ارائهٔ مدل چندهدفهٔ فازی برای انتخاب سبد پروژه‌های سبز با درنظرگرفتن تورم (مطالعهٔ موردی: پروژه‌های حمل‌ونقل ریلی)

روزبه عزیزمحمدی[1*]، میثم جعفری اسکندری[1]، نگار حق‌نظری[2]

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام‌نور، تهران

۲. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه پیام‌نور واحد تهران شمال

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۱۷، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۷/۰۶/۰۷، تاریخ تصویب: ۹۷/۰۷/۱۵)

چکیده

انتخاب مجموعهٔ نمونهٔ پروژه، فرایندی پیچیده است که بسیاری از عوامل و ملاحظات را از زمانی که پیشنهاد شده است تا زمانی که پروژه به اتمام می‌رسد دربرمی‌گیرد. با توجه به اینکه انتخاب خوب اهمیتی حیاتی دارد، استفاده از مدل‌های ریاضی معتبر برای هدایت سازمان به هدف نهایی آن ضروری است. برای دستیابی به این هدف، چنین مدل‌هایی باید تا حد ممکن هر دو وضعیت واقعی سازمان و اهداف و ترجیحات آن را منعکس کنند. با این حال، از آنجا که فرایند انتخاب و اجرای پروژه‌های حمل‌ونقل در محیط واقعی و نه در آزمایشگاه‌ها صورت می‌گیرد، اطمینان‌نداشتن و کمبود دانش درمورد برخی داده‌ها همیشه مسئله‌ای مهم است. هدف این مقاله ارائهٔ مدل چندهدفهٔ فازی با درنظرگرفتن عدم قطعیت در متغیرهای بودجه، زمان مورد نیاز برای اتمام پروژه، آلودگی‌های زیست‌محیطی، خطر و کیفیت است. همچنین در این مدل، حداقل‌کردن آلودگی زیست‌محیطی، حداکثرکردن کیفیت، حداقل‌کردن ریسک و هزینهٔ پروژه‌ها تحت تورم در اهداف مسئله درنظر گرفته و برای بیان عدم قطعیت‌ها نیز از پارامترهای فازی استفاده شده است. با توجه به NP-Hard بودن مدل، روش‌های فراابتکاری برای حل مدل کاربرد دارد. بدین‌منظور مدل ارائه‌شده با الگوریتم ازدحام ذرات حل شد. درنهایت نیز برای سنجش کارایی الگوریتم، مقایسهٔ نتایج با الگوریتم ژنتیک صورت گرفت. براساس نتایج اجرای مدل دربارهٔ داده‌های چهارده پروژهٔ کلان حمل‌ونقل ریلی کشور، سه پروژهٔ اولویت‌دار برای شهرهای کرج، اصفهان و شیراز بالاترین اولویت را دارد و براساس مؤلفه‌های مدل از اهمیت بسیاری در روان‌سازی ترافیک‌های شهری برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ازدحام ذرات، برنامه‌ریزی چندهدفه، سبد پروژه‌های سبز، عدم قطعیت، منطق فازی.

مقدمه

پروژه‌ها ابزار تغییرات سازمان‌ها هستند. هر سازمانی که بخواهد کسب‌وکار خود را تغییر دهد، نیازمند پروژه است. امروزه شرکت‌های پروژه‌محور افزایش یافته است که در بیشتر موارد به مقصد نرسیده‌اند و دورهٔ بلوغ کوتاهی دارند. تصمیم‌گیری در انتخاب پروژه، بهترین زیرمجموعه و سبد پروژه هم‌سو با اهداف شرکت در زمینهٔ هدایت پایدار، از مهم‌ترین و چالش‌برانگیزترین مسائل برای مدیران است [۱].

تکنیک‌های گوناگونی برای ارزیابی و انتخاب سبد پروژه وجود دارد که بسیاری از آن‌ها به‌دلیل پیچیدگی کاربرد ندارند. گاهی نیز سبد پروژهٔ نامناسبی انتخاب می‌شود. در چنین شرایطی، منابع مالی، منابع انسانی و فناورانه سازمان‌های پروژه‌محور صرف اموری می‌شود که معلوم نیست در بهبود وضعیت سازمان در محیط کسب‌وکار مؤثر باشند.

