

یک روش جدید برنامه‌ریزی آرمانی مبتنی بر مجموعه‌های فازی شهودی برای توسعه محصول جدید

حسام شیدپور^۱، محمود شهرخی^{۲*}

۱. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه هرمزگان

۲. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۰۳، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۶/۰۲/۱۱، تاریخ تصویب: ۹۶/۰۳/۲۰)

چکیده

مسئله تعیین اندازه انباشته و زمان‌بندی تولید، با استفاده بهینه از منابع و کاهش هزینه‌ها در پاسخ به تقاضای متنوع مشتریان در کمترین زمان ممکن، از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله، مسئله تعیین اندازه انباشته و زمان‌بندی تولید برای بسته‌های محصولات مکمل بررسی می‌شود. هر بسته شامل چند نوع محصول مکمل با تعداد مشخص و زمان‌های پردازش متفاوت است که روی خطوط موازی مختلف، در یک محیط تولید برای انبارش تولید می‌شوند. برای حل این مسئله، یک رویکرد سلسله‌مراتبی با اهداف کمینه هزینه‌های تولید، کمبود و موجودی بسته‌ها و بیشینه استفاده از ظرفیت، در سطح اول و هدف کمینه زمان تولید بسته‌ها در سطح دوم پیشنهاد می‌شود. حل مدل سطح دوم در ابعاد بزرگ دشوار است؛ بنابراین، یک الگوریتم ابتکاری افق غلتان ارائه می‌شود که مقایسه عملکرد آن با حل دقیق و نیز کران پایین پیشنهادی در نمونه‌های عددی مختلف، نشان‌دهنده کیفیت و زمان حل مطلوب آن است. برای اعتبارسنجی مدل، از داده‌های واقعی یک کارخانه کاشی استفاده شده است. مطابق نتایج، برنامه تولید، هزینه‌ها و زمان تکمیل بسته‌ها در مقایسه با وضع فعلی بهبود می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب تأمین‌کنندگان، برنامه‌ریزی آرمانی، تخصیص سفارش، فرایند توسعه محصول جدید، مجموعه فازی شهودی.

مقدمه

امروزه مشتریان دائماً محصولاتی با کیفیت و عملکرد بالاتر، با زمان کمتر برای ایجاد محصول و با زمان‌های تحویل و هزینه کمتر طلب می‌کنند [۱]. فرایند ایجاد محصول جدید، همه فعالیت‌ها از مرحله ایده‌سازی تا تولید و معرفی به بازار را دربرمی‌گیرد [۲]. برای اجتناب از هزینه زیاد شکست در هر فعالیت NPD باید همه فعالیت‌های آن به‌صورت مؤثر مدیریت شود. NPD به‌عنوان فرایندی با نقاط مختلف تصمیم شناخته می‌شود که در آن، برای اهداف متعددی که گاهی متضاد یکدیگرند، باید تصمیم‌گیری شود [۳]؛ برای مثال، بخش بازاریابی به دنبال ساخت محصولاتی است که هرچه بیشتر رضایت مشتری را کسب کند که این هدف ممکن است با اهداف بخش زنجیره تأمین (خرید قطعات کم‌هزینه‌تر و کیفیت پایین‌تر) و اهداف بخش تولید (کاهش هزینه‌های تولید) در تضاد باشد. در نتیجه، مسئله‌ای پیچیده‌تر ایجاد می‌شود؛

به‌ویژه اگر این فرایند با اطلاعات مبهم و غیردقیق همراه باشد. همچنین در بسیاری از وضعیت‌های واقعی، تصمیم‌گیرنده ممکن است به دلیل نداشتن دانش کافی، قادر به بیان دقیق درجه برتری یک گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها نباشد [۲]. در چنین شرایطی، تصمیم‌گیرنده اولویت یک گزینه بر دیگری را با درجه مشخصی بیان می‌کند، اما ممکن است تصمیم‌گیرنده چندان درمورد این درجه اولویت مطمئن نباشد [۳]. یکی از راهکارهای مناسب برای بیان مقادیر اولویت‌های تصمیم‌گیرنده، استفاده از مقادیر فازی شهودی به‌جای مقادیر عددی دقیق یا متغیرهای کلامی است [۴-۸]. مجموعه فازی شهودی^۱ (IFS) با تعیین درجه پذیرش (عضویت) و درجه رد (نداشتن عضویت)، ابزار تطبیقی مناسبی برای بیان عدم قطعیت است [۹]. برخی از محققان گزارش کرده‌اند که توانایی IFS در رسیدگی به اطلاعات غیرقطعی و مبهم، بیشتر از مجموعه‌های فازی سنتی است [۱۰، ۱۱].

در این پژوهش، مجموعه‌های فازی شهودی در یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی (GP) ترکیب و با در نظر گرفتن مقادیر سطح آستانه برای آرمان‌ها به صورت اعداد فازی شهودی، مقادیر تخصیصی به هر تأمین‌کننده و فرایند مونتاژ مناسب، در یک فرایند توسعه محصول جدید به طور هم‌زمان تعیین می‌شود. تعیین اهمیت توابع نیز با عبارات‌های زبانی به وسیله تصمیم‌گیرندگان صورت می‌گیرد. در پایان، یک مثال عددی، کاربرد مدل را توضیح می‌دهد.

