مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال نوزدهم، شماره چهارم (پیاپی ۷۵)،زمستان ۰۱، ص ص ۸۷-۶۳
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

حل مسایل بهینه‌سازی چندهدفه با روش ترکیبی جدید فاپسیس: مساله انتخاب تامین‌کننده

الهام شادکام[1*]
۱- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه خیام، مشهد، ایران

رسید مقاله: ۱۲ دی ۱۴۰۰
پذیرش مقاله: ۲۷ خرداد ۱۴۰۱

چکیده
در طی سال‌های اخیر مساله انتخاب تامین‌کننده مناسب در زنجیره تامین به یک موضوع استراتژیک و مهم تبدیل‌شده است. به دلیل وجود اهداف متعدد و متناقض، مساله انتخاب تامین‌کننده را می‌توان به صورت یک مساله چندهدفه درنظر گرفت و گاهی یافتن جواب بهینه بسیار دشوار است. انتخاب تامین‌کننده مناسب از یک سو، به طور قابل توجهی هزینه‌های خرید مواد اولیه و زمان انتظار تا رسیدن محموله سفارش‌شده را کاهش می‌دهد؛ از سوی دیگر، موجب بالا رفتن سطح رقابت‌پذیری سازمان‌ها می‌شود. هدف این پژوهش، ارایه روشی جهت حل مسایل چندهدفه است که در ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده مناسب مورد استفاده قرار گرفته است. روش ترکیبی پیشنهادی فاپسیس ترکیبی از روش تاپسیس و الگوریتم بهینه‌سازی فاخته است. روش پیشنهادی ابتدا برای مسایل آزمایشی مورد آزمون قرار می‌گیرد و در ادامه برای مساله کاربردی چندهدفه انتخاب تامین‌کننده پیاده‌سازی می‌شود. سرعت و دقت نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی فاپسیس نشان‌دهنده کارایی الگوریتم در حل مسایل چندهدفه می‌باشد و این روش به خوبی می‌تواند جواب‌های پارتو مساله را در مقایسه با روش‌های مشابه شناسایی کند. همچنین به دلیل استفاده از روش ترکیبی می‌توان به صورت همزمان از مزایای الگوریتم فراابتکاری فاخته (حل مسایل با مقیاس بزرگ) و روش تاپسیس (ارزیابی و انتخاب گزینه کارآمدتر) بهره جست.

کلمات کلیدی: انتخاب تامین‌کننده، زنجیره تامین، روش تاپسیس، الگوریتم بهینه‌سازی فاخته.

۱ مقدمه
روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی عددی تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند، اما در مورد مسایل بهینه‌سازی پیچیده با ابعاد بزرگ کارایی ندارند و زمان حل آن‌ها در این مسایل به صورت قابل توجهی با توجه به تعداد

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس پست الکترونیکی: e.shadkam@khayyam.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

محدودیت‌ها و متغیرهای مساله افزایش می‌یابد [۱]. الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل منطقی برای مسایل بهینه‌سازی پیچیده هستند. دسته‌ای از الگوریتم‌های تقریبی، الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری می‌باشند [۱]. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، قرار گرفتن آن‌ها در بهینه‌های محلی و ناتوانی آن‌ها در حل مسایل گوناگون است [۱]. الگوریتم‌های فراابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهای برون‌رفت از بهینه محلی می‌باشند و قابل کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسایل هستند. یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری جدید که توانایی بسیار بالایی در پیدا کردن نقاط بهینه کلی دارد، الگوریتم بهینه‌سازی فاخته[1] است. این الگوریتم یکی از جدیدترین و قوی‌ترین روش‌های بهینه‌سازی تکاملی می‌باشد که تاکنون معرفی‌شده است [۲]. الگوریتم فاخته با الهام از روش زندگی پرنده‌ای به نام فاخته توسعه‌یافته است و ماهیت اصلی این الگوریتم، حل مسایل تک‌هدفه می‌باشد. گاهی می‌توان با تلفیق الگوریتم‌های فراابتکاری و روش‌های دیگر، روش‌های ترکیبی ایجاد کرد و از یک سو از مزایای هردو به صورت همزمان استفاده کرد و از سوی دیگر، محدودیت‌های هر یک از آنها در حالت ترکیبی مرتفع می‌گردد. در این پژوهش روش ترکیبی جدید فاپسیس با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته و روش تاپسیس[2] ایجاد شده است که می‌تواند برای حل مسایل چندهدفه نیز استفاده گردد و محدودیت تک‌هدفه بودن الگوریتم فاخته را برطرف سازد. اکثر مسایل بهینه‌سازی در دنیای واقعی چندهدفه می‌باشند که به صورت همزمان به بهینه‌سازی چندین هدف که اکثراً با هم در تناقض هستند، پرداخته می‌شود. (به همین دلیل معمولاً جواب بهینه در مسایل چندهدفه به دلیل وجود اهداف متناقض دست نیافتنی است) و تنها می‌توان به مجموعه‌ای از جواب‌های چیره‌نشده تحت عنوان مرزهای بهینه پارتو دست یافت. حال اگر ابعاد مساله چندهدفه بزرگ باشد، به سختی می‌توان روش حل مناسبی را پیدا کرد که بتواند با دقت مناسب و در زمان معقول مرزهای بهینه پارتو را تعیین نماید. روش فاپسیس می‌تواند مسایل بهینه‌سازی چندهدفه با مقیاس بزرگ را بهینه نماید و محدودیت عدم توانایی روش تاپسیس در حل مسایل با ابعاد بزرگ را برطرف سازد. با توجه به این‌که یکی از مسایل مهم و کاربردی در زنجیره تامین، مساله انتخاب تامین‌کننده می‌باشد [۳] و با افزایش اهمیت فعالیت خرید و تدارکات، تصمیمات خرید مهم‌تر شده است و از آنجا که امروزه سازمان‌ها وابستگی بیشتری به تامین‌کنندگان پیدا کرده‌اند، پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم تصمیم-گیری ضعیف، بیشتر خودنمایی می‌کند. در حقیقت، انتخاب مجموعه مناسبی از تامین‌کنندگان، امری بسیار مهم و حیاتی برای موفقیت یک شرکت است. اخیراً با ظهور مفهوم مدیریت زنجیره‌تامین، بیشتر محققین، دانشمندان و مدیران به این مساله پی برده‌اند که انتخاب تامین‌کننده مناسب و مدیریت آن، ابزاری است که از آن می‌توان برای افزایش رقابت‌پذیری زنجیره تامین استفاده کرد. لذا انتخاب تامین‌کننده، تصمیمی مهم و استراتژیک در زنجیره‌تامین می‌باشد. مساله انتخاب تامین‌کننده اکثراً به دلیل وجود اهداف متنوع و عمدتاً متناقض تصمیم‌گیری به صورت یک مساله چندهدفه بررسی می‌گردد و اگر ابعاد مساله بزرگ باشد، کارایی روش‌های مرسوم حل

[1] Cuckoo Optimization Algorithm
[2] TOPSIS

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

مسایل چندهدفه کاهش می‌یابد[۳]. بنابه دلایل ذکرشده در این پژوهش به بررسی این مساله با توجه به روش پیشنهادی فاپسیس پرداخته خواهد شد.

در ادامه، پس از ارایه پیشینه پژوهش مربوط به روش‌های ترکیبی و مساله انتخاب‌تامین‌کنندگان چندهدفه، به بیان مختصری از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، روش تاپسیس و روش پیشنهادی مقاله در بخش سوم پرداخته شده-است. سپس در بخش چهارم به بررسی عملکرد روش پیشنهادی فاپسیس برای مسایل آزمایشی و مقایسه با الگوریتم‌های مشابه پرداخته شده‌است. به منظور بررسی روش پیشنهادی فاپسیس در مسایل کاربردی، مدل ریاضی مساله چندهدفه انتخاب تامین‌کننده در بخش پنجم معرفی می‌گردد و در بخش ششم، مساله بهینه‌سازی با استفاده از روش پیشنهادی حل و نتایج با روش‌های مشابه مقایسه می‌گردد. در نهایت در بخش پایانی، نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ارایه می‌گردد و نتایج نشان‌دهنده عملکرد مطلوب الگوریتم پیشنهادی در یافتن مرز تقریبی پارتو مساله می‌باشد.

۲ پیشینه پژوهش

در این بخش به بررسی پژوهش‌های مرتبط با مقاله حاضر پرداخته می‌شود. با توجه به این‌که نوآوری مقاله در روش حل مساله انتخاب تامین‌کننده می‌باشد، در ادامه به بررسی پیشینه پژوهش مربوط به حل مساله انتخاب تامین‌کنندگان و سپس به بررسی مدل‌ها و روش‌های ترکیبی پرداخته می‌شود. یکی از بخش‌هایی که در زنجیره-تامین اهمیت ویژه‌ای دارد، انتخاب تامین‌کنندگان است. از آنجایی که در انتخاب تامین‌کنندگان معیارهای زیادی ازجمله هزینه، زمان تحویل، اطمینان در پاسخگویی به سفارش و غیره تأثیرگذار هستند؛ لذا این مساله در قالب یک مساله بهینه‌سازی چندهدفه تعریف می‌گردد. در اکثر موارد، یافتن تامین‌کننده‌ای که در تمامی این اهداف نسبت به سایر تامین‌کنندگان برتری داشته باشد، ناممکن است. از این رو، یافتن تامین‌کننده با در نظرگرفتن تمام اهداف، مساله‌ای دشوار از نظر تصمیم‌گیری و انتخاب به شمار می‌آید. در حوزه انتخاب تامین‌کننده چندهدفه پژوهش‌های فراوانی با رویکردهای مختلف انجام شده است که تعدادی از این مقالات را می‌توان در جدول ۱ مشاهده نمود و در ادامه به بررسی تعدادی پرداخته می‌شود.

