [45]، [46].

۳-۲-۴- سازگار کردن ماتریس دست‌یابی

پس از این‌که ماتریس اولیه دست‌یابی به‌دست آمد، باید سازگاری درونی آن برقرار شود. به‌عنوان نمونه اگر متغیر ۱ منجر به متغیر ۲ شود و متغیر ۲ منجر به متغیر ۳ شود، باید متغیر ۱ نیز منجر به متغیر ۳ شود و اگر در ماتریس دسترسی این حالت برقرار نبود، باید ماتریس اصلاح شود و روابط این چنینی اصلاح و ایجاد شوند. این سازگاری با استفاده از روابط ثانویه که ممکن است وجود نداشته باشند به ماتریس دست‌یابی اولیه افزوده می‌شوند. در روشی که در این مقاله استفاده‌شده از قوانین ریاضی برای ایجاد سازگاری در ماتریس دست‌یابی استفاده می‌شود. به این صورت که ماتریس دست‌یابی را به توان $K+1$ می‌رسانند و K بایستی بزرگ‌تر یا مساوی یک باشد، البته عملیات به توان رساندن بایستی طبق قواعد جبر بولی[2] باشد [46].

۳-۲-۵- تعیین سطح متغیرها

در این گام مجموعه معیارهای ورودی (پیش‌نیاز) و خروجی (دست‌یابی) برای هر معیار را محاسبه می‌کنیم و سپس عوامل مشترک را نیز مشخص می‌کنیم در این گام معیاری دارای بالاترین سطح است که مجموعه خروجی (دست‌یابی) با مجموعه مشترک برابر باشد. پس از شناسایی این متغیر یا متغیرها، سطر و ستون آن‌ها را از جدول حذف می‌کنیم و عملیات را دوباره بر روی دیگر معیارها تکرار می‌کنیم. خروجی‌ها و ورودی‌ها از ماتریس دست‌یابی اولیه سازگار شده استخراج می‌شود. برای این کار، تعداد یک‌ها در هر سطر بیانگر خروجی و تعداد یک‌ها در ستون برابر ورودی هستند.

۳-۲-۶- ترسیم شبکه تعاملات

در این گام با توجه به سطوح معیارها و روابط بین آن‌ها ترسیم شبکه تعاملات ایجاد می‌شود. با استفاده از سطوح به‌دست آمده از معیارها، شبکه تعاملات رسم می‌شود. اگر بین دو متغیر i و j رابطه باشد آن را به‌وسیله یک پیکان جهت‌دار نشان می‌دهیم.

۳-۲-۷- تحلیل شدت نفوذ و وابستگی[3]

ماتریسی که جهت بررسی اثر متقابل متغیرها و دسته‌بندی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، ماتریس شدت نفوذ و وابستگی و به به‌طور اختصار *MICMAC* نامیده می‌شود [47]. در این تجزیه‌وتحلیل متغیرها برحسب نفوذپذیری و وابستگی به چهار دسته تقسیم و تحلیل می‌شوند.

[1] Centroid (Centroid-of-gravity)
[2] Boolean Algebra
[3] Matrix Cross-reference Multiplication Applied to a Classification (MICMAC)

۴- نتایج و یافته‌ها

۴-۱- نتایج شناسایی عوامل موثر در تعیین ضریب ادغامی

با مرور ادبیات موضوع می‌توان پی برد که مطالعات بسیار کمی در خصوص نحوه تعیین ضریب ادغامی با توجه به اهمیت آن در برنامه‌ریزی تولید ادغامی صورت پذیرفته است و در سایر مطالعات نیز بیشتر با فرض وجود ضریب‌های ادغامی به مراحل قبل از ادغام، از جمله پیش‌بینی تقاضا، بازاریابی و سفارش‌ها و همچنین مراحل بعد از آن یعنی رویکردها و سیاست‌ها در برنامه‌ریزی تولید ادغامی پرداخته شده است. در پژوهش‌های صورت‌گرفته در برنامه‌ریزی تولید ادغامی اغلب تمرکز بر پیش‌بینی بازار و یا اتخاذ سیاست‌های تولیدی بوده که در این میان یکی از مسایل برنامه‌ریزی ادغامی به‌عنوان پل ارتباطی بین پیش‌بینی بازار یا سفارش‌ها و سیاست‌های تولیدی نحوه تعیین ضریب ادغامی است. همان‌گونه که بیان شد هدف برنامه‌ریزی تولید ادغامی تعیین سطح تولید بهینه برای مدت زمانی خاص در رابطه با محدودیت منابع است؛ لذا تعیین نادرست ضریب ادغام منجر به عدم همسان کردن ظرفیت و پیش‌بینی‌های تقاضاها به‌صورت اصولی شود و اجرای تصمیمات مدیران در حوزه تولید را با چالش مواجه نماید. با توجه به اهمیت برنامه‌ریزی ادغامی در ابتدا به شناسایی و تعیین عوامل موثر بر ضریب ادغامی بر اساس مطالعات پژوهش‌های گذشته پرداخته شده است. در برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصولی، محصولات به چند خانواده تقسیم می‌شوند و هر خانواده محصول، نماینده چندین محصول شبیه به هم می‌باشد. این شباهت می‌تواند بر اساس شباهت ظاهری، شباهت فرآیندهای تولیدی و یا شباهت هزینه‌های تولیدی و سود حاشیه‌ای باشد. یکی از مشکلات اصلی برنامه‌ریزی ادغامی با درنظر گرفتن این واقعیت که نحوه تعیین ضریب ادغام ممکن است مشکلاتی به دنبال داشته باشد و همان‌گونه که بیان شد هدف برنامه‌ریزی تولید ادغامی تعیین سطح تولید بهینه برای مدت زمانی خاص در رابطه با محدودیت منابع است؛ لذا تعیین نادرست ضریب ادغام منجر به عدم همسان کردن ظرفیت و پیش‌بینی‌های تقاضاها به‌صورت اصولی شود و اجرای تصمیمات مدیران در حوزه تولید را با چالش مواجه نماید. در **جدول ۲** مهم‌ترین عوامل موثر بر تعیین ضریب ادغام را که از بررسی پیشینه پژوهش جمع‌آوری شده است آمده است.

