پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، صص ۹۸-۶۱
نوع مقاله: پژوهشی

توسعه تکنیک تصمیم‌گیری تعاملی STEM با استفاده از رویکردهای شبیه‌سازی و تابع مطلوبیت

پرویز رحیمی کاکه‌جوب[۱]، هیوا فاروقی [۲*]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲. استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

چکیده

برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند هدفه و تحت مفروضات مختلف، تکنیک‌ها و رویکردهای متنوعی ارائه شده است. تکنیک STEM، نیز یکی از تکنیک‌های پرکاربرد برای مواجهه با این دسته از مسائل و بویژه حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی چند هدفه (MOLP) به شمار می‌رود. در پژوهش جاری، رویکرد جدیدی به عنوان توسعه روش فوق‌الاشاره پیشنهاد شده است. در این راستا، فاز دوم روش مذکور با فرآیند شبیه‌سازی ادغام و به منظور تعیین احتمال انتخاب اهداف، از مفهوم تابع مطلوبیت استفاده شده است. برای هر یک از اهداف منتخب نیز، چندین نرخ تعدیل تصادفی تعریف می‌شود. انتخاب تصادفی توابع رضایت‌بخش بر مبنای مطلوبیت‌های آنها و با استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی، باعث "ایجاد تنوع در اهداف انتخابی برای تعدیل"، خواهد شد. همچنین با لحاظ کردن نرخ‌های مختلف و تصادفی تعدیل برای توابع منتخب، ضمن تسهیل در روند تصمیم‌گیری و ارائه گزارش تحلیلی به تصمیم‌گیرنده، امکان لحاظ کردن"سطوح مختلف رضایت" تصمیم‌گیرنده فراهم خواهد شد. یک مسئله سه‌هدفه که دارای پنج محدودیت می‌باشد، با استفاده از روش پیشنهادی، حل و نتایج آن ارائه شده است. نتایج حاکی از آنست که اعمال تغییرات فوق، به رفع برخی از محدودیت‌های اساسی این روش که در مطالعات پیشین به آنها اشاره شده، منجر خواهد شد. مقایسه تکنیک پیشنهادی با روش پایه، برتری کلی روش پیشنهادی بویژه در معیارهای مربوط به تعامل با تصمیم گیرنده را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: MOLP، STEM، تابع مطلوبیت، شبیه‌سازی.

---

* نویسنده مسئول مقاله E-mail: h.farughi@uok.ac.ir

۱- مقدمه

مسائل بهینه‌سازی چندهدفه[۱] در فرآیندهای تصمیم‌گیری و در زمینه‌های مختلف اقتصادی، مهندسی، حمل و نقل، علوم اجتماعی و سایر موارد مطرح می‌باشد. در بهینه‌سازی چندهدفه ما به دنبال حل مسائلی هستیم که در آن چندین هدف متناقض باید به طور همزمان، بهینه شوند. بدون در دست داشتن اطلاعات ترجیحی، صرفاً می‌دانیم که بهترین راه‌حل برای تصمیم‌گیرنده، در میان راه‌حل‌های پارتویی بهینه، وجود دارد. به منظور اعمال این ترجیحات در مسئله و بسته به موقعیت (زمان) استفاده از این ترجیحات، تکنیک‌های مختلفی معرفی شده است. این تکنیک‌ها در سه دسته کلی قابل تقسیم‌بندی است. دسته اول از این تکنیک‌ها، اطلاعات ترجیحی را قبل از حل مسئله، از تصمیم‌گیرنده دریافت می‌کنند. از جمله این تکنیک‌ها می‌توان به روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی[۲]، لکسیکوگرافی[۳] و اهداف حددار[۴] اشاره کرد. دسته دوم، شامل تکنیک‌هایی است که ضمن تعامل مستمر با تصمیم‌گیرنده و در خلال مراحل حل، ترجیحات مورد نظر وی، اخذ و در مسئله اعمال می‌شود. تکنیک‌های STEM، SWOT، GEOFRION، ZIONTS از این دسته می‌باشند. دسته سوم این تکنیک‌ها، اطلاعات ترجیحی تصمیم‌گیرنده را در پایان حل مسئله در نظر می‌گیرند. از جمله این روش‌ها نیز می‌توان، روش پارامتریک[۵]، روش محدودیت اپسیلون[۶] و روش‌های برنامه‌ریزی خطی چندهدفه[۷] را نام برد. یکی از روش‌های مهم و مطرح در مجموعه تکنیک‌های تصمیم‌گیری تعاملی در مسائل چندهدفه، روشSTEP یا STEM می‌باشد. این روش توسط بنایون و همکاران[۸] در سال ۱۹۷۱ ارائه شد و به عنوان اولین روش تعاملی برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه، شهرت یافته است. از آن زمان تا کنون از این روش برای حل بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری در زمینه‌های مختلف استفاده شده است [۱]. برخی از محققین به تحلیل محدویت‌های این روش پرداخته و روش‌هایی را برای رفع این محدودیت‌ها و کاربردی‌تر کردن آن ارائه نموده‌اند. از جمله این محدودیت‌ها، می‌توان به عدم لحاظ کردن درجات مختلف

---

[۱] Multi Objective Linear Programming (MOLP)
[۲] Goal Programming (GP)
[۳] Lexicographic Method
[۴] Bounded Objective Method (BOM)
[۵] Parametric Method
[۶] The ε-constraint Method
[۷] MOLP Methods
[۸] Benayoun et al

رضایت تصمیم‌گیرنده در بازه‌ی قابل قبول از اهداف رهاسازی شده و همچنین محدودیت در استفاده از دیگر روش‌های تعدیل از جمله محدود کردن[۱] اهداف، اشاره کرد [۲]. به منظور رفع این محدودیت‌ها و موارد مشابه و همچنین در راستای تکمیل و تقویت تکنیک مذکور، در برخی کاربردها، این روش، در ترکیب با مفاهیم دیگری مانند تابع مطلوبیت، عدم‌قطعیت و ... توسعه داده شده است. در بخش بعدی، شرح مختصری بر هر یک از رویکردهای توسعه تکنیک STEM ارائه و به برخی از مقالات ارائه شده در ارتباط با هر رویکرد اشاره شده است.

۱-۱- رویکردهای توسعه روش STEM

۱-۱-۱- دسته اول: استفاده از مفهوم تابع مطلوبیت

یکی از رویکردهای توسعه STEM، بهره‌برداری از مفهوم تابع مطلوبیت و استفاده از این مفهوم به شیوه‌های مختلف می‌باشد. جئونگ و کیم[۲] در ۲۰۰۵، توابع مطلوبیت هر یک از اهداف مسئله چندهدفه را محاسبه و به جای حل مسئله بر اساس توابع هدف، مدل بهینه‌سازی را بر اساس توابع مطلوبیت تشکیل داده‌اند. با توجه به رویکرد خاصی که در این مقاله ارائه شده، بر خلاف روش پایه، ناحیه موجه مسئله در تکرارهای مختلف، ثابت باقی مانده و صرفاً حدود توابع در مرحله محاسبه مطلوبیت‌ها تغییر می‌یابند [۲]. از دیگر رویکردهای استفاده از مفهوم تابع مطلوبیت در ترکیب با STEM، استفاده از توابع مطلوبیت برای سنجش میزان رضایت تصمیم‌گیرنده از مقادیر بدست آمده برای هر یک از اهداف می‌باشد. ژیوی و خان[۳] در سال ۲۰۰۷، رضایت تصمیم‌گیرنده از مقادیر اهداف را بر اساس یک تابع مطلوبیت فرضی ارزیابی می‌کنند [۳]. رویکرد سوم برای به کارگیری مفهوم تابع مطلوبیت در روش تعاملی STEM، توسط لی و کانگ[۴] در ۲۰۱۸، مطرح شده است. در این مقاله به منظور تغییر روش پایه و استفاده از مفهوم تابع مطلوبیت، بر خلاف روش پایه، مقادیر ماتریس بهره‌وری[۵] با مقادیر مطلوبیت بدست آمده جایگزین می‌شوند [٤].

۱-۱-۲- دسته دوم: عدم قطعیت و تکنیک STEM

از آنجایی که تحلیل مسائل دنیای واقعی، همواره نیازمند در نظر گرفتن موضوع عدم‌قطعیت در ابعاد مختلف می‌باشد، تکنیک‌های تصمیم‌گیری نیز مستثنی نبوده و به منظور اخذ تصمیمات

---

[۱] Tightening
[۲] Jeong and Kim
[۳] Xevi and Khan
[٤] Lee and Kang
[۵] Pay-off Table

عملی و کاربری، لازم است در حد امکان شرایط و ابعاد مختلف عدم‌قطعیت در مسائل لحاظ شده و تعدیلات و تغییراتی در روش‌های تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌های قطعی صورت پذیرد. تکنیک STRANGE یکی از روش‌های تصمیم‌گیری است که توسط تگم و همکاران[۱] در سال ۱۹۸٦ ارائه شده و با توسعه روش STEM شرایطی را فراهم نموده‌اند که بتوان از این تکنیک برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی تصادفی چندهدفه[۲] استفاده کرد [٥].

۱-۱-۳- دسته سوم: شبیه‌سازی و تکنیک STEM

در برخی مقالات در کنار روش تصمیم‌گیری تعاملی STEM به مفهوم شبیه‌سازی اشاره شده است. در پژوهش انجام شده توسط ملاقاسمی و ایوانز[۳] در ۱۹۹٤، موضوع شبیه‌سازی، مربوط به ماهیت خاص مسئله تحت بررسی بوده و مستقیماً مربوط به جزئیات تکنیک STEM نمی‌باشد. در واقع، هدف اصلی، شبیه‌سازی و طراحی حالات مختلف یک سیستم تولیدی بر اساس سفارش قطعات مختلف و زمان انجام عملیات مختلف بر روی هر قطعه به صورت تصادفی می‌باشد. سرانجام بعد از ارزیابی نتایج، طرح نهایی با روش مذکور انتخاب می‌شود [٦]. رویکرد دیگر، شبیه‌سازی مسائل مختلف با هدف تولید نسخه‌های مختلف یک مسئله پایه و بعد حل مسائل با روش STEM و یا سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه می‌باشد. امین الاقا[٤] در سال ۲۰۱٥ از چنین رویکردی بهره برده است [۷].

۱-۲- بیان مسئله و انگیزه تعریف آن

هرچند تکنیک STEM در عمل یک تکنیک تعاملی بوده و در مراحل مختلف، نتایج محاسبات با تصمیم‌گیرنده به اشتراک گذاشته می‌شود، در برخی کاربردها، ترجیحات تصمیم‌گیرنده در قالب توابع مطلوبیت خاصی منعکس شده و مسائل بدون تعامل تکراری با تصمیم‌گیرنده و صرفاً بر اساس مطلوبیت‌های حاصله از نتایج مختلف، بررسی و حل شده‌اند. با وجود رویکردهای مختلفی که در مطالعات پیشین برای توسعه تکنیک STEM ارائه شده است، بر اساس دانش محققین این مقاله، هیچ کدام از مقالات به موضوع شبیه‌سازی رفتار تصمیم‌گیرنده در تکنیک مذکور نپرداخته‌اند. در مطالعات معدودی که برای حل مسائل چندهدفه، در کنار تکنیک STEM، به موضوع شبیه‌سازی، اشاره شده است، کاربرد شبیه‌سازی در ماهیت و

---

[۱] Teghem et al
[۲] Multi Objective Stochastic Linear Programming
[۳] Mollaghasemi and W.Evans
[٤] Amin Al-Agha

جزئیات مسئله تحت بررسی مطرح بوده و به تکنیک فوق و مراحل اجرای آن مربوط نمی‌باشد. در این پژوهش، از فرآیند شبیه‌سازی در خود تکنیک (فاز دوم) و مراحل اجرای آن، استفاده شده و به عبارتی با هدف کاهش نیاز به تعامل مستقیم با تصمیم‌گیرنده و همچنین اعمال مقادیر مختلف تعدیل در توابع رضایت‌بخش، تکنیک STEM با فرآیند شبیه‌سازی ادغام شده است. در طول فرآیند شبیه‌سازی، هم انتخاب توابع رضایت‌بخش و هم میزان تعدیل این توابع، طی رویکرد خاصی به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است. ناگفته نماند که معرفی این روش جدید، به مفهوم حذف نقش تصمیم‌گیرنده در این تکنیک نبوده و در عمل، برای برداشت درست تابع مطلوبیت منطبق با ذهن تصمیم‌گیرنده و همچنین تصمیم‌گیری نهایی در خصوص نتایج بدست آمده، حضور تصمیم‌گیرنده الزامی است. حتی می‌توان از آن به عنوان رویکردی حمایتی برای ارائه نتایج تحلیلی به تصمیم‌گیرنده برای تصمیم‌گیری ساده‌تر و بهتر یاد کرد. در این زمینه، نادرشاهی و همکاران[1] با توجه به ماهیت ضمنی ترجیحات تصمیم‌گیرنده در اغلب مسائل تصمیم‌گیری، از شبکه عصبی تصمیم برای تخمین تابع مطلوبیت و با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهره برده‌اند [۸]. دِوی و همکاران[2] در ۲۰۲۱ ضمن بررسی خواص پایه‌ای توابع مطلوبیت و همچنین بیان کاربرد ترجیحات در فرآیند تصمیم‌گیری، به بررسی چگونگی و اثبات ارتقای فرآیند تصمیم‌گیری از طریق تعامل با تصمیم‌گیرنده (استفاده از ترجیحات) و بهره‌گیری از توابع مطلوبیت پرداخته‌اند [۹].

۱-۳- روش تصمیم‌گیری تعاملی STEM

تکنیک STEM به صورت یک رویه شناسایی (کشف) تکرارشونده است که در آن بهترین جواب توافقی در تعداد قطعی از سیکل‌ها بدست می‌آید. پس از بدست آوردن مقدار بهینه هر یک از اهداف مسئله به صورت مجزا و همچنین محاسبه مقادیر سایر اهداف به ازای نقطه بهینه هر هدف و تشکیل ماتریس بهره‌وری، اجرای هر سیکل از این روش، شامل دو فاز اصلی می‌باشد. فاز محاسبات و فاز تصمیم‌گیری. در فاز محاسبات یک مدل برنامه‌ریزی خطی، برای هر سیکل، تشکیل و پس از محاسبه ضریب اهمیت هر یک از اهداف، مدل مربوطه حل می‌شود. مقادیر بدست آمده برای اهداف مسئله، به منظور مقایسه با مقدار بهینه و تصمیم‌گیری در خصوص رضایت‌بخش بودن و یا نبودن مقادیر، به تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شود. این فاز از

---

[1] Nadershahi et al

[2] Devi et al

روش STEM، همان فاز تصمیم‌گیری است. در صورتی که کلیه مقادیر مورد رضایت تصمیم‌گیرنده واقع شود، حل مسئله، پایان یافته و در غیر اینصورت، تصمیم‌گیرنده، تابع رضایت‌بخش‌تر را انتخاب و حتی مقدار مشخصی را برای تعدیل در مقدار آن به نفع بهبود در سایر توابع هدف، اعلام می‌نماید. مجموعه‌ای از محدودیت‌های تعدیل‌کننده را به محدودیت‌های مدل گام قبلی اضافه و مدل مجدداً حل می‌شود. فازهای محاسبات و تصمیم‌گیری تا زمانی که ارزش کلیه توابع هدف مورد رضایت تصمیم‌گیرنده واقع شود، تکرار می‌شود [۱].

در ادامه، نخست، مروری بر مطالعات پیشین در خصوص تکنیک STEM و روش‌های توسعه‌های آن، ارائه شده و سپس جزئیات رویکرد جدید پیشنهادی و چگونگی اعمال درجات مختلف رضایت و تأثیر آن در کاهش تعامل با تصمیم‌گیرنده، تشریح شده است. اعتبار روش، با حل یک مثال عددی و ارائه نتایج طی ۵۰ بار شبیه‌سازی، مورد بررسی قرارگرفته است.