جدول ۱. دسته‌بندی مقالات مرتبط با مساله انتخاب تامین‌کننده چندهدفه

محققین	سال	پارامترها	کاربرد پژوهش	ابزار
کوتا[۴]	۲۰۱۲	قطعی	انتخاب تامین‌کنندگان مناسب و تعیین مقدار سفارش یک محصول	الگوریتم کرم شب تاب
صادقیه و همکاران[۵]	۲۰۱۲	قطعی	حل مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده	الگوریتم ژنتیک یکپارچه مبتنی بر برنامه نویسی هدف خاکستری
پرهیزکاری و همکاران[۶]	۲۰۱۳	احتمالی	انتخاب تامین‌کنندگان	LP-NORM و NSGA-II
قربانی و همکاران[۷]	۲۰۱۳	احتمالی	ارایه یک رویکرد سه مرحله‌ای برای انتخاب تامین‌کنندگان	مدل کانو و تاپسیس فازی
خلیلی دامغانی و	۲۰۱۳	احتمالی	مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده	استنتاج فازی شبکه عصبی مصنوعی و

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

همکاران[۸]				فازی
ایهان[۹]	انتخاب تامین‌کننده و ارایه یک مرور ادبیات جامع از مسایل تصمیم‌گیری چندمعیاره	احتمالی	۲۰۱۳	فرآیند سلسله مراتب تحلیلی فازی
قش و همکاران[۱۰]	انتخاب تامین‌کننده استوار	قطعی	۲۰۱۴	شبیه سازی تبرید و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و روش تاگوچی
هلدر و همکاران[۱۱]	ارزیابی تامین‌کنندگان برون‌سپاری	احتمالی	۲۰۱۴	تاپسیس فازی
رستم زاده[۱۲]	انتخاب تامین‌کنندگان	احتمالی	۲۰۱۴	فرآیند سلسله مراتب تحلیلی فازی و تاپسیس فازی
آزاده و همکاران[۱۳]	انتخاب تامین‌کنندگان و کاهش زمان تحویل و هزینه تولید نهایی	قطعی	۲۰۱۴	شبیه‌سازی کامپیوتری و الگوریتم ژنتیک
جونیر و همکاران[۱۴]	انتخاب تامین‌کنندگان مناسب	احتمالی	۲۰۱۴	فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس فازی
کاراسک و دورسان[۱۵]	یک روش تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاره فازی	احتمالی	۲۰۱۵	گسترش عملکرد کیفیت و منطق فازی
تورک و همکاران[۱۶]	رویکرد دومرحله‌ای برای انتخاب تامین‌کننده و برنامه‌ریزی موجودی	احتمالی	۲۰۱۵	ترکیب IT2FS و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید
فلاح پور و همکاران[۱۷]	انتخاب تامین‌کنندگان مناسب سبز	احتمالی	۲۰۱۶	ترکیب تحلیل پوششی داده ها و الگوریتم ژنتیک
شادکام و بیجاری[۱۸]	مساله چندهدفه انتخاب تامین‌کنندگان و تعیین مقادیر سفارش	احتمالی	۲۰۱۷	بهینه‌سازی شبیه‌سازی و تحلیل پوششی داده ها و فاخته
آلوچه و همکاران[۱۹]	ارایه یک رویکرد چندمعیاره فازی برای حل مساله‌ی انتخاب تامین‌کننده	احتمالی	۲۰۱۷	فرآیند تحلیل سلسله مراتب فازی (بااستفاده از مدل ریاضی و لینگو)
خواجه و همکاران [۲۰]	ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده پایدار در محیط فازی دیداری	احتمالی	۲۰۲۰	رویکرد ترکیبی چندمعیاره بهترین بدترین و ویکور
مودیبو و همکاران [۲۱]	انتخاب تامین‌کننده دارویی	احتمالی	۲۰۲۲	تاپسیس فازی
سان و همکاران [۲۲]	انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش در یک زنجیره تامین چندلایه	احتمالی	۲۰۲۲	مدل غیرخطی عددصحیح و الگوریتم ژنتیک
توفانو و همکاران [۲۳]	انتخاب تامین‌کننده چندهدفه بر اساس ترجیحات کاربر	احتمالی	۲۰۲۲	مدل غیرخطی عددصحیح و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

دیکسون[1] برای اولین بار، اهمیت بیست و سه معیار را بر اساس مطالعه بر روی مدیران خرید برای مساله انتخاب تامین‌کننده، شناسایی کرد و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد [۲۴]. وی نتیجه گرفت که سه عامل کیفیت استاندارد، تحویل به موقع کالا و سابقه عملکرد عوامل ضروری و بسیار مهمی‌هستند که در امر انتخاب تامین‌کننده مطرح می‌گردد. روآ و کیسر[2] شصت معیار را برای مساله انتخاب تامین‌کننده در نظر گرفتند [۲۵]. باتوجه به

[1] Dickson
[2] Roa and Kiser

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

پژوهش‌های مذکور قطعاً مساله انتخاب تامین‌کننده یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه می‌باشد. ابراهیمی و همکاران یک مدل جدید تحلیل پوششی داده‌ها برای مساله چندهدفه شناسایی کاراترین تامین‌کننده با پارامترهای احتمالی ارایه کردند [۲۶]. در مدل آنها با در نظرگرفتن داده‌های غیردقیق برای هجده تامین‌کننده، تامین‌کنندگان کارا تعیین و رتبه‌بندی گردیدند. همچنین ابراهیمی و همکاران، یک مدل جامع تحلیل پوششی داده‌ها برای مساله چندهدفه تعیین بهترین تامین‌کننده با داده‌های غیردقیق و محدودیت‌های وزنی ارایه کردند. در مدل آنها محدودیت‌های وزنی برای در نظر گرفتن نظر تصمیم‌گیران در مورد وزن معیارها در نظر گرفته شده است. مدل ارایه شده قادر است فقط با حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح، بهترین تامین‌کننده را مشخص نماید. تقوی‌فرد و همکاران، مساله تعیین میزان بهینه سفارش همراه با انتخاب تامین‌کننده مناسب را در نظر گرفتند [۲۷] و با استفاده از الگوریتم ژنتیک مدل را حل نمودند. از نتایج قابل توجه این پژوهش کاهش چشم‌گیر هزینه‌های موجود بود. رزمی‌و همکاران، مدل ترکیبی برای مساله تصمیم‌گیری انتخاب تامین‌کننده ارایه کردند [۲۸] و با استفاده از الگوریتم ژنتیک مدل را حل نمودند. در پژوهش آنها علاوه بر در نظرگرفتن عامل‌های کمی و کیفی؛ هزینه‌های نگهداری، سفارش‌دهی و خرید نیز در قالب مدل موجودی بررسی گردیده و سهم هر تامین‌کننده از تقاضای کل تعیین گردید. نوری و همکاران به بررسی مدل ترکیبی تاپسیس فازی و برنامه‌ریزی آرمانی برای انتخاب تامین‌کننده پرداختند [۲۹]. با توجه به نتایج حاصله از حل دومرحله‌ای مدل، مدل ارایه‌شده قادر به درنظرگرفتن همزمان مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارشات با درنظرگرفتن معیارهای کمی و کیفی می‌باشد. وبر و کارنت[1] به موضوع برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه در مساله انتخاب تامین‌کننده با سه هدف حداقل کردن هزینه، حداقل کردن زمان حمل‌ونقل حداقل کردن تعداد قطعات برگشتی پرداختند[۳۰]. همچنین محدودیت‌هایی مانند ثابت بودن تعداد تامین‌کنندگانی که باید انتخاب شوند، محدود بودن ظرفیت تولید هر تامین‌کننده و محدود بودن میزان بودجه تخصیص‌یافته برای خرید از هر تامین‌کننده را به مساله اضافه کردند. در پژوهشی برای ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان ابتدا یک مدل تک هدفه مطرح گردید که هدف اصلی آن حداقل کردن هزینه‌ها بود[۳۱]. در مدل آن‌ها، کیفیت محصول به عنوان یکی از محدودیت‌های مدل در نظر گرفته شده است. در گام دوم، کیفیت نیز به اهداف مدل اضافه گردید و یک مساله چندهدفه تعریف گردید. در هر دو از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عددصحیح استفاده شده است. دیگریو و رودهوفت[2] یک برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط برای ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان برای دوره‌های مختلف زمانی ارایه دادند[۳۲]. آن‌ها تاکید کردند که مشخصات تامین‌کنندگان از جمله کیفیت، زمان تحویل و غیره در دوره‌های زمانی مختلف متفاوت است؛ لذا باید این مساله را به صورت پویا در نظر گرفت. رضایی و همکاران، مدل چندهدفه مختلط غیرخطی را توسعه دادند[۳۳]. این مدل، یک مدل چند دوره‌ای، چندمحصوله و چندتامین‌کننده است و اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها، بیشینه‌سازی سطح کیفیت و سطح خدمات را برآورده می‌کند. در نهایت مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل‌شده و نتایج آن در دو حالت عدم قبول کسری و قبول کسری مقایسه گردیدند. رزمی‌و همکاران،

[1] Weber and Current
[2] Degraeve and Roodhooft

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

مدلی را طراحی کردند که شامل انواع مختلفی از تخفیفات می‌باشد[۳۴]. همچنین محدودیت‌هایی از قبیل ظرفیت تامین‌کنندگان و تقاضا در مدل نهایی گنجانده شده است. در پژوهش آنها مدل نهایی طراحی‌شده با استفاده از روش فراابتکاری جستجوی پراکنده حل‌شده و نتایج به‌دست آمده در حالت‌های مختلف تخفیف با یکدیگر مقایسه گردید. شارما[1] یک مدل مختلط غیرخطی، عددصحیح و آرمانی را برای انتخاب تامین‌کننده پیشنهاد کرده است[۳۵]. قیمت، کیفیت، تحویل و خدمات در این مدل لحاظ شده‌اند و همه معیارها در قالب هدف در نظر گرفته شده‌اند. بنتون[2] یک برنامه غیرخطی و یک روش ابتکاری را برای انتخاب تامین‌کننده تحت شرایط چندین کالا، چند تامین‌کننده، محدودیت‌های منابع و تخفیفات بر اساس تعداد خرید ایجاد کرده است[۳۶]. تابع هدف مدل، کمینه‌کردن هزینه‌های خرید، انبارداری، جابه‌جایی و خرید است. محدودیت‌های موجودی و سرمایه‌گذاری در مدل آورده شده‌اند. در پژوهشی مساله انتخاب تامین‌کننده تحت شرایط تقاضای احتمالی با محدودیت برروی حداقل و حداکثر اندازه سفارش در نظر گرفته شد و با استفاده از الگوریتم ابتکاری مدل حل شد[۳۷]. سمیع‌زاده و همکاران به ارایه یک مدل دو هدفه انتخاب تامین‌کننده در زنجیره‌تامین پرداختند [۳۸]، که هدف از تحقیق آنها توسعه مدل ریاضی جدید در مساله انتخاب تامین‌کننده با درنظرگرفتن انعطاف‌پذیری تامین‌کنندگان است. با توجه به NP–سخت بودن مساله، الگوریتمی کارا مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل آن به‌کار گرفته شده است. در مدل آن‌ها از برنامه‌ریزی خطی و مختلط برای انتخاب تامین‌کننده استفاده گردیده است [۳۹]. در این مدل، قیمت، تحویل، کیفیت و تخفیف لحاظ شده‌اند. تابع هدف این مدل کمینه‌کردن قیمت ادغامی با در نظر گرفتن هر دو تخفیف تجمعی و نمودی در نظر گرفته شده است و کیفیت و تحویل به صورت محدودیت در مدل لحاظ شده‌اند. مرور ادبیات موضوع نشان می‌دهد گستره وسیعی از رویکردها بر روی مساله انتخاب تامین‌کننده بررسی شده‌اند و تاکنون از رویکرد ترکیبی الگوریتم فاخته و روش تاپسیس در تحقیقات استفاده نشده است. همان‌طور که ذکر شد، الگوریتم فاخته نسبتا جدید می‌باشد و هنوز در کنار همه ابزارها و برای همه مسایل مورد استفاده قرار نگرفته است و با توجه به مزایای این الگوریتم و مزایای روش تاپسیس در این مقاله از رویکردی ترکیبی استفاده می‌گردد. سپس این رویکرد ترکیبی برای مساله مذکور با درنظر گرفتن چندتابع هدف، چند کالا، چند دوره، چند خریدار پیاده‌سازی می‌گردد و محدودیت تخفیف و ظرفیت انبار نیز لحاظ می‌گردد.