جدول ۲- عوامل موثر بر تعیین ضریب ادغام.

Table 2- Influential factors in determining aggregation coefficient.

No.	Factors	Reference
1	Production cost per unit of product	Kendall and Schniederjans [20], Silva et al. [22], Baykasoglu and Gocken [9]
2	Production capacity of each product	Kendall and Schniederjans [20], Kiran [6]
3	Storage cost per unit of product	
4	Selling price per unit of product	
5	Storage space needed per unit of product	
6	Required number of work force per unit of product	Silva et al. [22], Krynke [48]
7	Number of worker types per unit of product	Kendall and Schniederjans, [20], Wang and Yeh, [25]
8	Material cost per unit of product	Wang and Yeh [25], Kiran [6]
9	Production time per unit of product	
10	Available production time	
11	Inventory holding cost per unit of product	Silva et al. [22], Wang and Yeh [25]
12	Subcontracting cost per unit of product	
13	Training cost per worker for each product unit	
14	Transportation cost per unit of product	Leung and Chan [23], Vaezi [49]
15	Workforce cost per unit of product in regular hours	Silva et al. [22], Leung and Chan [23], Wang and Yeh [25]
16	Workforce cost per unit of product in overtime hours	
17	Production cost per unit of product in regular hours	Silva et al. [22], Leung and Chan [23]
18	Production cost per unit of product in overtime hours	
19	Variety number of products	MacDuffie et al. [50], Hobday [51], Orfi et al. [52]
20	Number of parts	
21	Number of processes	
22	Number of functions	
23	Product/ component geometry relation between components uncertainty	
24	Product newness	
25	Production shortage cost per unit of product	Leung and Chan [23], Wang and Yeh [25], García-Alcaraz et al. [53], Van den Berge et al. [54]
26	Product retention	

۲-۴- نتایج مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی

در این بخش پس از تهیه و توزیع پرسشنامه از عوامل موثر شناسایی‌شده، طبق مراحل زیر برای تجمیع پرسشنامه‌ها و سطح‌بندی عوامل پژوهش بر اساس تاثیرگذاری و تاثیرپذیری اقدام می‌شود. بدین منظور از افراد خبره خواسته شد تا نوع ارتباطات دو به دوی متغیرها را تعیین نمایند. خبرگان در این پژوهش از میان مدیران و کارشناسان صنعت و همچنین اساتید دانشگاه انتخاب شدند.

گام ۱- تشکیل ماتریس ارتباطات مستقیم فازی

در این بخش با استفاده از طیف ۰ تا ۴ **جدول ۲** و بر اساس نظرات خبره‌ها ماتریس ارتباطات مستقیم فازی تشکیل شد که در **جدول ۳** آورده شده است.

جدول ۳- ماتریس ارتباطات مستقیم فازی.

Table 3- The Initial direct-relation fuzzy matrix.

	C1	C2	C3	…	C24	C25	C26
C1	(0,0,0.25)	(0,0.25,0.5)	(0,0.25,0.5)	…	(0,0.25,0.5)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)
C2	(0.75,1,1)	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)	…	(0,0.25,0.5)	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)
C3	(0.75,1,1)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	…	(0,0,0.25)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)
C4	(0.75,1,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)	…	(0,0,0.25)	(0.5,0.75,1)	(0,0,0.25)
C5	(0.5,0.75,1)	(0,0,0.25)	(0,0.25,0.5)	…	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	(0.5,0.75,1)
C6	(0.5,0.75,1)	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)	…	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0,0.25)
C7	(0.75,1,1)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	…	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)
C8	(0.5,0.75,1)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	…	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)
C9	(0.75,1,1)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	…	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)
C10	(0.5,0.75,1)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	…	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)
C11	(0.5,0.75,1)	(0,0,0.25)	(0.75,1,1)	…	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)
C12	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	…	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	(0.75,1,1)
C13	(0.75,1,1)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	…	(0,0,0.25)	(0,0.25,0.5)	(0,0.25,0.5)
C14	(0.5,0.75,1)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	…	(0,0,0.25)	(0,0.25,0.5)	(0,0.25,0.5)
C15	(0.75,1,1)	(0,0.25,0.5)	(0.5,0.75,1)	…	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0,0.25)
C16	(0.75,1,1)	(0,0,0.25)	(0.75,1,1)	…	(0,0,0.25)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)
C17	(0.75,1,1)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	…	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)	(0,0,0.25)
C18	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	…	(0.25,0.5,0.75)	(0.75,1,1)	(0.25,0.5,0.75)
C19	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	…	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)
C20	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	…	(0,0,0.25)	(0.75,1,1)	(0,0.25,0.5)
C21	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	…	(0,0,0.25)	(0.75,1,1)	(0,0.25,0.5)
C22	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	…	(0,0,0.25)	(0.75,1,1)	(0,0.25,0.5)
C23	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	…	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0,0.25)
C24	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	…	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)	(0.75,1,1)
C25	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	…	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	(0.25,0.5,0.75)
C26	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	…	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0,0.25)

گام ۲- دیفازی کردن ماتریس ارتباطات مستقیم فازی

در این گام با استفاده از **رابطه (۱)** ماتریس ارتباطات مستقیم را دیفازی می‌کنیم که در **جدول ۴** آورده شده است. به بیان دیگر برای دیفازی کردن، کافی است هر درایه‌های هر عدد فازی را با هم جمع کرد و حاصل را تقسیم بر ۳ نمود.

جدول ۴- ماتریس ارتباطات مستقیم دیفازی شده.

Table 4- The Initial direct-relation De-fuzzy matrix.