مرور ادبیات

برخی پژوهشگران بر توصیف چگونگی مشارکت تأمین‌کنندگان در فرایند NPD تمرکز کرده‌اند. پترسون و همکارانش در سال ۲۰۰۵، چگونگی مشارکت تأمین‌کنندگان در فرایند NPD را توضیح دادند و آثار آن را بر تصمیمات نواحی طراحی و زنجیره تأمین بررسی کردند [۱۲]. بویوکاوزکان و فیض‌وگلو^۲ در سال ۲۰۰۴، یک روش تصمیم‌گیری یکپارچه برای ایجاد محصول تحت شرایط عدم قطعیت پیشنهاد کردند [۱۳] که علاوه بر تعیین بهترین محصول، بهترین راهبرد ایجاد آن را با تمرکز بر کاهش ریسک‌های مربوط مشخص می‌کند. راکاتر و همکاران (۲۰۰۲) اثر مشارکت تأمین‌کنندگان بر هزینه، کیفیت و زمان ایجاد محصول را بررسی کردند و نشان دادند که مشارکت تأمین‌کنندگان در فرایند NPD، اثری مستقیم بر طراحی فرایند و زنجیره تأمین دارد [۱۴]. نیپال^۳ (۲۰۰۵)، از یک روش مبتنی بر منطق فازی برای مدل کردن هم ساختار محصول و هم زنجیره تأمین بر مبنای اطلاعات دریافتی از کارشناس استفاده کرد [۱۵]. ژو^۴ و همکاران (۲۰۰۷) یک سیستم چندمرحله‌ای فازی برای طراحی محصول در مهندسی هم‌زمان پیشنهاد کردند [۱۶]. این سیستم با استفاده از اختلاف مطلق میانگین‌های وزنی و با استفاده از تئوری خاکستری^۵ برای ارزیابی معیارها، گزینه‌های مختلف طراحی را ارزیابی و رتبه‌بندی می‌کند. وانگ^۶ و همکاران (۲۰۰۴)، ویژگی‌های محصول را با راهبرد زنجیره تأمین مرتبط کردند. آن‌ها یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره^۷ با ادغام فرایند سلسله‌مراتبی^۸ و برنامه‌ریزی آرمانی انحصاری^۹ ایجاد

کردند که در آن، فاکتورهای کمی و کیفی برای انتخاب تأمین‌کنندگان لحاظ شده است [۱۷]. در حوزه مدل‌سازی کمی، لامقبر^{۱۱} و همکارانش از یک تکنیک برنامه‌ریزی ریاضی برای پیدا کردن مقادیر بهینه طراحی محصول و فرایند استفاده کردند [۱۸] که در آن، تابع ضرر کیفی^{۱۱} به عنوان تابع هدف و نیازمندی‌های تولید، مشخصات محصول، حدود ابعادی آن و توانایی فرایند به عنوان محدودیت ظاهر می‌شود. آن‌ها یک آنالیز پارامتریک از تابع هدف با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی تعاملی^{۱۲} انجام دادند. اشنایدرجنس^{۱۳} و همکاران، یک رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی برای تصمیم‌گیری در مهندسی هم‌زمان با لحاظ کردن اهداف متضاد هزینه و زمان ایجاد کردند [۱۹]. فاین و همکاران (۲۰۰۵)، مدل کمی مهندسی هم‌زمان سه‌بعدی ارائه کردند. آن‌ها با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی وزنی^{۱۴} به ارزیابی تناقض‌ها در میان توابع مختلف پرداختند [۲۰].

عدم قطعیت، نقصی اطلاعاتی است و معمولاً یکی از اعضای غیرقابل اجتناب در فرایندهای تصمیم‌گیری به‌شمار می‌رود [۱۳]. تئوری مجموعه‌های فازی که پروفیسورزاده در سال ۱۹۶۵ معرفی کرد، رویکردی کاربردی برای غلبه بر عدم قطعیت است [۲۱] که به هر رویداد غیرقطعی، یک تابع عضویت نسبت می‌دهد. در تئوری مجموعه‌های کلاسیک، x یا متعلق به یک مجموعه هست یا نیست (صفر و یک)؛ در حالی که در تئوری مجموعه‌های فازی، عضویت x در یک مجموعه مانند A را می‌توان با یک تابع عضویت معین μ_x بین صفر و یک تعیین کرد. به طور قطع، عدم عضویت یک عدد یا شیء در یک مجموعه، برابر با مکمل μ_x ، یعنی $\nu_x = 1 - \mu_x$ است. گاهی تعیین قطعی درجه عضویت μ_x برای هر مقدار معین x ، به علت عدم قطعیت ممکن نیست. پروفیسورزاده (۱۹۷۵) به منظور بیان عدم قطعیت در تابع عضویت، مجموعه‌های فازی با مقادیر بازه‌ای را پیشنهاد داد. در سال ۱۹۸۶، آتاناسو تئوری مجموعه‌های فازی شهودی (IFS) را معرفی کرد. این تئوری با در نظر گرفتن درجه پذیرش (تابع عضویت) و رد (تابع عدم عضویت) یک رویداد، به صورت واقعی‌تر با مسئله برخورد می‌کند [۹]. در مجموعه‌های فازی شهودی، درجه عضویت، درجه عدم عضویت و درجه تردید با هم ارائه

به‌وسیله IFS بیان می‌شود؛ بنابراین هدف این پژوهش، ترکیب برنامه‌ریزی آرمانی با IFS به‌عنوان روشی جایگزین برای تصمیم‌گیری چندمعیاره است و به‌ویژه برای انتخاب مناسب‌ترین فرایندهای ساخت یا مونتاژ، تأمین‌کنندگان و مقادیر تخصیصی به هر تأمین‌کننده، در یک محیط عدم قطعیت به‌کار رفته است.

مجموعه فازی شهودی

در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری، به‌علت کمبود آگاهی یا دشواری بیان نظر، تصمیم‌گیرنده قادر نیست به‌دقت نظرش را در مورد مسئله بیان کند. در چنین مواردی، تصمیم‌گیرنده می‌تواند از IFS برای بیان اولویت‌های خود در تصمیم‌گیری استفاده کند.