همان‌طور که در بخش مقدمه ذکر شد، امروزه ارایه روش‌های ترکیبی در جهت حل مسایل بهینه‌سازی بسیار مرسوم و پرکاربرد می‌باشند. در زمینه روش‌های ترکیبی، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری بسیار رایج می‌باشند که می‌توان برخی از این روش‌های ترکیبی را در جدول ۲ مشاهده نمود.

جدول ۲. دسته‌بندی مقالات مرتبط با روش‌های ترکیبی الگوریتم فاخته

محققین	سال	پارامترها	کاربرد پژوهش	ابزار
دژام و	۲۰۱۲	قطعی	تخصیص تسهیلات به مکان	الگوریتم فاخته و جستجوی ممنوعه برای حل

[1] Sharma
[2] Benton

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

همکاران[۴۰]				مسایل تخصیص درجه ۲
ابوالپور و محبی[۴۱]	۲۰۱۳	احتمالی	تخمین استحکام فشرده بتن ۲۸ روزه	الگوریتم فاخته و فازی انطباقی
شادکام و بیجاری[۴۲]	۲۰۱۴	قطعی	مسایل بهینه‌سازی چندهدفه	الگوریتم فاخته و سایر الگوریتم‌های مشابه
گرجستانی و همکاران[۴۳]	۲۰۱۵	قطعی	مسایل بهینه‌سازی چندهدفه	الگوریتم فاخته و تحلیل پوششی داده‌ها
اکبرزاده و شادکام[۴۴]	۲۰۱۵	قطعی	مسایل برنامه‌ریزی تولید	الگوریتم فاخته و ژنتیک
برهانی فر و شادکام[۴۵]	۲۰۱۶	قطعی	مسایل آزمایشی و عددی چندهدفه	الگوریتم فاخته و روش جمع ساده وزنی
شادکام و بیجاری[۴۶]	۲۰۱۷	احتمالی	مساله چندهدفه انتخاب تامین‌کنندگان و تعیین مقادیر سفارش	بهینه‌سازی شبیه‌سازی و تحلیل پوششی داده ها و فاخته
شادکام و همکاران[۴۷]	۲۰۲۱	قطعی	مساله چندهدفه انتخاب تامین‌کنندگان	الگوریتم فاخته و روش محدودیت اپسیلون
طیرانی و شادکام [۴۸]	۲۰۲۱	قطعی	انتخاب ماشین‌آلات دیجیتال	الگوریتم فاخته و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی
خاندوزی و همکاران [۴۹]	۲۰۲۲	قطعی	مساله مکان‌یابی تدافعی چندهدفه	الگوریتم فاخته و برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط
قلی‌زاده و همکاران [۵۰]	۲۰۲۲	قطعی	پیش بینی و بهینه سازی پارامترهای یک ماشین تخلیه الکتریکی	تجزیه و تحلیل پوششی داده و الگوریتم فاخته

در این پژوهش از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته استفاده شده است که الگوریتمی قدرتمند در حل مسایل بهینه‌سازی می‌باشد [۵۱]. باتوجه به مطالعات انجام شده از ابزارهای حوزه تصمیم‌گیری درکنار الگوریتم فاخته در مقالات زیادی به منظور ایجاد روش‌های ترکیبی استفاده شده است. برهانی‌فر و شادکام از روش ترکیب روش جمع ساده وزنی با الگوریتم فاخته، روشی ترکیبی تحت عنوان روش کوآو[1] ارایه کرده‌اند و عملکرد آن را در حل مسایل چندهدفه نشان داده‌اند [۵۲]. در پژوهشی دیگر روش فرآیند تحلیل سلسه مراتبی در کنار الگوریتم فاخته جهت ایجاد روشی جهت حل مسایل چندهدفه به کار برده شده است [۵۳]. در این روش ترکیبی از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به منظور ایجاد ماتریس مقایسات زوجی به منظور تبدیل مساله چندهدفه به تک‌هدفه استفاده شده است. همچنین گرجستانی و همکاران از روش تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم فاخته، یک روش ترکیبی برای مسایل چندهدفه ارایه کرده‌اند. در رویکرد آنها علاوه بر بهینه‌سازی مساله به بررسی کارایی آن به صورت همزمان پرداخته می‌شود [۵۴]. پرویزی و همکاران از روش محدودیت اپسیلون به منظور چندهدفه‌سازی الگوریتم فاخته استفاده نموده‌اند. آنها رویکرد ترکیبی را برای تعدادی مساله عددی آزمایشی پیاده‌سازی نموده‌اند و روش ترکیبی عملکرد مطلوبی را در مقایسه با سایر روش‌های مشابه نشان داده است [۵۵]. باتوجه به بررسی‌های

[1] COAW

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

انجام‌شده تاکنون از روش تاپسیس در کنار الگوریتم فاخته به منظور ایجاد رویکردی ترکیبی استفاده نشده است و در این پژوهش به منظور حل مساله انتخاب تامین‌کننده بررسی می‌گردد.

۳ بیان روش پیشنهادی فاپسیس

در این بخش به منظور بیان دقیق‌تر روش پیشنهادی فاپسیس، به شرح مختصری از الگوریتم‌های فاخته و تاپسیس پرداخته می‌شود.

۳-۱ الگوریتم بهینه‌سازی فاخته

الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی فاخته بر اساس روش زندگی به پرنده‌ای به نام فاخته می‌باشد که در سال ۲۰۰۹ توسط شین اویانگ ودب ساوش، توسعه‌یافته است [۵۵]. این الگوریتم در سال ۲۰۱۱ توسط رامین رجبیون به طور کامل با جزییات بیشتر مورد بررسی قرار گرفت [۵۶]. عملکرد مطلوب این الگوریتم در مسایل مختلف بررسی شده است [۵۷]. اکثر پرندگان روش یکسانی برای مادرشدن دارند اما پرندگانی مانند فاخته وجود دارند که هرگز برای خود لانه نمی‌سازند و تخم‌های خود را در لانه سایر پرندگان قرار داده و تخم‌های پرنده میزبان را از بین می‌برند وتخم‌های خود را لابه لای تخم‌های دیگر درلانه‌ی میزبان با تقلید از رنگ و الگوی تخم‌های موجود در هر لانه قرار می‌دهند تا تخم‌ها شبیه به تخم‌های پرنده میزبان باشد. بعد از این‌که جوجه‌های فاخته به فاخته بالغ تبدیل شدند، گروه‌هایی تشکیل می‌دهند که هرگروه، منطقه‌ای برای زیست خود دارد و بهترین منطقه سکونت تمام گروه‌ها مقصد بعدی فاخته‌ها در سایر گروه‌ها خواهد بود. تمام گروه‌ها به سمت بهترین منطقه موجود فعلی مهاجرت می‌کنند. این فرآیند تا رسیدن به بهترین محل برای تخم گذاری (منطقه با بیشترین سود) ادامه می‌یابد. جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد این الگوریتم می‌توان به [۵۶] مراجعه نمود.

۳-۲ روش تاپسیس

این روش برای اولین بار در سال ۱۹۸۱، توسط هوانگ و همکاران[1] ارایه گردید و با اصلاحاتی که بر روی آن انجام‌شد، به عنوان یکی از بهترین و دقیق‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در بین برنامه‌ریزان می‌باشد [۵۸]. پایه‌های نظری این روش بر این رابطه استوار است که ابتدا ایده‌آل‌های مثبت (کارآمدترین گزینه) و ایده‌آل‌های منفی (ناکارآمدترین گزینه) را برای هر یک از معیارها محاسبه می‌کند و سپس فاصله هر گزینه از ایده‌آل‌های مثبت و منفی محاسبه می‌شود. گزینه منتخب، گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از ایده‌آل‌های مثبت و بیشترین فاصله را از ایده‌آل‌های منفی داشته باشد. این روش به گونه‌ای طراحی‌شده که می‌توان نوع معیارها را از لحاظ تأثیر مثبت یا منفی داشتن بر هدف تصمیم‌گیری در مدل دخالت داد و همچنین وزن‌ها و درجه اهمیت هر معیار را در مدل وارد نمود.

[1] Hwang *et al.*

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

۳-۳ روش ترکیبی جدید فاپسیس

روش پیشنهادی فاپسیس به صورت هم‌زمان از مزایای هر دو روش تاپسیس و الگوریتم بهینه‌سازی فاخته استفاده می‌کند. الگوریتم بهینه‌سازی فاخته جزء روش‌های بهینه‌سازی کاربردی و کارا در زمینه حل مسایل غیرخطی و عددصحیح با مقیاس بزرگ می‌باشد که قادر به حل مسایل چندهدفه نمی‌باشد [۵۵]. به همین دلیل با ترکیب این الگوریتم با روش تاپسیس می‌توان این محدودیت را بر طرف کرد و روش حل مطلوبی جهت حل مسایل چندهدفه با مقیاس بزرگ ارایه نمود. گام‌های روش جدید فاپسیس مشابه با الگوریتم بهینه‌سازی فاخته می‌باشد با این تفاوت که در گام ارزیابی محل سکونت فاخته‌ها بجای در نظرگرفتن مقدار تابع هدف از امتیاز تاپسیس استفاده می‌شود. در واقع در این گام، ماتریس تصمیمی ایجاد می‌گردد که گزینه‌های آن محل سکونت فاخته‌ها (یا جواب‌های مساله) و معیارهای آن توابع هدف مساله می‌باشد.