	C1	C2	C3	C4	...	C22	C23	C24	C25	C26
C1	0.083	0.250	0.250	0.250	...	0.083	0.083	0.250	0.500	0.250
C2	0.917	0.083	0.500	0.250	...	0.083	0.083	0.250	0.083	0.500
C3	0.917	0.083	0.083	0.083	...	0.083	0.083	0.083	0.750	0.500
C4	0.917	0.500	0.750	0.083	...	0.083	0.083	0.083	0.750	0.083
C5	0.750	0.083	0.250	0.083	...	0.083	0.083	0.083	0.083	0.750
C6	0.750	0.083	0.500	0.750	...	0.083	0.083	0.083	0.500	0.083
C7	0.917	0.083	0.083	0.083	...	0.083	0.083	0.083	0.083	0.500
C8	0.750	0.083	0.083	0.083	...	0.083	0.083	0.083	0.083	0.500
C9	0.917	0.083	0.083	0.500	...	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083

جدول ۴ - ادامه.

Table 4- Continued.

	C1	C2	C3	C4	...	C22	C23	C24	C25	C26
C10	0.750	0.083	0.083	0.500	...	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
C11	0.750	0.083	0.917	0.500	...	0.083	0.083	0.083	0.500	0.250
C12	0.083	0.083	0.083	0.083	...	0.083	0.083	0.083	0.083	0.917
C13	0.917	0.083	0.083	0.500	...	0.083	0.083	0.083	0.250	0.250
C14	0.750	0.083	0.083	0.500	...	0.083	0.083	0.083	0.250	0.250
C15	0.917	0.250	0.750	0.083	...	0.083	0.083	0.500	0.500	0.083
C16	0.917	0.083	0.917	0.083	...	0.083	0.250	0.083	0.750	0.500
C17	0.917	0.083	0.083	0.500	...	0.083	0.083	0.500	0.750	0.083
C18	0.917	0.750	0.750	0.250	...	0.083	0.083	0.500	0.917	0.500
C19	0.917	0.750	0.750	0.750	...	0.917	0.750	0.500	0.500	0.750
C20	0.750	0.750	0.750	0.750	...	0.750	0.500	0.083	0.917	0.250
C21	0.917	0.750	0.750	0.750	...	0.750	0.500	0.083	0.917	0.250
C22	0.917	0.750	0.750	0.750	...	0.083	0.500	0.083	0.917	0.250
C23	0.917	0.917	0.917	0.750	...	0.250	0.083	0.083	0.500	0.083
C24	0.917	0.917	0.750	0.750	...	0.250	0.250	0.083	0.500	0.917
C25	0.750	0.917	0.917	0.917	...	0.083	0.083	0.083	0.083	0.500
C26	0.500	0.750	0.917	0.917	...	0.500	0.500	0.500	0.500	0.083

گام ۳- تشکیل ماتریس دست‌یابی اولیه

در این گام ابتدا پس از تجمیع پرسشنامه‌ها، ماتریس ارتباط مستقیم دیفازی شده با مقدار آستانه که بر اساس نظر خبره‌ها ۵۰% تعیین گردید، انجام می‌پذیرد؛ یعنی روابطی که شدت آن‌ها بیش از ۵۰% باشد عدد ۱ و هر کدام کمتر از ۵۰% بود عدد صفر را اخذ می‌کند [45]. نتایج در **جدول ۵** آورده شده است.

گام ۴- تشکیل ماتریس دست‌یابی اولیه سازگار

پس از این‌که ماتریس اولیه دست‌یابی به‌دست آمد، باید سازگاری درونی آن برقرار شود. به‌عنوان نمونه اگر متغیر ۱ منجر به متغیر ۲ شود و متغیر ۲ منجر به متغیر ۳ شود، باید متغیر ۱ نیز منجر به متغیر ۳ شود و اگر در ماتریس دسترسی این حالت برقرار نبود، باید ماتریس اصلاح شود و روابط این چنینی اصلاح و ایجاد شوند. این سازگاری با استفاده از روابط ثانویه که ممکن است وجود نداشته باشند به ماتریس دست‌یابی اولیه افزوده می‌شوند. در **جدول ۶** سلول‌های که با ستاره نشان داده شد، روابطی هستند که در ماتریس سازگار شده ایجاد شده‌اند.

جدول ۵- ماتریس دست‌یابی اولیه.

Table 5- The Initial reachability matrix.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
C4	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
C5	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
C6	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C11	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
C13	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C14	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C15	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C16	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
C17	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
C18	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
C19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
C20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
C21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
C22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
C23	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول ۵- ادامه.

Table 5- Continued.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26
C24	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
C25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C26	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول ۶- ماتریس دست‌یابی اولیه سازگار با محاسبه میزان نفوذ و وابستگی.