مجموعه فازی شهودی، حالت عام مجموعه‌های فازی معمولی است [۹]. ویژگی برجسته این مجموعه‌ها، تعیین هم‌زمان یک تابع عضویت (μ_A) و یک تابع عدم عضویت (ν_A) برای هر رویداد است که در زیر برای رویداد A نشان داده شده است:

$$A = \{ \mu_A(x), \nu_A(x) \mid x \in X \}$$

که $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ و $\nu_A: X \rightarrow [0,1]$ به‌گونه‌ای که شرط زیر باید برای هر IFS برقرار باشد:

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (1)$$

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (2)$$

$$0 \leq \pi_A(x) \leq 1$$

در معادله ۲، π_A معمولاً به‌عنوان درجه تردید تصمیم‌گیرنده برای قضاوت در مورد رویداد A شناخته می‌شود و نشان‌دهنده درجه کمبود دانش در مورد مجموعه A است [۴۶]. هرچه مقدار π_A کمتر باشد، دانش درباره رویداد A بیشتر است. شرط لازم برای وجود هر مجموعه فازی شهودی این است که مجموع توابع عضویت و عدم عضویت، کمتر از یک باشد. در غیر این صورت، مقدار $\pi_A(x)$ صفر می‌شود که در نتیجه مجموعه فازی کلاسیک حاصل خواهد شد. اگر A و B دو عدد فازی شهودی باشند، حاصل ضرب و حاصل جمع آن‌ها این‌گونه خواهد بود [۹]:

$$A.B = \{ \mu_A(x), \mu_B(x), \nu_A(x) + \nu_B(x) - \nu_A(x).\nu_B(x) \mid x \in X \} \quad (2)$$

می‌شوند؛ درحالی‌که مجموعه‌های فازی این قابلیت را ندارند و هر یک فقط درجه عضویت قطعی در بازه صفر و یک دارند [۲۲]. همچنین مجموعه‌های فازی شهودی، درجه «عدم توافق» یک تصمیم‌گیرنده را علاوه بر درجه «توافق» نشان می‌دهند [۲۳]. مزیت‌های IFS بر مجموعه‌های فازی، بازه‌ای معادل در [۲۴ و ۲۵] ذکر شده است.

در سال‌های اخیر، استفاده از IFS در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌شدت افزایش یافته است [۱۰، ۱۱، ۲۵، ۳۳]. لی و همکاران (۲۰۰۹) روشی جدید برای حل مسائل تصمیم‌گیری گروهی با استفاده از IFS ابداع کردند [۳۴]. در این روش، برای هر تصمیم‌گیرنده در گروه، دو مدل برنامه‌ریزی کسری مصنوعی^{۱۵} از TOPSIS حاصل می‌شود که برای تعیین گستره بازه‌های ضرایب نزدیکی نسبی گزینه‌ها به‌کار می‌رود. پژوهش‌های اندکی در زمینه به‌کارگیری تئوری IFS در مدل‌های ریاضی وجود دارد. موخرجی و باسو^{۱۶} مسائل تخصیص فازی شهودی^{۱۷} (IFAP) و روش‌های حل آن را پیشنهاد کردند و از مفاهیم درجه شباهت نسبی^{۱۸} و اعداد فازی شهودی^{۱۹} (IFN) در مدلشان بهره گرفتند [۳۵]. جانا و روی، رویکردی جدید برای بهینه‌سازی فازی شهودی^{۲۰} (IFO) به‌منظور حل مسائل چندهدفه ارائه دادند که در آن، محدودیت‌ها به‌صورت IFN لحاظ شده بود [۳۶].

همچنین IFS به‌طور موفقیت‌آمیزی در بسیاری از مسائل واقعی استفاده شد؛ برای نمونه، می‌توان به انتخاب فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر برای تولید برق در ترکیه [۳۷]، برنامه‌ریزی ساخت سایت [۳۸]، مسائل انتخاب تأمین‌کنندگان [۳۹]، انتخاب نرم‌افزار [۴۰]، تشخیص پزشکی [۴۱، ۴۲] و مدیریت پروژه [۴۳] اشاره کرد. نمونه‌هایی از استفاده از مجموعه‌های فازی شهودی در مدل برنامه‌ریزی آرمانی، در حوزه‌های مختلف ادبیات نیز گزارش شده است ([۴۴ و ۴۵])، اما در این مقاله، برای اولین بار آن را در حوزه فرایند توسعه محصول جدید به‌کار برده‌ایم؛ بنابراین این مقاله، یک مدل جدید برنامه‌ریزی آرمانی مبتنی بر IFS در حوزه توسعه محصول جدید پیشنهاد می‌دهد که شامل یک مدل GP است و در آن، اهمیت، اهداف و مقادیر سطوح آستانه برای هر آرمان

عضویت، q_r مقادیر سطوح آستانه عدم عضویت، U_r حد بالا برای توابع عضویت و L_r حد پایین برای توابع عدم عضویت برای هر آرمان فازی شهودی r است.

توابع عضویت و عدم عضویت برای آرمان‌های از نوع کوچک‌تر مساوی $\approx p_r$ $r=1, \dots, m$ ، این‌گونه تعریف می‌شوند:

$$\mu_{z_r(x)} = \begin{cases} 1 & Z_r(x) \leq p_r \\ \frac{U_r - Z_r(x)}{U_r - p_r} & p_r \leq Z_r(x) \leq U_r \\ 0 & Z_r(x) \geq U_r \end{cases} \quad (5)$$

$r = 1, 2, \dots, m$

$$v_{z_r(x)} = \begin{cases} 0 & Z_r(x) \leq L_r \\ \frac{Z_r(x) - L_r}{q_r - L_r} & L_r \leq Z_r(x) \leq q_r \\ 1 & Z_r(x) \geq q_r \end{cases} \quad (6)$$

$r = 1, 2, \dots, m$

با در نظر گرفتن توابع عضویت و عدم عضویت برای هر آرمان، مدل IFGP این‌گونه تعریف می‌شود:

$$\text{Min} \sum_{r=1}^m w_r (d_r^- + d_r^+)$$

s.t:

$$\mu_{Z_r(x)} - d_r^+ + d_r^- = 1, r = 1, \dots, m$$

$$v_{Z_r(x)} - b_r^+ + b_r^- = 0, r = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$\mu_{Z_r(x)} \geq v_{Z_r(x)}, r = 1, \dots, m$$

$$\mu_{Z_r(x)} + v_{Z_r(x)} \leq 1, r = 1, \dots, m$$

$$\mu_{Z_r(x)}, v_{Z_r(x)} \geq 0$$

$$g(x) \leq c$$

$$x \geq 0$$

d_r^+ و d_r^- انحراف‌های مثبت و منفی از ۱ برای $\mu_{Z_r(x)}$ و b_r^+ و b_r^- انحراف‌های مثبت و منفی از صفر برای $v_{Z_r(x)}$ است. از آنجاکه در محیط IFS مطلوب آن است که درجه پذیرش (تابع عضویت) افزایش و درجه رد (تابع عدم عضویت) کاهش یابد، این روش، انحرافات مثبت از ۱ برای μ و انحرافات منفی از صفر برای v را کمینه می‌کند. w_r نیز وزن آرمان r است که تصمیم‌گیرندگان آن را به روش زیر تعیین می‌کنند.