۲- مرور مطالعات پیشین

بلنسون و کاپور[۱] در ۱۹۷۳، نشان داده‌اند که در یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و برای دستیابی به بهترین راه حل توافقی کارا، می‌توان از حل یک بازی مجموع صفر دو نفره[۲] با استراتژی ترکیبی، برای تعیین اوزان نسبی بهینه استفاده کرد. رویکرد ارائه شده را همچنین می‌توان توسعه‌ای بر روش STEM دانست [۱۰]. در مطالعه دیگری در سال ۱۹۷۵، به ارائه نتایج یک بررسی آزمایشگاهی در خصوص مقایسه عملکرد روش‌های تعاملی در حوزه تصمیم‌گیری از دیدگاه تصمیم‌گیرنده پرداخته شده است. در این مقاله، STEM با چند روش تعاملی دیگر که توسط جئو فریون[۳] در سال ۱۹۷۰ و دیر[۴] در سال ۱۹۷۲ ارائه شده‌اند، مقایسه شده و نویسنده سعی کرده که دلایل اختلاف عملکرد روش‌ها را نیز بیان کند [۱۱]. محققین در سال ۱۹۷۶، ضمن بررسی رویکردهای مختلف رویارویی با مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه، توسعه‌ای از روش STEM را نیز ارائه نموده‌اند. نویسندگان، در تکمیل مطالعاتی که توسط فندل[۵] در سال ۱۹۷۲ صورت گرفته و با انجام تعدیلاتی در روش وی، یک الگوریتم تعاملی جدید را ارائه نموده‌اند [۱۲]. در ۱۹۸۰ و در پژوهش دیگری، یک مسئله برنامه‌ریزی ظرفیت و

---

[۱] Belenson and Kapur
[۲] Two Person-Zero Sum Game
[۳] Geoffrion
[۴] Dyer
[۵] Fandel

تخصیص منابع به کمک توسعه‌ای از روش STEM حل شده است [۱۳]. مسعود و هوانگ[۱] در ۱۹۸۱، به معرفی روش جدیدی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه پرداخته‌اند. نویسندگان، مرور کوتاهی بر روش‌های نزدیک به روش STEM، مانند روش GPSTEM و SIGMOP[۲] داشته و پس از تشریح مبانی روش خود با نام ISGP[۳]، جزئیات حل یک مثال عددی با روش مذکور را ارائه نموده‌اند [۱٤]. در سال‌های ۱۹۸۳ و ۱۹۸٤ توسعه‌هایی از روش STEM ارائه شده است. در ۱۹۸٤، روش STEM با اعمال تغییراتی در روش پایه توسعه داده شده است [۱۵]. براک هاف[٤] در ۱۹۸۵، به بررسی و مقایسه دو روش STEM و روش استور[۵] می‌پردازد. در این مقاله، چندین فرضیه مختلف طرح و بر اساس آزمایشات انجام شده و نتایج حاصله، صحت این فرضیات مورد بررسی قرار گرفته است [۱٦]. در مطالعه دیگری در ۱۹۸٦، به دسته‌ای از مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه پرداخته شده که در آنها عدم قطعیت وابسته به زمان بر روی ضرائب و همچنین مقادیر سمت راست محدودیت‌ها، تأثیر می‌گذارد. ایشان، برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی تصادفی چندهدفه، تکنیک STRANGE را ارائه نموده‌اند که در واقع توسعه روش STEM برای لحاظ کردن جنبه‌های عدم قطعیت در مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه می‌باشد [۵]. همچنین در پژوهش دیگری در سال ۱۹۸٤، مروری بر تکنیک‌های حل مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه انجام و نویسنده، به روش GPSTEM به عنوان ترکیبی از روش برنامه‌ریزی آرمانی و روش STEM اشاره و فواید آن را نسبت به روش پایه معرفی نموده است [۱۷]. محققین در ۱۹۹۲، به معرفی یک استراتژی خاص برای برنامه‌ریزی چندهدفه تعاملی به صورت یکپارچه پرداخته‌اند. الگوریتم یکپارچه‌سازی برای ترکیب STEM با روش محدودیت اپسیلون استفاده و جزئیات آن ارائه شده است [۱۸]. پارک و کیم[٦] در سال ۲۰۰۵، ضمن بررسی روش‌های مختلف حل مسائل بهینه‌سازی سطح چندپاسخه[۷] و توسعه‌های انجام شده بر این روش‌ها، به رویکردهای تعاملی مانند روش STEM و GDP و ... اشاره و مرور مختصری بر کاربردها، ویژگی‌ها و تفاوت‌های این روش‌ها ارائه نموده‌اند [۱۹]. در مطالعه

[۱] Masud and Hwang
[۲] Sequential Information Generator for Multiple Objective Problems
[۳] Interactive Sequential Goal Programming
[٤] Brockhoff
[۵] Steuer’s Filtering Procedure
[٦] Park and Kim
[۷] Multi-Response Surface Optimization (MRO)

دیگری در سال ۲۰۰۵، با تعدیلاتی در روش STEM، مفهوم مطلوبیت را در این روش وارد نموده و رویکرد جدیدی از آن به نام D-STEM را ارائه نموده‌اند [۲]. در سال ۲۰۰۷، از روش STEM در یک مسئله مدیریت آبیاری استفاده شده است. نویسندگان، برای مقایسه مقادیر مختلف بدست آمده برای اهداف مسئله، از تابع مطلوبیت کمک گرفته‌اند [۳]. پوخارل[۱] در سال ۲۰۰۸، از روش STEM در یک مدل تصمیم‌گیری دو هدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و انبارها و به منظور طراحی شبکه زنجیره تأمین[۲] استفاده کرده است. در این مقاله تعدادی سناریو برای بررسی اثرات ترجیحات تصمیم‌گیرنده بر روی وضعیت شبکه، ارائه شده است [۲۰]. در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۲، نویسندگان، روش STEM را به گونه‌ای بهبود داده‌اند که در یک فضای موجه تقلیل یافته، به جستجوی جواب می‌پردازد. رویه کلی اتخاذ شده، سعی در افزایش نرخ رضایت از راه‌حل‌های بدست آمده داشته و در قالب شش گام کلی ارائه شده است [۲۱]. در سال ۲۰۱٤، برنامه‌ریزی مدیریت تقسیم‌بندی استفاده از آب برای تولید محصولات کشاورزی، به کمک رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه و با تکنیک تعاملی STEM انجام و نتایج آن تحلیل شده است [۲۲]. امیری و همکاران در همین سال، به ارائه کاربرد یک مدل ریاضی چندسطحی چندهدفه در تعیین میزان بهینه عوامل مؤثر بر کیفیت تزریق پلاستیک پرداخته‌اند. نویسندگان بر این باورند که با استفاده از رویکرد ارائه شده در این پژوهش، می‌توان اهداف با مقاصد متناقض و با ترکیبی از متغیرهای کمی و کیفی را به صورت توأم بهینه کرد [۲۳]. همچنین در سال ۲۰۱۵، با بهره‌گیری از مفهوم تابع مطلوبیت، به ارائه نمونه متفاوتی از روش STEM برای حل یک مسئله تصمیم‌گیری در زمینه برنامه‌ریزی ملی پرداخته شده است [۷]. در سال ۲۰۱۸، مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش به کمک روش تعاملی STEM و با استفاده از تابع مطلوبیت، اما با رویکردی متفاوت از نمونه‌های پیشین توسط لی و کانگ ارائه شده است [٤]. در مطالعه دیگری و در همان سال، یک مسئله بهینه‌سازی برنامه تولید با دو روش تعاملی STEM و تکنیک جدیدی به نام MP حل و سپس روش‌های مذکور با هم مقایسه شده‌اند [۲٤]. روزمینکوف[۳] در سال ۲۰۲۰، کاربرد روش STEM برای تصمیم‌گیری در خصوص توسعه استفاده از سرویس‌های تکنولوژی ابری را مورد بررسی قرار داده است

---

[۱] Pokharel
[۲] Supply Chain Network (SCN)
[۳] Razuminkov

[۲۵]. محققین در سال ۲۰۲۰، مدل هیبریدی شامل تحلیل پوششی داده‌ها[۱] و رویکردهای تعاملی مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه را ارائه نموده‌اند. یکی از تکنیک‌های تعاملی پیشنهادی، تکنیک STEM می‌باشد [۲۶]. موسی و همکاران در ۲۰۲۱ رویکرد ترکیب متمرکز بر برنامه‌ریزی امکانی فازی و برنامه‌ریزی آرمانی فازی را برای حل یک مدل دوهدفه به کار گرفته‌اند. در این پژوهش، اقدامات امکان، ضرورت و اعتبار، مطابق با ترجیح تصمیم‌گیرندگان اتخاذ می‌شود [۲۷]. امید و همکاران نیز در همین سال به منظور مقایسه کارایی زیست‌محیطی صنایع فعال در شهر تهران، سعی در بهینه‌سازی یک مدل چند هدفه با استفاده از رویکرد خطی دارند. در این راستا از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای[۲] بهره‌برداری شده است [۲۸]. چن و همکاران[۳] در ۲۰۲۲ به ارائه رویکرد جدیدی برای مقایسه تکنیک‌های معمول بهینه‌سازی چندهدفه تعاملی، از طریق تعریف یک تصمیم‌گیرنده مصنوعی بر پایه‌ی مفهوم نقاط مرجع[۴] پرداخته‌اند [۲۹]. فتح‌اللهی‌فرد و همکاران در ۲۰۲۳، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای برنامه‌ریزی برداشت پایدار محصولات کشاورزی در شرایط مواجهه با عدم قطعیت‌های مختلف ارائه نموده‌اند. برای حل مسئله از منطق فازی و همچنین الگوریتم NSGEA[۵] استفاده شده است [۳۰]. کارنته و همکاران در سال ۲۰۲٤، رویکرد جدیدی در بهینه‌سازی چندهدفه تعاملی تکاملی ارائه نموده‌اند که با الهام‌گیری از هوش مصنوعی[۶] و استفاده از یک روش استخراج اولویت مدیریت می‌شود [۳۱]. ژائو و همکاران نیز در همین سال، با اشاره به اهمیت سیستم‌های انرژی یکپارچه به ارائه یک چارچوب برنامه‌ریزی برای یکپارچه‌سازی بهینه‌سازی چندهدفه با تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته‌اند. ایشان در راستای حل مسئله از تکنیک تاپسیس فازی[۷] بهره برده‌اند [۳۲]. دسته‌بندی مقالات بر اساس رویکرد کلی اتخاذ شده در آنها (کاربرد روش، توسعه روش، مقایسه با سایر روش‌ها) در جدول ۱ ارائه شده است.

[۱] Data Envelopment Analysis
[۲] Network Data Envelopment Analysis
[۳] Chen et al
[۴] Reference Point
[۵] Non-dominated sorting genetic engineering algorithm
[۶] Artificial intelligence
[۷] Fuzzy TOPSIS

جدول ۱: دسته‌بندی مقالات پیشین

نویسندگان	سال انتشار	رویکردهای کلی مقاله			نوع مسئله تصمیم‌گیری	ویژگی ها و نوآوری
		تشریح کاربرد	توسعه روش	مقایسه با سایر روش‌ها		
Belenson and Kapur [۱۰]	۱۹۷۱	✓	✓		حل مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه	استفاده از two person-zero sum game برای تعیین اوزان نسبی در STEM
Wallenius [۱۱]	۱۹۷۵			✓	حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه در زمینه برنامه‌ریزی تولید، موجودی و نیروی کار	بررسی و مقایسه عملکرد چند روش تصمیم‌گیری چندهدفه از جمله روش STEM با تعریف شاخص‌ها و معیارهای معین
Nijkamp and Rietweld [۱۲]	۱۹۷۶		✓		حل مدل چندهدفه برنامه‌ریزی منطقه‌ای	تکمیل و توسعه روش Fandel و ارائه یک الگوریتم تصمیم‌گیری تعاملی جدید بر پایه روش STEM
Dinkelbach and Isermann [۱۳]	۱۹۸۰		✓		حل مدل چندهدفه برنامه‌ریزی ظرفیت و تخصیص منابع	توسعه روش STEM در قالب یک الگوریتم ۱۹ مرحله‌ای
Masud and Hwang [۱٤]	۱۹۸۱	✓			تصمیم‌گیری چندهدفه	معرفی روش جدیدی برای حل مسائل چندهدفه به نام ISGP
Evans [۱٥]	۱۹۸٤			✓	مرور تکنیک‌های حل مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه	معرفی مجدد روش Fichefet در خصوص ادغام روش STEM و GP
Brockhoff [۱٦]	۱۹۸٥			✓	حل شش مدل برنامه‌ریزی چندهدفه در خصوص خرید ماشین	بررسی و تحلیل نتایج حل مسائل ارائه شده به تصمیم‌گیرندگان
Teghem et al [٥]	۱۹۸٦		✓		حل مدل چندهدفه در زمینه برنامه‌ریزی سیستم‌های تولید برق	توسعه روش STEM برای لحاظ کردن شرایط عدم‌قطعیت با معرفی روش جدید STRANGE
Michalowski [۱۷]	۱۹۸۷		✓		تصمیم‌گیری چندهدفه	توسعه و بهبود روش STEM
Gardiner and Steuer [۱۸]	۱۹۹۲		✓		معرفی الگوریتم یکپارچه‌سازی روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه	ارائه الگوریتم‌های اختصاصی یکپارچه‌سازی روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه
Park and Kim [۱۹]	۲۰۰٥		✓	✓	حل مسئله MRO در قالب مدل برنامه‌ریزی چندهدفه	بررسی رویکرد ترکیب روش STEM و روش GDF و ارائه نسخه جدید روشGDF

نویسندگان	سال انتشار	رویکردهای کلی مقاله			نوع مسئله تصمیم‌گیری	ویژگی ها و نوآوری
		تشریح کاربرد	توسعه روش	مقایسه با سایر روش‌ها		
Jeong and Kim [۲]	۲۰۰۵		✓		حل مسئله بهبود عملکرد لاستیک خودرو با کنترل ترکیبات شیمیایی آن در قالب یک مدل چندهدفه	معرفی تکنیک توسعه‌یافته روش STEM بر پایه مفهوم تابع مطلوبیت (D-STEM)
Xevi and Khan [۳]	۲۰۰۷	✓	✓		حل مدل چندهدفه مربوط به مدیریت تقاضای آب	استفاده از مفهوم تابع مطلوبیت برای مقایسه مقادیر اهداف در روش STEM
Pokharel [۲۰]	۲۰۰۸	✓			طراحی شبکه زنجیره تأمین چند رده‌ای در قالب یک مدل چندهدفه	استفاده از روش STEM برای حل مسئله و تحلیل چند سناریو برای بررسی اثر ترجیحات تصمیم‌گیرنده
Rostaee et al [۲۱]	۲۰۱۲		✓		حل چند مسئله چندهدفه، در حالات مختلف خطی و غیرخطی بودن اهداف و محدودیت‌ها	بهبود روش STEM برای جستجوی جواب در یک فضای موجه تقلیل یافته
Mohanty et al [۲۲]	۲۰۱٤	✓			حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه مدیریت تقسیم‌بندی آب برای تولید محصولات مختلف کشاورزی	استفاده از روش STEM برای حل مسئله و ارائه تحلیل نتایج از دیدگاه اقتصادی و نرخ رشد شاخص‌های مربوطه
Amiri et al [۲۳]	۲۰۱٤	✓			کاربرد مدل ریاضی چندسطحی چندهدفه در تعیین میزان بهینه عوامل مؤثر بر کیفیت تزریق پلاستیک	بهینه کردن چندین متغیر پاسخ با انواع متفاوت و اهمیت به یکی از آن‌ها فارغ از اثر نظرات خبرگان بر وزن توابع هدف
Amin Al-Agha [۷]	۲۰۱۵		✓		حل مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در خصوص انتخاب پروژه در راستای برنامه‌ریزی ملی	استفاده از مفهوم تابع مطلوبیت در روش STEM و حل مسئله بر اساس چندین نرخ تعدیل در هر تکرار
Lee and kang [٤]	۲۰۱۸		✓		حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در قالب یک مدل برنامه‌ریزی سه هدفه	توسعه روش STEM و استفاده از مفهوم تابع مطلوبیت و تشکیل جدول Pay off بر اساس مطلوبیت‌ها
Peric et al [۲٤]	۲۰۱۸			✓	حل مسئله بهینه‌سازی برنامه تولید در قالب یک مدل چندهدفه	حل یک مسئله از دو روش STEM و روش مبتنی بر رویکرد بازی همکارانه (روشMP) و مقایسه آنها