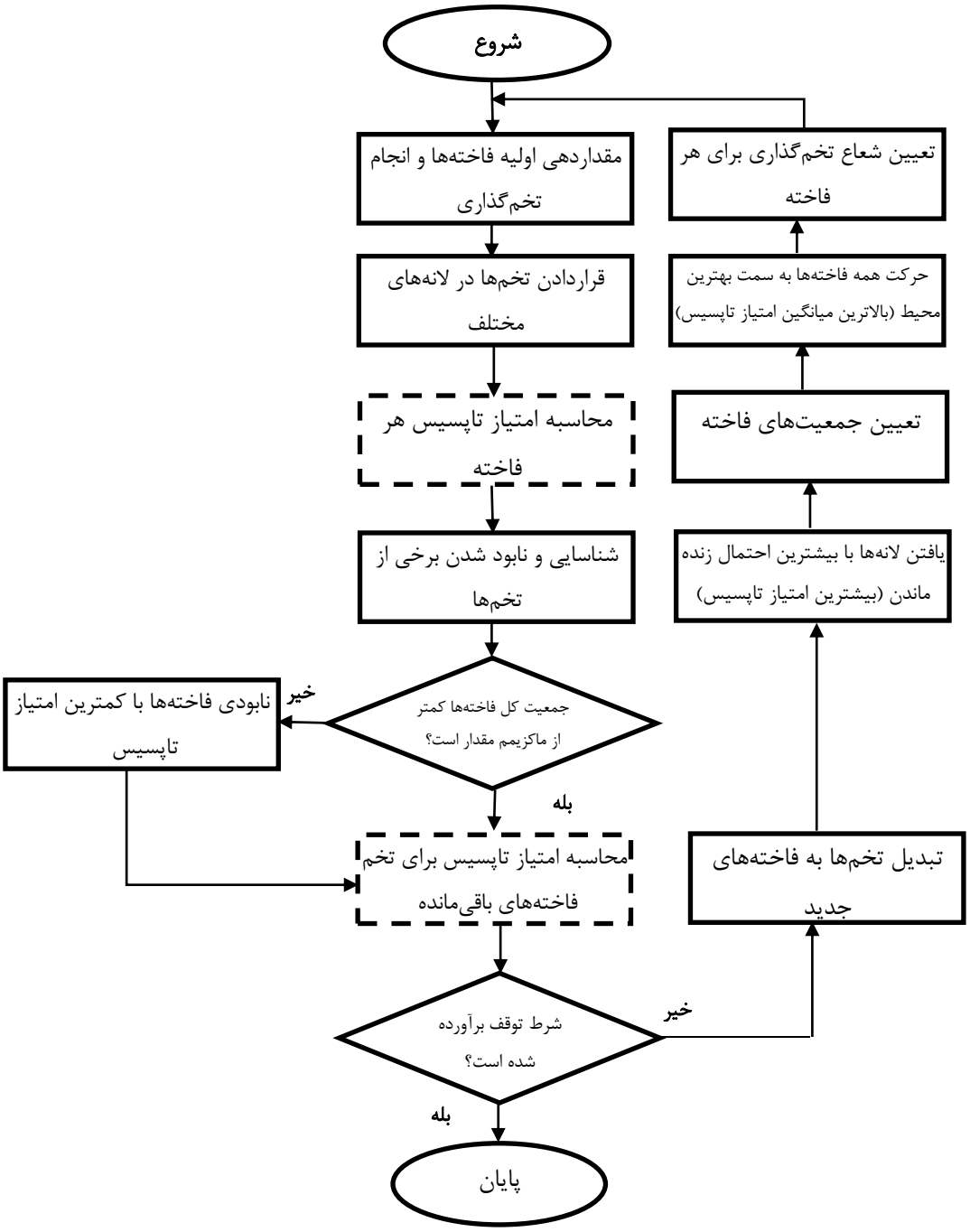
روش تاپسیس برروی ماتریس تصمیم مذکور اعمال می‌شود و برای هر محل سکونت یک امتیاز تاپسیس محاسبه می‌گردد که این امتیاز مبنای برتری محل سکونت فاخته‌ها می‌باشد. به دلیل این‌که فاخته توانایی در نظرگرفتن هم‌زمان مقادیر مربوط به توابع هدف را ندارد، امتیاز تاپسیس به عنوان نماینده این مقادیر توابع هدف جایگزین می‌گردد. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی فاپسیس در شکل ۱ آورده شده است. همچنین زیربخش مربوط به محاسبه امتیاز تاپسیس در شکل ۲ شرح داده شده است. شایان ذکر است باتوجه به این‌که بهترین مقدار امتیاز تاپسیس عدد یک می‌باشد، زمانی که مقدار تابع هدف مساله به عدد یک همگرا شود، جواب بهینه حاصل‌شده است.

در ابتدا مکان‌های سکونت فعلی فاخته‌ها بصورت تصادفی تعیین می‌گردد، سپس تعدادی تخم به هر فاخته اختصاص می‌یابد و شعاع تخم‌گذاری هر فاخته تعیین می‌شود. فاخته‌ها در لانه‌های میزبانانی که در شعاع تخم‌گذاری آن‌ها قرار دارند، تخم‌گذاری می‌کنند. تخم‌هایی که توسط پرندگان میزبان شناسایی می‌شوند از بین می‌روند و تخم فاخته‌هایی که شناسایی نشده‌اند پرورش می‌یابند. سپس محل سکونت فاخته‌های جدید با استفاده از امتیاز تاپسیس رتبه‌بندی می‌گردد. شایان ذکر است که به منظور محاسبه گزینه ایده‌آل مثبت و منفی، با توجه به ماتریس تصمیم ایجادشده از توابع هدف مساله که قبلاً شرح داده شد، بهترین و بدترین مقادیر باتوجه به بیشینه و کمینه بودن توابع هدف مساله تعیین می‌گردد و سپس با توجه به مقدار فاصله هر محل سکونت از ایده‌آل مثبت و منفی، مقدار امتیاز تاپسیس برای هر منطقه سکونت محاسبه می‌گردد. ماکزیمم تعداد فاخته‌هایی که در هر مکان امکان زندگی دارند، مشخص می‌شود و آن‌هایی که در مکان‌های نامناسب (امتیاز تاپسیس پایین) هستند از بین می‌روند. فاخته‌ها با استفاده از روش خوشه‌بندی k-میانگین[1] گروه‌بندی می‌گردند و بهترین گروه فاخته به عنوان مکان سکونت هدف مشخص می‌گردد. جمعیت جدید فاخته‌ها به سمت مکان جدید هدف حرکت می‌کنند. در نهایت اگر شرط توقف برقرار گردد، الگوریتم به پایان می‌رسد و در غیراین صورت فرآیند تخم‌گذاری تکرار می‌شود.

[1] K-means

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

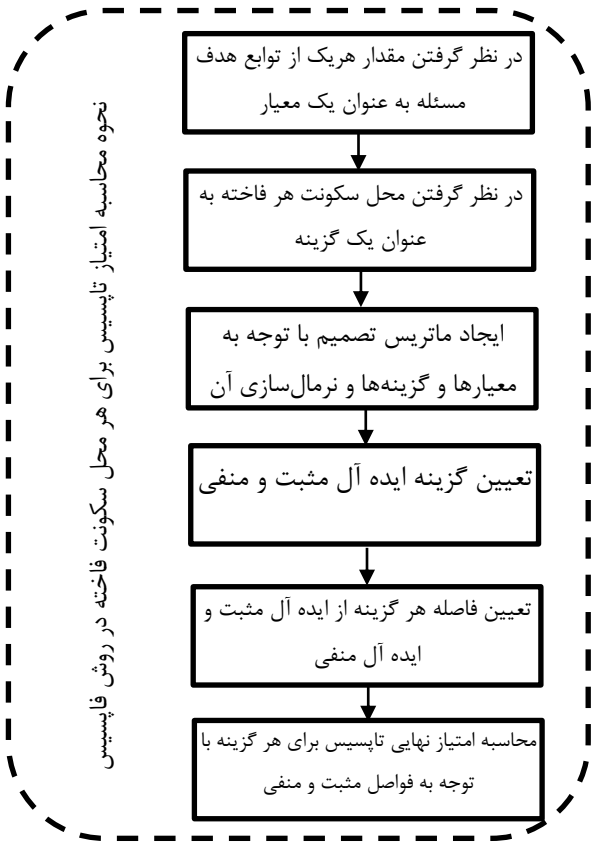
[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]



شکل ۱. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی فاپسیس

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]



شکل۲. محاسبه مطلوبیت محل سکونت فاخته به کمک روش تاپسیس

٤ مسایل عددی آزمایشی

در این بخش به بررسی تعدادی مساله عددی پرداخته می‌شود. این مدل‌ها، توابع آزمایشی[1] نامیده می‌شوند و برای ارزیابی عملکرد روش‌های حل چندهدفه استفاده می‌شوند [۵۹]. در این مقاله از دو مساله آزمایشی استفاده شده است که این توابع به ترتیب در روابط (۱) و (۲) آورده شده‌اند. روش پیشنهادی فاپسیس بر روی این مدل‌ها پیاده‌سازی گردیده است و با استفاده از مجموعه نقاط ایجاد شده، مرز تقریبی پارتو مطابق شکل ۳ ترسیم گردیده است. به منظور مقایسه عملکرد روش فاپسیس، برای این مسایل آزمایشی از الگوریتم شناخته‌شده *NSGA-II*[2] نیز استفاده شده است و مرز پارتو ایجاد شده از این الگوریتم در شکل ۳ آورده شده است.

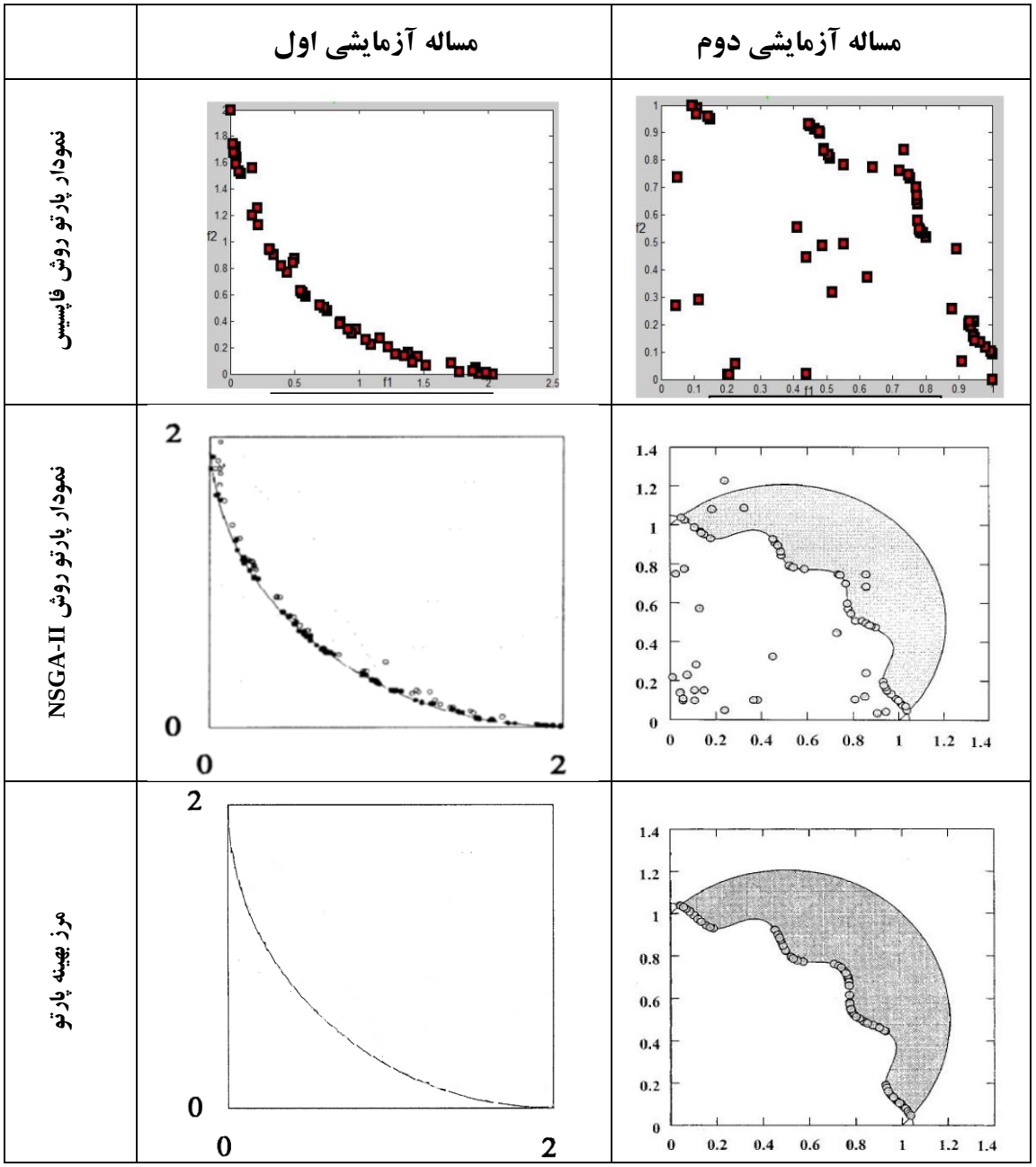
[1] Test function
[2] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

$$\begin{aligned}&\min f_1 = x_1\\&\min f_2 = x_2\\&s.t.\\&(x_2-2)^2+(x_1-2)^2 \geq 4\\&x_2 \geq \varepsilon\\&x_1, x_2 \geq 0\end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}&\min f_1 = x_1\\&\min f_2 = x_2\\&s.t.\\&\mathrm{Cos}(16\arctan(\frac{x_1}{x_2})) \geq x_1^2 - 0.1x_2^2 - 1\\&(x_2-0.5)^2+(x_1-0.5)^2 \geq -0.5\\&x_1 \geq 0, x_2 \geq \pi\end{aligned} \quad (2)$$