Table 6- Final reachability matrix with driving power and dependence.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	Driving Power
C1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	*1	*1	0	0	0	0	0	0	0	0	*1	5
C2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	*1	0	1	0	0	*1	*1	0	0	0	0	0	0	0	0	*1	8
C3	1	*1	1	*1	*1	*1	*1	*1	1	*1	1	1	0	0	*1	*1	*1	*1	0	0	0	0	0	0	1	*1	18
C4	1	*1	1	1	*1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	*1	0	0	0	0	0	1	*1	21
C5	1	*1	*1	*1	1	*1	1	1	*1	*1	*1	*1	1	*1	1	*1	1	1	*1	0	0	0	0	0	*1	1	21
C6	1	0	*1	1	0	1	*1	*1	1	1	1	1	*1	*1	*1	*1	*1	*1	0	0	0	0	0	0	*1	*1	18
C7	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	*1	*1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*1	7
C8	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	*1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
C9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	*1	*1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*1	7
C10	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	*1	*1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*1	7
C11	1	*1	1	0	0	*1	*1	*1	1	1	1	1	*1	*1	1	1	1	1	*1	0	0	0	0	0	*1	*1	19
C12	*1	*1	*1	*1	*1	*1	*1	*1	*1	*1	*1	1	*1	*1	1	1	0	*1	0	0	0	0	0	0	*1	1	19
C13	1	0	*1	0	1	*1	1	1	1	1	*1	*1	1	1	1	*1	*1	*1	0	0	0	0	0	0	0	*1	17
C14	1	0	*1	0	1	*1	1	1	1	1	*1	*1	1	1	1	*1	*1	*1	0	0	0	0	0	0	0	*1	17
C15	1	*1	1	*1	*1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	*1	1	*1	0	0	0	0	0	*1	*1	21
C16	1	*1	1	*1	*1	1	*1	*1	*1	*1	1	1	0	0	*1	1	*1	*1	0	0	0	0	0	0	1	*1	18
C17	1	*1	*1	*1	*1	*1	1	1	1	1	*1	1	*1	*1	1	*1	1	1	*1	0	0	0	0	0	1	*1	21
C18	1	1	1	*1	*1	*1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	*1	*1	*1	*1	0	1	*1	25
C19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	*1	*1	1	1	1	1	1	0	*1	1	25
C20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	*1	*1	*1	1	*1	*1	0	1	1	1	0	0	1	*1	23
C21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	*1	1	*1	*1	*1	1	*1	*1	0	0	1	1	0	0	1	*1	22
C22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	*1	1	*1	*1	*1	1	*1	*1	0	0	0	1	0	0	1	*1	21
C23	1	1	1	1	*1	1	*1	*1	*1	*1	1	1	1	1	1	1	1	1	*1	0	0	0	1	0	*1	*1	22
C24	1	1	1	1	1	*1	1	1	1	1	1	1	1	1	*1	*1	1	*1	1	*1	*1	*1	*1	1	*1	1	26
C25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	*1	*1	*1	1	*1	*1	0	0	0	0	0	0	1	*1	20
C26	*1	1	1	1	1	1	1	1	*1	*1	1	*1	*1	*1	*1	*1	*1	*1	0	0	0	0	0	0	*1	1	20
Dependence	26	18	20	17	18	20	22	22	23	23	20	26	18	18	25	25	19	20	9	4	5	6	4	1	18	25	

گام ۵- تعیین سطوح عوامل

در این گام مجموعه معیارهای ورودی (پیش‌نیاز) و خروجی (دست‌یابی) برای هر معیار را محاسبه می‌کنیم و سپس عوامل مشترک را نیز مشخص می‌کنیم. در این گام معیاری دارای بالاترین سطح است که مجموعه خروجی (دست‌یابی) با مجموعه مشترک برابر باشد. پس از شناسایی این متغیر یا متغیرها، سطر و ستون آن‌ها را از جدول حذف می‌کنیم و عملیات را دوباره بر روی دیگر معیارها تکرار می‌کنیم. خروجی‌ها و ورودی‌ها از ماتریس دست‌یابی اولیه سازگار شده **جدول ۷** استخراج می‌شود. برای این کار، تعداد یک‌ها در هر سطر بیانگر خروجی و تعداد یک‌ها در ستون برابر ورودی هستند که برای تعیین سطوح، نتایج در **جدول ۷** آورده شده است.

جدول ۷- سطح‌بندی تعاملات عوامل.

Table 7- Level partition-interaction.

	Reachability Set	Antecedent Set	Intersection Set	Level
C1	C1-C12-C15-C16-C26-	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26-	C1-C12-C15-C16-C26-	1
C2	C1-C2-C9-C10-C12-C15-C16-C26-	C2-C3-C4-C5-C11-C12-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26-	C2-C12-C15-C16-C26-	3
C3	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C15-C16-C17-C18-C25-C26-	C3-C4-C5-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26-	C3-C4-C5-C6-C11-C12-C15-C16-C17-C18-C25-C26-	4

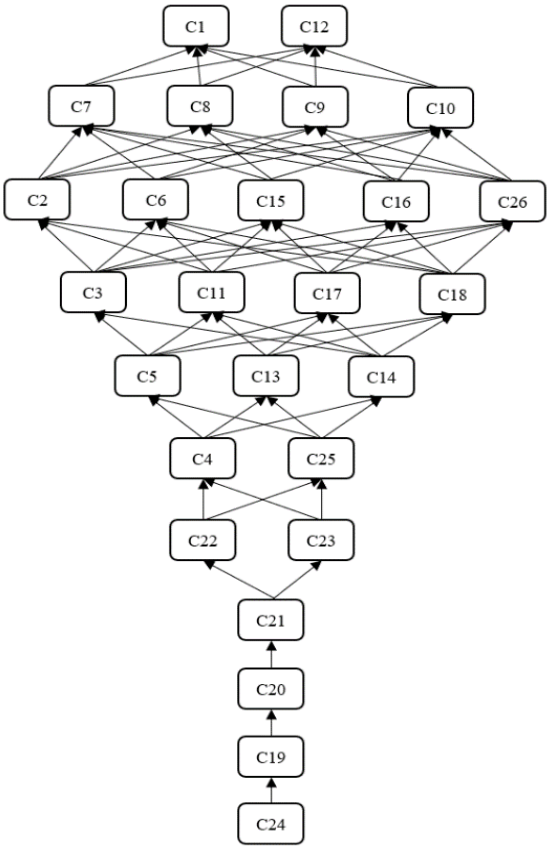
جدول ۷- ادامه.

Table 7- Continued.

	Reachability Set	Antecedent Set	Intersection Set	Level
C4	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C25-C26	C3-C4-C5-C6-C12-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C3-C4-C5-C6-C12-C15-C16-C17-C18-C19-C25-C26	6
C5	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C25-C26	C3-C4-C5-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C3-C4-C5-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C25-C26	5
C6	C1-C3-C4-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C25-C26	C3-C4-C5-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C3-C4-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C25-C26	3
C7	C1-C7-C8-C12-C15-C16-C26	C3-C4-C5-C6-C7-C8-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26-	C7-C8-C12-C15-C16-C26	2
C8	C1-C7-C8-C12	C3-C4-C5-C6-C7-C8-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C7-C8-C12	2
C9	C1-C9-C10-C12-C15-C16-C26	C2-C3-C4-C5-C6-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C9-C10-C12-C15-C16-C26	2
C10	C1-C9-C10-C12-C15-C16-C26	C2-C3-C4-C5-C6-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C9-C10-C12-C15-C16-C26	2
C11	C1-C2-C3-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C25-C26	C3-C4-C5-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C3-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C25-C26-	4
C12	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C18-C25-C26	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26-	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C18-C25-C26	1
C13	C1-C3-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C26-	C4-C5-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26-	C5-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C17-C18-C26-	5
C14	C1-C3-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C26	C4-C5-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C5-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C17-C18-C26	5
C15	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C25-C26	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C25-C26	3
C16	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C15-C16-C17-C18-C25-C26-	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C9-C10-C11-C12-C15-C16-C17-C18-C25-C26	3
C17	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C25-C26	C3-C4-C5-C6-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26-	C3-C4-C5-C6-C11-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C25-C26-	4
C18	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C25-C26	C3-C4-C5-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C24-C25-C26	C3-C4-C5-C6-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C25-C26	4
C19	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C19-C20-C21-C22-C23-C25-C26	C4-C5-C11-C15-C17-C18-C19-C23-C24	C4-C5-C11-C15-C17-C18-C19-C23	10
C20	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C20-C21-C22-C25-C26	C18-C19-C20-C24	C18-C20	9
C21	C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17-C18-C21-C22-C25-C26	C18-C19-C20-C21-C24	C18-C21	8