$$A + B = \{\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x), \\ v_A(x) \cdot v_B(x) | x \in X\} \quad (3)$$

روش پیشنهادی

برنامه‌ریزی آرمانی، تکنیک حل مسائل تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه است که چارنس و کوپر (۱۹۵۷) معرفی کردند [۴۷]. در مدل‌های GP کلاسیک، انحراف‌های مثبت و منفی از مقادیر مطلوب برای آرمان، به منظور دستیابی به یک جواب قابل قبول کمینه می‌شوند. با استفاده از تئوری IFS در برنامه‌ریزی آرمانی، تصمیم‌گیرنده این امکان را دارد که سطح انتظار خود از آرمان‌ها را به صورت غیردقیق بیان کند که به واقعیت نزدیک‌تر است. یک آرمان با سطح مطلوبیت غیردقیق می‌تواند به صورت برنامه‌ریزی آرمانی فازی شهودی^{۲۱} (IFGP) بیان شود که دارای سه نوع آرمان است:

$$\text{Optimize:} \quad (4)$$

$$z_i \leq p_r \quad r = 1, \dots, m$$

$$z_i \geq p_r \quad r = m + 1, \dots, n$$

$$z_i = p_r \quad r = n + 1, \dots, R$$

$$g(x) \leq c$$

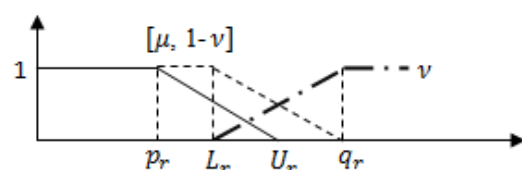
$$x \geq 0$$

که در آن، p_r سطح آستانه مربوط برای آرمان r ام و $g(x)$ محدودیت‌های مسئله است. عبارت‌های

$$z_i \leq p_r \quad (z_i \approx p_r)$$

شهودی r ام، تقریباً کوچک‌تر مساوی، بزرگ‌تر مساوی یا تقریباً برابر سطح آستانه با درجه پذیرش μ و درجه رد v

است. به بیان دیگر، $z_i \leq p_r$ به این معناست که آرمان فازی شهودی r ام تقریباً کوچک‌تر مساوی سطح آستانه p_r با تابع عضویت بازه‌ای $[\mu, 1-v]$ است (شکل ۱).



شکل ۱. توابع عضویت و عدم عضویت
در شکل ۱، مقدار سطح آستانه برای توابع

پارامتر

D : تقاضای محصول جدید؛
 b_j : تعداد قطعه j استفاده شده در محصول جدید؛
 c_{js} : هزینه قطعه j خریداری شده از تأمین کننده s ؛
 p_{jki} : هزینه مونتاژ قطعه j به k در فرایند i ؛
 L_{js} : زمان لازم برای خرید قطعه j از تأمین کننده s ؛
 O_s : هزینه سفارش دهی برای تأمین کننده s ؛
 q_{js} : کیفیت قطعه j خریداری شده از تأمین کننده s (نرخ خرابی)؛
 a_{jki} : اگر قطعه j به k در فرایند i مونتاژ شود یک، در غیر این صورت صفر؛

Cap_{js} : ظرفیت تأمین قطعه j به وسیله تأمین کننده s ؛
 d_{ij} : نرخ خرابی قطعه j در فرایند i ؛
 t_{jki} : زمان مونتاژ قطعه j به k در فرایند i .

متغیر تصمیم

X_{js} : قطعه j به وسیله تأمین کننده s تهیه می‌شود؛
 y_i : اگر فرایند i انتخاب شود یک، در غیر این صورت صفر؛
 u_s : اگر تأمین کننده s انتخاب شود یک، در غیر این صورت صفر.

$$\text{Min } Z = (Z_1, Z_2, Z_3) \quad (10)$$

$$Z_1 = \sum_{j=1}^J \sum_{s=0}^S C_{js} X_{js} + \sum_{i=1}^I y_i + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^J a_{jki} P_{jki} + \sum_{s=0}^S O_s u_s \quad (11)$$

$$Z_2 = \frac{1}{D} \sum_{j=1}^J \sum_{s=0}^S L_{js} X_{js} + \frac{1}{8 \times 60} \sum_{i=1}^I y_i + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^J a_{jki} t_{jki} \quad (12)$$

$$Z_3 = \sum_{j=1}^J \sum_{s=0}^S q_{js} X_{js} + \sum_{i=1}^I y_i + \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S (D.b_j - q_{js} X_{js}) d_{ij} \quad (13)$$

$$\sum_{s=0}^S X_{js} = D.b_j \quad \forall j \quad (14)$$

$$X_{js} \leq Cap_{js} \quad \forall j, s \quad (15)$$

ابتدا به کمک عبارت‌های کلامی فازی شهودی و اعداد فازی شهودی تخصیص یافته از جدول ۱، وزن آرمان‌ها تعیین می‌شود.

جدول ۱. عبارت‌های کلامی و IFN تخصیصی به آن

عبارت‌های کلامی	IFN (μ, ν)
بسیار کم (VL)	(۰/۱, ۰/۹)
کم (L)	(۰/۱۵, ۰/۲۵)
کمتر از متوسط (ML)	(۰/۲۵, ۰/۳۵)
متوسط (M)	(۰/۴, ۰/۱۵)
بیشتر از متوسط (MH)	(۰/۲۵, ۰/۵۵)
زیاد (H)	(۰/۸۵, ۰/۱)
بسیار زیاد (VH)	(۰/۹, ۰/۱)

سپس به کمک معادلات ۳ و ۴، وزن شهودی $(IW)^{22}$ آرمان‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$w_r = \sum_{A=1}^n (W_{DM_A} \otimes E_{DM_A}^r) \quad (8)$$

که w_r وزن آرمان r ، W_{DM_A} وزن تصمیم گیرنده A ، $E_{DM_A}^r$ ارزیابی تصمیم گیرنده A از آرمان و n تعداد تصمیم گیرندگان را نشان می‌دهد.