شکل ۳. مرز پارتوی حاصل ازروش‌های فاپسیس و NSGAII [۶۰] برای مسایل آزمایشی اول و دوم

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

مسایلی با مرزهای پارتو گسسته و نامحدب همیشه یکی از چالش برانگیزترین مسایل در حوزه چندهدفه می‌باشند و همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، روش فاپسیس عملکردی مشابه با روش NSGAII در تعیین مرز پارتوی مسایل آزمایشی دارد و با تقریب خوبی قادر به تشخیص مرز پارتو دقیق مسایل می‌باشد. به منظور مقایسه کمی نمودارهای حاصل از هر دو روش از شاخص‌هایی شناخته‌شده، استفاده گردیده است که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود. اولین شاخص حداکثر گسترش می‌باشد و هرقدر نقاط در فضای وسیع‌تری گسترش‌یافته باشد، این شاخص بزرگ‌تر است. بنابراین مقادیر بالاتر این شاخص مطلوب‌تر خواهد بود. دومین شاخص فاصله متریک است که یکنواختی نقاط ناچیره را اندازه‌گیری می‌کند و در حالتی که نقاط به طور یکنواخت و نزدیک به هم قرار بگیرند، مقدار این شاخص کاهش می یابد. بنابراین هرچه این شاخص کوچک‌تر باشد، عملکرد روش بهتر خواهد بود. شاخص سوم تعداد پاسخ‌های موثر یا شاخص پارتو می‌باشد که تعداد نقاط ناچیره حاصل از روش را نشان می‌دهد و بدیهی است که مقادیر بالاتر برای این شاخص ترجیح داده می‌شود. برای مطالعه بیشتر در مورد این شاخص‌ها و مشاهده روابط ریاضی مربوطه می‌توان به منبع [۶۱] مراجعه نمود.

با توجه به شاخص‌های مذکور و نمودارهای پارتو هر دو روش جدول ۳ ایجاد می‌گردد و همانطور که ملاحظه می‌گردد، روش فاپسیس در برخی شاخص‌ها برای هر دو مساله آزمایشی عملکردی مشابه و در برخی شاخص‌ها عملکردی بهتر از روش مشابه دارد.

جدول ۳. مقایسه شاخص‌های مرز پارتو برای هر دو روش

شاخص		حداکثر گسترش	فاصله متریک	تعداد پاسخ‌های موثر
مساله آزمایشی اول	روش فاپسیس	۱۲/۷۸۹	۰/۷۶۸	۴۶
	روش NSGA-II	۱۶/۸۷۶	۰/۸۶۵	۴۰
مساله آزمایشی دوم	روش فاپسیس	۱۳/۹۸۷	۰/۷۹۶	۹۵
	روشNSGA-II	۱۷/۹۸۶	۰/۷۹۹	۸۷

۵ مساله انتخاب تامین‌کننده

در این مقاله، مساله انتخاب تامین‌کننده با هدف کمینه‌سازی اهداف هزینه خرید و سفارش و نرخ معیوب در نظر گرفته می‌شود. این مدل توسط وادوا[1] و همکاران ارایه شده است که در ادامه شرح داده می‌شود [۶۲]. مدل ارایه‌شده یک مدل چندمعیاره از مساله انتخاب تامین‌کنندگان با چندین خریدار و چندین تامین‌کننده می‌باشد که این مدل برای حالت تک خریدار نیز قابل استفاده است. در این مدل هر خریدار می‌تواند یک یا چند محصول از

[1] Wadhwa

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

فروشندگان خریداری نماید. این مدل به طور خلاصه می‌تواند به هر سازمان در جهت تصمیم‌گیری‌های زیر کمک نماید:

- انتخاب زیر مجموعه‌ای از فروشندگان مورد علاقه به منظور برون‌سپاری
- تعیین تعداد سفارش اختصاص‌یافته به هر یک از تامین‌کنندگان به منظور برآورده‌سازی تقاضا مطابق برنامه تولید سازمان

داده‌های استفاده شده در مدل به شرح زیر می‌باشد:

اندیس‌ها:

I	تعداد نوع محصول
J	تعداد خریدار
K	تعداد کل فروشندگان بالقوه
M	تعداد نقاط شکست (تخفیف) قیمت

پارامترها:

p_{ikm}	هزینه خرید یک واحد محصول نوع i از فروشنده k در سطح قیمت m
b_{ikm}	حداقل تعداد واحدی از محصول نوع i که در صورت سفارش از فروشنده k درسطح قیمت m
d_{ij}	تقاضای خریدار j از محصول نوع i
l_{ijk}	زمان تحویل محصول نوع i
q_{ik}	درصد خطا فروشنده k برای تامین محصول نوع i
CAP_k	ظرفیت تامین فروشنده k
F_k	هزینه ثابت سفارش دهی از فروشنده k
N	حداکثر تعداد فروشنده‌ای که می‌توان انتخاب کرد

متغیرهای تصمیم‌گیری:

X_{ijkm}	تعداد واحد محصول نوع i که در سطح قیمت m توسط خریدار jاز فروشنده k تامین می‌گردد
Z_k	متغیر صفر و یک، در صورتی که فروشنده k انتخاب شود ۱ و در غیر این صورت ۰
Y_{ijkm}	متغیر صفر و یک، در صورتی که سطح قیمت m مورد استفاده قرار گیرد ۱ و در غیر این صورت ۰

مدل ریاضی:

$$Min \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m p_{ikm}.X_{ijkm+} \sum_k F_k.Z_k \qquad (۳)$$

$$Min \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m q_{ijk}.X_{ijkm} \qquad (۴)$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

$$\sum_i \sum_j \sum_m X_{ijkm} \le (CAP_k).Z_k \qquad \forall k \tag{۵}$$

$$\sum_k \sum_m X_{ijkm} = d_{ij} \qquad \forall i, j \tag{۶}$$

$$\sum_K Z_K \le N \tag{۷}$$

$$X_{ijkm} \le (b_{ikm} - b_{ikm-1}) * Y_{ijkm+1} \qquad \forall i\ , j, k, \quad 1 \le m \le m_k \tag{۸}$$

$$X_{ijkm} \ge (b_{ikm} - b_{ikm-1}) * Y_{ijkm+1} \qquad \forall i, j, k \quad 1 \le m \le m_{k-1} \tag{۹}$$

$$X_{ijkm} \ge 0, Z_k, Y_{ijkm} \in \{0,1\} \tag{۱۰}$$

در این مدل ریاضی، رابطه (۳)، تابع هدف اول مساله می‌باشد که هزینه خرید و هزینه سفارش‌دهی محصول از تامین‌کنندگان را کمینه می‌کند و رابطه (۴)، تابع هدف دوم است که نرخ معیوب‌ها را کمینه می‌نماید. رابطه (۵) نشان‌دهنده محدودیت ظرفیت تامین‌کنندگان می‌باشد و رابطه (۶) تضمین می‌نماید که هر خریدار به اندازه تقاضای خود از تامین‌کنندگان مختلف کالا دریافت نماید. رابطه (۷) حداکثر تعداد تامین‌کنندگان را مشخص می‌نماید و رابطه (۸) و (۹) ارتباط صحیحی جهت تامین مقادیر سفارش بین متغیرها را مشخص می‌کند. درنهایت رابطه (۱۰) نوع متغیرهای استفاده شده در مدل را نشان می‌دهد.

٦ پیاده‌سازی روش پیشنهادی فاپسیس برای مساله انتخاب تامین‌کننده

در این بخش به حل مساله انتخاب تامین‌کننده که در بخش قبلی ارایه گردید، توسط رویکرد پیشنهادی فاپسیس پرداخته می‌شود. به منظور بررسی عملکرد الگوریتم، داده‌های مساله انتخاب تأمین‌کننده به شرح زیر می‌باشد:
فرض می‌شود که دو نوع محصول $(i = 1,2)$ ، دو خریدار $(j = 1,2)$ و سه فروشنده یا تامین‌کننده $(K = 1,2,3)$ وجود دارند. همچنین جدول ۴ مقادیر هزینه خرید (دلار) یک واحد از محصول نوع i را از فروشنده k نشان می‌دهد و در جدول ۵ مقادیر هزینه ثابت انتخاب هر فروشنده به همراه ظرفیت فروشنده آورده شده است. جدول۶ مقادیر تقاضای خریداران از هر نوع محصول را نشان می‌دهد و در جدول ۷ درصد معیوب کالاهای دریافتی از تامین‌کنندگان (فروشندگان) مختلف را برای هر نوع محصول آورده شده است. همچنین توابع هدف مساله f_1 و f_2 به ترتیب عبارت از کمینه‌سازی هزینه و کمینه‌سازی نرخ معیوب می‌باشند.

جدول ٤. هزینه خرید محصول از فروشندگان (دلار)

نوع محصول / فروشنده	۲	۱
۱	۲	۴

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

۲	۳	۱/۵
۳	۰/۶	۰/۵

جدول ۵. هزینه ثابت انتخاب فروشندگان و ظرفیت فروشندگان

فروشنده	۱	۲	۳
هزینه ثابت انتخاب فروشنده (دلار)	۸	۷	۵
ظرفیت فروشنده	۵۰۰۰	۴۰۰۰	۶۰۰۰

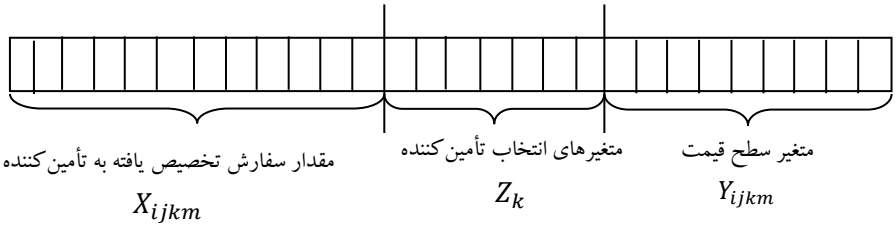
جدول ٦. مقدار تقاضای خریداران از انواع محصولات

خریدار / نوع محصول	۱	۲
۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰
۲	۱۵۰۰	۳۰۰۰

جدول ۷. نرخ معیوب اقلام دریافتنی از فروشندگان

فروشنده / نوع محصول	۱	۲	۳
۱	۰/۹	۰/۷	۰/۵
۲	۰/۶	۰/۸	۰/۴۵

رمزگذاری محل سکونت فاخته‌ها اولین سوالی است که باید در هنگام آغاز حل مساله با فاپسیس بررسی شود. برای هر محل سکونت فاخته که متناظر با یک پیکربندی تامین‌کنندگان می‌باشد، یک ماتریس سطری مطابق شکل ۴ در نظر گرفته می‌شود و هر درایه، متناظر با یکی از پارامترهای ورودی سیستم می‌باشد که باید تعیین گردد.