گام ۶- ترسیم مدل ساختاری تفسیری

پس از مشخص شدن سطوح هریک از شاخص‌ها و با درنظر گرفتن ماتریس دست‌یابی نهایی، مدل ساختاری تفسیری ترسیم می‌شود. مدل نهایی در **شکل ۲** مشاهده می‌شود. این مدل از ۱۱ سطح تشکیل شده است. سطح یازدهم که شامل معیار *C24* است تاثیرگذارترین معیارها می‌باشند که به‌صورت مستقیم بر روی معیار سهم دهم یعنی *C19* تاثیر می‌گذارد. این تاثیرگذاری به‌صورت سلسله‌مراتب از پایین به بالا صورت می‌گیرد؛ به‌طوری که ۲ معیار موجود در سطح اول یعنی *C1* و *C12* تاثیرپذیرترین‌ها هستند.



شکل ۲- مدل ساختاری تفسیری.
Figure 2- ISM-based attribute model.

گام ۷- تحلیل شدت نفوذ و وابستگی

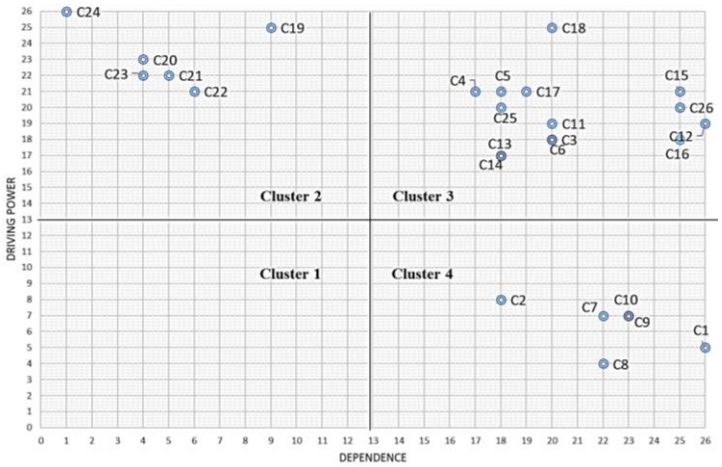
در این تجزیه‌وتحلیل متغیرها برحسب نفوذپذیری و وابستگی به چهار دسته پیوندی[1]، با نفوذ و مستقل[2]، خودمختار[3] و وابسته[4] تقسیم می‌شوند [47]. دسته اول شامل متغیرهای مستقلی است که دارای نفوذپذیری و وابستگی ضعیف می‌باشند. این متغیرها نسبتا غیرمتصل به سیستم هستند و دارای ارتباطات کم و ضعیف هستند، در مقاله حاضر هیچ‌یک از متغیرها در این دسته قرار نگرفته‌اند و این بیانگر ارتباط قوی متغیرها با یکدیگر در مدل به‌دست آمده می‌باشد. متغیرهای وابسته دومین دسته هستند که دارای نفوذپذیری کم ولی وابستگی شدید می‌باشند، این متغیرها به‌طور عمده نتایج خاص هستند که برای ایجاد آن‌ها عوامل زیادی دخالت دارند و خود آن‌ها کمتر می‌توانند زمینه‌ساز متغیرهای دیگر شوند. سومین دسته

[1] Linkage
[2] Driver and independent
[3] Autonomous
[4] Dependent

متغیرهای مستقلی هستند که دارای نفوذپذیری و وابستگی زیاد می‌باشند؛ این متغیرها غیرایستا هستند، زیرا هر نوع تغییر در آن‌ها می‌تواند سیستم را تحت‌تاثیر قرار دهد. چهارمین دسته شامل متغیرهای مستقل هستند که دارای نفوذپذیری ولی وابستگی ضعیف می‌باشند. این دسته در واقع سنگ زیر بنای مدل است و برای شروع کار باید در روی آنان تاکید داشت. با استفاده از شدت نفوذ و وابستگی هریک از معیارها **جدول ۶**، می‌توان به گروه‌بندی شاخص‌ها با استفاده از روش تحلیل *MICMAC* پرداخت.

۱. اولین دسته خودمختار است که تاثیرگذاری ضعیف و وابستگی ضعیفی دارند.
۲. دسته دوم وابسته است که دارای تاثیرگذاری ضعیف و وابستگی قوی می‌باشند.
۳. دسته سوم پیوندی است که دارای تاثیرگذاری قوی و وابستگی قوی است.
۴. دسته چهارم با نفوذ و مستقل است که دارای تاثیرگذاری قوی و وابستگی ضعیف می‌باشد.