در نهایت، وزن قطعی نهایی w_r با استفاده از فرمول ۹ که بوران و همکاران (۲۰۰۹) پیشنهاد کردند، محاسبه می‌شود [۴۸]:

$$w_r = \frac{\mu_r + \pi_r \left(\frac{\mu_r}{\mu_r + \nu_r} \right)}{\sum_{r=1}^m \mu_r + \pi_r \left(\frac{\mu_r}{\mu_r + \nu_r} \right)} \quad (9)$$

$$\sum_{r=1}^m w_r = 1$$

مثال عددی

اهداف تولید یک محصول جدید عبارت‌اند از:

- کاهش هزینه‌های خرید و مونتاژ؛
 - کاهش زمان‌های خرید و مونتاژ؛
 - کاهش نرخ خرابی محصول جدید.
- علائم به کاررفته در مدل به شرح زیرند:

اندیس

- $i=1, 2, \dots, I$ شاخص فرایندها؛
- $j=1, 2, \dots, J$ شاخص قطعات؛
- $s=1, 2, \dots, S$ شاخص تأمین کنندگان.

$$w_1 = [(0.9, 0.1) \otimes (0.55, 0.25)] \oplus [(0.85, 0.1) \otimes (0.25, 0.35)] \oplus [(0.55, 0.25) \otimes (0.85, 0.1)] = (18) [(0.325, 0.495)] \oplus [(0.415, 0.2125)] \oplus [0.4675, 0.345] = (0.786, 0.439)$$

گام ۲: ساخت مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی شهودی؛ ابتدا مقادیر سطوح انتظار توابع عضویت (p_r) و عدم عضویت (q_r) و حد بالا برای توابع عضویت (U_r) و حد پایین (L_r) برای توابع عدم عضویت برای هر آرمان فازی شهودی $r = 1, 2, 3$ به روش زیر تعیین می‌شود:

برای تعیین مقادیر سطوح انتظار توابع عضویت (p_r) و حد پایین (L_r) برای توابع عدم عضویت، از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود حداقل و حداکثر مقدار قابل تحمل برای آرمان (سطح آستانه) مورد نظر را بیان کند. حداقل مقدار مطلوب و قابل تحمل برای آرمان به‌عنوان p_r و حداکثر مقدار مطلوب و قابل تحمل برای آرمان به‌عنوان L_r شناخته می‌شود. برای تعیین سطوح انتظار توابع عدم عضویت (q_r) و حد بالا برای توابع عضویت (U_r) از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود حداقل و حداکثر مقدار نامطلوب برای آرمان مورد نظر را بیان کند. حداقل مقدار نامطلوب برای آرمان به‌عنوان U_r و حداکثر مقدار نامطلوب برای آرمان به‌عنوان q_r شناخته می‌شود. این مقادیر در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. سطوح انتظار و حدود بالا و پایین برای هر آرمان

هدف	تابع عضویت		تابع عدم عضویت	
	p_r	U_r	q_r	L_r
۱ (ریال)	۳۱۰,۰۰۰	۳۳۰,۰۰۰	۳۴۰,۰۰۰	۳۱۵,۰۰۰
۲ (روز)	۳۸۵	۴۱۰	۴۳۰	۳۹۰
۳ (واحد)	۲۷۰۰	۳۰۰۰	۳۲۰۰	۲۷۰۰

در ادامه، تابع عضویت و عدم عضویت برای هر هدف براساس جدول ۳ ارائه و مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی شهودی فرموله می‌شود:

$$\sum_{i=1}^I y_i = 1 \quad (16)$$

$$y_i, u_s \in \{0, 1\}, X_{js} \geq 0 \quad \forall i, j, s \quad (17)$$

اولین هدف، هزینه توسعه محصول شامل هزینه‌های خرید، مونتاژ و سفارش قطعات را حساب می‌کند. دومین هدف، میانگین زمان سفارش تا تحویل^{۲۳} قطعات خریداری‌شده و زمان صرف‌شده برای مونتاژ را محاسبه می‌کند. سومین هدف، تعداد قطعات معیوب خریداری‌شده از تأمین‌کنندگان و تعداد قطعات معیوب تولیدشده در فرایند مونتاژ را کمینه می‌سازد. عبارت 8×60 دقیق کاری را نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب، مقدار تقاضا و ظرفیت تأمین‌کننده برای هر قطعه را نشان می‌دهد. محدودیت ۱۶ نشان‌دهنده انتخاب تنها یک فرایند مونتاژ است. محدودیت ۱۷ متغیرهای پیوسته و صفر-یک را نشان می‌دهد. در این مدل، $S = 0$ به معنای وجود تأمین‌کننده داخلی (خود شرکت) است. گام‌های روش پیشنهادی عبارت‌اند از:

گام ۱: تعیین ارزیابی تصمیم‌گیرندگان از اهداف با استفاده از عبارت‌های کلامی فازی شهودی^{۲۴} (IFLT) در جدول ۱ و تعیین وزن اهداف؛ جدول ۲، ارزیابی تصمیم‌گیرندگان از اهداف، وزن شهودی^{۲۵} (IW) اهداف (که با استفاده از معادله ۸ حاصل می‌شود) و وزن قطعی نهایی^{۲۶} (FCW) (که با استفاده از فرمول ۹ محاسبه می‌شود) را نشان می‌دهد.