شکل ٤. رمزگذاری محل سکونت فاخته‌ها

در بخش اول ماتریس محل سکونت فاخته‌ها، یک رشته برای مقدار درصد سفارش اختصاص‌یافته به تامین‌کنندگان درنظر گرفته شده است، که عددی بین صفر تا یک را شامل می‌شود و اگر مقدار صفر بگیرد به معنی عدم تخصیص سفارش به تامین‌کننده مربوطه می‌باشد و هر قدر بزرگ‌تر باشد درصد سفارش اختصاص‌یافته به تامین‌کننده مربوطه نیز بیشتر خواهد شد. بخش دوم و سوم مربوط به متغیرهای صفر و یک مساله می‌باشند که به ترتیب مربوط به انتخاب تامین‌کننده و سطح قیمت تامین‌کننده می‌باشد. بنابراین تمامی متغیرها به صورت بازه

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

پیوسته صفر تا یک درنظرگرفته می‌شوند و رشته اول که مربوط به میزان سفارش اختصاص‌یافته است باید از درصد به مقدار سفارش تبدیل شود و در مورد متغیرهای دسته دوم و سوم این عدد به نزدیک‌ترین عدد صحیح صفر یا یک تبدیل می‌گردد. یکی دیگر از مسایلی که در پیاده‌سازی الگوریتم باید بررسی گردد، تنظیم پارامترها می‌باشد. تنظیم مطلوب پارامترها در الگوریتم‌های فراابتکاری در عملکرد الگوریتم تأثیرگذار است. جدول ۸ نشان‌دهنده مقادیر پارامترهای مطلوب الگوریتم فاپسیس می‌باشد که به صورت تجربی به دست آمده‌اند. به عنوان نمونه نحوه ایجاد یکی از این پارامترها (جمعیت اولیه فاخته‌ها) در جدول ۹ نشان داده شده است. همان‌گونه که از شکل ۵ مشاهده می‌گردد با تعداد ۵ فاخته برای پارامتر جمعیت فاخته‌های اولیه می‌توان در تکرارهای کم الگوریتم به جواب بهینه دست یافت. شایان ذکر است در فرآیند تنظیم پارامتر، با توجه به اینکه تابع هدف مساله نشان‌دهنده امتیاز تاپسیس می‌باشد و حداکثر مقدار برای امتیاز تاپسیس یک است، بنابراین به محض اینکه نمودار به عدد یک همگرا شود، جواب قابل‌قبول به دست آمده است و حل مساله به پایان می‌رسد. همچنین سایر پارامترهای این روش در جداول ۸، ۹ و ۱۰ نشان داده شده است و شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نشان‌دهنده شماره تکرار الگوریتم در رسیدن به بهترین جواب می‌باشد.

جدول ۸. مقادیر بهینه پارامترهای روش فاپسیس

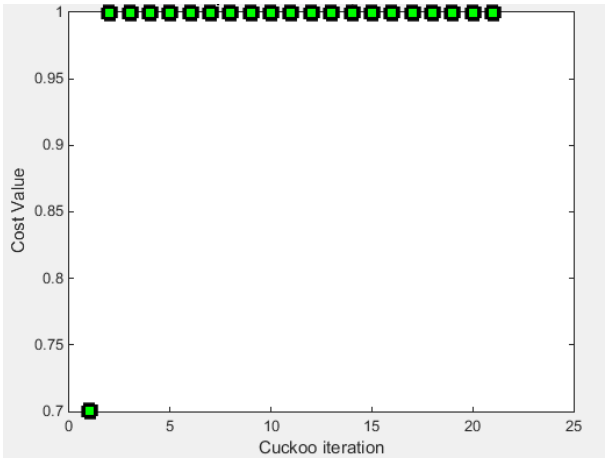
شرح پارامتر	بازه قابل انتخاب برای پارامتر	مقدار بهینه پارامتر
تعداد جمعیت اولیه	۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰	۵
حداقل تعداد تخم برای هر فاخته	۲، ۴ و ۵	۲
حداکثر تعداد تخم برای هر فاخته	۴، ۶، ۵ و ۱۰	۶
حداکثر تعداد تکرار حلقه داخلی	۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰	۲۰
تعداد خوشه‌بندی	۲، ۳، ۴ و ۵	۲
ضریب حرکت	۲، ۳ و ۴	۴
حداکثر تعداد فاخته در یک زمان زمان	۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰	۴۰
پارامتر کنترل شعاع تخم‌گذاری	۳، ۴ و ۵	۵

جدول ۹. تعداد تکرارهای مورد نیاز برای رسیدن به جواب بهینه با توجه به پارامتر جمعیت اولیه

شماره اجرا	تعداد جمعیت اولیه			
	۵	۱۰	۱۵	۲۰
۱	۱۳	۵	۲۵	۵
۲	۲	۱۳	۲	۴
۳	۸	۳	۷	۴۳
۴	۲	۶	۹	۲
۵	۱	۹	۳	۲۱
۶	۱۶	۵	۱۰	۲

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

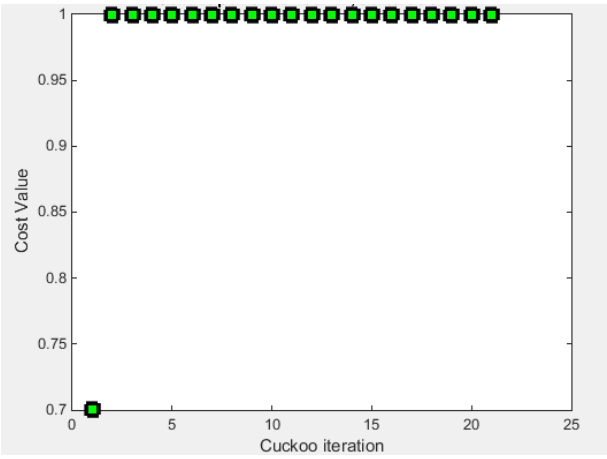
[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]



شکل ۵. نمودار مربوط به پارامتر تعداد جمعیت اولیه

جدول ۱۰. تعداد تکرارهای مورد نیاز برای رسیدن به جواب بهینه با توجه به پارامتر حداکثر و حداقل تعداد تخم

حداقل تعداد تخم برای هر فاخته	۲	۲	۲	۲	۴	۵
حداکثر تعداد تخم برای هر فاخته	۴	۶	۵	۱۰	۱۰	۱۰
اجرا ۱	۱۰	۶	۲۵	۱۷	۱	۲
اجرا ۲	۱	۴	۲۳			
اجرا ۳	۲	۱				



شکل ٦. نمودار مربوط به حداقل و حداکثر تعداد تخم برای هر فاخته

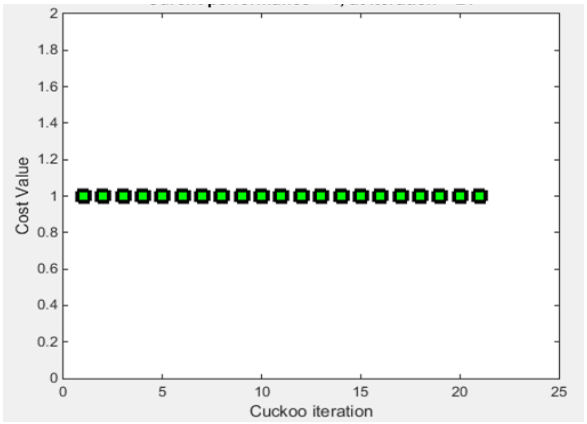
با توجه به جدول ۹ بازه [۲,۶] برای حداقل و حداکثر تعداد تخم انتخاب گردید، زیرا در تکرار اول (مساله چندین بار حل شده است) به جواب یک همگرا گردید. لازم به ذکر است در بازه [۴,۱۰] و [۵,۱۰] زمان رسیدن به جواب بسیار طولانی بود. برای سایر پارامترها این فرآیند به صورت مشابه تکرار می‌گردد. شایان ذکر است با توجه به ماهیت تقریبی الگوریتم‌های فرابتکاری، مساله چندین بار اجرا می‌گردد و در نهایت بهترین جواب‌ها انتخاب می شوند (جداول ۸، ۹ و ۱۰ و شکل‌های ۶، ۷ و ۸) و پارامتری انتخاب می‌گردد که بتواند در کمترین تکرار به جواب همگرا گردد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

جدول ۱۱. تعداد تکرارهای مورد نیاز برای رسیدن به جواب بهینه با توجه به پارامتر حداکثر تکرار

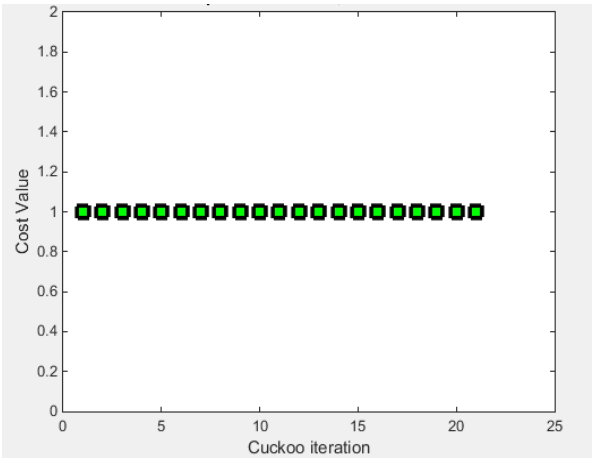
شماره اجرا	حداکثر تعداد تکرار حلقه داخلی				
	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
۱	۲	۵	۳۰	۲۳	۶
۲	۲	۱	۱	۱	۸
۳	---	۶	۱	۴	۱۴



شکل ۷. نمودار مربوط به حداکثر تعداد تکرار

جدول ۱۲. تعداد تکرارهای مورد نیاز برای رسیدن به جواب بهینه با توجه به پارامتر حداکثر تعداد فاخته که در یک زمان می‌تواند زنده بماند

شماره اجرا	حداکثر تعداد فاخته که در یک زمان می‌تواند زنده بماند				
	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
۱	---	۲	---	۲	۱
۲	---	۲	۱۴	۱	۱۰
۳		---		۲	۱۳
۴				۱۲	