نویسندگان	سال انتشار	رویکردهای کلی مقاله			نوع مسئله تصمیم‌گیری	ویژگی ها و نوآوری
		تشریح کاربرد	توسعه روش	مقایسه با سایر روش‌ها		
Razuminkov [۲۵]	۲۰۲۰	✓			حل مدل چندهدفه برای تصمیم‌گیری در خصوص توسعه استفاده از سرویس‌های تکنولوژی ابری	استفاده از روش STEM برای حل مسئله و تحلیل نتایج بدست آمده در قالب جداول و نمودارها
Henriques et al [۲۶]	۲۰۲۰		✓		ارائه مدل هیبریدی تحلیل پوششی داده‌ها و رویکردهای تعاملی مسائل چندهدفه	پایه‌ریزی یک مدل تعادلی بین WRDDM و مدل نقطه فوق ایده آل و ترکیب این مدل با روش‌های تعاملی حل مسائل MOLP از جمله STEM
Mosa et al [۲۷]	۲۰۲۱	✓		✓	ارائه مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط دوهدفه برای اندازه‌گیری و زمان‌بندی تولید	استفاده از یک رویکرد ترکیبی متمرکز بر برنامه‌ریزی امکانی فازی و برنامه‌ریزی آرمانی فازی
Omid et al [۲۸]	۲۰۲۱	✓		✓	ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای	سنجش همزمان کارایی زیرفرآیندها و فرآیندها با یک مدل چندهدفه و ارائه یک متدولوژی برای حل آن
Chen et al [۲۹]	۲۰۲۲			✓	مقایسه تکنیک‌های معمول بهینه‌سازی چندهدفه تعاملی از طریق تعریف یک تصمیم‌گیرنده مصنوعی	مقایسه تکنیک‌های معمول بهینه‌سازی چندهدفه تعاملی از طریق تعریف یک تصمیم‌گیرنده مصنوعی
Fathollahi-Fard et al [۳۰]	۲۰۲۳	✓			حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای برنامه‌ریزی برداشت محصولات کشاورزی	استفاده از منطق فازی/ در نظر گرفتن چندین منبع ایجاد عدم قطعیت و استفاده از الگوریتم NSGEA
Corrente et al [۳۱]	۲۰۲٤	✓		✓	بهینه‌سازی چندهدفه تعاملی تکاملی	اراده رویکرد جدیدی در بهینه‌سازی چندهدفه تعاملی تکاملی و هدایت آن با رویه استخراج ترجیحات و استفاده از قوانین تصمیم‌گیری مبتنی بر ترجیحات
Zhou et al [۳۲]	۲۰۲٤	✓			بهینه‌سازی چندهدفه در ترکیب با تصمیم‌گیری چندمعیاره	ترکیب بهینه‌سازی چندهدفه با تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی و ایجاد یک سیستم معیارهای ارزیابی برای برنامه‌ریزی پایدار سیستم‌های انرژی یکپارچه

۳- شرح روش پیشنهادی

در مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و به منظور تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب بهترین جواب توافقی از میان جواب‌های پارتویی مسئله، تکنیک‌های مختلفی وجود دارد. همانطور که پیشتر اشاره شد، یکی از این تکنیک‌ها، STEM می‌باشد. در مطالعات پیشین، ضمن اشاره به برخی محدودیت‌های این روش برای استفاده در مسائل مختلف، به منظور تعدیل این محدودیت‌ها، تغییراتی بر روی روش پایه اعمال شده است. در برخی موارد نیز در کنار این تکنیک، به مفهوم شبیه‌سازی اشاره شده است. لکن کاربرد مفهوم شبیه‌سازی، صرفاً در خصوص ماهیت خاص مسئله تحت بررسی مطرح بوده و به تکنیک فوق و مراحل اجرای آن مربوط نمی‌شود. همانطور که پیشتر و در قسمت مقدمه اشاره شد، از جمله محدودیت‌های تکنیک STEM، عدم لحاظ کردن "درجات مختلف رضایت" تصمیم‌گیرنده نسبت به مقادیر بدست آمده برای اهداف مسئله و همچنین "نیاز به تعامل مستمر و مستقیم" با تصمیم‌گیرنده می‌باشد. در این پژوهش به منظور تعدیل این محدودیت‌ها، با انجام تغییراتی در روش پایه، با شبیه‌سازی رفتار تصمیم‌گیرنده و اعمال ضرایب تعدیل مختلف در فاز تصمیم‌گیری و همچنین بهره‌گیری از مفهوم تابع مطلوبیت، تکنیک مذکور با فرآیند شبیه‌سازی ادغام و یک رویکرد حمایتی برای اخذ تصمیمات بهتر در این مسائل ارائه شده است. فرض بر اینست که تابعی که برای محاسبه مطلوبیت‌ها در این روش استفاده شده، با مطلوبیت ذهنی تصمیم‌گیرنده انطباق دارد. در روش تعاملی STEM و به منظور اخذ ترجیحات تصمیم‌گیرنده و اعمال آن در مراحل تصمیم‌گیری، در هر تکرار از روش و در مرحله بررسی میزان رضایت‌بخشی مقادیر اهداف، این مقادیر به تصمیم‌گیرنده ارائه شده و تصمیم‌گیرنده، هدف رضایت‌بخش را انتخاب و مقدار مشخصی برای تعدیل (رهاسازی) در مقدار آن هدف و در راستای بهبود سایر اهداف تعیین می‌نماید. این ترجیحات در مدل مربوطه در مراحل بعدی اعمال خواهد شد. در روش پیشنهادی و پس از انجام مرحله محاسبات و به منظور شبیه‌سازی رفتار تصمیم‌گیرنده، برای انتخاب اهداف رضایت‌بخش و تعیین میزان تعدیل در این اهداف، هدف و میزان تعدیل طی رویکرد خاصی به صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شود. در واقع انتخاب تصادفی اهداف، بر اساس احتمالاتی که بر مبنای مقادیر مطلوبیت هر هدف تعیین شده، صورت می‌پذیرد. همچنین تعدیل در مقدار تابع منتخب، به صورت کاهش و یا افزایش ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصدی در مقدار

تابع هدف مربوطه و با انتخاب تصادفی این درصدها (ضرائب)، صورت می‌پذیرد. لازم به ذکر است چنانچه تابع منتخب، از نوع بیشینه‌سازی باشد، تعدیل و رهاسازی آن با کاهش مقدار آن، و در صورتی که از نوع کمینه‌سازی باشد، تعدیل آن با افزایش مقدار آن، صورت می‌پذیرد. از مزیت‌های قابل توجه این روش اینست که بر خلاف روش اصلی، صرفاً به یک مقدار مشخص از تعدیل اهداف، اکتفا ننموده و در طی مراحل شبیه‌سازی، تعدیل‌های مختلفی برای یک هدف مشخص لحاظ خواهد شد. همچنین با بهره‌گیری از مفهوم تابع مطلوبیت و خواص شبیه‌سازی انجام شده، میزان تعامل مستمر و مستقیم با تصمیم‌گیرنده تا حدود زیادی کاهش می‌یابد. در ادامه پس از ارائه شرح مختصری در خصوص فرآیند شبیه‌سازی، جزئیات بیشتر روش پیشنهادی و چگونگی تعدیل محدودیت‌های فوق‌الاشاره بررسی شده است.

۳-۱- تعریف شبیه‌سازی و اختلاف آن با مدل‌سازی

شبیه‌سازی در طراحی و تحلیل سیستم‌های مختلف کاربرد دارد. از دلایل عمومیت کاربرد شبیه‌سازی، انعطاف‌پذیری، توانایی آن برای مدل کردن سیستم‌ها در مواقعی که روش‌های تحلیلی ریاضی به نتیجه نرسیده و همچنین توانایی آن برای مدل کردن رفتارهای پویای سیستم‌ها در طول زمان می‌باشد [۷]. باید توجه کرد که تفاوت‌های اساسی بین مدل‌سازی و شبیه‌سازی وجود دارد. یک مدل، نمایشی از یک سیستم فیزیکی بوده و مدل‌سازی، متدولوژی طراحی بر پایه‌ی تولید یک مدل است که یک سیستم را پیاده‌سازی کرده و عملکرد آن را نشان می‌دهد. بدینوسیله، امکان پیشگویی رفتار یک سیستم و اثرات تغییرات و تعدیلاتی که بر روی آن اعمال می‌شود را فراهم می‌کند. اگرچه یک مدل، نمایش ساده‌سازی شده‌ی یک سیستم است، باید به اندازه کافی به ماهیت عملکردی سیستم واقعی نزدیک باشد و همزمان چندان پیچیده نبوده و اجرا و مدیریت آن مشکل نباشد. اما شبیه‌سازی، فرآیند مشاهده نحوه رفتار سیستم مبتنی بر مدل تحت یک شرایط مشخص می‌باشد. شبیه‌سازی به ما اجازه می‌دهد تا سیستم را از طریق طیف گسترده‌ای از شرایط مطالعه کرده و پی ببریم که مدل تا چه اندازه نماینده سیستمی است که به آن اشاره می‌کند. شبیه‌سازی، فرآیندی است که مدل را وارد عملیات کرده و به ما اجازه می‌دهد که رفتار آن را تحت شرایطی خاص ارزیابی نمائیم [۳۳].

۳-۲- شرح مختصر روند شبیه‌سازی استفاده شده در روش پیشنهادی

در بخش بعد و در جریان تشریح مراحل روش پیشنهادی، به استفاده از عملیات شبیه‌سازی به منظور انتخاب توابع هدف جهت انجام تعدیلات و همچنین تعیین ضریب تعدیل در توابع منتخب اشاره شده است. عملیات شبیه‌سازی جهت رسیدن به نتایج مطلوب در حل مسئله، حداقل ۵۰ بار تکرار و از نتایج آن استفاده شده است. شرح مختصر انجام عملیات مذکور بدین قرار است. در این راستا در گام اول و در مرحله انتخاب توابع، از رویکردهای شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده کرده و هر بار به تعداد لازم عدد تصادفی (در بازه صفر و یک) تولید می‌کنیم. سپس با شرط‌گذاری روی مقادیر مطلوبیت نرمالیزه شده‌ی هر یک از اهداف و انجام مقایسات با عدد تصادفی تولید شده، نسبت به انتخاب تابع هدف مورد نظر اقدام می‌شود. در گام بعدی و در مرحله انتخاب ضرایب تعدیل نیز با بهره گیری از توزیع یکنواخت و با شانس مساوی، یکی از ضرایب پنج گانه جهت تعیین میزان تعدیل در تابع منتخب، انتخاب و اعمال می‌شود. سایر جزئیات نحوه‌ی بهره‌برداری از شبیه‌سازی انجام شده، در بخش بعد و از شرح ارائه شده برای روش، قابل استنباط می‌باشد.

۳-۳- شرح مراحل و جزئیات روش پیشنهادی

در رویکرد پیشنهادی، ابتدا، مدل مسئله برای هر یک از اهداف به صورت جداگانه و در حضور محدودیت‌های مشترک مسئله، حل شده و مقادیر بهینه هر یک از اهداف بدست می‌آید. مشابه روش اصلی، مقدار سایر اهداف مسئله را به ازای نقطه بهینه هر یک از توابع هدف، محاسبه و جدول بهره‌وری (Pay-off Table) تشکیل می‌شود. ساختار این جدول به گونه‌ای است که در هر ستون آن، یکی از ردیف‌ها مربوط به مقدار بهینه تابع درج شده در ابتدای آن ستون بوده و سایر ردیف‌ها، مقدار آن تابع به ازای نقطه بهینه توابع درج شده در هر ردیف را نشان می‌دهد. کمترین مقدار در هر ستون، معادل مقدار می‌نیمم برای تابع درج شده در ابتدای آن ستون می‌باشد. در واقع این مقدار، مقدار تابع مذکور را به ازای نقطه بهینه یکی دیگر از اهداف مسئله که منجر به تولید کمترین مقدار برای هدف مورد نظر شده است، نشان می‌دهد. در محاسبات این مقدار با f_i^{min} نشان داده شده است. پارامترها و نمادهای اصلی به قرار جدول ۲ می‌باشد. در گام بعدی و برای محاسبه جواب پارتویی اهداف، یک مدل برنامه‌ریزی خطی جدید تشکیل می‌شود. در این مقاله این مدل را "مدل ثانویه" نامیده‌ایم. مدل برنامه‌ریزی خطی

ثانویه، برای هر سیکل m به صورت رابطه ۱ تشکیل می‌شود. توجه شود که $S^{۱}$ همان محدودیت‌های اولیه‌ی مدل چندهدفه و S^{m} محدودیت‌های اولیه به همراه محدودیت‌های مربوط به تعدیل‌های m-۱ مرحله قبلی می‌باشد.

$$\begin{aligned} &min:\ \gamma \\ &s.t \\ &\quad \gamma \geq (f_j^* - f_j(x)).\beta_j ; \quad j = ۱,۲,\dots,k \\ &\qquad x \in S^m \\ &\qquad \gamma \geq ۰ \end{aligned} \tag{۱}$$

جدول۲: معرفی اندیس‌ها، پارامترها و سایر نمادها

f_i	توابع هدف
f_j^*	مقدار بهینه تابع هدف j ام
x^m	نقطه بهینه مدل ثانویه در مرحله m
f_{ij}	مقدار تابع i ام به ازای نقطه بهینه تابع j ام
γ	تابع هدف مدل ثانویه
α_j	ضریب تعیین اهمیت هدف j ام
β_j	ضریب تعیین اهمیت نسبی هدف j ام
S^m	مجموعه محدودیت های مدل های ثانویه
m	شمارشگر تعداد سیکل‌ها
C_{ji}	ضریب متغیر تصمیم i ام در تابع هدف j ام
f_j^{min}	کمترین مقدار ستون j ام در ماتریس بهره وری
n	تعداد متغیرهای تصمیم مدل برنامه‌ریزی خطی

ضریب اهمیت هر یک از اهداف (β_j)، به روش زیر محاسبه می‌شود

$$\begin{cases} \alpha_j = \dfrac{f_j^* - f_j^{min}}{f_j^*}\left[\dfrac{۱}{\sqrt{\sum_{i=۱}^{n} C_{ji}^{۲}}}\right] & f_j^* > ۰ \\ \alpha_j = \dfrac{f_j^{min} - f_j^*}{f_j^{min}}\left[\dfrac{۱}{\sqrt{\sum_{i=۱}^{n} C_{ji}^{۲}}}\right] & f_j^* < ۰ \end{cases} \tag{۲}$$

$$\beta_j = \frac{\alpha_j}{\sum_{j=1}^{k} \alpha_j} \tag{۳}$$

پس از حل مدل ثانویه و محاسبه مقادیر توابع هدف، به جای ارائه این مقادیر به تصمیم‌گیرنده، یکی از اهداف را به صورت تصادفی و با توجه به احتمالات تعیین شده برای انتخاب هر هدف، به عنوان هدف رضایت‌بخش، انتخاب می‌کنیم. رویه انتخاب به این صورت است که ابتدا میزان مطلوبیت هر یک از اهداف به کمک فرمول زیر و با توجه به مقدار بدست آمده برای هر هدف تعیین می‌شود. استفاده از تابع مطلوبیت و انتخاب تصادفی اهداف رضایت‌بخش، عامل اصلی کاهش نیاز به تعامل مستمر با تصمیم‌گیرنده خواهد بود. انتخاب تابع مطلوبیت بر اساس مطالعات صورت گرفته در مرجع شماره [۲] صورت پذیرفته است.