جدول ۲. ارزیابی تصمیم‌گیرندگان از اهداف و وزن حاصل

هدف	تصمیم‌گیرنده	FCW	IW	تصمیم‌گیرنده		
				(MH) ^۳	(H) ^۲	(VH) ^۱
۱		۰/۳۰۴	(۰/۷۸۶, ۰/۴۳۹)	H	ML	MH
۲		۰/۳۵۳	(۰/۰, ۰/۹۳۲/۰/۲۸۴)	VH	M	H
۳		۰/۳۴۳	(۰/۸۹۷, ۰/۰/۳۴۵)	MH	ML	VH

چگونگی محاسبه وزن شهودی برای هدف ۱ در زیر نشان داده شده است:

$$\sum_{s=0}^S X_{js} = D.b_j \quad \forall j$$

$$X_{js} \leq Cap_{js} \quad \forall j,s$$

$$\sum_{i=1}^I y_i = 1$$

$$y_i, u_s \in \{0,1\}, X_{js} \geq 0 \quad \forall i, j, s$$

این مدل، هم‌زمان فرایند مونتاژ و تأمین‌کنندگان قطعات را انتخاب می‌کند. برای مثال مورد نظر، فرایند مونتاژ ۲ ($y_2 = 1$) انتخاب و مقادیر تخصیصی به هر تأمین‌کننده تعیین می‌شود که در جدول ۴ نشان داده شده است. با بررسی مقادیر معلوم می‌شود که برخی قطعات، مانند قطعات ۳ و ۷، در خود شرکت تولید می‌شوند. برای بررسی اثر آرمان‌های فازی و فازی شهودی بر سفارش قطعات به هر تأمین‌کننده و فرایند مونتاژ انتخاب‌شده، نتایج مقایسه مدل پیشنهادی IFGP با مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی (FGP) در جدول ۴ نشان داده شده است. مقادیر جدول، وجود تفاوت را در مقادیر سفارش به تأمین‌کنندگان برای قطعات ۵، ۶ و ۷ نشان می‌دهد.

$$\text{Min} \sum_{r=1}^3 w_r (d_r^- + b_r^+)$$

s.t.:

$$\mu_{z_1(x)} = \frac{330000 - Z_1(x)}{20000}$$

$$v_{z_1(x)} = \frac{Z_1(x) - 315000}{25000}$$

$$\mu_{z_2(x)} = \frac{410 - Z_2(x)}{25}$$

$$v_{z_2(x)} = \frac{Z_2(x) - 390}{40}$$

$$\mu_{z_3(x)} = \frac{3000 - Z_3(x)}{3000}$$

$$v_{z_3(x)} = \frac{Z_3(x) - 2700}{500}$$

$$\mu_{z_r(x)} - d_r^+ + d_r^- = 1 \quad r = 1, 2, 3$$

$$v_{z_r(x)} - b_r^+ + b_r^- = 0 \quad r = 1, 2, 3$$

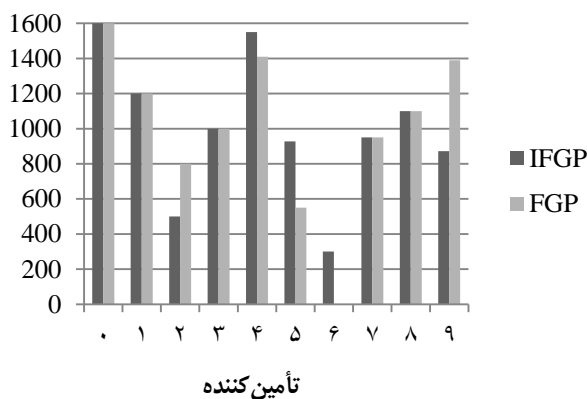
$$\mu_{z_r(x)} \geq v_{z_r(x)} \quad r = 1, 2, 3$$

$$\mu_{z_r(x)} + v_{z_r(x)} \leq 1 \quad r = 1, 2, 3$$

$$\mu_{z_r(x)}, v_{z_r(x)} \geq 0$$

جدول ۴. سفارش تخصیصی هر تأمین‌کننده برای دو مدل

مقدار سفارش		تأمین‌کنندگان	قطعات
FGP	IFGP		
۰، ۵۰۰، ۰، ۵۰۰	۰، ۵۰۰، ۰، ۵۰۰	۷، ۵، ۲، ۱	۱
۱۲۰۰، ۸۰۰، ۰	۱۲۰۰، ۸۰۰، ۰	۶، ۴، ۱	۲
۹۰۰، ۰، ۰، ۱۱۰۰	۹۰۰، ۰، ۰، ۱۱۰۰	۸، ۳، ۲، ۰	۳
۵۵۰، ۰، ۴۵۰	۵۵۰، ۰، ۴۵۰	۷، ۶، ۵	۴
۶۱۰، ۰، ۳۹۰	۷۵۰، ۰، ۲۵۰	۹، ۸، ۴	۵
۱۰۰۰، ۰، ۱۰۰۰	۱۰۰۰، ۳۷۸، ۶۲۲	۹، ۵، ۳	۶
۷۰۰، ۳۰۰، ۰، ۰	۷۰۰، ۰، ۰، ۳۰۰	۶، ۴، ۲، ۰	۷
۲	۲	بهترین فرایند مونتاژ	



شکل ۲. مقادیر تخصیصی به تأمین کنندگان در دو مدل IFGP و FGP

مجموعه‌های فازی شهودی با مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی یا برنامه‌ریزی ریاضی، در مسائل تصمیم‌گیری ممکن است موفقیت‌آمیز باشد، زیرا در IFS تصمیم‌گیرنده نظرش را با درجه‌ای از تردید بیان می‌کند که به واقعیت نزدیک‌تر است. در مدل IFGP پیشنهادی، سه آرمان هزینه، زمان و نرخ خرابی، لحاظ و برای سطح آستانه هر آرمان، توابع عضویت و عدم عضویت ساخته می‌شود. اهمیت نسبی آرمان‌ها نیز با استفاده از IFS تعیین می‌شود.

موارد زیر برای گسترش موضوع پیشنهاد می‌شود:

۱. استفاده از یک مثال واقعی در حوزه زنجیره تأمین که آثار در نظر گرفتن تردید در سطوح مختلف تصمیم‌گیری را ارزیابی کند، ضروری به نظر می‌رسد.
۲. عدم قطعیت برای دیگر پارامترهای مهم مسئله مانند تقاضا و هزینه‌ها به صورت اعداد فازی شهودی را می‌توان راهی برای توسعه مدل دانست.
۳. مقایسه نتایج مدل‌سازی یک مسئله تصمیم‌گیری واقعی با پارامترهای فازی شهودی (در برابر پارامترهای قطعی و فازی) بعد دیگری از این مسئله به شمار می‌رود.