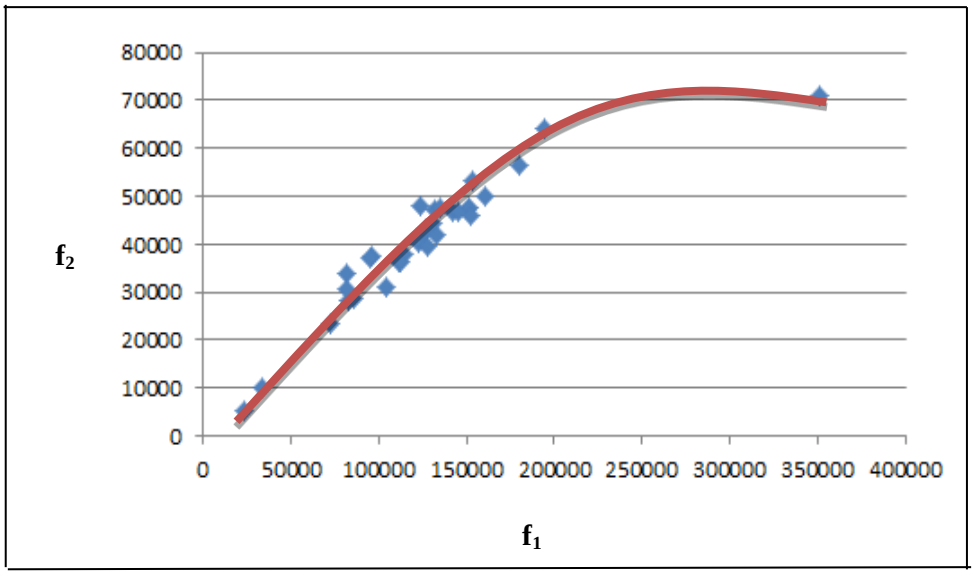


شکل ۸. نمودار مربوط به حداکثر تعداد فاخته که در یک زمان می‌تواند زنده بماند

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

در جداول ۱۱ و ۱۲ نیز پارامترهای مربوط به یک تکرار انتخاب شده‌اند، یعنی در تکرار اول با استفاده از این پارامترها به جواب بهینه همگرا شده است. در نهایت با توجه به پارامترهای بهینه تعیین شده برای الگوریتم فاخته مطابق با جدول ۷، الگوریتم فاپسیس روی مساله انتخاب تامین‌کننده (مطابق با مشخصات ذکر شده در جداول ۳ تا ۶) پیاده‌سازی می‌گردد و با استفاده از نتایج به‌دست آمده، جواب‌های مساله به‌صورت نمودار تقریبی پارتو شکل ۹ ایجاد می‌گردد. منحنی قرمز رنگ نشان‌دهنده مرز دقیق این مساله می‌باشد و همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌گردد، روش پیشنهادی فاپسیس نقاط زیادی از این مرز پارتو را ایجاد کرده است و اکثرا با فاصله کمی از مرز پارتو دقیق مساله قرار دارند که نشان‌دهنده دقت بالای این روش می‌باشد.



شکل ۹. نمودار تقریبی پارتو ایجاد شده از روش فاپسیس

به منظور اعتبارسنجی روش فاپسیس، مساله انتخاب تامین‌کننده با روش محدودیت اپسیلون[1] که یکی از روش‌های شناخته‌شده در زمینه حل مسایل چندهدفه می‌باشد بهینه‌سازی گردید [۶۳] و مرز تقریبی پارتو مساله به صورت شکل ۱۰ ترسیم شده است.

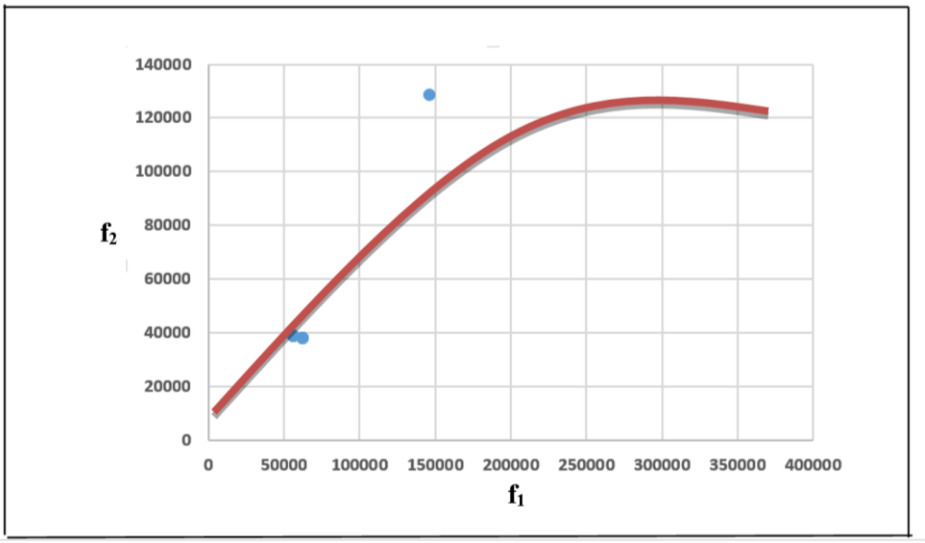
جدول ۱۳. مقادیر به‌دست آمده برای توابع هدف با توجه به روش اپسیلون

f_1	۵۶۰۰۰۰۱۲	۶۲۰۰۰۰۱۳	۱۴۶۰۰۰۰۱۲	۶۲۰۰۰۰۱۳	۶۲۰۰۰۰۱۳	۵۶۰۰۰۰۱۲	۵۶۰۰۰۰۱۲	۶۲۰۰۰۰۱۳
f_2	۳۸۷۵۰۰۰۰	۳۸۰۰۰۰۰۰	۱۲۸۷۵۰۰۰۰	۳۸۰۰۰۰۰۰	۳۸۰۰۰۰۰۰	۳۸۷۵۰۰۰۰	۳۸۷۵۰۰۰۰	۳۸۰۰۰۰۰۰

[1] ε -constraint

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]



شکل ۱۰. نمودار تقریبی پارتو ایجاد شده از روش محدودیت اپسیلون

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد با توجه به مرز دقیق پارتو مساله (منحنی قرمزرنگ) تعداد جواب‌های تکراری طبق جدول ۱۳ در این روش زیاد است و نتوانسته است مرز واقعی مساله را به خوبی شناسایی کند و تنها سه نقطه از مرز را ایجاد کرده است که با فاصله زیادی از مرز دقیق پارتو قرار دارند و نشان‌دهنده دقت پایین این روش می‌باشد. به منظور بررسی عملکرد روش‌های حل مسایل چندهدفه سه معیار دقت، سرعت و تعداد نقاط غیرتکراری پارتو بررسی می‌گردند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد جواب‌های ایجادشده از روش فاپسیس به مرز دقیق مساله نزدیک است و نشان‌دهنده دقت روش می‌باشد. همچنین زمان حل این مساله با روش فاپسیس به دلیل استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری بسیار کوتاه‌تر (تقریبا ۳۵۰ ثانیه) از روش حل محدودیت اپسیلون (تقریبا ۷۲۰ ثانیه) می‌باشد. در مورد تعداد نقاط پارتو به وضوح می‌توان از شکل‌های ۸ و ۹، برتری روش فاپسیس را نسبت به روش محدودیت اپسیلون مشاهده نمود.

۷ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته و روش تاپسیس برای ایجاد روش ترکیبی جدید فاپسیس جهت حل مسایل چندهدفه استفاده گردید. روش ترکیبی پیشنهادی به‌صورت هم‌زمان از مزایای هر دو روش استفاده می‌کند و محدودیت‌های هر یک از این روش‌ها را برطرف می‌سازد. بنابراین از روش ترکیبی فاپسیس می‌توان برای حل دقیق و سریع مسایل بهینه‌سازی چندهدفه در مقیاس بزرگ استفاده نمود. در ابتدا به منظور بررسی عملکرد روش، تعدادی مساله عددی آزمایشی [۵۹] بررسی و نتایج آن با الگوریتم NSGAII مقایسه گردید [۶۰] که نتایج نشان‌دهنده عملکرد مطلوب روش پیشنهادی می‌باشد. سپس از روش پیشنهادی فاپسیس برای حل مساله انتخاب تامین‌کننده که یکی از مسایل چندهدفه با اهمیت در دنیای واقعی است، استفاده شده است. منبع‌یابی و تخصیص سفارش به تامین‌کنندگان مناسب، هزینه‌های تامین را به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش و قابلیت رقابت‌پذیری

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

سازمان را افزایش می‌دهد. دو معیار با اهمیت در انتخاب تامین‌کنندگان هزینه تامین و کیفیت اقلام دریافتی از تامین‌کنندگان می‌باشد. از این رو در این پژوهش مساله انتخاب تامین‌کننده با هدف کمینه‌سازی هزینه و نرخ کالا معیوب دریافتی از تامین‌کنندگان به منظور بررسی عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی فاخته چندهدفه، انتخاب گردید [۶۲]. نتایج حاصل از حل مساله و مقایسه آن با روش محدودیت اپسیلون [۶۳]، عملکرد مطلوب الگوریتم ترکیبی فاپسیس را برای حل مسایل چندهدفه از نظر معیارهای سرعت، دقت و تعداد نقاط پارتوی ایجادشده به خوبی نشان داد. روش محدودیت اپسیلون تنها نقاط بسیار محدودی از مرز بهینه پارتو را ایجاد کرد درحالی که روش پیشنهادی تعداد زیادی از این نقاط را برای مساله مورد نظر تولید نمود که بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده می‌توان هر کدام از این نقاط پاسخ به عنوان پاسخ بهینه در نظر گرفته شود. در این مقاله تمام پارامترهای مساله مورد بررسی قطعی بودند و می‌توان با درنظر گرفتن عدم قطعیت در مساله مورد بررسی و استفاده از روش‌های موجود در این حوزه به صورت ترکیبی با روش فاپسیس، مساله را توسعه داد. همچنین می‌توان مساله انتخاب تامین‌کننده را با درنظرگرفتن سایر اهداف از جمله مدت زمان تحویل، هزینه حمل و نقل و غیره توسعه داد و به دنیای واقعی نزدیک نمود. با توجه به کاربردهای متعدد روش پیشنهادی مقاله، می‌توان از الگوریتم پیشنهادی فاپسیس در حل سایر مسایل چندهدفه واقعی دیگر مانند مسایل زمانبندی، برنامه‌ریزی تولید و غیره استفاده نمود. به منظور تحقیقات آتی می‌توان به کمک سایر روش‌های تصمیم‌گیری مانند فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، رویکردهای ترکیبی دیگری ایجاد نمود.

منابع

[1] Sihi, Maedeh, Najafi, Seyed Ismail, Tavakoli Moghaddam, Reza, Haji Aghaei Keshtali, Mostafa. (2021), Taguchi combined method and data envelopment analysis to determine the parameters and operators of metaheuristic algorithms - Genetic algorithm to solve the problem of re-input permutation workshop flow. Journal of Operational Research and Its Applications (Applied Mathematics), 18 (2), 124-107 (In Persian).

[2] Yang, X. S., & Deb, S. (2013). Multi-objective cuckoo search for design optimization. Computers & Operations Research, 40(6), 1616-1624.

[3] Kanagaraj, G., & Jawahar, N. (2009). A simulated annealing algorithm for optimal supplier selection using the reliability-based total cost of ownership model. International Journal of Procurement Management, 2(3), 244-266.

[4] Kota, L. (2012). Optimization of the supplier selection problem using discrete firefly algorithm. Advanced Logistic Systems, 6(1), 117-126.

[5] Sadeghieh, A., Dehghanbaghi, M., Dabbaghi, A., & Barak, S. (2012). A genetic algorithm based grey goal programming (G3) approach for parts supplier evaluation and selection. International Journal of Production Research, 50(16), 4612-4630.

[6] Parhizkari, M., Amirib, M., & Mousakhani, M. (2013). A multiple criteria decision making for supplier selection and inventory management strategy: A case of multi-product and multi-supplier problem. Decision Science Letters, 2(3), 185-190.

[7] Ghorbani, M., Mohammad Arabzad, S., & Shahin, A. (2013). A novel approach for supplier selection based on the Kano model and fuzzy MCDM. International Journal of Production Research, 51(18), 5469-5484.