$$d_i f_i(x) = \begin{cases} ۱ & f_i(x) \geq f_i^{max} \\ \dfrac{f_i(x) - f_i^{min}}{f_i^{max} - f_i^{min}} & f_i^{min} \leq f_i(x) \leq f_i^{max} \\ ۰ & f_i(x) \leq f_i^{min} \end{cases} \qquad (۴)$$

پس از محاسبه مقادیر مطلوبیت هر هدف، از مطلوبیت بدست آمده به عنوان ضریبی برای تعیین احتمال انتخاب آن هدف، استفاده می‌کنیم. در واقع به کمک عملیات شبیه‌سازی، تابع هدفی که دارای مطلوبیت بیشتری است، با احتمال بیشتری برای تعدیل به نفع سایر توابع که مطلوبیت کمتری دارند، انتخاب می‌شود. پس از انتخاب تابع رضایت‌بخش، مطابق روش پایه، لازم است تصمیم‌گیرنده، میزان تعدیل (رهاسازی) در مقدار این هدف را به صورت ضریبی از آن و در راستای افزایش مقدار سایر توابع هدف اعلام نماید. در روش پیشنهادی، در این مرحله نیز از تعامل با تصمیم‌گیرنده خودداری نموده و برای تعیین میزان تعدیل در هدف منتخب، یک روند تصادفی تعریف شده است. تعدیل به صورت کاهش و یا افزایش ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصدی در مقادیر تابع منتخب در نظر گرفته می‌شود. همانطور که پیشتر اشاره شد، چنانچه تابع منتخب، از نوع بیشینه‌سازی باشد، تعدیل و رهاسازی آن با کاهش مقدار آن، و در صورتی که از نوع کمینه‌سازی باشد، تعدیل آن با افزایش مقدار آن، صورت می‌پذیرد. بر خلاف انتخاب توابع جهت تعدیل که بر اساس احتمالات مختلف (مطلوبیت‌ها) صورت می‌پذیرد، انتخاب هر یک از ضرائب تعدیل بر اساس توزیع یکنواخت و به صورت هم‌شانس انجام می‌شود. این کار موجب خواهد شد تا علاوه بر کاهش نیاز به تعامل مستقیم با تصمیم‌گیرنده، در جریان تکرارهای مختلف شبیه‌سازی، ضرائب تعدیل مختلفی برای یک هدف مشخص اعمال شده و امکان لحاظ کردن سطوح مختلف رضایت تصمیم‌گیرنده در یک بازه قابل قبول از مقادیر اهداف

نیز فراهم شود. برای درک بهتر موضوع، فرض کنید که هدف A، همان هدف منتخب برای تعدیل (رهاسازی) به نفع سایر توابع هدف مسئله باشد. همچنین کاهش مقدار این هدف به میزان ۱۰ درصد مقدار فعلی آن، باعث بهبود در مقدار سایر توابع مسئله شود، به گونه‌ای که کل مقادیر بدست آمده برای اهداف، مورد رضایت تصمیم‌گیرنده باشد. این امکان وجود دارد که با اعمال تعدیل بیشتری در تابع منتخب، مثلاً ۲۰ درصد کاهش در مقدار فعلی آن، همچنان تصمیم‌گیرنده از مقادیر نهایی و جدید بدست آمده برای کلیه اهداف راضی باشد. در این مورد، دستیابی به سطح دیگری از رضایت تصمیم‌گیرنده محقق شده است. در روش پیشنهادی، با تعیین تابع رضایت‌بخش و میزان تعدیل مورد نظر، به منظور اعمال تغییرات لازم در محدودیت‌های مدل ثانویه، مجموعه‌ای از محدودیت‌های تعدیل‌کننده را به شرح زیر به محدودیت‌های مدل گام قبلی اضافه می‌کنیم. سطر دوم از رابطه زیر مربوط به کنترل میزان تعدیل (کاهش) در تابع منتخب می‌باشد. با فرض اینکه تابع منتخب از نوع بیشینه‌سازی باشد، کافی است مقدار بعدی تابع مذکور، از مقدار تعدیل شده‌ی آن، بزرگتر باشد. با توجه به اینکه در این حالت، مقدار بدست آمده برای سایر توابع هدف، رضایت تصمیم‌گیرنده را جلب نکرده است، لازم است مقدار این اهداف، از مقدار فعلی‌شان بزرگتر باشد. بدین منظور باید محدودیت‌های مدل ۱ در حالت کلی به شکل زیر تغییر یابد. در این حالت فرض شده که تابع هدف jام همان تابع رضایت‌بخش باشد.

$$S^{m+1} = \begin{cases} S^m \\ f_j(x) \geq f_j(x^m) - \Delta f_j \\ f_i(x) \geq f_i(x^m); i \neq j; i = 1,2, \dots, k \end{cases} \qquad (۵)$$

با حل مدل جدید بدست آمده، مقادیر جدیدی برای هر یک از اهداف بدست می‌آید. در تکرارهای بعدی و برای جلوگیری از انتخاب مجدد و تکراری تابع منتخب قبلی، میزان مطلوبیت و همچنین ضریب β_j در رابطه (۱) را برای هدف مذکور، معادل صفر قرار می‌دهیم. بدین ترتیب مطلوبیت سایر اهدافی که تا کنون برای تعدیل انتخاب نشده‌اند و متعاقب آن شانس انتخاب این توابع برای تعدیل در مراحل بعدی افزایش می‌یابد. روند مذکور تا انتخاب n-۱ تابع (n تعداد توابع هدف مسئله می‌باشد) ادامه یافته و نهایتاً برای ارزیابی نتایج مربوط به هر بار شبیه‌سازی، مطلوبیت جواب نهایی بدست آمده بر هر یک از اهداف، بر اساس مقادیر بدست آمده برای آنها در آخرین مرحله و با توجه به رابطه (٤) محاسبه می‌شود. مطلوبیت نهایی به صورت تجمیع

هر یک از مطلوبیت‌های تکی در نظر گرفته شده است. بسته به تعداد اهداف و شرایط مسئله، مراحل فوق در چندین تکرار شبیه‌سازی شده و هر بار مطلوبیت نهایی محاسبه می‌شود. همانطور که پیشتر اشاره شد، در روش فوق، در هر مرحله و پس از حل مدل ثانویه و تعیین تابع منتخب برای تعدیل (رهاسازی)، مشابه روش پایه، ضریب اهمیت تابع منتخب (β_j) را صفر قرار می‌دهیم. در واقع با این کار، مدل ثانویه، تلاشی برای بهبود تابع منتخب انجام نخواهد داد. در رابطه (۱)، هر چه مقدار ضریب β_j بزرگتر باشد، برای برقراری محدودیت مربوطه، لازم است اختلاف مقدار جدید تابع هدف jام با مقدار فعلی آن، یعنی عبارت داخل پرانتز، بیشتر باشد. از طرفی هرچه ضریب β_j کمتر باشد، برای برقراری محدودیت مذکور نیاز به اختلاف کمتری در عبارت مذکور داریم. کمترین اختلاف، مربوط به زمانی است که ضرب β_j صفر باشد. صفر بودن این ضریب به مفهوم عدم تغییر در مقدار فعلی تابع هدف مربوطه می‌باشد. در ادامه، یک محدودیت جدید، متناسب با مقدار تعدیل مورد نظر برای تابع منتخب و n-۱ محدودیت جدید دیگر برای بهبود در سایر توابع، به مجموعه محدودیت‌های مدل ثانویه اضافه خواهد شد. از نکات مهمی که در بکارگیری روش فوق باید مد نظر باشد این است که در تکرارهای بعدی و برای انجام تعدیلات در توابع جدیدی که انتخاب می‌شوند، لازم است علاوه بر خود تابع منتخب، محدودیت تعدیلی قبلی و مرتبط با آن هدف نیز از مجموعه محدودیت‌های مدل ثانویه حذف و با محدودیت تعدیلی جدید جایگزین شود. در صورت عدم حذف محدودیت تعدیلی قبلی، محدودیت تعدیلی جدید بی‌اثر خواهد بود. چراکه تابع منتخب در گام قبلی جزو توابعی است که برای آن، محدودیت بهبود دهنده تعریف کرده‌ایم. حال که قرار است خود آن تابع، به نفع سایر توابع، تعدیل یا رهاسازی شود، لازم است آن محدودیت بهبود دهنده قبلی، در مجموعه محدودیت‌ها وجود نداشته باشد، در غیر اینصورت مانع از انجام رهاسازی در این مرحله و به عبارتی مانع از تعدیل آن به نفع سایر اهداف مسئله خواهد شد.

۴- حل مثال عددی

به منظور تشریح روش پیشنهادی فوق و اعتبارسنجی آن، یک مسئله سه هدفه با پنج محدودیت اصلی، انتخاب و عملیات شبیه‌سازی مطابق روند پیشنهادی، ۵۰ مرتبه تکرار و مقدار تابع مطلوبیت نهایی در هر بار محاسبه شده است. نهایتاً با توجه به بهترین مقدار مطلوبیت، بهترین

جواب توافقی انتخاب شده است. با توجه به اینکه مسئله انتخاب شده، یک مسئله سه هدفه است، ابتدا مدل ثانویه را در حالت کلی و برای محاسبه مقادیر اولیه هر یک از اهداف سه‌گانه حل می‌کنیم. سپس، در مراحل بعدی، هر بار یکی از توابع با استفاده از شبیه‌سازی احتمالات، برای تعدیل (رهاسازی) انتخاب می‌شود. مطابق با رویکردی که پیشتر تشریح شد، پس از انجام دو تکرار، دو هدف از سه هدف مسئله (هر بار یک هدف)، به نفع بهبود مقدار سایر اهدافی که تا کنون انتخاب نشده‌اند، انتخاب و تعدیل خواهند شد. بنابراین به منظور انجام این شبیه‌سازی، لازم است در مجموع مراحل، ۱۵۰ مدل برنامه‌ریزی خطی را حل و از نتایج آن برای تصمیم‌گیری استفاده کنیم. بدین منظور و برای حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی از نرم افزار Solvexo استفاده شده است. لازم به ذکر است که تعداد ۵۰ مدل از مدل‌های فوق الاشاره، ثابت و مربوط به محاسبه مقادیر پارتویی اهداف در اولین تکرار از روش مذکور می‌باشد.

۴-۱- معرفی یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه

مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه یکی از مسائل پرکاربرد در حوزه تصمیم‌گیری می‌باشند. همانطور که می‌دانیم، چنانچه مدل‌های چندهدفه را صرفاً با حضور یکی از اهداف آن حل کنیم، مقدار بهینه آن هدف بدست خواهد آمد. اما با لحاظ کردن همزمان همه اهداف، میزان بهینگی اهداف، کاهش یافته و هر یک از آنها بسته به شرایط مسئله و دیدگاه تصمیم‌گیرنده، تا حدودی از مقدار بهینه خود دور خواهند شد. به عبارتی، در مسائل چندهدفه، اهداف در تعارض با هم بوده و بهبود در هر یک از آنها، منجر به بدتر شدن مقادیر سایر اهداف خواهد شد. به توجه به این تعارض، محاسبه مقادیر اهداف مذکور به گونه‌ای که رضایت تصمیم‌گیرنده را فراهم نماید، چالش اصلی این دست مسائل به شمار می‌رود. در این بخش، به دنبال حل مدل یک مسئله چندهدفه، با استفاده از روش پیشنهادی در این پژوهش می‌باشیم. روش مذکور، توسعه تکنیک تصمیم‌گیری STEM به کمک ادغام آن با فرآیند شبیه‌سازی بوده و جزئیات آن در بخش قبلی ارائه شده است. مدل اصلی مسئله از کتاب "تحلیل چندمعیاره برای تصمیمات حوزه کشاورزی" [۳٤]، انتخاب شده است. در این مسئله، دو هدف به صورت بیشنه‌سازی و یکی از آنها (تابع هدف سوم) به صورت کمینه‌سازی تعریف و به منظور هماهنگی تابع هدف سوم با سایر توابع، ضرائب تکنولوژیک آن در مقدار ۱- ضرب شده است. همچنین در جریان ایجاد محدودیت‌های تعادلی در مدل‌های ثانویه، محدودیت متناظر با این تابع، با علائم اصلی (مثبت)

اما به صورت کمتر و مساوی در نظر گرفته شده است. عمومیت مسئله انتخابی، شرایطی را فراهم می‌نماید که جنبه‌های مختلف مطرح در روند حل مسائل مختلف از روش پیشنهادی، پوشش داده شود.

$$
\begin{aligned}
&Max\ Z(x) = Z_1(x) + Z_2(x) + Z_3(x)\\
&Where\\
&\quad Z_1(x) = 1000x_1 + 3000x_2 + 1500x_3\\
&\quad Z_2(x) = 500x_1 + 200x_2 + 200x_3\\
&\quad Z_3(x) = -6000x_1 - 8000x_2 - 3000x_3\\
&\quad Subject\ to:\\
&\quad x_1 + x_2 + x_3 \le 1000\\
&\quad 4000x_1 + 5000x_2 + 2000x_3 \le 4200000\\
&\quad -x_1 + x_2 + x_3 \le 0\\
&\quad 1000x_1 + 3000x_2 + 1500x_3 \ge 1000000\\
&\quad 500x_1 + 200x_2 + 200x_3 \ge 350000
\end{aligned}
\qquad (6)
$$

۴-۲- حل مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه با روش پیشنهادی

با محاسبه مقدار بهینه هر یک از توابع هدف به صورت جداگانه و همچنین با محاسبه مقدار هر یک از توابع به ازای نقطه بهینه سایر اهداف، ماتریس بهره‌وری (Pay-off Table) مطابق جدول ۳ تشکیل می‌شود. مقادیر حداقلی هر یک از اهدف و یا به عبارتی بدترین مقدار توابع هدف در سطر پایانی این جدول آمده است. این مقادیر حداقلی، همان مقادیر f_i^{min} در محاسبه ضرائب α در رابطه (۲) می‌باشند. در اهداف از نوع کمینه‌سازی، افزایش مقدار تابع هدف، به مفهوم بدتر شدن آن می‌باشد. همانطور که پیشتر گفته شد، ماهیت تابع هدف سوم، از نوع کمینه‌سازی بوده و به همین دلیل، لازم است بدترین مقدار آن به صورت حداکثر مقدار، در نظر گرفته شود. بنابراین در سطر پایانی جدول ۳، مقدار درج شده برای هدف سوم، حداکثر مقدار این هدف می‌باشد. در گام بعدی، مدل ثانویه را تشکیل و مقادیر پارتویی اهداف را محاسبه می‌کنیم. مدل مذکور در این مسئله به قرار زیر می‌باشد.

$$
\begin{aligned}
&Min\ \gamma\\
&Subject\ to:\\
&\gamma \ge \left(18500000 - (1000x_1 + 3000x_2 + 1500x_3)\right) * \beta_1\\
&\gamma \ge \left(5000000 - (500x_1 + 200x_2 + 200x_3)\right) * \beta_2\\
&\gamma \ge \left(-43636637 - (-6000x_1 - 8000x_2 - 3000x_3)\right) * \beta_3\\
&x_1 + x_2 + x_3 \le 1000\\
&4000x_1 + 5000x_2 + 2000x_3 \le 4200000\\
&-x_1 + x_2 + x_3 \le 0
\end{aligned}
\qquad (7)
$$