شکل ۲ نیز مقادیر کل سفارش به تأمین کنندگان را در دو مدل IFGP و FGP نشان می‌دهد که در آن، مقادیر تخصیصی به تأمین کنندگان ۲، ۴، ۵، ۶ و ۹ در دو مدل متفاوت است.

جدول ۵، مقادیر آرمان را در دو مدل IFGP و FGP نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقادیر آرمان‌ها در دو مدل IFGP و FGP

آرمان	مقدار سطح مطلوب آرمان	
	IFGP	FGP
۱	۳۱۵,۰۰۰	۳۱۰,۰۰۰
۲	۳۹۰	۳۸۸/۴
۳	۲۸۰۵	۲۸۲۵

با مقایسه IFGP و FGP برای مثال عددی، تأثیر درجه‌ای از تردید در تصمیم‌گیرندگان بر جواب‌های بهینه توابع و مقادیر تخصیصی به تأمین کنندگان قابل مشاهده است.

نتیجه‌گیری

بسیاری از اطلاعات موجود در مراحل اولیه طراحی محصول، مبهم و غیردقیق‌اند. مواجهه با این موضوع چالش‌برانگیز است. رویکرد این پژوهش، استفاده از مجموعه‌های فازی شهودی برای مواجهه با اطلاعات مبهم و غیردقیق در فرایند طراحی محصول است. ترکیب

مراجع

1. Maffin, D., and Braiden, P., (2001). "Manufacturing and supplier roles in product development", *International Journal of Production Economics.*, Vol. 69, No. 2, PP. 205–213.
2. Herrera-Viedma, E., Chiclana, F., Herrera, F., and Alonso, S. (2007). "A Group decision-making model with incomplete fuzzy preference relations based on additive consistency", *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS—PART B.*, Vol. 37, No. 1, PP. 176–189.
3. Deschrijver, G., and Kerre, E. E. (2003). "On the composition of intuitionistic fuzzy relations", *Fuzzy Sets Systems.*, Vol. 136, No. 3, PP. 333–361.
4. Herrera, F., Martinez, L., and Sánchez, P. J. (2005). "Managing non-homogeneous information in group decision making", *European Journal of Operational Research.*, Vol. 166, No. 1, PP. 115–132.
5. Szmidt, E., and Kacprzyk, J. (1998). "Group decision making under intuitionistic fuzzy preference relations", in *Traitement d'information et gestion d'incertitudes dans les syst{è}mes {à} base de connaissances. Conf{é}rence internationale.*, PP. 172–178.
6. Szmidt, E., and Kacprzyk, J. (2002). "Using intuitionistic fuzzy sets in group decision making", *Control and Cybernetics.*, Vol. 31, PP. 1055–1057.
7. Xu, Z., and Yager, R. R. (2006). "Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets", *International Journal of General Systems.*, Vol. 35, No. 4, PP. 417–433.
8. Xu, Z. (2007). "Intuitionistic preference relations and their application in group decision making", *Information Sciences.*, Vol. 177, No. 11, PP. 2363–2379.
9. Atanassov, K. T. (1986). "Intuitionistic fuzzy sets", *Fuzzy sets Systems.*, Vol. 20, No. 1, PP. 87–96.
10. Yue, Z. (2014). "TOPSIS-based group decision-making methodology in intuitionistic fuzzy setting", *Information Sciences.*, No. 277, PP. 141–153.
11. Chen, T. Y. (2014). "The extended linear assignment method for multiple criteria decision analysis based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets", *APPLIED MATHEMATICAL MODELLING.*, Vol. 38, No. 7, PP. 2101–2117.
12. Dowlatshahi, S. (1999). "A modeling approach to logistics in concurrent engineering", *European Journal of Operational Research.*, Vol. 115, No. 1, PP. 59–76.
13. Büyüközkan, G., and Feyzioğlu, O. (2004). "A fuzzy-logic-based decision-making approach for new product development", *International Journal of Production Economics.*, Vol. 90, No. 1, PP. 27–45.
14. Ragatz, G. L., Handfield, R. B., and Petersen, K. J. (2002). "Benefits associated with supplier integration into new product development under conditions of technology uncertainty", *Journal of Business Research.*, Vol. 55, No. 5, PP. 389–400.
15. Nepal, B., Monplaisir, L., and Singh, N. (2005). "Integrated fuzzy logic-based model for product modularization during concept development phase", *International Journal of Production Economics.*, Vol. 96, No. 2, PP. 157–174.
16. Xu, L., Li, Z., Li, S., and Tang, F. (2007). "A decision support system for product design in concurrent engineering", *Decision Support Systems.*, Vol. 42, No. 4, PP. 2029–2042.
17. Wang, G., Huang, S. H., and Dismukes, J. P. (2004). "Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology", *International Journal of Production Economics.*, Vol. 91, No. 1, PP. 1–15.
18. Lamghabbar, A., Yacout*, S., and Ouali, M. S., (2004). "Concurrent optimization of the design and manufacturing stages of product development", *International Journal of Production Economics.*, Vol. 42, No. 21, PP. 4495–4512.
19. Schniederjans, M. J., and Hong, S. (1996). "Multiobjective concurrent engineering: A goal programming approach", *IEEE Transactions on Engineering Management.*, Vol. 43, No. 2, PP. 202–209.

