چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۱۹ ــ پاییز ۱۳۹۴
ص‌ص ۹۰ ° ۶۵

مدل ریاضی استوار فازی انتخاب سبد پروژه و حل آن بااستفاده از الگوریتم تکاملی تفاضلی چندهدفه

مسعود ربیعه*، عباس فدایی**

چکیده

هدف از انتخاب سبد پروژه‌های گازرسانی، انتخاب یک مجموعه پروژه از میان پروژه‌های کاندید است؛ به‌طوری‌که معیارهای مهم مدنظر سازمان با لحاظ محدودیت‌ها تا حد امکان مطلوب شود. در این پژوهش چنین انتخابی با یک مشکل اساسی روبه‌رو است. با توجه به ابهام موجود در تعیین برخی پارامترهای پژوهش، آن‌ها در قالب اعداد فازی لحاظ و به‌منظور افزایش استواری جواب‌ها، از روش استوار فازی استفاده می‌شود. جواب حاصل از روش استوار فازی به‌نحوی است که در تمام حالت‌های سطح برش آلفای لحاظ شده صدق کرده و استوار است. در این پژوهش یک مدل چندهدفه و چنددوره‌ای صفر- یک استوار فازی برای انتخاب سبد پروژه‌های گازرسانی در شرکت گاز استان کرمان ارائه و برای حل مدل از رویکرد استوار فازی استفاده شد. در ابتدا به‌منظور نمایش چگونگی عملکرد رویکرد استوار فازی، مدل در حالت تک‌هدفه و برای مسئله ای با ابعاد کوچک به کمک نرم‌افزار لینگو حل شد؛ سپس به‌دلیل NP-Hard بودن مدل مسئله بااستفاده از الگوریتم‌های تکاملی تفاضلی چندهدفه حل شد و سپس برای بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم جست‌وجوی ممنوعه چندهدفه مقایسه شد. در پایان به‌منظور کمک در تصمیم‌گیری در رابطه با انتخاب سبد پروژه گازرسانی روستایی از روش تاپسیس برای الویت بندی نقاط پارتو استفاده شد.

کلیدواژه‌ها: سبد پروژه؛ مدل ریاضی؛ الگوریتم تکاملی تفاضلی چندهدفه؛ الگوریتم جست‌وجوی ممنوعه چندهدفه؛ بهینه‌سازی استوار فازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱/۲۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۶/۱۵.

* استادیار، دانشگاه شهید بهشتی.
** کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول).
E-mail: Abbas_fadaei69@yahoo.com

۱. مقدمه

امروزه مدیران سازمان‌ها عموماً با این مسئله روبه‌رو هستند که از بین پروژه‌های که به‌صورت بالقوه به آن‌ها پیشنهاد می‌شود، کدام پروژه را انتخاب کنند، پروژه‌ها را بر چه اساسی انتخاب کنند یا چگونه منابع لازم را به آن‌ها تخصیص دهند [۱۴].

امروزه با افزایش متقاضیان استفاده از گاز طبیعی و با توجه به سیاست جایگزینی گاز به‌جای سایر سوخت‌های فسیلی، توسعه و اجرای پروژه‌های گازرسانی رشد زیادی داشته است؛ به‌طوری‌که در حال حاضر تعداد پروژه‌های فعال شرکت‌های گاز (پروژه‌های توسعه‌ای) به هزاران مورد می‌رسد. با توجه به گسترش تعداد پروژه‌های گازرسانی لزوم استفاده از ابزارها و روش‌های علمی مدیریت پروژه بیش‌ازپیش احساس می‌شود؛ به‌عبارت‌دیگر با توجه گستردگی حجم و تعداد پروژه‌ها در شرکت‌های گاز استانی و اینکه مدیریت مناسب پروژه‌های گازرسانی به‌عنوان یک معیار در رتبه‌بندی عملکرد شرکت‌ها موردنظر کارشناسان است؛ بنابراین یکی از مهم‌ترین ابعاد رقابتی در مقایسه عملکرد شرکت‌های گاز استانی مدیریت پروژه است [۹].

مدیریت سبد پروژه روشی برای تحقق اهداف استراتژیک سازمان است که این مدیریت توسط انتخاب، اولویت‌بندی، ارزیابی و مدیریت پروژه‌ها، برنامه‌ها و دیگر فعالیت‌های مرتبط اعمال می‌شود [۳۰]. انتخاب سبد پروژه[1] عبارت است از انتخاب مجموعه‌ای مناسب از پروژه‌های پیشنهادی به‌طوری‌که اهداف کوتاه‌مدت و بلندمدت کسب‌وکار تحقق یابند؛ به‌عبارت‌دیگر یک سبد پروژه عبارت است از تخصیص منابع محدود میان مجموعه‌ای از پروژه‌ها به‌صورتی که اهداف سازمانی برآورده شود [۱۱].

هدف این مقاله ارائه و حل مدل چندهدفه صفرـ یک استوار فازی[2] برای انتخاب سبد پروژه گازرسانی در شرکت گاز است. نوآوری این پژوهش به استواری جواب‌های مدل فازی در قبال برش‌های مختلف آلفا و حل آن به کمک الگوریتم فراابتکاری تکاملی تفاضلی چندهدفه بازمی‌گردد. در واقعیت تصمیم‌گیرنده نمی‌داند چگونه سطح برش آلفای مناسب را در مرحله دیفازی‌کردن مدل فازی انتخاب کند. روش استوار فازی تا حدودی این مسئله را حل کرده است؛ به‌نحوی‌که جواب استواری که ارائه می‌کند می‌تواند در تمامی حالت‌های سطوح برش صدق کند.

ساختار مقاله حاضر به این صورت است که در بخش دوم پیشینه انتخاب سبد پروژه و مبانی نظری بهینه‌سازی استوار فازی توضیح داده خواهدشد. در بخش سوم روش‌شناسی پژوهش ارائه می‌گردد. در این بخش مدل ریاضی پیشنهادی پژوهش شرح داده می‌شود. در بخش چهارم اعتبارسنجی مدل، الگوریتم حل پیشنهادی پژوهش، تجزیه‌وتحلیل داده‌های مورد مطالعه و اعتبار

---

1. Project Portfolio Selection
2. Fuzzy Robust

و عملکرد الگوریتم پیشنهادی پژوهش شرح داده می‌شود. در پایان در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

با توجه به پیشینه پژوهش درزمینه انتخاب سبد پروژه، بیشتر پژوهش‌ها برای انتخاب سبد پروژه از برنامه‌ریزی ریاضی استفاده کرده‌اند. . اولین پژوهش بااستفاده از روش کمی درزمینه انتخاب سبد پروژه توسط شارپ و ویلیام (۱۹۶۷) که از یک برنامه‌ریزی خطی در مسائل انتخاب پروژه استفاده کردند.

در پیشینه انتخاب سبد پروژه، اهمیت و تأثیر عدم‌اطمینان به‌طور وسیعی بررسی شده است. بیشتر مدل‌های ارائه‌شده در بحث انتخاب سبد پروژه در فضای قطعیت و برخی از آنها در فضای عدم‌قطعیت از نوع فازی صورت گرفته است. در شرایط قطعیت قاسم‌زاده و ارچر (۲۰۰۰)، قربانی و همکاران (۲۰۰۹)، ربانی و همکاران (۲۰۱۲)، فارسیجانی و همکاران (۱۳۹۱)، پورکاظمی و همکاران (۱۳۹۲) و سلامی و همکاران (۱۳۹۲) با درنظرگرفتن معیارهای کمی و کیفی گاه متعارض، محدودیت منابع در دوره‌های زمانی مختلف و همچنین اثر متقابل پروژه‌ها یک مدل خطی عدد صحیح چندهدفه[1] برای انتخاب و زمان‌بندی سبد پروژه ارائه کرده‌اند. مهم‌ترین نقطه‌ضعف مدل‌های ریاضی پژوهش‌های ذکرشده ، درنظرنگرفتن عدم‌قطعیت در مدل ریاضی است.

در شرایط عدم‌قطعیت باهارتاچیا و همکاران (۲۰۱۱)، خلیلی دامغانی و همکاران (۲۰۱۲)، توانا و همکاران (۲۰۱۳) و خلیلی دامغانی و همکاران (۲۰۱۳) برای درنظرگرفتن عدم‌قطعیت موجود در مسئله انتخاب سبد پروژه از یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح چندهدفه فازی[2] استفاده کردند. اگرچه مدل‌های ریاضی فازی به‌طور اثربخشی جنبه‌های امکان‌پذیر یک مسئله بهینه‌سازی را مدنظر قرار می‌دهد؛ اما به زیرمدل‌های (مدل‌های فرعی) پیچیده‌ای تبدیل می‌شود که برای مسائل عملی قابل‌کاربرد و مفید نیست؛ به‌عبارت‌دیگر این روش‌ها قادر نیست که عدم‌اطمینان‌ها را به‌طور مستقیم به فرآیند بهینه‌سازی مرتبط سازند [۲۱].