[8] Khalili-Damghani, K., Dideh-Khani, H., & Sadi-Nezhad, S. (2013). A two-stage approach based on ANFIS and fuzzy goal programming for supplier selection. International Journal of Applied Decision Sciences, 6(1), 1-14.

[9] Ayhan, M. B. (2013). A fuzzy AHP approach for supplier selection problem: A case study in a Gear motor company. arXiv preprint arXiv:1311.2886.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

[10] Ghosh, T., Chakraborty, T., & Dan, P. K. (2014). An effective AHP-based metaheuristic approach to solve supplier selection problem. arXiv preprint arXiv:1404.4067.
[11] Haldar, A., Ray, A., Banerjee, D., & Ghosh, S. (2014). Resilient supplier selection under a fuzzy environment. International Journal of Management Science and Engineering Management, 9(2), 147-156.
[12] Rostamzadeh, R. (2014). A new approach for supplier selection using fuzzy MCDM. International Journal of Logistics Systems and Management, 19(1), 91-114.
[13] Azadeh, A., Keramati, A., Karimi, A., Sharahi, Z. J., & Pourhaji, P. (2014). Design of integrated information and supply chain for selection of new facility and suppliers by a unique hybrid meta-heuristic computer simulation algorithm. The International Journal of Advanced Manufacturing, 71(5-8), 775-793.
[14] Junior, F. R. L., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. Applied Soft Computing, 21, 194-209.
[15] Karsak, E. E., & Dursun, M. (2015). An integrated fuzzy MCDM approach for supplier evaluation and selection. Computers & Industrial Engineering, 82, 82-93.
[16] Turk, S., Miller, S., Özcan, E., & John, R. (2015). A simulated annealing approach to supplier selection aware inventory planning.
[17] Fallahpour, A., Olugu, E. U., Musa, S. N., Khezrimotlagh, D., & Wong, K. Y. (2016). An integrated model for green supplier selection under fuzzy environment: application of data envelopment analysis and genetic programming approach. Neural Computing and Applications, 27(3), 707-725.
[18] Shadkam, E., & Bijari, M. (2017). Multi-objective simulation optimization for selection and determination of order quantity in supplier selection problem under uncertainty and quality criteria. The International Journal of Advanced Manufacturing, 93(1-4), 161-173.
[19] Allouche, A. M., & Jouili, T. (2017). Supplier selection problem: A fuzzy multicriteria approach. Southern African Business Review, 21(1), 429-445.
[20] Khajeh, Mostafa, Amiri, Maghsoud, Ulfat, Laia, Zandieh, Mostafa. (2020), Evaluation and selection of stable suppliers in intuitive fuzzy environment with a combined multi-criteria approach of the best worst and Vicor. Journal of Operational Research and Its Applications (Applied Mathematics). 17 (1): 48-25 (In Persian)
[21] Modibbo, Umar Muhammad, et al. (2022). Multi-criteria decision analysis for pharmaceutical supplier selection problem using fuzzyTOPSIS. Management Decision.
[22] Sun, Yulin, Simon Cong Guo, and Xueping Li. (2022). An order-splitting model for supplier selection and order allocation in a multi-echelon supply chain. Computers & Operations Research 137, 105515.
[23] Toffano, Federico, et al. (2022). A multi-objective supplier selection framework based on user-preferences." Annals of Operations Research 308(1), 609-640.
[24] Dickson, G. W., (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. Journal of Purchasing, 2, 5-17.
[25] Roa, C.P., Kiser, G.E (1980). Educational Buyers' Perceptions of Vendor Attributes. Journal of Purchasing and material management 16, 25-30.
[26] Ebrahimi, B. Rahmani, M. Khakzad, M. (2016). Development of a comprehensive model of data envelopment analysis to determine the best supplier with inaccurate data and weight constraints, Production and Operations Management, 101-118. (In Persian)
[27] Taghavifard, Seyed Mohammad Taghi, Dehghani, Mohammad Hassan, Aghaei, Mojtaba (2015), Development of order quantification model by selecting the appropriate supplier and solving using genetic algorithm method, Management Research in Iran, 66- 89. (In Persian)
[28] Razmi, Jafar, July, Fariborz, Niaei, Majid (2007), Presenting a Combined Model for Supplier Selection Decision Problem and Solving It by Genetic Algorithm, Quarterly Journal of Business Research, 121-152. (In Persian)
[29] Nouri Raj, E. Lotfi, M. R. Rashidi, G. (2012). Combined model of fuzzy TOPSIS and ideal planning for supplier selection and order allocation, Industrial Management Quarterly, 30-45. (In Persian)
[30] Weber, C. A., Current J. R., (1993). A multi objective approach to vendor selection. European journal of Operational Research, 68(1), 173-184.
[31] Ghodsypour S.H., C. O'Brien. (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. International Journal of Production Economics, 15-27.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

[32] Degraeve. Z, Roodhooft. F. (2000). A Mathematical Programming Approach for Procurement Using Activity Based Costing. Journal of Business Finance and Accounting, 27 (1-2), 69-9.
[33] Rezaei, J., Davoodi, M. (2011). Multi-objective models for lot-sizing with supplier selection, Int. J. Production Economics 130, 77–86.
[34] Razmi, J., Mohammad Ebrahim, R., Haleh, H. (2009). Scatter search algorithm for supplier selection and order lot sizing under multiple price discount environment, Advances in Engineering Software. 40, 766–776.
[35] Sharma, D., W. C. Benton, and R. Srivastava (1989). Competitive strategy and purchasing decision, Proceedings of the 1989 Annual Conference of the Decision Sciences Institute, 1088-1090.
[36] Benton, W. C. (1991); Quantity discount decision under conditions of multiple items, multiple suppliers and resource limitation, Internationnal Journal of production Research, 29 (10), 1953-1961.
[37] Awasthi, A., Chauhan, S.S., Goyal, S.K., Proth, J. (2009). Supplier selection problem for a single manufacturing unit under stochastic demand. Production Economics, 117, 229-233.
[38] Samizadeh, R., Afshari, P. (2017). A Two-Objective Supplier Selection Modelin Supply Chain and Solving by Meta-Heuristic Algorithm, International Journal of Industrial Engineering & Production Management, 391-404.
[39] Chaudhry, S. S., F. G. Forst, and J. L. Zydiak (1993); Vendor selection with price breaks, European Journal of Operational Research, 70 (1), 52-66.

[40] Dejam, S., Sadeghzadeh, M., & Mirabedini, S. J. (2012). Combining cuckoo and tabu algorithms for solving quadratic assignment problems. Journal of and Applied Studies, 2(12), 1-8.

[41] Abolpour, B., & Mohebbi, A. (2013). Estimation of the compressive strength of 28-day-old concrete by use of an adaptive cuckoo–fuzzy logic model. Research on Chemical Intermediates, 39(9), 4001-4009.

[42] Shadkam, E., & Bijari, M. (2014). Evaluation the efficiency of cuckoo optimization algorithm. arXiv preprint arXiv:1405.2168.
[43] Gorjestani, M., Shadkam, E., Parvizi, M., & Aminzadegan, S. (2015). A hybrid COA-DEA method for solving multi-objective problems. arXiv preprint arXiv:1509.00595.

[44] Akbarzadeh, Afsane, and Elham Shadkam. (2015). The study of cuckoo optimization algorithm for production planning problem. arXiv preprint arXiv: 1508.01310.
[45] Borhanifar, Z., & Shadkam, E. (2016). The new hybrid COAW method for solving multi-objective problems. arXiv preprint arXiv:1611.00577.

[46] Shadkam, E., & Bijari, M. (2017). Multi-objective simulation optimization for selection and determination of order quantity in supplier selection problem under uncertainty and quality criteria. The International Journal of Advanced Manufacturing, 93(1-4), 161-173.

[47] Shadkam, E., Parvizi, M., Rajabi, R. (2021). The study of multi-objective supplier selection problem by a novel hybrid method: COA/ε-Constraint, International Journal of Research in Industrial Engineering, 10(3), 223 – 237.
[48] Shadkam, E., Tayarani Homayoni, A. (2021). Machine scheme selection of digital manufacturing based on COA algorithm and AHP method, 18th International Conference on Industrial Engineering, Tehran 17-18.
[49] Khandoozi, R., Maleki, H. R. (2022). Modeling a multi-objective defensive location problem with construction cost and capacity and solving using an efficient cuckoo search algorithm, Journal of Operational Research and Its Applications (Applied Mathematics), 18 (1), 19-1.
[50] Gholizadeh, H., et al. (2022). Fuzzy data-driven scenario-based robust data envelopment analysis for prediction and optimisation of an electrical discharge machine's parameters. Expert Systems with Applications, 116419.
[51] Borhanifar, Z., Shadkam, E. (2015). The new hybrid coaw method for solving multi-objective problems, International Journal in Foundations of Computer Science & Technology (IJFCST), 5, 15-22.
[52] Shokoohi M., Shiva, Vessali, S., Ahmadi, M. Shadkam, E. (2020). AHP-COA Combined Algorithm for Selecting a Digital Production Machine Design. Journal of Engineering and Applied Sciences, 15, 1421-1425.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]

[53] Gorjestani, M. Shadkam, E. Parvizi, M. Aminzadegan, S. (2015). A hybrid COA-DEA method for solving multi-objective problem, International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA), 5, 1-1.
[54] Gorjestani, M. Shadkam, E. Parvizi, M., Aminzadegan, S. (2015). A hybrid COA-DEA method for solving multi-objective problem, International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA), 5, 2015, 1-10.
[55] Yang, Xin-She, and Suash Deb. (2009). Cuckoo search via Lévy flights. World congress on nature & biologically inspired computing (NaBIC). IEEE..
[56] Rajabioun, Ramin. (2011). Cuckoo optimization algorithm. Applied soft computing 11.8, 5508-5518.
[57] Liu, Chang, et al. (2022). Solving the Multi-Objective Problem of IoT Service Placement in Fog Computing Using Cuckoo Search Algorithm. Neural Processing Letters, 1-32.
[58] Hwang, Ching-Lai, and Kwangsun Yoon. (1981). Methods for multiple attribute decision making. Multiple attribute decision making. Springer, Berlin, Heidelberg, 58-191.
[59] Tanaka, Masahiro, Hikaru Watanabe, Yasuyuki Furukawa, and Tetsuzo Tanino. (1995). GA-based decision support system for multicriteria optimization. In 1995 IEEE international conference on systems, man and cybernetics. Intelligent systems for the 21st century, 2, 1556-1561. IEEE.
[60] Deb, K., Associate Member, IEEE, Amrit Pratap, Sameer Agarwal, and T. Meyarivan. (2002). A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II, IEEE transactions on evolutionary computation, 6 (2).
[61] Stanojević, Bogdana, and Fred Glover. (2020). A new approach to generate pattern-efficient sets of non-dominated vectors for multi-objective optimization. Information Sciences 530, 22-42.
[62] Wadhwa, Vijay, and A. Ravi Ravindran. (2007). Vendor selection in outsourcing. Computers & operations research 34.12, 3725-3737.
[63] Zarouk, Yaser, et al. (2022). A novel multi-objective green vehicle routing and scheduling model with stochastic demand, supply, and variable travel times. Computers & Operations Research, 105698.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.4.63]