20. Fine, C. H., Golany, B., and Naseraldin, H. (2005). "Modeling tradeoffs in three-dimensional concurrent engineering: a goal programming approach", *Journal of Operations Management*, Vol. 23, No. 3, PP. 389–403.
 21. Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets", *Information and Control*, Vol. 8, No. 3, PP. 338–353.
 22. Szmidt, E., Kacprzyk, J., and Bujnowski, P. (2014). "How to measure the amount of knowledge conveyed by Atanassov's intuitionistic fuzzy sets", *Information Sciences*, Vol. 257, PP. 276–285.
 23. Xu, Z., and Liao, H. (2014). "Intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 22, No. 4, PP. 749–761.
 24. Atanassov, K. T. (2008). "My personal view on intuitionistic fuzzy sets theory," in *Fuzzy Sets and Their Extensions: Representation, Aggregation and Models*, PP. 23–43.
 25. Liao, H., and Xu, Z. (2014). "Intuitionistic fuzzy hybrid weighted aggregation operators", *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 29, No. 11, PP. 971–993.
 26. Chen, R. Y. (2009). "A problem-solving approach to product design using decision tree induction based on intuitionistic fuzzy", *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, No. 1, PP. 266–272.
 27. Chen, Y., and Li, B. (2011). "Dynamic multi-attribute decision making model based on triangular intuitionistic fuzzy numbers", *Scientia Iranica*, Vol. 18, No. 2, PP. 268–274.
 28. Das, S., and Guha, D. (2016). "A centroid-based ranking method of trapezoidal intuitionistic fuzzy numbers and its application to MCDM problems", *Fuzzy Information and Engineering*, Vol. 8, No. 1, PP. 41–74.
 29. Li, K. W., and Wang, Z. (2010). "Notes on multicriteria fuzzy decision-making method based on a novel accuracy function under interval-valued intuitionistic fuzzy environment", *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 19, No. 4, PP. 504–508.
 30. Xu, Z., and Yager, R. R. (2008). "Dynamic intuitionistic fuzzy multi-attribute decision making", *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 48, No. 1, PP. 246–262.
 31. Yu, D. (2012). "Group decision making based on generalized intuitionistic fuzzy prioritized geometric operator", *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 27, No. 7, PP. 635–661.
 32. Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Razavi Hajiagha, S. H., and Hashemi, S. S. (2015). "The interval-valued intuitionistic fuzzy MULTIMOORA method for group decision making in engineering", *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2015, Article ID 560690, 13 pages.
 33. Zhang, X., and Xu, Z. (2012). "A new method for ranking intuitionistic fuzzy values and its application in multi-attribute decision making", *Fuzzy Optimization and Decision Making*, Vol. 11, No. 2, PP. 135–146.
 34. Li, D. F., Wang, Y. C., Liu, S., and Shan, F. (2009). "Fractional programming methodology for multi-attribute group decision-making using IFS", *Applied Soft Computing Journal*, Vol. 9, No. 1, PP. 219–225.
 35. Mukherjee, S., and Basu, K. (2011). "Solving intuitionistic fuzzy assignment problem by using similarity measures and score functions", *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, Vol. 2, No. 1, PP. 1–18.
 36. Jana, B., and Roy, T. K. (2007). "Multi-objective intuitionistic fuzzy linear programming and its application in transportation model", *Notes Intuitionistic Fuzzy Sets*, Vol. 13, No. 1, PP. 34–51.
 37. Boran, F. E., Boran, K., and Menlik, T. (2012). "The evaluation of renewable energy technologies for electricity generation in Turkey using intuitionistic fuzzy TOPSIS", *Energy Sources, Part B Economics, Planning, Policy*, Vol. 7, No. 1, PP. 81–90.
 38. Ning, X., Lam, K. C., and Lam, M. C. K. (2011). "A decision-making system for construction site layout planning", *Automation in Construction*, Vol. 20, No. 4, PP. 459–473.
 39. Chai, J., Liu, J. N. K., and Xu, Z. (2012). "A new rule-based SIR approach to supplier selection under intuitionistic fuzzy environments", *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, Vol. 20, No. 3, PP. 451–471.
 40. Wang, Y. (2012). "An approach to software selection with triangular intuitionistic fuzzy information", *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 4, No. 2.
-

41. Szmidt, E., and Kacprzyk, J. (2001). "Intuitionistic fuzzy sets in some medical applications", in *International Conference on Computational Intelligence*, PP. 148–151.
42. Neog, T. J., and Sut, D. K. (2011). "An application of fuzzy soft sets in medical diagnosis using fuzzy soft complement", *International Journal of Computer Applications.*, Vol. 33, No. 9.
43. Gerogiannis, V. C., Fitsilis, P., and Kameas, A. D. (2011). "Using a combined intuitionistic fuzzy set-TOPSIS method for evaluating project and portfolio management information systems", in *Artificial Intelligence Applications and Innovations*, PP. 67–81.
44. Dey, S., and Roy, T. K. (2015). "Intuitionistic Fuzzy Goal Programming Technique for Solving Non-Linear Multi-objective Structural Problem", *Journal of Fuzzy Set Valued Analysis.*, Vol. 2015, No. 3, PP. 179–193.
45. Ghosh, P., Roy, T. K., and Majumder, C. (2016). "Optimization of industrial wastewater treatment using intuitionistic fuzzy goal geometric programming problem", *Fuzzy Information and Engineering.*, Vol. 8, No. 3, PP. 329–343.
46. Atnassov, K. (1999). "Intuitionistic fuzzy sets: Theory and applications", *Physica-Verlag*.
47. Charnes, A., and Cooper, W. W. (1957). "Management models and industrial applications of linear programming", *Management Science.*, Vol. 4, No. 1, PP. 38–91.
48. Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M. and Akay, D. (2009). "A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method", *Expert Systems with Applications.*, Vol. 36, No. 8, PP. 11363–11368.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Intuitionistic Fuzzy Set
2. Buyukozkan and Feyzioglu
3. Nepal
4. Xu
5. Gray Theory
6. Wang
7. Multi-criteria Decision-making
8. Analytic Hierarchy Process
9. Preemptive Goal Programming
10. Lamghabbar
11. Quality Loss Function
12. Interactive Multi-objective Goal Programming
13. Schniederjans
14. Weighted Goal Programming
15. Auxiliary Fractional Programming Model
16. Mukherjee and Basu
17. Intuitionistic Fuzzy Assignment Problems
18. Relative Degree of Similarity
19. Intuitionistic Fuzzy Numbers
20. New Intuitionistic Fuzzy Optimization
21. Intuitionistic Fuzzy Goal Programming
22. Intuitionistic Weight
23. Lead Time
24. Intuitionistic Fuzzy Linguistic Term
25. Intuitionistic Weight
26. Final Crisp Weight