$۱۰۰۰x_۱ + ۳۰۰۰x_۲ + ۱۵۰۰x_۳ \geq ۱۰۰۰۰۰۰$

$۵۰۰x_۱ + ۲۰۰x_۲ + ۲۰۰x_۳ \geq ۳۵۰۰۰۰$

ضرائب α و β نیز مطابق روش STEM و به کمک رابطه (۲) و (۳) محاسبه و به قرار جدول ٤ می‌باشد. با قرار دادن ضرائب در مدل فوق (مدل ثانویه) و حل آن، مقادیر پارتویی برای هر یک از اهداف بدست می‌آید. نقاط بهینه، مقادیر هر یک از اهداف در سیکل‌های مختلف و همچنین مقدار مطلوبیت هر یک از اهداف که به کمک فرمول (٤) محاسبه شده، در جدول ٥ ارائه شده است. به منظور نرمال‌سازی مقادیر مطلوبیت‌ها، از تقسیم هر یک از مقادیر بر مجموع مقدار مطلوبیت‌ها استفاده شده است. به منظور انجام فاز تصمیم‌گیری در روش پیشنهادی و بر خلاف روش اصلی، به جای ارائه نتایج به تصمیم‌گیرنده، با قرار دادن مطلوبیت‌های نرمالیزه شده به عنوان احتمال انتخاب هر یک از توابع و با تولید اعداد تصادفی، یکی از توابع به عنوان تابع رضایت‌بخش انتخاب می‌شود. تابع منتخب در اولین تکرار از روند شبیه‌سازی، تابع اول یا $Z_۱$ می‌باشد. به منظور محاسبه میزان تعدیل در این تابع و در راستای بهبود مقدار بدست آمده برای سایر توابع، با تولید اعداد تصادفی (مطابق با توزیع یکنواخت) درصد تعدیل در تابع مذکور، معادل ۲۰ درصد انتخاب می‌شود. در گام بعدی به منظور جلوگیری از انتخاب مجدد تابع هدف $Z_۱$ در سیکل‌های بعدی، ضریب β برای این تابع را در مدل ثانویه معادل صفر قرار می‌دهیم. این کار منجر به حذف محدودیت متناظر با تابع هدف مذکور در مدل ثانویه جدید خواهد شد. پس از اضافه کردن محدودیت‌های تعدیلی مربوط به مدل، مدل ثانویه جدید مسئله به صورت زیر خواهد بود. انجام عملیات فوق و تهیه مدل ثانویه جدید، معادل اتمام سیکل اول حل مسئله می‌باشد. مقادیر جدید β در جدول ٤ و مقادیر مطلوبیت‌های جدید نیز در جدول ٥ آمده است.

$$
\begin{aligned}
&Min\ \gamma \\
&Subject\ to: \\
&\gamma + ٤٧١.٥٧٣x_۱ + ۱۸۸.٦۲۹x_۲ + ۱۸۸.٦۲۹x_۳ \geq ٤٧١٥٧٢.٩ \\
&\gamma - ۳٤۱.۱۲٦x_۱ - ٤٥٤.۸۳٤x_۲ - ۱۷۰.٥٦۳x_۳ \geq -۲٤۸۰۹۱.۳ \\
&x_۱ + x_۲ + x_۳ \leq ۱۰۰۰ \\
&٤۰۰۰x_۱ + ٥۰۰۰x_۲ + ۲۰۰۰x_۳ \leq ٤۲۰۰۰۰۰ \qquad (۸) \\
&\text{-}x_۱ + x_۲ + x_۳ \leq ۰ \\
&۱۰۰۰x_۱ + ۳۰۰۰x_۲ + ۱٥۰۰x_۳ \geq ۱۰۰۰۰۰۰ \\
&٥۰۰x_۱ + ۲۰۰x_۲ + ۲۰۰x_۳ \geq ۳٥۰۰۰۰ \\
&۱۰۰۰x_۱ + ۳۰۰۰x_۲ + ۱٥۰۰x_۳ \geq ۱۱٦٦٦۹٦
\end{aligned}
$$

$$٥٠٠x_۱ + ٢٠٠x_٢ + ٢٠٠x_٣ \geq ٤٠١٥٥٦$$
$$٦٠٠٠x_۱ + ٨٠٠٠x_٢ + ٣٠٠٠x_٣ \leq ٥٩٩٦٦٠٠$$

در سیکل دوم و مشابه سیکل قبلی و با تولید اعداد تصادفی و با مبنا قرار دادن مقادیر جدید مطلوبیت‌های توابع باقی مانده به عنوان احتمال انتخاب آنها، تابع منتخب بعدی جهت تعدیل، تابع سوم یا همان $Z_٣$ می‌باشد. در واقع تکرار این سیکل‌ها به منظور انتخاب جداگانه اهداف، برای تعدیل به نفع سایر توابع صورت می‌پذیرد. مقدار تعدیل در تابع $Z_٣$ نیز به صورت تصادفی، معادل ۳۰ درصد مقدار فعلی آن، در نظر گرفته می‌شود. همانطور که پیشتر اشاره شد، نکته مهم در تشکیل آخرین مدل ثانویه، حذف محدودیت تعدیلی مربوط به تابع منتخب به منظور ایجاد امکان برقراری تعدیلات جدید می‌باشد. با لحاظ کردن این نکته، مدل ثانویه نهایی در این تکرار از روند شبیه‌سازی به صورت زیر می‌باشد. به کمک فرمول (٤) و پس از محاسبه مطلوبیت‌های نهایی بر اساس مقادیر نهایی اهداف، تجمیع این مقادیر را به عنوان مطلوبیت تکرار اول از روند شبیه‌سازی در نظر می‌گیریم. در مقالات مختلف، به رویکردهای مختلفی برای ادغام مطلوبیت‌ها مانند محاسبه میانگین هندسی، میانگین هندسی موزون، محاسبه مقدار می‌نیمم و ... اشاره شده است. مراحل فوق را ۵۰ مرتبه تکرار و در کل با حل ۱۵۰ مدل برنامه‌ریزی خطی و انجام سایر مراحل مطابق با روش پیشنهادی، مقدار مطلوبیت نهایی برای همه تکرارها محاسبه می‌شود. در جدول ٦ مقادیر مطلوبیت‌ها به همراه سایر اطلاعات مربوط به روند شبیه‌سازی ارائه شده است.

$$\begin{aligned}
&Min\ \gamma \\
&Subject\ to: \\
&\gamma + ٥٠٠x_۱ + ٢٠٠x_٢ + ٢٠٠x_٣ \geq ٥٠٠٠٠٠ \\
&x_۱ + x_٢ + x_٣ \leq ١٠٠٠ \\
&٤٠٠٠x_۱ + ٥٠٠٠x_٢ + ٢٠٠٠x_٣ \leq ٤٢٠٠٠٠٠ \\
&-x_۱ + x_٢ + x_٣ \leq ٠ \\
&١٠٠٠x_۱ + ٣٠٠٠x_٢ + ١٥٠٠x_٣ \geq ١٠٠٠٠٠٠ \\
&٥٠٠x_۱ + ٢٠٠x_٢ + ٢٠٠x_٣ \geq ٣٥٠٠٠٠ \\
&١٠٠٠x_۱ + ٣٠٠٠x_٢ + ١٥٠٠x_٣ \geq ١١٦٦٦٩٦ \\
&٥٠٠x_۱ + ٢٠٠x_٢ + ٢٠٠x_٣ \geq ٤٠١٥٥٦ \\
&٥٠٠x_۱ + ٢٠٠x_٢ + ٢٠٠x_٣ \geq ٤٣١٨٠٧.٠٠ \\
&٦٠٠٠x_۱ + ٨٠٠٠x_٢ + ٣٠٠٠x_٣ \leq ٧١٤٣٣٣١.٠٠
\end{aligned} \qquad (٩)$$

بهترین مقادیر مطلوبیت کل، مربوط به تکرارهای ۱۰، ۱۲ و ۳۲ می‌باشد. در این سه تکرار به طور مشترک، تابع دوم، هیچگاه تابع منتخب برای تعدیل (رهاسازی) نبوده و همواره با تعدیل (رهاسازی) دو تابع دیگر مقدار آن بهبود یافته است. مقادیر توابع هدف در تکرارهای مذکور یکسان و مطابق با جدول ۷ می‌باشد. درصدهای تعدیل و بهبود در این جدول نسبت به مقدار بهینه اهداف مذکور در حالت تکی یا همان قطر اصلی ماتریس بهره‌وری محاسبه شده است. با توجه به اینکه تابع هدف سوم از نوع کمینه‌سازی می‌باشد، کاهش میزان بهینگی در این هدف با افزایش مقدار آن و بهبود در این هدف با کاهش مقدار آن صورت می‌پذیرد. عدد ۳۷/۵ درصد در جدول ۷، معادل افزایش ۳۷/۵ درصدی مقدار تابع هدف سوم نسبت به مقدار بهینه آن، در راستای بهبود مقادیر سایر اهداف می‌باشد.

جدول ۳: ماتریس بهره وری

Pay off	Z_1	Z_2	Z_3
Z_1	۱۸۵۰۰۰۰	۳۵۰۰۰۰	۶۵۰۰۰۰۰
Z_2	۱۰۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰۰
Z_3	۱۰۰۰۰۰۰	۳۵۰۰۰۰	۴۳۶۳۶۳۷
Min/max	۱۰۰۰۰۰۰	۳۵۰۰۰۰	۶۵۰۰۰۰۰

جدول ۴: ضرائب α و β در تکرار اول شبیه سازی

مقدار ضرائب / مرحله (سیکل)	α_1	α_2	α_3	β_1	β_2	β_3
سیکل اول	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۱۹۱۶	۰/۷۶۲۴	۰/۰۴۶۰
سیکل دوم	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰	۰/۹۴۳۱	۰/۰۵۶۹
سیکل سوم	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰

جدول ۵: نقاط بهینه، مقادیر اهداف و مطلوبیت های نرمالیزه شده در مراحل مختلف تکرار اول شبیه‌سازی

سیکل	نقطه بهینه $x^* = (x_1, x_2, x_3)$	مقدار تابع Z_1	مقدار تابع Z_2	مقدار تابع Z_3	مقادیر نرمالیزه شده مطلوبیت* $U = (u(Z_1), u(Z_2), u(Z_3))$
اول	(۱۳۱/۹۲و۱۹۶/۲۱و۶۷۱/۸۶)	۱۴۵۸۳۷۰/۰۰	۴۰۱۵۵۶/۰۰	۵۹۹۶۶۰۰/۰۰	(۰/۸۴۲۱و۰/۳۰۷۳و۰/۲۱۰۷)
دوم	(۱۹۱/۹۵و۳۵/۳۶و۷۷۲/۶۹)	۱۱۶۶۶۹۵/۰۰	۴۳۱۸۰۷/۰۰	۵۴۹۴۸۷۰/۰۰	(۰/۰۰۰۰و۰/۵۳۶۹و۰/۴۶۳۱)
سوم	(۰/۰۰و۸۳/۳۴و۹۱۶/۶۵)	۱۱۶۶۶۷۰/۰۰	۴۷۴۹۹۳/۰۰	۶۱۶۶۶۲۰/۰۰	(۰/۱۹۶۱و۰/۸۳۳۳و۰/۱۵۶۱)

*مقادیر مطلوبیت ها در سیکل سوم نرمالیزه نبوده و مقدار مطلوبیت نهایی را نشان می‌دهد.

جدول ۶: خلاصه اطلاعات شبیه‌سازی برای مسئله تحت بررسی و در ۵۰ تکرار

شماره تکرار	شماره سیکل	مطلوبیت‌های نرمالیزه شده* $u(Z_{۱})$	$u(Z_{۲})$	$u(Z_{۳})$	عدد تصادفی	تابع منتخب	عدد تصادفی	ضریب تعدیل منتخب	مطلوبیت کل
۱	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۲۲۹۴۰۲۰۹۸	$Z_{۱}$	۰/۲۵۲۰۹۷۴۱۹	۰/۲	
۱	۲	۰/۰۰	۰/۵۳۷	۰/۴۶۳	۰/۸۲۴۵۴۹۰۲۳	$Z_{۳}$	۰/۵۱۷۴۰۷۳۵۵	۰/۳	۱/۱۸۵
۱	۳	۰/۱۹۶۱	۰/۸۳۳۳	۰/۱۵۶۱	-	-	-	-	
۲	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۱۰۸۱۲۱۴۱۴	$Z_{۱}$	۰/۳۵۶۲۴۲۳۹۶	۰/۲	
۲	۲	۰/۰۰	۰/۵۳۷	۰/۴۶۳	۰/۲۵۸۴۹۳۲۸۲	$Z_{۲}$	۰/۸۵۳۳۴۲۵۵۱	۰/۵	۱/۱۵۴
۲	۳	۰/۱۹۶۱	۰/۰۰۰۰	۰/۹۵۷۴	-	-	-	-	
۳	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۹۱۶۸۹۳۳۵	$Z_{۳}$	۰/۸۳۰۱۶۹۳۹۷	۰/۵	
۳	۲	۰/۵۷۹	۰/۴۲۱	۰/۰۰	۰/۶۰۴۹۲۲۳۰۹	$Z_{۲}$	۰/۴۸۴۴۳۴۰۷	۰/۳	۱/۰۰۰
۳	۳	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	-	-	-	-	
۴	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۱۵۰۸۵۸۸۵۹	$Z_{۱}$	۰/۴۷۶۵۳۱۱۱۷	۰/۳	
۴	۲	۰/۰۰	۰/۵۲۹	۰/۴۷۱	۰/۹۴۵۹۳۱۰۴۸	$Z_{۳}$	۰/۴۱۰۶۱۱۰۰۲	۰/۳	۱/۲۲۸
۴	۳	۰/۰۲۴۵	۰/۹۷۹۱	۰/۲۲۴۳	-	-	-	-	
۵	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۶۴۵۳۱۷۱۶۷	$Z_{۲}$	۰/۰۲۹۶۷۱۷۷۴	۰/۱	
۵	۲	۰/۶۱۵	۰/۰۰	۰/۳۸۵	۰/۶۳۷۲۲۶۱۳	$Z_{۳}$	۰/۱۶۳۹۴۴۴۱۴	۰/۱	۱/۰۴۶
۵	۳	۰/۸۳۶۶	۰/۰۷۶۰	۰/۱۳۳۷	-	-	-	-	
۶	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۶۷۶۹۹۴۰۱۲	$Z_{۲}$	۰/۶۶۹۳۳۴۹۰۵	۰/۵	
۶	۲	۰/۶۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰۰	۰/۷۰۴۱۰۰۸۳۷	$Z_{۳}$	۰/۱۴۴۱۶۸۷۰۵	۰/۱	۱/۰۴۵
۶	۳	۰/۸۶۰۹	۰/۰۰۰۰	۰/۱۸۴۴	-	-	-	-	
۷	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۴۸۰۵۷۷۰۶۷	$Z_{۱}$	۰/۵۴۳۰۰۸۱۲۶	۰/۳	
۷	۲	۰/۰۰	۰/۹۴۳	۰/۰۵۷	۰/۹۸۷۰۸۳۴۷۱	$Z_{۳}$	۰/۱۵۳۵۹۰۸۵۵	۰/۱	۱/۱۶۶
۷	۳	۰/۰۲۴۵	۰/۶۲۷۴	۰/۵۱۴۱	-	-	-	-	
۸	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۴۹۲۴۸۰۳۱۲	$Z_{۲}$	۰/۴۳۵۵۰۶۰۳۸	۰/۳	
۸	۲	۰/۶۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰۰	۰/۲۹۳۰۹۳۸۷	$Z_{۱}$	۰/۵۳۹۱۳۴۱۲۴	۰/۳	۱/۰۸۸
۸	۳	۰/۱۱۲۶	۰/۰۰۰۰	۰/۹۷۵۶	-	-	-	-	
۹	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۷۴۸۳۰۰۹۵۹	$Z_{۲}$	۰/۴۸۸۷۷۴۷۷۲	۰/۳	
۹	۲	۰/۶۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰۰	۰/۸۱۳۰۴۳۸۲۹	$Z_{۳}$	۰/۸۶۰۵۱۴۲۷۴	۰/۵	۱/۰۰۰
۹	۳	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	-	-	-	-	