بر این اساس معیارهای *C1*، *C2*، *C7*، *C8*، *C9* و *C10* در دسته ۴ قرار گرفته که مستقل و دارای نفوذ و هدایت قوی ضعیف می‌باشند این متغیر اصولا تاثیرگذاری بالا و تاثیرپذیری کمی از سایر عوامل دارند. معیارهای *C19*، *C20*، *C21*، *C22*، *C23* و *C24* در دسته ۲ هستند این متغیرها دارای وابستگی بالا و نفوذ و هدایت ضعیف هستند. این متغیرها اصولا تاثیرپذیری بالا و تاثیرگذاری کمی روی سایر عوامل دارند. مابقی معیارها در دسته ۳ جای گرفته که به‌عنوان عوامل پیوندی دارای وابستگی بالا و قدرت نفوذ و هدایت بالا برخوردارند به عبارتی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری این معیارها بسیار بالاست و هر تغییر کوچکی بر روی این متغیرها باعث تغییرات اساسی در سیستم می‌شود که در **شکل ۳** آورده شده است. لازم به ذکر است قرار نگرفتن هیچ‌کدام از عوامل در دسته خودمختار[1] (دسته ۱) بیانگر ارتباط قوی متغیرها در مدل به‌دست آمده می‌باشد.



شکل ۳- نمودار میزان نفوذ و وابستگی.
Figure 3- Driving power and dependence diagram.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی تولید ادغامی به‌عنوان روشی کارآمد برای تخصیص و مدیریت منابع در فرآیند تولید است. هدف اصلی برنامه‌ریزی تولید ادغامی، متعادل کردن سطح تولید برای تمام انواع دسته‌بندی محصولات جهت بهتر روبه‌رو شدن با تحولات سطح تقاضا است. برنامه‌ریزی ادغامی باید یک بخش مشترک بین محصولات ایجاد کند تا برنامه‌ریزی تولید را برای محصولات مختلفی گسترش دهد؛ لذا با توجه به اهمیت تعیین ضریب ادغام در این نوع برنامه‌ریزی در پژوهش حاضر به شناسایی مهم‌ترین عوامل موثر بر ضریب ادغام پرداخته شد و سپس بر اساس مدل مفهومی از این عوامل، می‌بایست مهم‌ترین عوامل کلیدی در سطوح بالاتر جهت تعیین سطح تولید بهینه با به‌کار گیری منابع مشترک موردتوجه قرار گیرند. با توجه به مدل

[1] Autonomous

مفهومی ارایه‌شده (**شکل ۲**) و تحلیل شدت نفوذ و وابستگی (**شکل ۳**) و همچنین **جدول ۸** این نتیجه حاصل می‌شود که عوامل *C19*،*C20*،*C21*،*C22*،*C23*،*C24*،*C25* با قرارگیری در بالاترین سطوح از مدل مفهومی بیشترین تاثیر را در تعیین ضریب ادغامی دارند و قرارگیری شش عامل اول از این عوامل در دسته ۲ که دارای تاثیرپذیری بالا و تاثیرگذاری کمی روی سایر عوامل است و قرارگیری دو عامل آخر از این عوامل در دسته ۳ که تاثیرگذاری و تاثیرپذیری بالایی دارند، نشان می‌دهد که اکثریت عوامل در بالاترین سطوح در دسته وابسته (غیرمستقل) قرار دارد و دو عامل آخر در دسته پیوندی قرار دارند. با توجه به توضیحات ارایه‌شده عوامل *C19*،*C20*،*C21*،*C22*،*C23*،*C24* به‌عنوان عوامل تاثیرپذیر در مدل، پیش‌نیاز و دارای اهمیت بیشتری نسبت به عوامل *C4* و*C25* به‌عنوان عوامل پیوندی دارد که این دو عامل وابستگی شدید به عوامل سطوح قبل مدل و قدرت نفوذ متوسط بر سایر عوامل در سطوح بعدی خود دارند. لازم به ذکر است، هر تغییر کوچکی بر روی این متغیرهای پیوندی باعث تغییرات اساسی در ضریب ادغامی در برنامه‌ریزی تولید ادغامی خواهد شد.

جدول ۸ - سطح‌بندی و دسته‌بندی.

Table 8- Level partitioning, and clustering.

#	Cluster	Level	#	Cluster	Level
C1		1	C3		4
C2		3	C4		6
C7	4. Driver /	2	C5		5
C8	Independent	2	C6		3
C9		2	C11		4
C10		2	C12		1
C19		10	C13	3. Linkage	5
C20		9	C14		5
C21	2. Dependent	8	C15		3
C22		7	C16		3
C23		7	C17		4
C24		11	C18		4
			C25		6
			C26		3

تشکر و قدردانی

نویسندگان از سردبیر محترم مجله و داوران محترم در فرآیند داوری و اصلاح مقاله تشکر می‌نمایند.

منابع مالی

برای ارایه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است.

تعارض با منافع

هیچ تضاد و تعارضی در منافع در خصوص انتشار این مقاله وجود ندارد و همه نویسندگان، نسخه ارسال‌شده را مشاهده و تایید نموده‌اند. نویسندگان تضمین می‌کنند که این مقاله پیش از این چاپ نشده و تحت انتشار نمی‌باشد.

منابع

[1] Kalir, A., Zorea, Y., Pridor, A., & Bregman, L. (2013). On the complexity of short-term production planning and the near-optimality of a sequential assignment problem heuristic approach. *Computers & industrial engineering*, *65*(4), 537-543. https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.05.005

[2] Nishi, T., Konishi, M., & Hasebe, S. (2005). An autonomous decentralized supply chain planning system for multi-stage production processes. *Journal of intelligent manufacturing*, *16*, 259-275. https://doi.org/10.1007/s10845-005-7022-7

[3] Nishi, T., Sekiya, E., & Yin, S. (2012). Distributed optimization of energy portfolio and production planning for multiple companies under resource constraints. *Procedia CIRP*, *3*, 275-280. https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.048.

[4] S. Auer, W. Mayrhofer, and W. Sihn, (2012). "Implementation of a comprehensive production planning approach in special purpose vehicle production". *Procedia CIRP*, *3*, 43-48, https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.009.