در شرایط عدم‌قطعیت، لوویز و همکاران (۲۰۰۷، ۲۰۰۸)، فریگر و وارنر (۲۰۱۳)، قحطرانی و نجفی (۲۰۱۳) و حسن‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) بااستفاده از مفهوم بهینه‌سازی استوا ، عدم‌قطعیت و نبود اطلاعات قطعی را در مدل خطی عدد صحیح چندهدفه استوار[3] برای تعیین سبد پروژه مدل‌سازی کردند.

1. Multi Objective Integer Linear Programming
2. Fuzzy Multi Objective Integer Linear Programming
3. Robust Multi Objective Integer Linear Programming

با توجه به پیشینه پژوهش در زمینه سبد پروژه تاکنون، مدل ریاضی استوار فازی ارائه نشده است؛ اما در سایر زمینه‌های در حوزه ترکیب مباحث استوار و فازی تعداد اندکی مقاله ارائه شده که در جدول ۱ قابل‌مشاهده است.

جدول ۱. پژوهش‌های حوزه بهینه‌سازی استوار فازی

ردیف	نویسندگان	سال	عنوان مقاله	روش	نام منبع
۱	اینوگوچی و ساکاوا	۱۹۹۸	بهینه‌سازی استوار نرم در یک مسئله برنامه‌ریزی خطی فازی	یک برنامه‌ریزی عدد صحیح استوار فازی	International Journal of Approximate Reasoning
۲	نای و همکاران	۲۰۰۷	یک روش برنامه‌ریزی ترکیبی استوار فازی پارامتری ـ بازه‌ای[1]	یک برنامه‌ریزی خطی استوار فازی با داده‌های بازه ای	journal of Environmental Management
۳	هاسویکه و ایشی	۲۰۰۸	مسائل انتخاب پرتفولیوی استوار شامل فاکتورهای نامطمئن	مدل استوار فازی: روش مدل استوار بن‌تال و نمیروفسکی ترکیبی با مفهوم برنامه‌ریزی آرمانی فازی	International Journal of Applied Mathematics
۲	لی و همکاران	۲۰۰۸	یک روش برنامه‌ریزی عدد صحیح استوار فازی دو مرحله‌ای برای برنامه‌ریزی ظرفیت سیستم مدیریت محیطی	روش برنامه‌ریزی عدد صحیح استوار فازی دومرحله‌ای و برنامه‌ریزی احتمالی دومرحله‌ای	European Journal of Operational Research
۳	ژانگ و همکاران	۲۰۱۰	یک روش برنامه‌ریزی چندهدفه تصادفی (احتمالی) استوار- فازی	یک روش برنامه‌ریزی چندهدفه احتمالی استوار ـ فازی	Applied Mathematical Modelling

با توجه به پیشینه پژوهش، حل مدل ریاضی چندهدفه در زمینه انتخاب سبد پروژه را می‌توان به دو دسته اصلی طبقه‌بندی کرد. در دسته اول اطلاعاتی در مورد ترجیحات نسبی اهداف موجود است. در این حالت معمولاً فضای چندبعدی هدف به یک فضای تک‌بعدی کاهش داده می‌شود. در دسته دوم بر خلاف دسته اول، فرض بر این است که از قبل اطلاعاتی در مورد ترجیحات نسبی اهداف وجود ندارد. برای چنین مسائلی عموماً از یک رویه دومرحله‌ای استفاده می‌شود که در مرحله اول آن فضای جواب شامل تمامی سبدهای کارا (بهینه پارتو) با

1. Hybrid Interval Parameter Fuzzy Robust Programming

استفاده از رویکردهای فراابتکاری شناسایی می‌شود و این فضای به‌دست‌آمده به‌صورت تعاملی مورد کنکاش قرار می گیرد.

با توجه به پیشینه پژوهش ارائه شده، نوآوری این پژوهش به دو بحث زیر بازمی‌گردد:

۱. استفاده از مدل چندهدفه استوار فازی برای درنظرگرفتن عدم‌اطمینان در پارامترهای مدل؛

۲. حل مدل استوار با با الگوریتم‌های فراابتکاری با توجه به نبود اطلاعات در مورد ترجیحات نسبی اهداف توسط تصمیم‌گیرنده در «مورد مطالعه» پژوهش.

بهینه‌سازی استوار فازی. برنامه‌ریزی خطی استوار فازی شامل بهینه‌سازی یک تابع هدف قطعی با توجه فضای تصمیم فازی محدودشده توسط محدودیت‌های با ضرایب و ظرفیت‌های فازی است [۳، ۱۶، ۲۱]. یک مسئله برنامه‌ریزی خطی استوار فازی در شکل عمومی می‌تواند به‌صورت مدل ۱ تعریف شود [۲۱]:

$$Min \quad f \quad CX \qquad (۱\ a)$$

$$St: \ \tilde{A}X \ \tilde{} \ \tilde{B}, \qquad (\ b)$$

$$X \quad 0, \qquad (\ c)$$

که $X \quad \{R\}^{n\ 1}$ ، $A \quad \{\ \}^{m\ n}\ B \quad \{\ \}^{m\ 1}$، $C \quad \{R\}^{1\ n}$ نشان‌دهنده مجموعه‌ای از متغیرها، پارامترهای فازی و R نشان‌دهنده مجموعه اعداد قطعی و $\tilde{}$ به معنای نامعادله فازی است. محدودیت فازی۱b را می‌توان به‌شکل زیر نشان داد:

$$\tilde{A}_1x_1 \quad \tilde{A}_2x_2 \quad ... \quad \tilde{A}_nx_n \ \tilde{} \ \tilde{B}, \qquad (۲)$$

به‌طوری‌که $A_j(j \quad 1,2,...,n)$ و B زیرمجموعه‌های فازی (ضرایب فنی و اعداد سمت راست مدل ۱) و نماد نشان‌دهنده جمع بین زیرمجموعه‌های فازی است. فازی‌بودن فضای تصمیم به‌دلیل عدم‌اطمینان در ضرایب A_j و B است. با فرض اینکه $\tilde{U}_j$ و $\tilde{V}$ متغیرهای پایه تحمیل‌شده از سوی زیرمجموعه‌های A_j و B باشند، درنتیجه:

$${}_{Aj}: \tilde{U}_j \qquad 0,1\ , \qquad (۳a\ )$$

$${}_{B}: \tilde{V} \qquad 0,1 \qquad (۳b)$$

به‌طوری‌که $_{Aj}$ نشان‌دهنده امکان مصرف یک مقدار معین منابع توسط فعالیت j و $_{B}$ نشان‌دهنده امکان دردسترس‌بودن منبع B است. برای زیرمجموعه فازی N، $_{N}$ می‌تواند در قالب اعداد فازی L-R به‌صورت زیر نشان داده شود:

$$ {}_{N}(x) \quad \begin{matrix} F_L(\frac{u \quad x}{\beta}) & if & x \quad u, & 0, \\ 1 & if & x \quad u, & \\ F_R(\frac{x \quad u}{}) & if & u \quad x & , \quad 0, \end{matrix} \qquad (۴) $$

u مقدار میانگین[۱] N است. β و δ گسترش های [۲] راست و چپ هستند. F_L و F_R نیز توابع عضویت چپ و راست عدد فازی را نمایندگی ۳ می کنند. برای حالت خطی، زیرمجموعه N می‌تواند در فرم عمومی به‌شکل زیر تعریف شود:

$$ \mu_N(x) = \begin{cases} o & if\ \ x < \underline{a}\ or\ x > \bar{a}, \\ 1 & if\ \ x = u, \\ 1 - \frac{2|\mu - x|}{\bar{a} - \underline{a}} & if\ \ \underline{a} \le x \le \bar{a} \end{cases} \qquad (۵) $$

به‌طوری‌که $[\,\underline{a}\,, \bar{a}\,]$ بازه‌ای است که توسط زیرمجموعه فازی N تعیین می‌شود. برای بیان دقیق محدودیت‌های فازی روی متغیرهای پایه‌ای[۴] نظیر $\tilde{V}$, $\tilde{U}_j$، محدودیت‌های فازی رابطه ۲ می‌تواند به شکل محدودیت‌های عطفی فازی زیر نشان داده شوند:

$$ A_1 x_1 \quad A_2 x_2 \quad \ldots \quad A_n x_n \quad B \qquad (۶) $$

ناحیه رخداد ممکن برای طرف چپ هر محدودیت باید دربردارنده ناحیه رضایت‌بخش یا تلورانسی باشد که توسط طرف راست محدودیت تعیین و تعریف می‌شود. بر طبق مفهوم سطح برش آلفا (cut) و قضیه نمایندگی[۵]، محدودیت ۲ را می‌توان به شکل زیر نشان داد:

1. Mean
2. Spreads
3. Shape functions
4. Base variables
5. Representation theorem

$$(\tilde{A}_1)\ x_1 \quad (\tilde{A}_2)\ x_2 \quad \dots \quad (\tilde{A}_n)\ x_n \quad \tilde{B}\ , \qquad 0,1 \tag{۷a}$$