شماره تکرار	شماره سیکل	مطلوبیت‌های نرمالیزه شده*			عدد تصادفی	تابع منتخب	عدد تصادفی	ضریب تعدیل منتخب	مطلوبیت کل
		$u(Z_1)$	$u(Z_2)$	$u(Z_3)$					
۱۰	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/٤۷۹٤۳۰۹۲۲	Z_1	۰/۸۲۷۳۱۲۲۲۹	۰/۵	۱/۲۳٤
۱۰	۲	۰/۰۰	۰/۵۲۹	۰/٤۷۱	۰/۷٤۸٦۲۰۷۰۸	Z_3	۰/٤۲۳۸۲۵۵۹۷	۰/۳	
۱۰	۳	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۲۳٤۰	-	-	-	-	
۱۱	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۰٦۳۵۰۱۲۵۸	Z_1	۰/۰۲۱۲۰٤۰۹۵	۰/۱	۱/۱٤۳
۱۱	۲	۰/۰۰	۰/۵۵۷	۰/٤٤۳	۰/۹۰۹۷٤۲٦۱۱	Z_3	۰/۰۲۸۹۹٦۵	۰/۱	
۱۱	۳	۰/۳٦۷۷	۰/٦۸۷۵	۰/۰۸۷۸	-	-	-	-	
۱۲	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۰۸٤۲۲۱۷٦	Z_1	۰/۱۷٦۵۵۸۵۱۳	۰/۱	۱/۲۳٤
۱۲	۲	۰/۰۰	۰/۵۲۹	۰/٤۷۱	۰/۸۵۵۱۹۳۱٤۷	Z_3	۰/۷۵٤۰۳٦۸٤۹	۰/۵	
۱۲	۳	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۲۳٤۰	-	-	-	-	
۱۳	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۱٤۳۵۳٦٤۱٦	Z_1	۰/۲٤۳۳۲۲٦۹٤	۰/۲	۱/۱۸۵
۱۳	۲	۰/۰۰	۰/۵۳۷	۰/٤٦۳	۰/٦٤۱۹٦۲۱۲۵	Z_3	۰/۳۵۰۸۰۳۲۵٦	۰/۲	
۱۳	۳	۰/۱۹٦۱	۰/۸۳۳۳	۰/۱۵٦۰	-	-	-	-	
۱٤	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۵۷۰٦۳۷۵۷۵	Z_2	۰/۰۵٦۲۹۱۳۵۱	۰/۱	۱/۱۳۵
۱٤	۲	۰/۷٦۳	۰/۰۰	۰/۲۳۷	۰/۳۹۱۹۸۳۲٤۲	Z_1	۰/۰٤۳٤۸٦۹۹٦	۰/۱	
۱٤	۳	۰/۵٦٦۱	۰/۰۷٦۰	۰/٤۹۲٤	-	-	-	-	
۱۵	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۸۵۲۸۸۷۳۸۳	Z_3	۰/۰۵۷۸۰۰۵۲۳	۰/۱	۱/۱۱٤
۱۵	۲	۰/٦٤۱	۰/۳۵۹	۰/۰۰۰	۰/٦۰۱۵۰۳۸۹	Z_1	۰/۱۵۰۹٦۱۲۲۱	۰/۱	
۱۵	۳	۰/٤۸٤٤	۰/۵۸٤٤	۰/۰٤۵٦	-	-	-	-	
۱٦	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۱۰۹۳٤۹۸٦۸	Z_1	۰/۳۸۰٦۳۹٤٤۳	۰/۲	۱/۱۵٤
۱٦	۲	۰/۰۰	۰/۵۳۷	۰/٤٦۳	۰/۳۱۹٦٤۲۵۰۵	Z_3	۰/۰۳۸۰۵٤۰۹٤	۰/۱	
۱٦	۳	۰/۱۹٦۱	۰/۰۰۰۰	۰/۹۵۷٤	-	-	-	-	
۱۷	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۱۱۸۷۵۱۲۹۵	Z_1	۰/۳۲۰۷۰۳۷۳۷	۰/۲	۱/۱۸۵
۱۷	۲	۰/۰۰	۰/۵۳۷	۰/٤٦۳	۰/۵۵۷۹۷۱۱۳۱	Z_3	۰/۳٦۲۲۳٦۷۸۷	۰/۲	
۱۷	۳	۰/۱۹٦۱	۰/۸۳۳۳	۰/۱۵٦۰	-	-	-	-	
۱۸	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۵۰۰۱٦٤۲۰٦	Z_2	۰/۰۲۷۸۲۸٦۸۹	۰/۱	۱/۱۷۱
۱۸	۲	۰/٦۱۵	۰/۰۰	۰/۳۸۵	۰/۱۰۸۱٦۳٤۸	Z_1	۰/۱٤٦۲۸۹۳۸٦	۰/۱	
۱۸	۳	۰/٤۵۵۹	۰/۰۷٦۰	۰/٦۳۸۷	-	-	-	-	
۱۹	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۲۷۲٤۰۷۰۰۹	Z_1	۰/۹۰۷۵۹۵۱۱۱	۰/۵	۱/۰۰۰

پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری ـــ

شماره تکرار	شماره سیکل	مطلوبیت‌های نرمالیزه شده*			عدد تصادفی	تابع منتخب	عدد تصادفی	ضریب تعدیل منتخب	مطلوبیت کل
		$u(Z_1)$	$u(Z_2)$	$u(Z_3)$					
۱۹	۲	۰/۰۰	۰/۵۲۹	۰/۴۷۱	۰/۰۲۳۰۳۳۹۶۷	Z_2	۰/۵۶۳۵۳۰۲۶۳	۰/۳	
۱۹	۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	-	-	-	-	
۲۰	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۲۵۴۹۸۳۷۷۹	Z_1	۰/۹۰۸۵۲۴۵۸۲	۰/۵	۱/۰۰۴
۲۰	۲	۰/۰۰	۰/۵۲۹	۰/۴۷۱	۰/۴۷۲۶۰۷۱۳۴	Z_2	۰/۳۶۷۴۰۰۹۸۱	۰/۲	
۲۰	۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۱۵۹	۰/۹۸۷۸	-	-	-	-	
۲۱	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۳۲۴۷۰۶۳۸	Z_1	۰/۴۸۶۴۲۶۵۵۳	۰/۳	۱/۰۱۹
۲۱	۲	۰/۰۰	۰/۵۲۹	۰/۴۷۱	۰/۰۱۳۰۱۳۶۹۲	Z_2	۰/۶۴۱۹۸۷۰۱۴	۰/۵	
۲۱	۳	۰/۰۲۴۵	۰/۰۰۰۰	۰/۹۹۴۷	-	-	-	-	
۲۲	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۶۳۱۶۵۷۰۵۹	Z_2	۰/۰۲۴۳۰۹۲۷۶	۰/۱	۱/۰۹۱
۲۲	۲	۰/۶۱۵	۰/۰۰	۰/۳۸۵	۰/۴۲۷۳۰۰۷۷۵	Z_1	۰/۵۷۶۵۸۹۷۲۹	۰/۳	
۲۲	۳	۰/۰۹۳۱	۰/۷۶۰	۰/۹۲۱۶	-	-	-	-	
۲۳	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۷۹۲۳۵۸۳۸۷	Z_2	۰/۳۹۲۳۱۱۰۷	۰/۲	۱/۰۰۰
۲۳	۲	۰/۵۷۹	۰/۴۲۱	۰/۰۰	۰/۸۱۶۹۲۴۷۲۳	Z_2	۰/۴۲۱۰۱۶۲۳۸	۰/۳	
۲۳	۳	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	-	-	-	-	
۲۴	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۸۸۲۰۰۵۵۷۲	Z_3	۰/۱۷۷۳۸۴۹۲۷	۰/۱	۱/۲۱۶
۲۴	۲	۰/۵۷۹	۰/۴۲۱	۰/۰۰	۰/۰۲۶۰۰۳۹۱۲	Z_1	۰/۵۴۰۵۳۹۰۵۷	۰/۳	
۲۴	۳	۰/۰۷۳۴	۰/۹۳۷۶	۰/۲۰۴۹	-	-	-	-	
۲۵	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۱۰۳۲۶۸۶۲۶	Z_1	۰/۱۵۶۴۷۰۰۹۹	۰/۱	۱/۱۴۳
۲۵	۲	۰/۰۰۰	۰/۵۵۷	۰/۴۴۳	۰/۸۵۶۰۴۵۲۱۲	Z_3	۰/۷۰۹۶۹۷۸۲۶	۰/۵	
۲۵	۳	۰/۳۶۷۷	۰/۶۸۷۵	۰/۰۸۷۸	-	-	-	-	
۲۶	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۹۳۱۴۱۷۵۴۴	Z_3	۰/۸۹۵۰۳۶۹۰۱	۰/۵	۱/۰۰۰
۲۶	۲	۰/۵۷۹	۰/۴۲۱	۰/۰۰	۰/۹۲۶۷۹۷۰۳۸	Z_2	۰/۶۲۸۹۱۴۱۴۹	۰/۵	
۲۶	۳	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	-	-	-	-	
۲۷	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۲۵۸۸۴۸۱۸۴	Z_1	۰/۵۸۷۲۴۲۸۵۷	۰/۳	۱/۲۲۸
۲۷	۲	۰/۰۰	۰/۵۲۹	۰/۴۷۱	۰/۶۵۳۷۶۵۳۸۹	Z_3	۰/۷۰۲۳۳۴۱۳۹	۰/۵	
۲۷	۳	۰/۰۲۴۵	۰/۹۷۹۱	۰/۲۲۴۳	-	-	-	-	
۲۸	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۶۰۲۲۷۴۲۸۱	Z_2	۰/۵۹۷۵۰۸۳۶۲	۰/۳	۱/۰۸۸
۲۸	۲	۰/۶۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰۰	۰/۱۹۱۷۰۹۱۱۸	Z_1	۰/۵۰۱۱۰۵۲۳۵	۰/۳	

شماره تکرار	شماره سیکل	مطلوبیت‌های نرمالیزه شده*			عدد تصادفی	تابع منتخب	عدد تصادفی	ضریب تعدیل منتخب	مطلوبیت کل
		$u(Z_1)$	$u(Z_2)$	$u(Z_3)$					
۲۸	۳	۰/۱۱۲۶	۰/۰۰۰۰	۰/۹۷۵۶	-	-	-	-	
۲۹	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۴۱۴۵۷۱۴۹۹	Z_1	۰/۵۹۵۶۷۵۹۲۲	۰/۳	۱/۲۳۳
۲۹	۲	۰/۰۰	۰/۵۲۹	۰/۴۷۱	۰/۹۲۲۴۶۹۶۰۸	Z_3	۰/۱۵۸۸۵۸۹۱۲	۰/۱	
۲۹	۳	۰/۰۲۴۵	۰/۹۲۴۵	۰/۲۸۴۰	-	-	-	-	
۳۰	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۶۵۸۳۵۸۳۸۴	Z_2	۰/۷۷۳۹۴۱۷۹۹	۰/۵	۱/۰۰۰
۳۰	۲	۰/۶۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰۰	۰/۸۲۲۶۷۸۵۵	Z_3	۰/۳۵۰۲۱۷۱۸۷	۰/۲	
۳۰	۳	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	-	-	-	-	
۳۱	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۹۱۸۲۰۰۱۴۲	Z_3	۰/۹۶۲۷۸۸۹۵	۰/۵	۱/۱۷۲
۳۱	۲	۰/۵۷۹	۰/۴۲۱	۰/۰۰	۰/۵۰۵۸۴۱۰۶۲	Z_1	۰/۲۶۹۰۸۲۹۳۵	۰/۲	
۳۱	۳	۰/۲۵۱۹	۰/۷۸۵۹	۰/۱۳۳۸	-	-	-	-	
۳۲	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۸۲۰۱۹۶۷۵۲	Z_3	۰/۰۸۰۵۱۳۳	۰/۱	۱/۲۳۴
۳۲	۲	۰/۵۷۹	۰/۴۲۱	۰/۰۰	۰/۰۴۶۵۶۴۱۴۲	Z_1	۰/۹۲۷۰۶۱۰۸۶	۰/۵	
۳۲	۳	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۲۳۴۰	-	-	-	-	
۳۳	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۰۴۲۹۸۶۶۳۳	Z_1	۰/۳۶۳۲۴۷۵۱۵	۰/۲	۱/۲۱۴
۳۳	۲	۰/۰۰	۰/۵۳۷	۰/۴۶۳	۰/۲۳۴۲۴۸۰۴۵	Z_2	۰/۱۹۶۰۳۴۱۲۵	۰/۱	
۳۳	۳	۰/۱۹۶۱	۰/۲۵۷۵	۰/۷۶۰۲	-	-	-	-	
۳۴	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۱۲۶۹۳۹۴۴	Z_1	۰/۱۷۰۸۱۰۹۶۸	۰/۱	۱/۲۰۶
۳۴	۲	۰/۰۰	۰/۵۵۷	۰/۴۴۳	۰/۸۹۸۱۲۱۲۶۴	Z_3	۰/۲۲۷۸۳۰۵۲۴	۰/۲	
۳۴	۳	۰/۳۶۷۷	۰/۰۰۰۰	۰/۸۳۸۶	-	-	-	-	
۳۵	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۷۳۹۸۱۱۶۷۶	Z_2	۰/۴۶۰۸۶۶۰۱۳	۰/۳	۱/۲۳۰
۳۵	۲	۰/۶۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰۰	۰/۳۲۸۷۰۷۷۷۹	Z_1	۰/۳۶۲۲۲۸۶۶۲	۰/۲	
۳۵	۳	۰/۲۹۵۷	۰/۰۰۰۰	۰/۹۳۳۸	-	-	-	-	
۳۶	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۵۱۰۱۲۶۶۸۴	Z_2	۰/۷۰۴۹۸۷۰۶	۰/۵	۱/۲۲۹
۳۶	۲	۰/۶۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰۰	۰/۴۳۵۹۱۹۳۲۵	Z_1	۰/۲۲۶۹۲۲۹۸۴	۰/۲	
۳۶	۳	۰/۲۹۶۷	۰/۰۰۰۰	۰/۹۳۲۷	-	-	-	-	
۳۷	۱	۰/۴۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۵۳۲۵۵۵۵۸	Z_2	۰/۶۶۹۵۱۵۶۲۸	۰/۵	۱/۰۰۰
۳۷	۲	۰/۶۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰۰	۰/۷۸۹۲۰۰۲۵۱	Z_3	۰/۵۲۱۳۳۶۹۰۷	۰/۳	
۳۷	۳	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	-	-	-	-	

پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری ـــ

شماره تکرار	شماره سیکل	مطلوبیت‌های نرمالیزه شده*			عدد تصادفی	تابع منتخب	عدد تصادفی	ضریب تعدیل منتخب	مطلوبیت کل
		$u(Z_1)$	$u(Z_2)$	$u(Z_3)$					
۳۸	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/٦۲۲۰٥۷٥۸۱	Z_2	۰/۳۲۲۰٥۸٤٥٥	۰/۲	۱/۰۰۰
۳۸	۲	۰/٦۰۰	۰/۰۰	۰/٤۰۰	۰/۷۸٥٦٥۷۸۳۳	Z_3	۰/۹۷۸۳۸٦۹۷	۰/٥	
۳۸	۳	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	-	-	-	-	
۳۹	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۳۸۳٥۰۱۸۷٥	Z_1	۰/٦۲٦٤۲۹۰۰٥	۰/٥	۱/۰۰۰
۳۹	۲	۰/۰۰	۰/٥۲۹	۰/٤۷۱	۰/۱٥٥۱٦۲۷۳۷	Z_2	۰/۹۸۸٦۷۰۸۳۲	۰/٥	
۳۹	۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	-	-	-	-	
٤۰	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/٦۹٥٦۸٤۹۹۱	Z_2	۰/٦٦۷۲۰٦۲۸۳	۰/٥	۱/۱٥۰
٤۰	۲	۰/٦۰۰	۰/۰۰	۰/٤۰۰	۰/٥۹٤٥٤۷٤٦۷	Z_1	۰/٦۰۹۰٥۸۱۳۷	۰/٥	
٤۰	۳	۰/٥۳۹۳	۰/۰۰۰۰	۰/٦۱۱۱	-	-	-	-	
٤۱	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/٤۰۷۲۸۹٦۱۹	Z_1	۰/۸۷٥۷۰۸۹۷۲	۰/٥	۱/۰۰۰
٤۱	۲	۰/۰۰	۰/٥۲۹	۰/٤۷۱	۰/۰٦۲٥٦۲۰٥۲	Z_2	۰/٦۹٤۹٥۸٥٦۲	۰/٥	
٤۱	۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	-	-	-	-	
٤۲	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۸۸٤۷۱۲٦٥۱	Z_3	۰/٦۳٤۰٤۸٥۱۷	۰/٥	۱/۱۷۲
٤۲	۲	۰/٥۷۹	۰/٤۲۱	۰/۰۰	۰/۰۲۸٥٦۲٥۳٦	Z_1	۰/۲٦۷۲۸۸۸۸۸	۰/۲	
٤۲	۳	۰/۲٥۱۹	۰/۷۸٥۹	۰/۱۳۳۸	-	-	-	-	
٤۳	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۱۸۹٤۲۱۹۱۸	Z_1	۰/۱٤۳٥۳۲٤۳۹	۰/۱	۱/۱۷٥
٤۳	۲	۰/۰۰	۰/٥٥۷	۰/٤٤۳	۰/٥۳٤۳۱۱۲۳٦	Z_2	۰/۹۱۲۸۱۰۹۰٤	۰/٥	
٤۳	۳	۰/۳٦۷۷	۰/۳٤۳۷	۰/٤٦۳۲	-	-	-	-	
٤٤	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۰٤۹۰۳٦٦۳٤	Z_1	۰/۳۰۷۷۱۲۰٦٦	۰/۲	۱/۱٥٤
٤٤	۲	۰/٦۰۰	۰/۰۰	۰/٤۰۰	۰/۱٦۰٤٥۹٥۹٥	Z_2	۰/۸۹۷۳۰٦۹٦۸	۰/٥	
٤٤	۳	۰/۱۹٦۱	۰/۰۰۰۰	۰/۹٥۷٤	-	-	-	-	
٤٥	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۱٦۲۰۸٥۳۰۱	Z_1	۰/۱٦۳۷۱۹۲۹٦	۰/۱	۱/۲۰٦
٤٥	۲	۰/٥۷۹	۰/٤۲۱	۰/۰۰	۰/٤۸٤۷٥۸۲۲۷	Z_2	۰/۷۷۱۸٥۷٤۷	۰/٥	
٤٥	۳	۰/۳٦۷۷	۰/۰۰۰۰	۰/۸۳۸٦	-	-	-	-	
٤٦	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/٥۷۹۷۰٤۸۱۱	Z_2	۰/۳٤٤٥٥٤٤۷	۰/۲	۱/۰۰۰
٤٦	۲	۰/٦۰۰	۰/۰۰	۰/٤۰۰	۰/۹٥۰٦۹۰٤٥٤	Z_3	۰/٤۱۷۷۷۳٤۰٦	۰/۳	
٤٦	۳	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	-	-	-	-	
٤۷	۱	۰/٤۸۲	۰/۳۰۷	۰/۲۱۱	۰/۸۱۳۱٦۷۲٥۷	Z_3	۰/۳۰٤۳۰۲٤٦۸	۰/۲	۱/۰۰۰

شماره تکرار	شماره سیکل	مطلوبیت‌های نرمالیزه شده*			عدد تصادفی	تابع منتخب	عدد تصادفی	ضریب تعدیل منتخب	مطلوبیت کل
		$u(Z_1)$	$u(Z_2)$	$u(Z_3)$					
٤٧	٢	٠/٥٧٩	٠/٤٢١	٠/٠٠	٠/٨٤٨٣٨١٧٥٨	Z_2	٠/٧٦٠٤٤٥٠٣٢	٠/٥	
٤٧	٣	١/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	-	-	-	-	
٤٨	١	٠/٤٨٢	٠/٣٠٧	٠/٢١١	٠/٠٨٧٦٠٠٣٠٦	Z_1	٠/٩٧٣٦١٦١٧٩	٠/٥	١/٠٠٠
٤٨	٢	٠/٠٠	٠/٥٢٩	٠/٤٧١	٠/٢٠٣٩٢٦٥٨١	Z_2	٠/٥٨٩٣٥٠١٣	٠/٣	
٤٨	٣	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	١/٠٠٠٠	-	-	-	-	
٤٩	١	٠/٤٨٢	٠/٣٠٧	٠/٢١١	٠/٨٦٠٣٢٤٤٦٩	Z_3	٠/٢٦٣٧٩٩٩٤٣	٠/٢	١/٠٠٠
٤٩	٢	٠/٥٧٩	٠/٤٢١	٠/٠٠	٠/٩٥١٢١١٥٦	Z_2	٠/٨٩٤١٣٠٠٣١	٠/٢	
٤٩	٣	١/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	-	-	-	-	
٥٠	١	٠/٤٨٢	٠/٣٠٧	٠/٢١١	٠/٦٧٣٣٤٣٠٦٦	Z_2	٠/١٢١٩٤٧٠٤٣	٠/١	١/٠١٨
٥٠	٢	٠/٦١٥	٠/٠٠	٠/٣٨٥	٠/٢٩٦٨٦٨٨٤٧	Z_1	٠/٧٤٥٩٧٨٨٠٤	٠/٥	
٥٠	٣	٠/٠٠٠٠	٠/٠٧٦٠	٠/٩٤١٨	-	-	-	-	

جدول ۷: مقدار توابع هدف در بهترین نتایج شبیه‌سازی (بهترین مقدار تابع مطلوبیت کل)

مقدار تابع هدف اول	درصد تعدیل (رهاسازی) هدف اول	مقدار تابع هدف سوم	درصد تعدیل (رهاسازی) هدف سوم	مقدار تابع هدف دوم
١٠٠٠٠٠٠	٥٤/٠٥٤	٦٠٠٠٠٠٠	٣٧/٥٠	٥٠٠٠٠٠

۴-۳- اعتبارسنجی تکنیک پیشنهادی

ارزیابی روایی[1] یا اعتبارسنجی یک ابزار اندازه‌گیری یا یک روش تحقیق، با استفاده از روش‌های مختلفی انجام می‌پذیرد. از جمله این روش‌ها می‌توان به تحلیل محتوا، نظرات خبرگان، استفاده از داده‌های ادبیات موضوع، همبستگی با معیار و روش‌های آماری پیچیده اشاره نمود. در این پژوهش، به منظور اعتبارسنجی تکنیک پیشنهادی، از رویکرد بهره‌گیری از نظرات خبرگان استفاده شده است.

در گام اول و به منظور کسب تأیید خبرگان موضوع در زمینه اعتبار مدل پیشنهادی، توضیحات مختصری در خصوص مسئله و مدل و همچنین نتایج مثال عددی در اختیار تعدادی از خبرگان

[1] Validity

قرار داده شد. در گام دوم، نظرات ایشان در خصوص روایی روش پیشنهادی، جمع‌بندی شده و در حالت کلی مثبت ارزیابی گردید.

۴-۴- مقایسه تکنیک پیشنهادی با تکنیک‌های مشابه

به منظور مقایسه نتایج تکنیک‌پیشنهادی با سایر تکنیک‌های مشابه، ذکر دو نکته ضروری است. نخست اینکه نتایج تکنیک‌های مختلف تصمیم‌گیری برای یک مسئله واحد، الزاماً مشابه نبوده و تا حدود زیادی به روش استفاده شده، وابسته می‌باشد. دوم، وجود تفاوت در مفروضات روش‌های مختلف است که انجام مقایسات عددی و نظیر به نظیر را با چالش مواجه می‌نماید. در روش پیشنهادی در این پژوهش، علاوه بر موضوعات فوق، لزوم تعامل با تصمیم‌گیرنده و وابستگی نتایج نهایی به نظرات اصلاحی تصمیم‌گیرنده، انجام مقایسات بین نتایج روش پیشنهادی با نتایج تکنیک‌های مشابه را به طور مضاعف، مشکل می‌سازد. با اینحال انجام مقایسات، صرفاً مبتنی بر مقایسه مقادیر عددی نتایج نبوده و با تعریف معیارهای مناسب و مختلف می‌توان تا حدودی چالش فوق را تعدیل نمود. با توجه به اینکه تکنیک پیشنهادی، روشی برای توسعه‌ی یکی از تکنیک‌های پیشین در حوزه تصمیم‌گیری چندهدفه می‌باشد، به منظور ایجاد زمینه برای انجام مقایسات تحلیلی، برخی از معیارهای مقایسه و تحلیل نتایج، در چند دسته کلی معرفی و نتایج مقایسه تکنیک پیشنهای با تکنیک پایه یا همان روش (STEM) با بیان عبارات کلی، در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸: مقایسه کلی نتایج تکنیک پیشنهادی با تکنیک پایه

عنوان کلی دسته‌بندی معیار	عنوان زیرمعیار	مقایسه تکنیک‌ها: روش پایه (تکنیک STEM)	مقایسه تکنیک‌ها: تکنیک پیشنهادی (توسعه روش پایه)
ویژگی‌های عمومی روش‌ها	تعداد و ویژگی مفروضات	-	مفروضات ساده و واقعی‌تر
	داده‌های مورد نیاز (تعداد، مقدار، دقت)	نیاز به داده اولیه کمتر	نیاز به تعامل کمتر با تصمیم‌گیرنده در طی مراحل روش
	مشخصه‌ی مدلی که روش مربوطه حل می‌کند (خطی، غیرخطی)	خطی	خطی
کارایی مدل از دیدگاه تحلیل‌گران	میزان دشواری استفاده از روش (تعداد متغیرها و محدودیت‌ها و مدل)	تقریباً یکسان	تقریباً یکسان

عنوان کلی دسته‌بندی معیار	عنوان زیرمعیار	مقایسه تکنیک‌ها	
		روش پایه (تکنیک STEM)	تکنیک پیشنهادی (توسعه روش پایه)
کارایی روش‌ها از دیدگاه تصمیم‌گیرنده	دشواری استفاده از روش (اطلاعات مورد نیاز و دشواری فراهم کردن آن‌ها)	دشواری بیشتر	-
	شفافیت روش	-	شفافیت بیشتر به دلیل وابستگی کمتر به نظرات
	مشارکت و یا عدم مشارکت تصمیم‌گیرنده در فرآیند تصمیم‌گیری	-	مشارکت منطقی‌تر و با ایجاد امکان اعمال سطوح مختلف رضایت
	امکان تأثیرگذاری تصمیم‌گیرنده بر روی نتایج در صورت مشارکت در فرآیند تصمیم‌گیری	-	تأثیر مناسب‌تر علیرغم تعامل کمتر

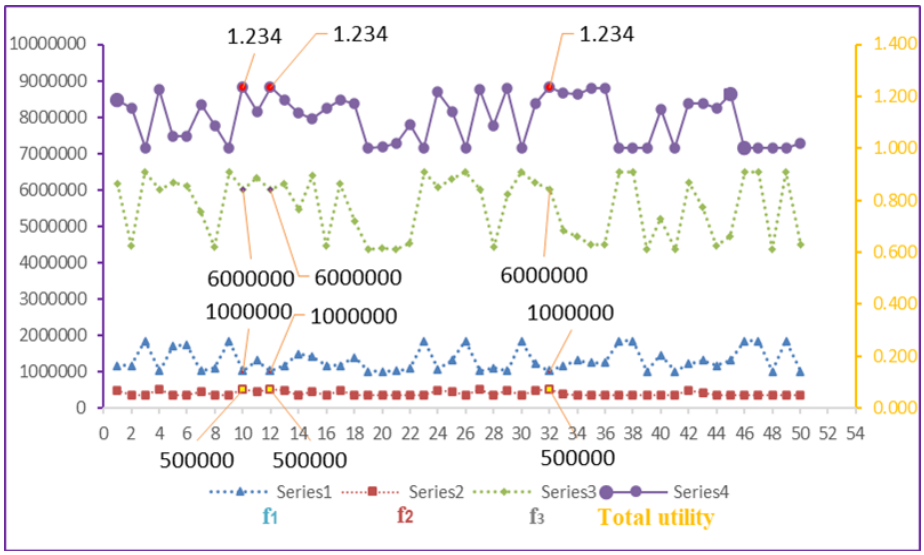
۵- تحلیل نتایج

تاکنون و به منظور توسعه و بهبود تکنیک STEM، مطالعات و پژوهش‌های مختلفی انجام شده است. در این مطالعات، علیرغم استفاده از مفهوم تابع مطلوبیت به شیوه‌های مختلف و همچنین اشاره به رویکردهای شبیه‌سازی، کارکرد فرآیند شبیه‌سازی، مربوط به مراحل و جزئیات روش STEM نبوده و به عبارتی به طور مستقیم از آن استفاده نشده است. در واقع در این مطالعات، موضوع شبیه‌سازی، صرفاً به دلیل ماهیت خاص مسئله تحت بررسی، مطرح بوده و به مواردی مانند تولید طرح‌های مختلف جانمایی کارخانه (مقاله ملاقاسمی و ایوانز در سال ۱۹۹٤ [٦]) و یا تهیه چند نسخه شبیه‌سازی شده از یک مسئله پایه (مقاله امین‌الاقا و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۷]) مربوط می‌شود. شبیه‌سازی مستقیم رفتار تصمیم‌گیرنده و انتخاب تصادفی توابع و مقادیر تعدیلی، موضوعی است که بر اساس دانش محققین این مقاله، هیچگاه در مطالعات پیشین مورد بررسی قرار نگرفته است.

در این پژوهش با ایجاد تغییراتی در فاز دوم روش فوق و با بهره‌برداری از مفهوم تابع مطلوبیت و بکارگیری تکنیک‌ها و ابزارهای شبیه‌سازی، فاز دوم روش با فرآیند شبیه‌سازی ادغام شده است. طی این ادغام و همچنین با انتخاب تصادفی توابع منتخب برای تعدیل و

همچنین انتخاب تصادفی ضرائب تعدیل این توابع، شرایط ویژه‌ای در راستای پوشش دادن نقاط ضعف روش پایه ایجاد می‌شود. در واقع از یک طرف، هر تابع با توجه به میزان مطلوبیت آن، شانسی برای انتخاب و تعدیل (رهاسازی) به نفع بهبود سایر توابع خواهد داشت. در روش اولیه، این انتخاب، بنابر نظر تصمیم‌گیرنده و با تعامل مستقیم با وی صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه در روش پیشنهادی و در تکرارهای مختلف شبیه‌سازی، ترکیبات مختلفی از اهداف منتخب و مقادیر تعدیل آزمایش می‌شود، می‌توان از آن به عنوان یک منبع تحلیلی کارآمد برای اخذ تصمیمات نهایی توسط تصمیم‌گیرنده استفاده کرد. از دیگر سو، با انتخاب ضرائب تعدیل مختلف برای توابع منتخب، امکان لحاظ کردن"سطوح مختلف رضایت" تصمیم‌گیرنده، در مسئله فراهم می‌شود. این در حالی است که در روش اولیه، میزان تعدیل در توابع منتخب، صرفاً بر اساس نظرات تصمیم‌گیرنده و بدون انجام محاسبات خاصی (به طور ضمنی) تعیین می‌شود. فرض کنید پس از اعمال روابط مربوط به این تعدیل در مدل مسئله و حل آن و ارائه نتایج نهایی به تصمیم‌گیرنده، رضایت وی فراهم شود. در این حالت، چنانچه تغییر در مقدار تعدیل انجام شده، رضایت بیشتری را در وی فراهم کند، در وش اولیه، این امکان، مورد بررسی و ارزیابی قرار نخواهد گرفت. بدیهی است بررسی کلیه ضرائب تعدیل برای تمامی توابع هدف، بسیار زمان‌بر می‌باشد. در روش پیشنهادی، بررسی ضرائب مختلف تعدیلی تصادفی برای توابع منتخب، علاوه بر رفع مشکل فوق، می‌تواند نیاز به عملیات تحلیل حساسیت در پایان فرآیند تصمیم‌گیری را نیز رفع نماید. در واقع با توجه به انتخاب تصادفی مقادیر تعدیل، مراجعه حداقلی به تصمیم‌گیرنده و همچنین امکان استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، زمان انجام این بررسی کاهش می‌یابد.