[5] Lai, Y. J., Hwang, C. L., Lai, Y. J., & Hwang, C. L. (1992). *Fuzzy mathematical programming* (pp. 74-186). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48753-8_3
[6] Kiran, D. R. (2019). *Production planning and control: A comprehensive approach*. Butterworth-Heinemann. https://www.amazon.com/Production-Planning-Control-Comprehensive-Approach/dp/0128183640
[7] Nam, S. J., & Logendran, R. (1992). Aggregate production planning—a survey of models and methodologies. *European journal of operational research*, *61*(3), 255-272. https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90356-E
[8] Wang, R. C., & Fang, H. H. (2001). Aggregate production planning with multiple objectives in a fuzzy environment. *European journal of operational research*, *133*(3), 521-536. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00196-X
[9] Baykasoglu, A., & Gocken, T. (2010). Multi-objective aggregate production planning with fuzzy parameters. *Advances in engineering software*, *41*(9), 1124-1131. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2010.07.002
[10] Mirzapour Al-E-Hashem, S. M. J., Malekly, H., & Aryanezhad, M. B. (2011). A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty. *International journal of production economics*, *134*(1), 28-42. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.01.027
[11] Lefta, F., Gozali, L., & Marie, I. A. (2020, July). Aggregate and disaggregate production planning, material requirement, and capacity requirement in PT. XYZ. *IOP Conference series: Materials science and engineering* (Vol. 852, No. 1, p. 012123). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1757-899X/852/1/012123.
[12] Barman, S., & Tersine, R. J. (1991). Sensitivity of cost coefficient errors in aggregate production planning. *Omega*, *19*(1), 31-36. https://doi.org/10.1016/0305-0483(91)90031-N
[13] A. Goli, E. B. Tirkolaee, B. Malmir, G. B. Bian, and A. K. Sangaiah. (2019). "A multi-objective invasive weed optimization algorithm for robust aggregate production planning under uncertain seasonal demand," *Computing*, *101*, 499-529, https://doi.org/10.1007/s00607-018-00692-2.
[14] Kourentzes, N., Rostami-Tabar, B., & Barrow, D. K. (2017). Demand forecasting by temporal aggregation: Using optimal or multiple aggregation levels?. *Journal of business research*, *78*, 1-9. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296317301376
[15] Cheraghalikhani, A., Khoshalhan, F., & Mokhtari, H. (2019). Aggregate production planning: A literature review and future research directions. *International journal of industrial engineering computations*, *10*(2), 309-330. https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2018.6.002.
[16] Cheng, C., & Shafir, E. (2019). Aggregate production planning for engineer-to-order products. *Department of supply chain management*,1-56. https://B2n.ir/mx5579
[17] Girkes, F., Reimche, M., Bergmann, J. P., Töpfer-Kerst, C. B., & Berghof, S. (2022, October). Aggregated production planning for engineer-to-order products using reference curves. *Congress of the German academic association for production technology* (pp. 642-651). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18318-8_64
[18] Holt, C. C., Modigliani, F., & Simon, H. A. (1955). A linear decision rule for production and employment scheduling. *Management science*, *2*(1), 1-30. https://doi.org/10.1287/mnsc.2.1.1
[19] Saad, G. H. (1982). An overview of production planning models: Structural classification and empirical assessment. *The international journal of production research*, *20*(1), 105-114. https://doi.org/10.1080/00207548208947752
[20] Kendall, K. E., & Schniederjans, M. J. (1985). Multi-product production planning: A goal programming approach. *European journal of operational research*, *20*(1), 83-91. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221785902863
[21] Mortezaei, N., Zulkifli, N., & Nilashi, M. (2015). Trade-off analysis for multi-objective aggregate production planning. *Journal of soft computing and decision support systems*, *2*(2), 1-4. http://www.jscdss.com/index.php/files/article/view/29
[22] Da Silva, C. G., Figueira, J., Lisboa, J., & Barman, S. (2006). An interactive decision support system for an aggregate production planning model based on multiple criteria mixed integer linear programming. *Omega*, 34(2), 167-177. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048304001409
[23] Leung, S. C., & Chan, S. S. (2009). A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint. *Computers & industrial engineering*, *56*(3), 1053-1064. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835208002301
[24] Safari, M., Mahdavi, I., Rezaeian, J., & Shirazi, B. (2025). Crowdsourcing-based material requirement optimization in the automotive parts production network with online demand coverage. *Journal of decisions and operations research*, *10*(1), 169-193. https://doi.org/10.22105/dmor.2025.482155.1875.
[25] Wang, S. C., & Yeh, M. F. (2014). A modified particle swarm optimization for aggregate production planning. *Expert systems with applications*, *41*(6), 3069-3077. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.038
[26] Warfield, J. N. (1974). *Structuring complex systems*. Battelle Memorial Institute, Columbus, OH. https://www.amazon.com/Structuring-Complex-Systems-John-Warfield/dp/B002DIJNV4
[27] Charan, P., Shankar, R., & Baisya, R. K. (2008). Analysis of interactions among the variables of supply chain performance measurement system implementation. *Business process management journal*, *14*(4), 512-529. https://doi.org/10.1108/14637150810888055/full/html
[28] Govindan, K., Kannan, D., Mathiyazhagan, K., Jabbour, A. B. L. D. S., & Jabbour, C. J. C. (2013). Analysing green supply chain management practices in Brazil's electrical/electronics industry using interpretive structural modelling. *International journal of environmental studies*, *70*(4), 477-493. https://doi.org/10.1080/00207233.2013.798494
[29] Eslamian Koupaei, M. R., & Shirouyehzad, H. (2023). Identification and evaluate the critical success factors of sustainable supply chain using interpretive structural modeling (Case study: Golnoor Co.). *Modern research in performance evaluation*, *1*(4), 226-243. https://doi.org/10.22105/mrpe.2023.140567.

[30] Shokr, H., & Afrazeh, A. (2024). Interpretive structural modeling (ISM) of risk management in Iran's construction industry. *Innovation management and operational strategies*, *5*(1), 54-78. https://doi.org/10.22105/imos.2024.453441.1348.