Where :

$$(\tilde{A}_j) \quad a_j \quad \tilde{U}_j \Big| \quad {}_{Aj}(a_j) \tag{۷b}$$

$$\tilde{B} \quad b \quad \tilde{V} \Big| \quad {}_{B}(b) \tag{۷c}$$

با فرض اینکه زیرمجموعه‌های فازی در رابطه ۶ متناهی[1] باشند و ویژگی‌های زیر وجود داشته باشد:

$${}_{Aj}(a_j) | a_j \quad \tilde{U}_j \qquad {}_1,\ {}_2, \dots,\ {}_k\ , 0 \quad {}_1 \quad {}_2 \quad \dots \quad {}_k \quad 1 \tag{۸}$$

برای هر $_S(s=1,2,...k)$ محدودیت‌ها در رابطه ۷a به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$(\tilde{A}_1)_s\, x_1 \quad (\tilde{A}_2)_s\, x_2 \quad \dots \quad (\tilde{A}_n)_s\, x_n \quad \tilde{B}_s\ , \qquad {}_S \quad 0,1 \tag{۹}$$

به‌طوری‌که $(\tilde{A}_j)_s\ (j \quad 1,2,...,n; s \quad 1,2,...,k)$ و $\tilde{B}_s$ مجموعه‌های فازی محدب[2] و ناتهی[3] را شکل می‌دهند؛ بنابراین محدودیت‌ها در رابطه ۹ می‌توانند با ۲k محدودیت قطعی ۱۰ و ۱۱ زیر جایگزین شوند؛ به‌نحوی‌که k نشان‌دهنده تعداد سطوح برش آلفا است.

$$\bar{a}_1^s x_1 \quad \bar{a}_2^s x_2 \quad \dots \quad \bar{a}_n^s x_n \quad \bar{b}^s, \qquad s \quad 1,2,...,k, \qquad h_1 \tag{۱۰}$$

$$\underline{a}_1^s x_1 \quad \underline{a}_2^s x_2 \quad \dots \quad \underline{a}_n^s x_n \quad \underline{b}^s, \qquad s \quad 1,2,...,k, \qquad h_2 \tag{۱۱}$$

به‌طوری‌که:

$$\bar{a}_1^s \quad \sup(a_j^s), \quad a_j^s \quad (\tilde{A}_j)_s\ , \qquad i_1 \tag{۱۲a}$$

$$\underline{a}_j^s \quad \inf(a_j^s), \quad a_j^s \quad (\tilde{A}_j)_s\ , \qquad i_2 \tag{۱۲b}$$

$$\bar{b}^s \quad \sup(b^s), \quad b^s \quad \tilde{B}_s\ , \qquad i_3 \tag{۱۲c}$$

$$\underline{b}^s \quad \inf(b^s), \quad b^s \quad \tilde{B}_s\ , \qquad i_4 \tag{۱۲d}$$

1. Finite
2. Convex
3. Non-Empty

به‌طورکلی $sup(t)$ نشان‌دهنده حد بالا در مجموعه t، $inf(t)$ نشان‌دهنده حد پایین در مجموعه t است؛ بنابراین برای برنامه خطی استوار فازی با m محدودیت فازی، می‌توانند توسط محدودیت‌های فازی زیر محدود شود.

$$A_{i1}\ x_1 \quad A_{i2}\ x_2 \quad \dots \quad A_{in}\ x_n \quad B_i, i \quad 1,2,\dots,m. \tag{۱۳}$$

با نمایش محدودیت بالا در فضای مجموعه‌های سطح برش آلفا، محدودیت فازی بالا تبدیل می‌شود به:

$$(A_{i1})\ x_1 \quad (A_{i2})\ x_2 \quad \dots \quad (A_{in})_{\alpha} x_n \quad B_i\ , i \quad 1,2,\dots,m; \qquad 0,1 \tag{۱۴}$$

به‌طوری‌که:

$$_{Aij}(a_{ij}) \big| a_{ij} \quad \tilde{U}_{ij} \qquad _{i1},\ _{i2},\dots,\ _{ik}\ , \tag{۱۵}$$

$$0 \quad _{i1} \quad _{i2} \quad \dots \quad _{ik} \quad 1, i \quad 1,2,\dots,m. \tag{۱۶}$$

اگر m محدودیت از نوع رابطه ۱b وجود داشته باشد در مدل استوار فازی به ۲km تا محدودیت قطعی تبدیل خواهد شد. به‌عبارت‌دیگر، با تبدیل هر محدودیت فازی به ۲k محدودیت قطعی معادل، مدل فازی به مدل قطعی شده استوار تبدیل می‌شود که به روش‌های قطعی قابل‌حل و به‌دلیل استواری قابل‌اتکا است [۳، ۲۱].

۳. روش‌شناسی پژوهش

تعریف و مدل‌سازی مسئله: با توجه به وجود تعداد زیاد پروژه گازرسانی در شرکت گاز و همچنین محدود بودن منابع، هدف پژوهش حاضر این است که از میان پروژه‌های گازرسانی پیشنهادی در شرکت گاز یک سبد انتخاب شود؛ به‌طوری‌که اهداف شرکت گاز استان کرمان برآورده شود. قبل از ارائه مدل ریاضی، نمادهای استفاده‌شده در جدول ۲ ارائه می‌شود.

جدول ۲. نمادهای استفاده‌شده در مدل ریاضی پژوهش

مفروضات مدل: تبعیت پارامترهای نامطمئن فازی از تابع عضویت مثلثی، یک‌مرحله‌ای بودن اجرای پروژه‌ها ، نبود روابط درونی میان پروژه‌ها، دوره زمانی یک‌ساله، ثابت درنظرگرفتن نرخ بهره و نرخ رشد جمعیت، انجام پروژه‌ها در دوره زمانی در نظر گرفته‌شده، تخصیص بودجه در ابتدای سال، درنظرگرفتن رابطه پیش‌نیازی میان پروژه‌ها		
	اندیس‌های مدل	
k	تعداد اهداف	$k = 1,2,\dots,K$
j	تعداد پروژه‌های کاندید موردنظر	$j = 1,2,\dots,n$
i	نوع لوله استفاده‌شده گازرسانی	$i = 1,2,\dots,m$
r	نوع ایستگاه تقلیل فشار	$r = 1,2,\dots,R$
t	تعداد دوره‌های زمانی	$t = 1,2,\dots,T$
l	نوع انشعاب	$l = 1,2,\dots,L$
	پارامترهای مدل	
C_{it}	هزینه هر متر لوله نوع i در دوره زمانی t (ریال)	
C_{rt}	هزینه هر ایستگاه تقلیل فشار نوع r در دوره زمانی t (ریال)	
C_{lt}	هزینه هر انشعاب نوع l در دوره زمانی t (ریال)	
L_{ij}	مقدار لوله موردنیاز i در پروژه j (متر)	
R_{rj}	تعداد ایستگاه تقلیل فشار نوع r در پروژه j	
D_{lj}	تعداد انشعاب نوع l در پروژه j	
F_{jt}	تعداد خانوار پوشش‌دهنده پروژه j در دوره زمانی t	
U_{jt}	مطلوبیت پروژه j در دوره زمانی t	
d_{jt}	طول زمان انجام پروژه j در دوره زمانی t (سال)	
B_t	بودجه در دوره زمانی t (ریال)	
	سطح برش آلفا برای دیفازی‌کردن اعداد فازی	
$\overline{C}_{jt}, \underline{C}_{jt}$	مقدار حد بالا و پایین هزینه نامطمئن پروژه j در دوره زمانی t	
$\overline{B}_{jt}, \underline{B}_{jt}$	مقدار حد بالا و پایین بودجه نامطمئن در دوره زمانی t	
	پارامتر نامطمئن از نوع فازی	
$\tilde{C}_{jt}$	مقدار هزینه نامطمئن پروژه j در دوره زمانی t	
$\tilde{B}_{t}$	مقدار بودجه نامطمئن در دوره زمانی t	
	متغیر تصمیم	
$x_{jt} = 1$	انتخاب پروژه j در زمان t	
$x_{jt} = 0$	عدم انتخاب پروژه j در زمان t	

مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح فازی انتخاب سبد پروژه:

$$Max\ Z_1 \quad \sum_{j\ 1}^{n}\sum_{t\ 1}^{T} {}_{jt} \times F_{jt} \tag{۱۷a}$$

$$Max\ Z_2 \quad \sum_{j\ 1}^{n}\sum_{t\ 1}^{T} {}_{jt} \quad U_{jt} \tag{۱۷b}$$

$$Min\ Z_3 = \sum_{j\ 1}^{n}\sum_{t\ 1}^{T} \mathrm{X}_{jt} \quad d_{jt} \tag{۱۷c}$$

$s.t$

$$\sum_{t\ 1}^{T} {}_{jt} \quad 1 \qquad\qquad j \tag{۱۷d}$$

$$\sum_{t\ 1}^{T} {}_{jt} \quad 1 \qquad\qquad j \quad (A_e) \tag{۱۷e}$$

$$\sum_{t\ 1}^{T} (t \quad d_{jt}) \quad {}_{jt} \quad T \quad 1 \qquad\qquad j \tag{۱۷f}$$