به منظور بررسی کاربرد و اعتبار روش پیشنهادی، یک مسئله سه هدفه انتخاب و با انجام ۵۰ تکرار شبیه‌سازی و محاسبه مطلوبیت‌ها در هر تکرار، بهترین جواب توافقی انتخاب شده است. نتایج، نشان می‌دهد که تصمیم‌گیرنده با ایجاد تعدیل (رهاسازی) به میزان ٥٤/٠٥٤ و ۳۷.۵ درصد به ترتیب در مقدار بهینه توابع اول و سوم و بهبود تابع هدف دوم، می‌تواند به بهترین جواب توافقی در بین جواب‌های پارتویی تکرارهای شبیه‌سازی دست یابد.



شکل ۱: نمودار تغییر مقدار مطلوبیت کل به ازای مقادیر نهایی توابع هدف در هر بارشبیه‌سازی

در شکل ۱، مقدار هر یک از اهداف و همچنین مطلوبیت کل در هر بار شبیه‌سازی نشان داده شده است. همانطور که اشاره شد، بهترین مقادیر مطلوبیت کل، مربوط به نقاطی است که مقادیر اهداف، مطابق با جدول ۷ باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که از یک سو به دلیل امکان پیچیدگی زیاد مسائل دنیای واقعی، و از سوی دیگر با توجه به تغییرات هدفمندی که در روش پیشنهادی بر روی تکنیک STEM صورت گرفته است، استفاده از این تکنیک می‌تواند ضمن پوشش برخی از نقاط ضعف تکنیک STEM که پیشتر به آن اشاره شد، شرایط مناسبی را برای دستیابی تصمیم‌گیرنده به نتایج مطلوب فراهم نماید. همانطور که پیشتر اشاره شد در طی ۵۰ تکرار شبیه‌سازی، ۱۵۰ مدل برنامه‌ریزی خطی بر اساس توابع منتخب و تعدیلات تصادفی مربوطه، حل شده که ۵۰ مورد از آنها، تکراری و مربوط به حل مدل ثانویه در اولین تکرار از روش STEM می‌باشد. با توجه به جدول ٦، در ۳۸ مورد، تابع هدف اول، در ۳۳ مورد، تابع هدف دوم و در ۲۹ مورد، تابع هدف سوم، به عنوان تابع منتخب برای تعدیل به نفع بهبود سایر توابع انتخاب شده‌اند. با توجه به اینکه توابع نهایی برای تعدیل، توابع هدف اول و سوم می‌باشند، این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب توابع نهایی، به دفعات انتخاب در شبیه‌سازی وابسته نمی‌باشد. با توجه به تنوع تعدیلات صورت گرفته در مقدار توابع منتخب و در تکرارهای مختلف روند

شبیه‌سازی، تابع هدف دوم علیرغم اینکه دفعات بیشتری نسبت به تابع هدف سوم، برای تعدیل انتخاب شده است، در پایان، تابع تعدیل شونده نبوده و سایر توابع به نفع بهبود این تابع، تعدیل (رهاسازی) شده‌اند.

۶- جمع‌بندی و پیشنهادات

در یک دسته‌بندی کلی مسائل تصمیم‌گیری به دو دسته چندمعیاره و چندهدفه تقسیم می‌شوند. امروزه مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه و روش‌های حل این مسائل یکی از موضوعات مهم و قابل توجه در حوزه تصمیم‌گیری بوده و با توجه به روند مطالعات انجام شده توسط محققین، میزان استفاده از تکنیک‌های این حوزه و تلاش برای ارائه روش‌های نوین در راستای مواجهه با مسائل مختلف حوزه‌های مهندسی، سیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و ... رو به افزایش می‌باشد. در روش پیشنهادی در این پژوهش، توسعه یکی از تکنیک‌های مواجهه با مسائل چندهدفه با عنوان تکنیک STEM مورد بررسی قرار گرفته است. در تکنیک پیشنهادی، انتخاب توابع جهت رهاسازی و انتخاب ضرائب تعدیل، به صورت تصادفی و با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی صورت پذیرفته است. دفعات تکرار عملیات شبیه‌سازی، با بررسی نتایج هر مرحله توسط تحلیل‌گر و تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. تعریف رویکردی مشخص برای تعیین تعداد بهینه دفعات تکرار عملیات شبیه‌سازی و همچنین انتخاب اهداف با رویکردی متفاوت، می‌تواند موضوع مطالعات آتی باشد. روش پیشنهادی در این مقاله، برخی محدودیت‌های روش پایه را رفع نموده است. به لحاظ عملی و در راستای کمک به تصمیم گیرندگان در مواجهه با مسائل دنیای واقعی، توسعه تکنیک پیشنهادی به منظور لحاظ کردن شرایط عدم قطعیت، خصوصاً بکارگیری روش‌های بهینه‌سازی استوار[1] نیز می‌تواند تأثیر بسزایی در ارتقای کیفیت و کاربردی‌تر کردن آن داشته باشد. با توجه به ماهیت تکراری تصمیمات در روش پایه و همچنین روش پیشنهادی در این پژوهش، تعدیل روش به منظور استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین[2] و ارائه رویکرد مناسبی در این زمینه نیز می‌تواند موضوع پژوهش‌های آتی محققین قرار گیرد.

[1] Robust

[2] Machine learning

۷- منابع

[۱] Benayoun, R., Montgolfier, J., Tergny, J., Laritchev, O. (۱۹۷۱). Linear programming with multiple objective functions: step method (STEM). Mathematical Programming ۱, ۳٦٦-۳۷٥. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/BF۰۱٥۸٤۰۹۸

[۲] Jeong, I.J., Kim, W.J. (۲۰۰٥). D-STEM: a modified step method with desirability function concept. Computers & Operations Research, ۳۲, ۳۱۷٥-۳۱۹۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.cor.۲۰۰٤,۰٥,۰۰٦

[۳] Xevi, E., Khan, S. (۲۰۰۷). A STEP Method based multiple objective methodology for irrigation water management to model preferences and tradeoffs. International Congress on Modelling and Simulation, ۱٤۹-۱٥٥. DOI:۱۰,۱۳۱٤۰/۲,۱,٤٤۸۹,۸۰۸٦

[٤] Lee, P., Kang, S. (۲۰۱۸). An Interactive Multi objective Optimization Approach to Supplier Selection and Order Allocation Problems Using the Concept of Desirability. Information ۲۰۱۸, ۹, ۱۳۰. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/info۹۰٦۰۱۳۰

[٥] Teghem Jr, J., Dufrane, D., Thauvoye, M., Kunsch, P. (۱۹۸٦). Strange: An interactive method for multi objective linear programming under uncertainty. European Journal of Operational Research, ۲٦, ٦٥-۸۲. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/۰۳۷۷-۲۲۱۷(۸٦)۹۰۱٦۰-۸

[٦] Mollaghasemi, M., W.Evans, G. (۱۹۹٤). Multicriteria Design of Manufacturing Systems Through Simulation Optimization. IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics, Vol. ۲٤, No. ۹. DOI: ۱۰,۱۱۰۹/۲۱,۳۱۰٥۱۸

[۷] Al-Agha, A. (۲۰۱٥). A multi-objective linear programming model for national planning. International Journal of Economics, Commerce and Management, Vol. III, No. ٤.

[۸] Nadershahi, M., Safi.S, A.D., Tavakkoli moghaddam, R. (۲۰۱۹). Development of a Genetic Algorithm-based Decision Neural Network for the Preference Assessment in Multi-objective Decision-Making Problems. Journal of Modern Research in Decision Making (Scientific Research Quarterly), ٤, ۳, ۱۲۷-۱٥۳. [in Persian] DOR: ۲۰,۱۰۰۱,۱,۲٤۷٦٦۲۹۱,۱۳۹۸,٤,۳,٦,٤

[۹] Devi, S., Madhusmita Nayak, M., Patnaik, S. (۲۰۲۱). A Study on Decision Making by Estimating Preferences Using Utility Function and Indifference Curve. Intelligent and Cloud Computing, Smart Innovation, Systems and Technologies ۱۹٤, ۳۷۳-۳۸٦. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۹۸۱-۱٥-٥۹۷۱-٦_٤۱

[۱۰] Belenson, Sh., C.Kapur, K. (۱۹۷۱). An algorithm for solving multi criterion linear programming problems with examples. Operational Research Quarterly, Vol. ۲٤, No. ۱. https://doi.org/۱۰,۲۳۰۷/۳۰۰۸۰۳٦

[۱۱] Wallenius, J. (۱۹۷٥). Comparative Evaluation of Some Interactive Approaches to Multi criterion Optimization. Management Science, ۲۱(۱۲), ۱۳۸۷-۱۳۹٦. https://doi.org/۱۰,۱۲۸۷/mnsc.۲۱,۱۲,۱۳۸۷

[۱۲] Nijkamp, P., Rietveld, P. (۱۹۷٦). Multi-objective programming models New Ways in Regional Decision-Making. Regional science and Urban Economics, ٦, ۲٥۳-۲۷٤. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/۰۱٦٦-۰٤٦۲(۷٦)۹۰۰۰۲-۸

[۱۳] Dinkelbach, W., Isermann, H. (۱۹۸۰). Resource allocation of an academic department in the presence of multiple criteria. Computer & Operational Research, ۷, ۹۹-۱۰٦.

[۱٤] Masud, A., Hwang, C.L. (۱۹۸۱). Interactive Sequential Goal Programming. Operational Research, ۳۲, ۳۹۱-٤۰۰. https://doi.org/۱۰,۱۰٥۷/jors.۱۹۸۱,۷٦

[۱٥] Evans, G. (۱۹۸٤). An Overview of Techniques for Solving Multi objective Mathematical Programs. Management Science, ۳ ۳۰(۱۱), ۱۲٦۸-۱۲۸۲. https://doi.org/۱۰,۱۲۸۷/mnsc.۳۰,۱۱,۱۲٦۸

[۱٦] Brockhoff, K. (۱۹۸٥). Experimental test of MCDM algorithms in a modular approach. European Journal of Operational Research, ۲۲, ۱٥۹-۱٦٦. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/۰۳۷۷-۲۲۱۷(۸٥)۹۰۲۲٤-۳

[۱۷] Michalowski, W. (۱۹۸۷). Evaluation Of a Multiple Criteria Interactive Programming Approach: An Experiment. Information Systems and Operational Research, vol. ۲٥, No. ۲. https://doi.org/۱۰,۱۰۸۰/۰۳۱٥٥۹۸٦,۱۹۸۷,۱۱۷۳۲۰۳٦

[۱۸] Gardiner, L., Steuer, R. (۱۹۹٤). Unified interactive multiple objective programming. European Journal of Operational Research, ۷٤, ۳۹۱-٤۰٦. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/۰۳۷۷-۲۲۱۷(۹٤)۹۰۲۱۹-٤

[۱۹] Park, K., Kim, K.J. (۲۰۰٥). Optimizing multi-response surface problems: How to use multi-objective optimization techniques. IIE Transactions, ۳۷, ٥۲۳-٥۳۲. https://doi.org/۱۰,۱۰۸۰/۰۷٤۰۸۱۷۰٥۹۰۹۲۸۹۹۲

[۲۰] Pokharel, Sh. (۲۰۰۸). A two-objective model for decision making in a supply chain. International Journal of Production Economics, ۱۱۱, ۳۷۸-۳۸۸. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.ijpe.۲۰۰۷,۰۱,۰۰٦

[۲۱] Roostaee, R., Izadikhah, M., Hosseinzadeh Lotfi, F. (۲۰۱۲). An Interactive Procedure to Solve Multi-Objective Decision-Making Problem: An Improvement to STEM Method. Journal of Applied Mathematics. https://doi.org/۱۰,۱۱٥٥/۲۰۱۲/۳۲٤۷۱۲

[۲۲] Mohanty, R.R., Paul, J.C., Panigrahi, B. (۲۰۱٥). An interactive multi-objective linear programming approach for watershed planning- a case study. Journal of Soil and Water Conservation, ۱٤(۱), ٦۳-٦۸. https://doi.org/۱۰,٥۲۱٥۱/jae۲۰۱٦٥۳٤,۱٦۱۳

[۲۳] Amiri, M., Azizmohammadi, M., Hoseinnezhadi, M. (۲۰۱٤) Application of multi-level, multi-objective mathematical model to determine the optimal level of effective quality factors in plastic injection quality and using fuzzy dual response surface methodology (Case Study: Movable arm rest Teflon Bush for bus seat). Journal of Management Research in Iran, ۱۸, ۲, ۱-۲٤. [in Persian] DOR: ۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۳۲۲۲۰۰,۱۳۹۳,۱۸,۲,۱,٤

[۲٤] Peric, T., Babic, Z., Matejas, J. (۲۰۱۸). Comparative analysis of application efficiency of two iterative multi objective linear programming methods (MP method and STEM method). CEJOR, ۲٦, ٥٦٥-٥٨٣. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۰۱۰۰-۰۱۸-۰٥٤۳-x

[۲٥] Razuminkov, S.V. (۲۰۲۰). Application of the STEM Method in the Multi-Criteria Task of Linear Programming in the Design of a Cloud Technology Development Strategy. ۲۰۲۰ International Russian Automation Conference. DOI:۱۰,۱۱۰۹/RusAutoCon٤۹۸۲۲,۲۰۲۰,۹۲۰۸۰٦٦

[۲٦] Henriques, C., Luque, M., Marcenaro-Gutierrez, O. (۲۰۲۰). Coupling distinct MOLP interactive approaches with a novel DEA hybrid model. International Transactions in Operational Research, ۰۰, ۱-۲۲. https://doi.org/۱۰,۱۱۱۱/itor.۱۲۸۷۹

[۲۷] Mosa, M., Azar, A., Rajabzadeh.G, A. (۲۰۲۱) A bi-objective MILP model for lot sizing and scheduling problem: possibilistic fuzzy goal programming approach. Journal of Modern Research in Decision Making (Scientific Research Quarterly), ٦, ۲, ۱۸۱-۲۱۲. DOR: ۲۰,۱۰۰۱,۱,۲٤۷٦٦۲۹۱,۱٤۰۰,٦,۲,۸,۸

[۲۸] Omid, A., Azar, A., Dehghan Nayeri, M, & Moghbel, A. (۲۰۲۱) Developing a network Data Envelopment Analysis approach to compare the environmental efficiency of active industries in Tehran. Journal of Management Research in Iran, ۲٥, ۳, ۱۹۳-۲۱٦. [in Persian] DOR: ۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۳۲۲۲۰۰,۱٤۰۰,۲٥,۳,۸,۲

[۲۹] Chen, L., Miettinen, K., Xin, B., Ojalehto, V. (۲۰۲۲) Comparing reference point based interactive multi objective Optimization methods without a human decision maker. Journal of Global Optimization, ۸٥, ۷٥۷-۷۸۸. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۰۸۹۸-۰۲۲-۰۱۲۳۰-۳

[۳۰] Fathollahi-Fard, A.M, Guangdong, T., Hue, K., Yapjng, F., Kuan Yew, W. (۲۰۲۳) Efficient Multi-objective Metaheuristic Algorithm for Sustainable Harvest Planning Problem. Computers & Operations Research, ۱٥۸, ۱۰٦۳۰٤. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.cor.۲۰۲۳,۱۰٦۳۰٤

[۳۱] Corrente, S, Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R. (۲۰۲٤) Explainable interactive evolutionary Mult objective optimization. Omega, ۱۲۲, ۱۰۲۹۲٥. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.omega.۲۰۲۳,۱۰۲۹۲٥

[۳۲] Zhou, X., Tan, W., Sun, Y., Huang, T., Yang, Ch. (۲۰۲٤) Multi-objective optimization and decision making for integrated energy system using STA and fuzzy TOPSIS. Expert Systems with Applications, ۲٤۰, ۱۲۲٥۳۹. DOI:۱۰,۱۰۱٦/j.eswa.۲۰۲۳,۱۲۲٥۳۹

[۳۳] Ciaburro, G. (۲۰۲۰). Hands-On Simulation Modeling with Python. Packt Publishing Ltd, pp ٦.

[۳٤] Romero, C., Rehman, T. (۲۰۰۳). Multi criteria analysis for agricultural decisions. Developments in agricultural economics,۱۱, ۸۱-۸۸.