[31] Abbas, H., Asim, Z., Ahmed, Z., & Moosa, S. (2022). Exploring and establishing the barriers to sustainable humanitarian supply chains using fuzzy interpretive structural modeling and fuzzy MICMAC analysis. *Social responsibility journal*, *18*(8), 1463-1484. https://doi.org/10.1108/SRJ-12-2020-0485

[32] Faghidian, S. F., & Mahmodi, S. (2024). Evaluation of total quality management enablers using the DEMATEL-ISM integration method in the steel industry. *Systemic analytics*, *2*(1), 14-26. https://doi.org/10.31181/sa2120246

[33] Khalifa, H. A. E. W., Edalatpanah, S. A., & Bozanic, D. (2023). Enhanced a novel approach for smoothing data in modelling and decision-making problems under fuzziness. *Computational algorithms and numerical dimensions*, *2*(3), 163-172. https://doi.org/10.22105/cand.2023.192505.

[34] Ragade, R. K. (1976). Fuzzy interpretive structural modeling. *Cybernetics and system*, 6(3-4), 189-211. https://doi.org/10.1080/01969727608927531

[35] Wang, L., Ma, L., Wu, K. J., Chiu, A. S., & Nathaphan, S. (2018). Applying fuzzy interpretive structural modeling to evaluate responsible consumption and production under uncertainty. *Industrial management & data systems*, *118*(2), 432-462. https://doi.org/10.1108/IMDS-03-2017-0109

[36] Ajalli, M., Asgharizadeh, E., Jannatifar, H., & Abbasi, A. (2016). A fuzzy ISM approach for analyzing the implementation obstacles of electronic government in Iran. *Science, technology, humanities and business management (ICSTHBM-16)*, 15. https://B2n.ir/up3519

[37] Sarma, P. R. S., & Pramod, V. R. (2014). Structural flexibility in supply chains: TISM and FISM approach. In *Systemic flexibility and business agility* (pp. 305-321). New Delhi: Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2151-7_19

[38] Tseng, M. L. (2013). Modeling sustainable production indicators with linguistic preferences. *Journal of cleaner production*, *40*, 46-56. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.019

[39] Khodadadi-Karimvand, M., & Shirouyehzad, H. (2021). Well drilling fuzzy risk assessment using fuzzy FMEA and fuzzy TOPSIS. *Journal of fuzzy extension and applications*, *2*(2), 144-155. https://doi.org/10.22105/jfea.2021.275955.1086.

[40] Lee, E. S., & Li, R. J. (1988). Comparison of fuzzy numbers based on the probability measure of fuzzy events. *Computers & mathematics with applications*, *15*(10), 887-896. https://doi.org/10.1016/0898-1221(88)90124-1

[41] Cheng, C. H. (1999). Evaluating weapon systems using ranking fuzzy numbers. *Fuzzy sets and systems*, *107*(1), 25-35. https://doi.org/10.1016/s0165-0114(97)00348-5

[42] Ali, A. R., Albouy-Kissi, A., Vacavant, A., Grand-brochier, M., & Boire, J. Y. (2014). A novel fuzzy c-means based defuzzification approach with an adapted Minkowski distance. *19th computer vision winter workshop Zuzana Kúkelová and Jan Heller (Eds.) Křtiny, Czech Republic*. https://cmp.felk.cvut.cz/cvww2014/papers/11/11.pdf

[43] Das, S. K. (2021). Optimization of fuzzy linear fractional programming problem with fuzzy numbers. *Big data and computing visions*, *1*(1), 30-35. https://doi.org/10.22105/bdcv.2021.142084

[44] Khalifa, H. A. E. W., Bozanic, D., Najafi, H. S., & Kumar, P. (2024). Solving vendor selection problem by interval approximation of piecewise quadratic fuzzy number. *Optimality*, *1*(1), 23-33. https://doi.org/10.22105/opt.v1i1.23

[45] Liu, J., Wan, L., Wang, W., Yang, G., Ma, Q., Zhou, H., ... & Lu, F. (2023). Integrated fuzzy DEMATEL-ISM-NK for metro operation safety risk factor analysis and multi-factor risk coupling study. *Sustainability*, *15*(7), 5898. https://doi.org/10.3390/su15075898

[46] Nishat Faisal, M., Banwet, D. K., & Shankar, R. (2006). Supply chain risk mitigation: Modeling the enablers. *Business process management journal*, *12*(4), 535-552. https://doi.org/10.1108/14637150610678113/full/html

[47] Attri, R., Dev, N., & Sharma, V. (2013). Interpretive structural modelling (ISM) approach: An overview. *Research journal of management sciences*, *2319*(2), 1171. https://B2n.ir/bh3033

[48] Krynke, M. (2020). Risk management in the process of personnel allocation to jobs. *System safety: Human-technical facility-environment*, *2*(1), 82-99. https://sciendo.com/pdf/10.2478/czoto-2020-0012

[49] Vaezi, E., Najafi, S. E., Hajimolana, S. M., Hosseinzadeh Lotfi, F., & Ahadzadeh Namin, M. (2020). Production planning and efficiency evaluation of a three-stage network. *Journal of industrial and systems engineering*, *13*(2), 155-178. https://www.jise.ir/article_118487_0.html

[50] MacDuffie, J. P., Sethuraman, K., & Fisher, M. L. (1996). Product variety and manufacturing performance: Evidence from the international automotive assembly plant study. *Management science*, *42*(3), 350-369. https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.42.3.350

[51] Hobday, M. (1998). Product complexity, innovation and industrial organisation. *Research policy*, *26*(6), 689-710. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733397000449

[52] Orfi, N., Terpenny, J., & Sahin-Sariisik, A. (2011). Harnessing product complexity: Step 1—establishing product complexity dimensions and indicators. *The engineering economist*, *56*(1), 59-79. https://doi.org/10.1080/0013791X.2010.549935

[53] García-Alcaraz, J. L., Sánchez-Ramírez, C., Avelar-Sosa, L., & Alor-Hernández, G. (Eds.). (2020). *Techniques, tools and methodologies applied to global supply chain ecosystems*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26488-8

[54] Van den Berge, R., Magnier, L., & Mugge, R. (2021). Too good to go? Consumers' replacement behaviour and potential strategies for stimulating product retention. *Current opinion in psychology*, *39*, 66-71. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2020.07.014