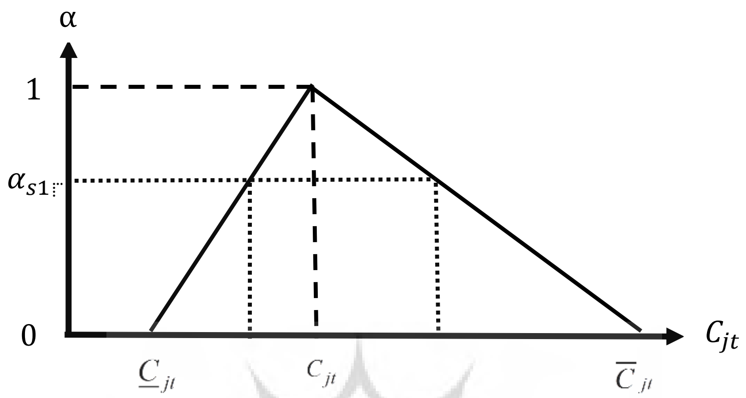
$$\sum_{j\ 1}^{n} {}_{jt} \quad (\sum_{i\ 1}^{m} L_{ij}\tilde{C}_{it} \quad \sum_{r\ 1}^{R} R_{rj}\tilde{C}_{rt} \quad \sum_{l\ 1}^{L} D_{lj}\tilde{C}_{lt}) \ \tilde{}\ \tilde{B}_t \qquad t,i,r,l \tag{۱۷g}$$

$$\sum_{t\ 1}^{t} {}_{jt} \quad {}_{pt} \quad 0 \qquad\qquad j,p \quad \left(p\left(j,p\right)\right) \tag{۱۷h}$$

$${}_{jt}, \quad {}_{jt'}, \quad {}_{pt} \quad 0,1] \tag{۱۷i}$$

(۱۷a) هدف اول حداکثرکردن تعداد خانوار پوشش‌دهنده توسط اجرا پروژه‌های گازرسانی. (۱۷b) هدف دوم حداکثرکردن مطلوبیت اجرا پروژه‌های گازرسانی که در این هدف، مطلوبیت میزان مصرف گاز، نزدیک بودن به مناطق صنعتی و مناطق کوهستانی پروژه‌ها است. (۱۷c) هدف سوم حداقل‌کردن زمان اجرای پروژه‌ها است. (۱۷d) این محدودیت تضمین می‌کند که در طول افق برنامه‌ریزی، هر یک از پروژه‌های انتخابی تنها یک‌بار اجرا شوند. (۱۷e) سازمان ملزم به اجرای تعداد مشخصی از پروژه‌ها است که باید در سبد پروژه‌ها انتخاب شوند. (۱۷f) این محدودیت این اطمینان را ایجاد می‌کند که تمامی پروژه‌های موجود در سبد انتخابی حتماً تا قبل از به پایان رسیدن افق زمانی برنامه‌ریزی‌شده به پایان برسند. (۱۷g) محدودیت بودجه و (۱۷h) در دنیای واقعی در برخی شرایط، اجرای برخی پروژه‌ها پیش‌نیاز اجرای پروژه‌های دیگر است، در این شرایط ضروری است که قبل از انتخاب یک پروژه خاص تمامی پروژه‌های پیش‌نیاز نیز انتخاب شوند و در آخر (۱۷i) محدودیت‌های علامتی مدل ریاضی هستند. با توجه به اینکه هزینه

اجرای پروژه‌های گازرسانی C_{jt} و بودجه نامطمئن است. با توجه به مدل فازی در رابطه (19g) پارامترهای نامطمئن هزینه هر پروژه ($\tilde{C}_{jt}$) و بودجه هر دوره $\tilde{B}_i$ در قالب اعداد فازی مثلثی لحاظ شده و پس از دیفازی‌شدن به کمک سطح برش به یک بازه قطعی یعنی $[\underline{C}_{jt},\overline{C}_{jt}]$ و $[\underline{B}_t,\overline{B}_t]$ تبدیل می‌شود. به‌عنوان مثال در شکل ۱ به ازای 0 پارامتر C_{jt} به حد بالا $\bar{C}_{jt}$ و حد پایین $\underline{C}_{jt}$ تبدیل‌شده است.



شکل ۱. تابع عضویت مثلثی مجموعه های فازی به ازای هر برش آلفا

مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح استوار فازی انتخاب سبد پروژه:

$$Max\ Z_1 \quad {}^{n\quad T}_{j\ 1\ t\ 1} \quad {}_{jt} \quad F_{jt} \qquad (۱۸a)$$

$$Max\ Z_2 \quad {}^{n\quad T}_{j\ 1\ t\ 1} \quad {}_{jt} \quad U_{jt} \qquad (۱۸b)$$

$$Min\ Z_3 \quad {}^{n\quad T}_{j\ 1\ t\ 1} \quad {}_{jt} \quad d_{jt} \qquad (۱۸c)$$

$s.t$

$${}^{T}_{t\ 1} \quad {}_{jt} \quad 1 \qquad j$$

(۱۸d)

$${}^{T}_{t\ 1} \quad {}_{jt} \quad 1 \qquad j \quad (A_e)$$

(۱۸e)

$$\sum_{t\ 1}^{T}(t \quad d_{jt}) \times X_{jt}\ \theta\ T+1 \qquad \theta j$$

(۱۸f)

$$\sum_{j=1}^{n} {}_{jt} \; (\sum_{i\,1}^{m} L_{ij}\bar{C}^{s}_{lt} \quad \sum_{s\,1}^{R} R_{rj}\bar{C}^{s}_{rt} + \sum_{l\,1}^{L} D_{lj}\bar{C}^{s}_{lt}) \quad \bar{B}^{s}_{t} \qquad t,i,s,l \qquad (۱۸g)$$

$$\sum_{j\,1}^{n} {}_{jt} \; (\sum_{i\,1}^{m} L_{ij}\underline{C}^{s}_{lt} \quad \sum_{r=1}^{R} S_{rj}\underline{C}^{s}_{rt} \quad \sum_{l\,1}^{L} D_{lj}\underline{C}^{s}_{lt}) \quad \underline{B}^{s}_{t} \qquad t,i,s,l \qquad (۱۸h)$$

$$\sum_{t\,1}^{t} {}_{jt} \quad {}_{pt} \quad 0 \qquad j,p \quad p \;\; j,p \qquad (۱۸i)$$

$$ {}_{jt}, \; {}_{jt}, \; {}_{pt} \quad 0,1 \;,0 \quad {}_{s} \quad 1 \qquad (۱۸k)$$

رابطه (۱۷g) در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح فازی انتخاب سبد پروژه با توجه به تابع عضویت مثلثی و به ازای هر سطح برش (طبق رابطه‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳) به‌شکل رابطه‌های (۱۸g) و (۱۸h) تبدیل می‌شود.

٤. تحلیل داده ها و یافته های پژوهش

نمایش عملکرد روش استوار فازی در قالب یک مسئله کوچک تک هدفه. در این بخش به‌منظور بررسی عملکرد روش استوار فازی، هدف اول مدل چندهدفه لحاظ شده (هدف حداکثرکردن خانوار) و مسئله در سایز کوچک با استفاده از نرم‌افزار لینگو ۱۱ حل می‌شود. در جدول زیر سایز مثال کوچک مشخص شده است.

جدول ۳. تعیین پارامترهای مثال کوچک جهت اعتبارسنجی

اندیس‌های مدل	مقادیر	اندیس‌های مدل	مقادیر
j: تعداد پروژه	۶	i: نوع لوله	۲
t: تعداد دوره زمانی	۵	s: نوع ایستگاه تقلیل فشار	۲
k: اهداف	۳	l: نوع انشعاب	۱
تعداد پارامترهای نامطمئن فازی	۳۵	تعداد پارامترهای نامطمئن	۳۵
تعداد برش آلفا ( )	۵		

در جدول ۴ مقدار تابع هدف به ازای هر برش آلفا ( ) جواب نرم‌افزار لینگو آورده شده است.

جدول ۴. نتایج اعتبارسنجی مدل بااستفاده از نرم‌افزار لینگو

برش آلفا ( )	تابع هدف	جواب پایه
0	۲۱۵۶۲	x_{12} 1, x_{21} 1, x_{32} 1, x_{45} 1, x_{53} 1, x_{64} 1
0.25	۲۱۲۷۶	x_{21} 1, x_{34} 1, x_{45} 1, x_{53} 1, x_{64} 1
0.5	۲۱۲۷۶	x_{21} 1, x_{34} 1, x_{45} 1, x_{53} 1, x_{64} 1
0.75	۲۰۱۹۷	x_{21} 1, x_{34} 1, x_{45} 1, x_{52} 1, x_{63} 1
1	–	نبود منطقه موجه
0; 0.25	۲۱۲۷۶	x_{21} 1, x_{34} 1, x_{45} 1, x_{53} 1, x_{64} 1
0; 0.5	۲۱۲۷۶	x_{21} 1, x_{34} 1, x_{45} 1, x_{53} 1, x_{64} 1
0; 0.75	۲۰۱۹۶	x_{21} 1, x_{34} 1, x_{45} 1, x_{52} 1, x_{63} 1
0; 0.25; 0.5; 0.75	۲۰۱۹۶	x_{21} 1, x_{34} 1, x_{45} 1, x_{52} 1, x_{63} 1
0; 0.25; 0.5; 0.75; 1	–	نبود منطقه موجه

الگوریتم پیشنهادی پژوهش. از نظر حل مدل، مدل پیشنهادی یک مدل NP-hard ([۱۷]،[۱۸]،[۳۱].) است و حل چنین مسائلی با استفاده از الگوریتم‌های دقیق بسیار سخت و در مواردی غیرممکن است؛ همچنین با افزایش متغیر و ابعاد، مسئله پیچیده خواهد شد و حل آن با روش‌های مرسوم سخت خواهد بود؛ علاوه بر این در مرحله استوارسازی هر محدودیت فازی به دو محدودیت قطعی تبدیل‌شده و این بر پیچیدگی مسئله می‌افزاید. همین امر باعث افزایش تمایل به استفاده از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری شده است؛ بنابراین برای رفع این مشکل از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مدل استفاده شد.

نحوه نمایش جواب. کروموزوم مسئله یک بردار سطری است که اعداد درون هر خانه زمان شروع هر پروژه را نشان می‌دهد. اگر عدد درون هر خانه خالی باشد، یعنی آن پروژه انتخاب نشده است.

–	۱	۲	۳	٤	–	۲

شکل ۲. نحوه نمایش جواب‌ها در الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم تکاملی تفاضلی (DE). اولین بار استورن و پرایس (۱۹۹۵) الگوریتم تکاملی تفاضلی را معرفی کردند [۲۷]. این الگوریتم همانند سایر الگوریتم‌های تکاملی با جمعیتی از افراد سروکار

دارد که این افراد در فضای ژنتیک همان کروموزوم‌ها و در فضای حل مسئله مقادیر برداری جواب هستند. این الگوریتم جز آن دسته از الگوریتم‌هایی است که با متغیرهای حقیقی[1] کار می‌کند که یکی از نقاط قوت این الگوریتم به‌شمار می‌رود. اجزا و مراحل الگوریتم تکاملی تفاضلی عبارت‌اند از:

۱. ایجاد جمعیت اولیه[2]؛
۲. جهش[3]؛
۳. جابجایی[4]؛
۴. انتخاب بردار والد؛
۵. شرط توقف الگوریتم.

ایجاد جمعیت اولیه. نقطه آغازین الگوریتم، ایجاد اولین جمعیت از افراد است. در این پژوهش هیچ اطلاعاتی از مسئله در دست نیست، جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی با توزیع یکنواخت به‌گونه‌ای تولید می‌شود که متغیرها در داخل محدوده مرزی[5] قرار داشته باشند [۲۸].

عملگر جهش. عملگر جهش در الگوریتم تکاملی تفاضلی برخلاف سایر الگوریتم‌های تکاملی، نقش نسبتاً مهم‌تری نسبت به سایر عملگرها ایفا می‌کند، عملگر جهش نقش ایجاد تنوع[6] در جمعیت را بر عهده دارد که موجب بهبود عملکرد الگوریتم تکاملی تفاضلی دررسیدن به جواب بهینه خواهد شد. الگوریتم تکاملی تفاضلی نام خود را از عملگر جهش تفاضلی خویش گرفته است. وقتی جمعیت اولیه تولید شد، الگوریتم تکاملی تفاضلی نسل اول را جهش داده و جمعیتی با NP عضو (به تعداد جمعیت نسل اولیه) تولید می‌کند؛ درواقع جهش تفاضلی نسبتی از تفاضل دو بردار جواب (بردار اول و دوم) را به یک بردار پایه (بردار سوم) اضافه می‌کند. رابطه زیر نحوه جهش را در الگوریتم نشان می‌دهد:

$$V_{i,g} = x_{r0,g} + F.(x_{r1,g} - x_{r2,g}) \tag{۱۹}$$

فاکتور جهش در الگوریتم تکاملی تفاضلی که همان F است، عددی بزرگ‌تر از صفر و نزدیک به یک است که نسبت سهم بردار تفاضلی در تولید نسل جدید را کنترل می‌کند. بردار پایه x_{r0} می‌تواند از روش‌های مختلفی مانند روش تصادفی، بهترین جواب نسل و غیره انتخاب

1. Real variables
2. Initialization
3. Mutation
4. Crossover
5. Boundaries
6. Diversity

شود. بردارهای اول و دوم تفاضلی نیز تصادفی از بین بردارهای نسل انتخاب می‌شوند. استورن و پرایس (۱۹۹۶) ۱۰ استراتژی مختلف برای عملیات جهش پیشنهاد کرده‌اند.
صورت کلی نوشتار استراتژی‌های مختلف الگوریتم تکاملی تفاضلی به‌صورت $DE/x/y/z$ است که نمادهای آن عبارت‌اند از:
x ـ روش انتخاب بردار والد (کروموزوم والد) است، به‌عنوان مثال در $DE/rand/y/z$ بردار والد به‌صورت تصادفی از میان جمعیت انتخاب می‌شود و یا در $DE/best/y/z$ از بهترین فرد در جمعیت به‌عنوان بردار هدف (اولین بردار یا بردار اصلی در رابطه جهش) استفاده می‌شود؛
y ـ تعداد بردارهای تفاضلی [برداری که از تفاضل دو بردار والد تصادفی در هر یک از استراتژی‌ها به‌دست می‌آید] است که برای آشفته‌کردن بردار والد به‌کار می‌رود. مثلاً در استراتژی $DE/rand/1/bin$ که در جدول ۲ استراتژی شماره ۸ است، تعداد بردارهای تفاضلی یک است $(x_{r1,g} - x_{r2,g})$؛
z ـ نشان‌دهنده مکانیزم جابه‌جایی در الگوریتم تکاملی تفاضلی این عملگر برای ایجاد جمعیت فرزند به‌کار می‌رود، است. به‌عنوان مثال $DE/x/y/bin$ با یک سری آزمایش‌های برنولی فرآیند جابه‌جایی را کنترل می‌کند و درصورتی‌که از جابه‌جایی نمایی استفاده شود تا زمانی که تعداد متغیرها در داخل محدوده پارامتر جابه‌جایی باشد. این عملگر بر روی تمامی متغیرها در یک حلقه اعمال می‌شود [۲۷].

تمامی این استراتژی‌ها بر پایه تفاضل در بردارهای جمعیت به‌منظور ایجاد جهش در بردارهای والد پایه‌گذاری شده است. جدول ۵ این ۱۰ استراتژی و روابطی که بر طبق آن عملیات جهش صورت می‌گیرد را نشان می‌دهد [۱۳]. تفاوت بین این استراتژی‌ها در تعداد بردارهای تفاضلی، مکانیزم جابه‌جایی و نیز تعداد بردارهای والد است.

جدول ۵. استراتژی‌های مختلف برای جهش در DE

استراتژی	فرمول
Strategy 1: DE/best/1/exp	$x_{best}^{(G)} \quad F.(x_{r2}^{(G)} \quad x_{r3}^{(G)})$
Strategy 2: DE/rand/1/exp	$x_{r1}^{(G)} \quad F.(x_{r2}^{(G)} \quad x_{r3}^{(G)})$
Strategy3: DE/rand-to-best/1/exp	$x_{i}^{(G)} \quad .(x_{best}^{(G)} \quad x_{i}^{(G)}) \quad F.(x_{r1}^{(G)} \quad x_{r2}^{(G)})$
Strategy 4: DE/best/2/exp	$x_{best}^{(G)} \quad F.(x_{r1}^{(G)} \quad x_{r2}^{(G)} \quad x_{r3}^{(G)} \quad x_{r4}^{(G)})$
Strategy 5: DE/rand/2/exp	$x_{i}^{(G)} \quad F.(x_{r1}^{(G)} \quad x_{r2}^{(G)} \quad x_{r3}^{(G)} \quad x_{r4}^{(G)})$
Strategy 6: DE/best/1/bin	$x_{best}^{(G)} \quad F.(x_{r2}^{(G)} \quad x_{r3}^{(G)})$
Strategy 7: DE/best/1/exp	$x_{best}^{(G)} \quad F.(x_{r2}^{(G)} \quad x_{r3}^{(G)})$
Strategy 8: DE/rand/1/bin	$x_{r1}^{(G)} \quad F.(x_{r2}^{(G)} \quad x_{r3}^{(G)})$
Strategy 9: DE/best/2/bin	$x_{best}^{(G)} \quad F.(x_{r1}^{(G)} \quad x_{r2}^{(G)} \quad x_{r3}^{(G)} \quad x_{r4}^{(G)})$

عملگر جابه‌جایی. عملیات جابه‌جایی در الگوریتم تکاملی تفاضلی به‌منظور ایجاد جمعیت فرزند از جمعیت آزمایشی به‌کار می‌رود. دو نوع جابه‌جایی در این الگوریتم با نام‌های «جابه‌جایی بینم» و «جابه‌جایی نمایی: انجام می‌شود [۲۷].

فرآیند انتخاب. فرآیند انتخاب در DE با سایر الگوریتم‌های تکاملی متفاوت است. در سایر الگوریتم‌های تکاملی افراد بازمانده برای نسل بعد به‌صورت احتمالی انتخاب می‌شوند؛ درصورتی‌که در الگوریتم تکاملی تفاضلی این انتخاب به‌صورت انتخاب قطعی[۱] بین بردار والد و بردار فرزند با درنظرگرفتن برازش آن دو صورت می‌گیرد [۶]. نکته مهم در فرآیند انتخاب الگوریتم تفاضلی تکاملی این است که با تمامی بردارهای موجود در جمعیت فعلی مقایسه نمی‌شود؛ بلکه تنها با یک بردار متناظر خود مقایسه می‌شود. در صورت برابربودن توابع برازش، به‌دلیل حفظ تنوع در جمعیت، بردار فرزند به نسل بعد انتقال داده می‌شود [۱۳].

شرایط توقف. در این پژوهش شرط توقف هنگامی حاصل می‌شود که الگوریتم به حداکثر تعداد تکرارها رسیده باشد.

---

1. Dead selection

ساختار پیشنهادی الگوریتم تکاملی تفاضلی چندهدفه. شکل ۳ الگوریتم تکاملی تفاضلی چندهدفه پیشنهادی را نشان می‌دهد. در این الگوریتم پیشنهادی در قسمت فرآیند انتخاب اگر بردار فرزند، بردار والد را مغلوب کرد؛ در این صورت بردار فرزند به نسل بعد راه پیدا می‌کند؛ در غیر این صورت بردار والد به نسل بعد منتقل می‌شود و درنهایت پس از پایان الگوریتم جواب‌های غیرمغلوب از نسل آخر استخراج می‌شوند [۱، ۲۳].

```
        1- Initialize the values of k, NP, CR, f.
        2- Generate NP random solutions.
        3- Evaluate function values at these NP solutions.
For (i = 0; i < NP; i++)     Objective_function();
        4- For(i = 0; i < NP; i++)   //Iteration loop starts here.
        {
        Select randomly three distinct individuals X_r1, X_r2 and X_r3, and also different from
target individual X_i.
        Select non-dominated best of these three as base vector ( X_rb) for mutation process.
        Generate a donor individual V_i using mutation equation
        Generate a trial individual U_i using crossover between V_i and X_i by equation 21.
        Evaluate function value at this U_i.
Objective_function();
        Non-dominated checking of trial individual U_i with target individual X_i.
If(U_i dominate X_i)
        Replace X_i by U_i in current population.
        }// Iteration loop ends here
```

شکل ۳. شبه کد الگوریتم پیشنهادی تکاملی تفاضلی چندهدفه [۱]

تحلیل داده‌های مورد مطالعه

این پژوهش از منابع و اطلاعات کتابخانه‌ای و سازمانی در شرکت گاز استان کرمان (نقشه‌های اتوکد و نقشه‌های طراحی‌شده روستایی) برای انتخاب سبد پروژه روستایی در شرکت گاز استفاده کرده است.

کلیه نتایج بااستفاده از نرم‌افزار متلب[1] در یک سیستم نوت‌بوک با پردازنده اینتل دو هسته با پردازش ۲ گیگاهرتز و حافظه (رم) ۲ گیگابایت و سیستم‌عامل (ویندوز) مایکروسافت ۷ انجام شده است. نتایج نهایی تنظیم پارامترها به‌صورت تجربی در مسائل به‌شرح جدول ۶ است.

1. Matlab

جدول ۶. نتایج تنظیم پارامترها الگوریتم تکاملی تفاضلی چندهدفه

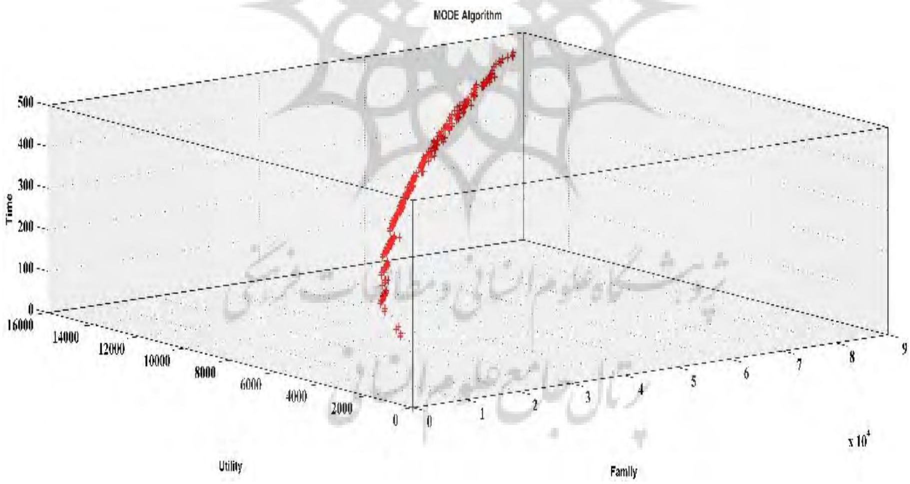
تعداد تکرار الگوریتم	جمعیت اولیه	فاکتور ترکیب	فاکتور جهش
۱۰۰	۳۰	۰/۷	۰/۳

سبد پروژه‌های گازرسانی روستایی. در این پژوهش، ایجاد یک سبدی بهینه و کارا از پروژه گازرسانی روستایی در شرکت گاز استان کرمان مدنظر است. وسعت مدل مثال واقعی این پژوهش به‌صورت جدول ۷ است.

جدول ۷. تعیین پارامترهای مسئله‌ی پروژه‌های روستایی (مسئله سایز بزرگ)

اندیس‌های مدل	مقادیر	اندیس‌های مدل	مقادیر
j: تعداد پروژه	۲۳	i: نوع لوله	۲
t: تعداد دوره زمانی	۵	s: نوع ایستگاه تقلیل فشار	۲
k: اهداف	۳	l: نوع انشعاب	۱
تعداد پارامترهای نامطمئن فازی	۱۲۰	تعداد پارامترهای نامطمئن	۱۲۰
تعداد برش آلفا ( )	۴		

مدل ریاضی پیشنهادی پژوهش به ازای چهار برش   (۰؛ ۰/۲۵؛ ۰/۵؛ ۰/۷۵) حل شد. در این قسمت، پارامترهای ورودی نامطمئن به‌شکل عدد فازی نامتقارن در نظر گرفته شد. طی ۱۰۰ تکرار، ۲۶۲ جواب پارتو در جبهه پارتو به‌دست آمد که در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴. جبهه پارتو الگوریتم تکاملی تفاضلی چندهدفه در مسئله پروژه‌های روستایی

انتخاب بهترین جواب پارتو (بهترین سبد پروژه‌های روستایی) بااستفاده از روش تاپسیس[1]. تسو (۲۰۰۸) در پژوهشی باعنوان «یک مدل برنامه‌ریزی موجودی کالا چندهدفه و حل آن با الگوریتم بهینه ذرات و تاپسیس» جواب‌های پارتو را بااستفاده از روش تاپسیس الویت‌بندی کرد. با توجه به اینکه تعداد زیادی جواب‌های پارتو در جبهه پارتو وجود دارد و به‌منظور کمک به تصمیم‌گیری در انتخاب سبد پروژه روستایی، جواب‌های پارتو از روش تاپسیس الویت‌بندی می‌شوند. کدنویسی این روش در محیط «متلب» انجام شد. معیارهای درنظرگرفته‌شده برای ارزیابی جواب‌های پارتو عبارت‌اند از: تابع هدف اول، تابع هدف دوم، تابع هدف سوم، تعداد پروژه‌های انتخابی در افق زمانی و تعداد پروژه در هر دوره زمانی که با توجه به اینکه پنج دوره زمانی وجود دارد، در کل ۹ معیار در نظر گرفته‌شده است. نتایج به دو صورت، وقتی تمام معیارها بی‌وزن بوده و درصورتی‌که دارای وزن باشند، ارائه‌شده است. وزن معیارها از نظر ۱۰ نفر از خبرگان بااستفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به‌صورت زیر در نظر گرفته شده است. اعداد جدول ۸ خروجی نرم‌افزار Expert Choice را نشان می‌دهد.

جدول ۸. وزن معیارهای درنظرگرفته‌شده روش AHP

معیار	هدف۱	هدف۲	پروژه‌های انتخابی	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ٤
وزن	۰/۴۷۶	۰/۲۲۴	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

در حالت وزن‌دار با توجه به ۲۶۲ جواب پارتو یافت شده جواب پارتو ۱۸۶ به‌عنوان بهترین جواب با ضریب مطلوبیت ۰/۶۹ و بعد از آن جواب‌های ۱۸۸ و ۱۹۲ با ضریب مطلوبیت ۰/۵۸ و ۰/۵۷ انتخاب‌شده‌اند. جواب پارتو ۱۸۶ به‌صورت جدول ۹ است.

جدول ۹. بهترین پارتو در حالت وزن‌دار پروژه‌های روستایی

شماره پروژه	**۱**	**۲**	**۳**	**٤**	**۵**	**٦**	**۷**	**۸**	**۹**	**۱۰**	**۱۱**	
زمان شروع	۲	–	۳	۳	۴	۲	–	–	۲	۲	۵	
شماره پروژه	**۱۲**	**۱۳**	**۱٤**	**۱۵**	**۱٦**	**۱۷**	**۱۸**	**۱۹**	**۲۰**	**۲۱**	**۲۲**	**۲۳**
زمان شروع	۵	۲	–	۱	۱	۳	۴	۱	۵	۳	۴	۴

در حالت بی‌وزنی با توجه به ۲۶۲ جواب پارتو یافت‌شده، جواب پارتو ۱۳۹ به‌عنوان بهترین جواب با ضریب مطلوبی ۰/۶۲ و بعد از آن جواب‌های ۲۲۲ و ۱۲۱ با ضریب مطلوبیت ۰/۶۱ و ۰/۵۵ انتخاب‌شده‌اند. جواب پارتو ۱۳۹ به‌صورت جدول ۱۰ است.

1. TOPSIS

جدول ۱۰. بهترین پارتو در حالت بی‌وزنی پروژه‌های روستایی

شماره پروژه	۱	۲	۳	٤	٥	٦	٧	٨	٩	۱۰	۱۱	
زمان شروع	۲	–	۳	۲	۴	۳	۵	۴	۲	۱	۵	
شماره پروژه	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
زمان شروع	۱	۴	–	۲	۵	۲	۴	۵	–	۳	۴	۴

بررسی اعتبار و عملکرد روش حل. برای ارزیابی اعتبار و عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه پیشنهادی، مسئله پژوهش با الگوریتم فراابتکاری جست‌وجوی ممنوعه چندهدفه نیز حل[1] شد. در ابتدا صحت و اعتبار الگوریتم پیشنهادی پژوهش بر اساس معیارهای درنظر گرفته‌شده بررسی شد و سپس بر اساس معیارهای دو الگوریتم از نظر عملکرد با هم مقایسه شدند. معیارهای درنظرگرفته‌شده عبارت‌اند از: تعداد جواب پارتو[2]، معیار فاصله از جواب ایده‌آل[3]، معیار تنوع[4] و معیار زمان[5].

تعداد جواب پارتو. مقدار معیار تعداد جواب پارتو نشان‌دهنده تعداد جواب‌های بهینه پارتو هستند که در هر الگوریتم می‌توان یافت. هر چه این معیار بیشتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود [۳۴].

معیار فاصله از جواب ایده‌آل. این معیار به‌منظور محاسبه میانگین فاصله جواب‌های پارتو از مبدأ مختصات استفاده می‌شود. در رابطه ۲۰ مشخص است که هر چه این معیار کمتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود [۳۴].

$$MID = \frac{1}{NOS}\sum_{i=1}^{NOS} c_i \quad where \quad c_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} f_{ji}^2} \qquad (۲۰)$$

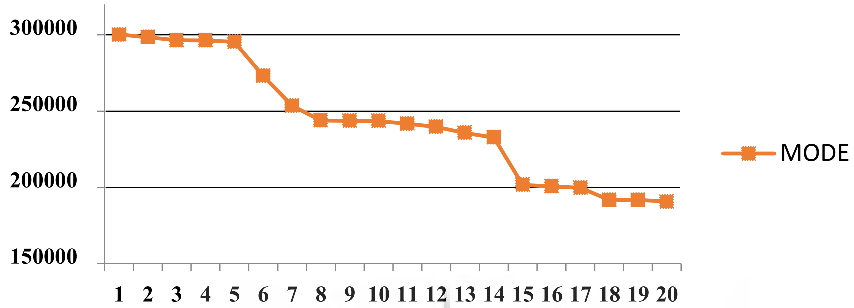
معیار تنوع. این معیار، که توسط زیتلر (۱۹۹۵) ارائه‌شده است، طول قطر مکعب فضایی که توسط مقادیر انتهایی اهداف برای مجموعه جواب‌های نامغلوب به‌کار می‌رود را اندازه‌گیری می‌کند. رابطه ۲۱ رویه محاسباتی این شاخص را نشان می‌دهد [۳۳]. این معیار هر چه بیشتر بهتر است.

1. Multi Objective Tabu Search
2. Number Of Pareto Metric
3. Mean Ideal Distance
4. Diversity
5. Time

$$D \quad \sqrt{\sum_{j \; 1}^{m} (\max_{i} f_i^j \quad \min_{i} f_i^j)^2} \qquad (۲۱)$$

معیار زمان. زمان اجرای الگوریتم نیز به‌عنوان معیار ارزیابی کیفیت در نظر گرفته می‌شود.

بررسی صحت و اعتبار الگوریتم نیز با توجه به بهبود این معیارها در حین اجرای الگوریتم صورت گرفت. روند بهبود برای معیار فاصله از جواب ایده‌آل در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۵. روند بهبود معیار فاصله از جواب ایده‌آل (MID) الگوریتم‌های تفاضلی چندهدفه

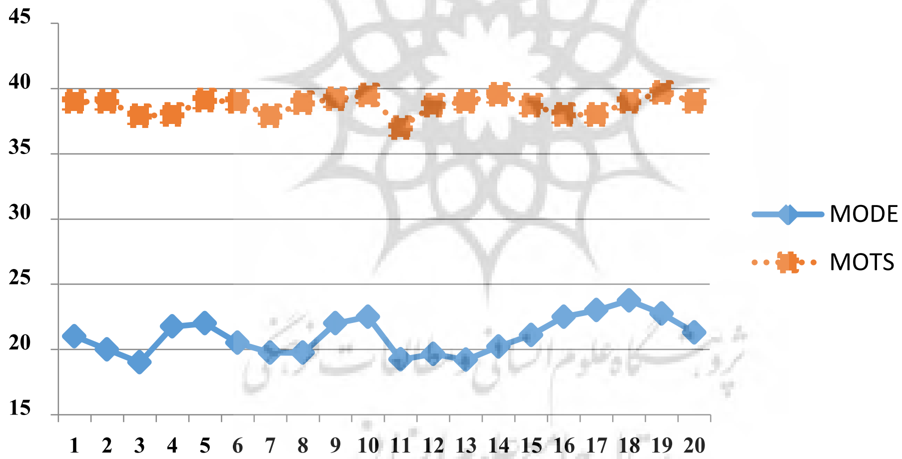
برای مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها هر کدام از الگوریتم‌ها ۲۰ مرتبه اجرا شد. برای آزمون نرمال‌بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف ـ اسمیرنوف (K-S) که اگر مقدار P-Value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد، داده‌ها نرمال است و برای مقایسه دو الگوریتم از آزمون فرض برابری میانگین دو جامعه دوطرفه (آزمون t دوطرفه مستقل) استفاده شد؛ به‌طوری‌که فرض صفر برابری میانگین‌های معیار ارزیابی در دو الگوریتم با سطح اطمینان ۹۵٪ در نظر گرفته شد. اگر P-Value به‌دست‌آمده کوچک‌تر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر رد شده و می‌توان نتیجه گرفت، بین معیارهای ارزیابی عملکرد دو الگوریتم، تفاوت معنادار وجود دارد و برعکس.

$$\begin{aligned} H_0 &: \; metric_{MODE} \qquad metric_{MOTS} \\ H_1 &: \; metric_{MODE} \qquad metric_{MOTS} \end{aligned} \qquad (۲۴)$$

جدول ۱۱. بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی پژوهش

شاخص	الگوریتم	P-Value (آزمون K-S)	نرمال	مقدار t	P-Value (آزمون t)	تفاوت معنی‌دار	الگوریتم برتر
تعداد پارتو	MODE	۰/۰۸۶	بلی	۱/۷۸	۰	بلی	MODE
	MOTS	۰/۰۷۷۵					
فاصله از جواب ایدال	MODE	>۰/۱۵۰	بلی	۳/۵۶	۰	بلی	MODE
	MOTS	>۰/۱۵۰					
تنوع	MODE	>۰/۱۵۰	بلی	۷/۸	۰	بلی	MODE
	MOTS	>۰/۱۵۰					
زمان	MODE	>۰/۱۵۰	بلی	-۶/۸	۰	بلی	MODE
	MOTS	>۰/۱۵۰					

همان‌طورکه مشاهده می‌شود با توجه به جدول ۱۱، مقدار P-Value در آزمون فرض برابری میانگین دو جامعه دوطرفه کوچک‌تر از ۰/۰۵ است؛ درنتیجه دو الگوریتم بر اساس معیارهای مقایسه در عملکرد تفاوت معناداری دارند. در هر یک از معیارها، الگوریتم تفاضلی چندهدفه نسبت به الگوریتم جست‌وجوی ممنوعه چندهدفه، عملکرد بهتری دارد. برای مثال معیار زمان هرچه کمتر باشد، بهتر است که شکل ۶ نشان می‌دهد الگوریتم تفاضلی چندهدفه از نظر زمان عملکرد بهتری داشته است.



شکل ۶. مقایسه معیار زمان اجرا (ثانیه) الگوریتم‌های MODE و MOTS

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش مسئله انتخاب سبد پروژه گازرسانی روستایی در شرکت گاز استان کرمان بررسی سد. ابتدا شاخص‌های تأثیرگذار بر روی پروژه‌های گازرسانی بااستفاده از پیشینه پژوهش و مصاحبه با خبرگان، استخراج و سپس مدل ریاضی فازی چندهدفه پژوهش با توجه به معیارهای متضاد در انتخاب پروژه و همچنین عدم‌اطمینان فازی موجود در پروژه‌های گازرسانی، ارائه شدا. در این مدل سه هدف متضاد: تعداد خانوار، زمان انجام پروژه و مطلوبیت پروژه، لحاظ و پارامتر هزینه به‌عنوان پارامتر نامطمئن فازی در نظر گرفته شد. به‌منظور حل مدل از رویکرد استوار فازی استفاده شد که در این رویکرد می‌توان از تمام سطوح برش آلفای مدنظر تصمیم‌گیرنده استفاده کرد. ابتدا برای نمایش عملکرد روش استوار فازی، مدل پژوهش در قالب یک مسئله کوچک تک هدفه توسط نرم‌افزار لینگو حل شد؛ سپس برای حل مدل از الگوریتم تکاملی تفاضلی چندهدفه استفاده شد. در پایان برای تسهیل در تصمیم‌گیری درزمینه انتخاب سبد روش تاپسیس به‌منظور انتخاب پارتو از میان جبهه پارتو به‌کار رفت که با توجه به ترجیحات تصمیم‌گیرنده سبد مناسب مشخص شد. با توجه به نتایج در حالت وزن‌دار، پارتو ۱۸۶ به‌عنوان مناسب‌ترین پارتو و در حالت بی‌وزنی پارتو ۱۳۹ به‌عنوان پارتو مناسب انتخاب شد. اعتبار و عملکرد الگوریتم پیشنهادی پژوهش موردبررسی قرار گرفت. بااستفاده از الگوریتم فراابتکاری جست‌وجوی ممنوعه چندهدفه به‌عنوان الگوریتم رقیب مسئله پژوهش دوباره حل و با الگوریتم پیشنهادی پژوهش مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی از نظر معیارهای درنظرگرفته‌شده بهتر عمل کرده است و همچنین الگوریتم پیشنهادی دارای صحت و اعتبار لازم است.

توصیه می‌شود در پژوهش‌های آتی از سایر الگوریتم‌های فراابتکاری مانند جست‌وجوی ممنوعه چندهدفه دیفرانسیله و الگوریتم کرم‌های شب‌تاب چندهدفه که قابلیت کاربرد برای حل چنین مسئله‌ای را دارا هستند ،استفاده شود و نتایج با الگوریتم استفاده‌شده در پژوهش حاضر مقایسه شود؛ همچنین روابط غیرخطی میان پروژه‌ها (سینرژی) در مدل ریاضی دیده شود.

منابع

۱. براجعه، میثم. (۱۳۹۲). *بهینه‌سازی سبد پروژه با سناریوهای مختلف*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده صنایع دانشگاه تهران، استاد راهنما: دکتر یقچالی.

۲. پور کاظمی، م؛ فتاحی، م؛ مظاهری، س. (۱۳۹۲). بهینه‌سازی سبد پروژه‌های با اثر متقابل با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری(ICA). *مدیریت صنعتی تهران، ۵*، ۱–۲۰.

۳. ربیعه، م. (۱۳۸۹). *طراحی مدل ریاضی استوار زنجیره تأمین*. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مدیریت، استاد راهنما: دکتر عادل آذر.

۴. سلامی، ز؛ نادری، ب؛ توکلی‌مقدم، ر. (۱۳۹۲). استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی چندمنظوره برای حل مسئله انتخاب سبد پروژه پژوهش و توسعه در صنایع خودروسازی. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۹*، ۱۴۷–۱۶۷.

۵. فارسیجانی، ح؛ فتاحی، م؛ نوروزی، م. (۱۳۹۱). انتخاب سبد پروژه با اثر متقابل، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات(PSO) و دینامیک آشوبی. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۵*، ۲۷–۴۸.

6. Bergey, P., Ragsdaleb, C. (2005). Modified differential evolution: A greedy random strategy for genetic recombination. *Management Science*, 255-265

7. Bhattacharyya, R., Kumarb, P., & Kar, S. (2011). Fuzzy R & D portfolio selection of interdependent projects. *Computers and Mathematics with Applications, 62,* 3857˚ 3870

8. Fliege, J; & Werner, R. (2013). Robust multi objective optimization & applications in portfolio optimization. *European Journal of Operational Research, 13,* 340-351

9. Forouzanfar, M; Doustmohammadi, Menhaj, M; Hasanzadeh, S. (2010). Modeling and estimation of the natural gas consumption for residential and commercial sectors in Iran. *Applied Energy, 87(1),* 268-278

10. Ghahtarani, A; & Amir Abbas, N. (2013). Robust goal programming for multi-objective portfolio selection problem. *Economic Modelling, 33,* 588-592

11. Ghasemzadeh, F., Archer, N., & Iyogun, P. (1999). A Zero-One Model for Project Portfolio Selection and Scheduling. *The Journal of the Operational Research Society, 50(7), 745*-755.

12. Ghorbani, S., & Rabbani, M. (2009). A new multi-objective algorithm for a project selection problem. *Advances in Engineering Software, 40,* 9-14.

13. Gnoni, M.G., Lavagnilio, R., Mossa, G., Mummolo, G., Leva, A.D. (2003). Production of a multisite manufacturing system by hybrid modeling: A case study from the automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 251-262

14. Hassanzadeh, F., Nemati, H., & Sun, M. (2014). Robust optimization for interactive multiobjective programming with imprecise information applied to R&D project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, *Article in press, XX-XX.*

15. Hu, G., Wang, L., Fetch, S., & Bidanda, B. (2008). A multi-objective model for project portfolio selection to implement lean and Six Sigma concepts. *International Journal of Production Research, 46 (23),* 6611-6625

16. Inuiguchi, M., Sakawa, M., (1998). Robust optimization under softness in a fuzzy linear programming problem. *International Journal of Approximate Reasoning, 18,* 21˚ 34.

17. Khalil-Damghani, K., & Tavana, M. (2014). A Comprehensive Framework for Sustainable Project Portfolio Selection Based on Structural Equation Modeling. *Project Management Journal, 45 (2),* 82-97.

18. Khalili-Damghani, K., Tavana, M., & Sadi-Nezhad, S. (2012). An integrated multi-objective framework for solving multi-period project selection problems. *Applied Mathematics and Computation, 219,* 3122˚ 3138.

19. Khalili-Damghania, Kaveh, Nojavana, M., & Tavanab, M. (2013). Solving fuzzy Multidimensional Multiple-Choice Knapsack Problems: The multi-start Partial Bound Enumeration method versus the efficient epsilon-constraint method. *Applied Soft Computing, 13*, 1627˚ 1638.

20. Lang, M. J. (1990). Project management in the oil industry. *International Journal of Project Management, 8(3),* 159˚ 162

21. Li, Y.P., Huang, G.H., Nie, X.H., Nie. S.L., (2008). A two-stage fuzzy robust integer programming approach for capacity planning of environmental management systems. *European Journal of Operational Research, 189,* 399˚ 420.

22. Liesio, J; Mild, P; & Salo, A. (2008). Robust portfolio modeling with incomplete cost information. *European Journal of Operational Research, 190,* 679˚ 695.

23. Musrrat, A., Patrick, S. (2012). An efficient Differential Evolution based algorithm for solving multi-objective optimization problems. *European Journal of Operational Research, 217(2),* 404˚ 416

24. Nie, X.H., Huang, G.H., Li, Y.P., liu, L., (2007). IFRP: A hybrid interval-parameter fuzzy robust programming approach for waste management planning under uncertainty. *Journal of Environmental Management, 87,* 1-11.

25. Pemsel, S., Wiewiora, A., & Müller, R. (2014). A conceptualization of knowledge governance in project-based organizations. *International Journal of Project Management, 32 (4),* 1411˚ 1422.

26. Rabbani, M., Tavakoli Moghadam, R., Jolaei, F., & Ghorbani, H. R. (2012). A Comperehnsive Model for R and D Project Portfolio Selection with Zero-One Linear Goal Programming. *IJPMA,* 325-333.

27. Storn, R., Price, k. V. (1996). Minimizing the real functions of the ICEC 96 contest by differentian evolution. *IEEE International Conference on Evolutionary Computation,* 842-844

28. Storn, R., Price.K. V. (1997). Differential evolution- A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous space, *Global Optimization,* 341-359

29. Viktorovna, N. (2012). *Genetic Algorithms for multicriteria project selection and scheduling.* Ph.D Thesis, North Carolina State University

30. Rad, P. F., & Levin, G. (2006). *Project Portfolio Management: Tools and Techniques (1st Ed.).* N.Y: Judith W. Umlas, 47-49

31. Tavana, M; Khalili dameghani, K; & Abtahi, A. (2013). A fuzzy multidimensional multiple-choice knapsack model for project portfolio selection using an evolutionary algorithm. *Annals of Operations Research, 206,* 449-483

32. Tsou, Ching-Shih. (2008). Multi-objective inventory planning using MOPSO and TOPSIS. Expert Systems with Applications, 35, 136˚ 142

33. Zitzler, E. (1999). Evolutionary Algorithms for multi-objective optimization: method and applications, P.h.D Thesis, dissertation ETH NO. 13398, Swaziland Federal Institute of Technology Zorikh, Switzerland.

34. Zitzler, E; Deb, K; Thiele, L. (2000). Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: empirical results, Evolutionary Computation journal, 8(2), 125-148