سبد پروژه‌ها یکی از مهم‌ترین مباحث مدیریت پروژه با هدف سوددهی و منفعت سازمان محسوب می‌شود و بر این ایده استوار است که شرکت‌ها نباید بر مدیریت مستقل پروژه‌ها و اهداف خاص آن تمرکز کنند، بلکه باید تمام پروژه‌ها را به‌عنوان نهادی واحد با اهداف مشترک مدیریت کنند [۲].

در بسیاری از سازمان‌های خصوصی و دولتی انبوهی از پروژه‌های تعریف‌شده و کلیدخورده وجود دارند که برای اجرای آن‌ها به هزینه‌هایی بالغ بر ۱۰ برابر بودجهٔ تصویب‌شدهٔ این ارگان‌ها نیاز است. درنهایت نیز بسیاری از این پروژه‌ها بدون توجیه اقتصادی و با صرف هزینهٔ گزاف به اتمام می‌رسند. افزایش پژوهش در دهه‌های اخیر نشان‌دهندهٔ اهمیت موضوع انتخاب پروژه است؛ به‌گونه‌ای که براساس بررسی کیلن و همکاران در سال ۲۰۰۷، تعداد مقالات از ۲ مقاله در سال ۲۰۰۰-۲۰۰۱ به ۳۵ مقاله در سال ۲۰۰۵-۲۰۰۷ رسیده است [۱].

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۴۸۶۹۹۵

Email: roozbeh_mie@yahoo.com

تصمیم‌گیران ارشد سازمان باید از میان گزینه‌های موجود، آن‌هایی را انتخاب کنند که علاوه‌بر هم‌سویی با اهداف راهبردی سازمان، بیشترین منفعت را به سازمان می‌رسانند و به اهداف موردنظر نزدیک‌تر می‌شوند. به‌منظور آسان‌کردن، سرعت‌بخشیدن و دقیق‌ترکردن این‌گونه انتخاب‌ها، تاکنون روش‌های گوناگونی ارائه شده است. باید توجه داشت که در روش‌های سنتی تصمیم‌گیری چندمعیاره [۳] نمی‌توان برخی محدودیت‌های سیاسی و منطقی را درنظر گرفت. همچنین لزومی نیست که تصمیم‌گیران از ارضای محدودیت‌های ذکرشده اطمینان داشته باشد؛ زیرا نمی‌توانند به‌صورت مطلوب به تصمیم‌گیران ارشد سازمان کمک کنند [۴].

مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی بدلیل انعطاف‌پذیری زیاد برای درنظر گرفتن انواع محدودیت‌ها، در فضای انتخاب سبد پروژه رواج یافته‌اند [۵]. براین‌اساس، رایج‌ترین روش، استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح یا به‌طور خاص برنامه‌ریزی صفر و یک است که در آن متغیر تصمیم صفر و یک برای هر پروژه درنظر گرفته می‌شود؛ یعنی اگر پروژه انتخاب شود، متغیر مقدار یک و در غیر این صورت صفر خواهد گرفت. برای حالات تک‌هدفه مدل‌هایی به‌کمک روش‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح و عدد صحیح مختلط تدوین شده‌اند [۶]. همچنین درمورد استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی صفر و یک نیز موارد رایجی در حوزه‌های علمی گوناگون از جمله سیستم‌های اطلاعاتی [۷] و کاربردهای صنعتی [۸] وجود دارند.

امروزه حمل‌ونقل یکی از نیازهای ضروری جوامع شهری و یکی از بخش‌های زیربنایی اقتصاد است که بر فرایند توسعهٔ اقتصادی تأثیر می‌گذارد. همچنین از مهم‌ترین کلیدهای توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی است. سیستم‌های حمل‌ونقل کارآمد و منظم در هر جامعه‌ای به ایجاد موقعیت‌ها و منافع اقتصادی و اجتماعی کمک می‌کنند. در حال حاضر، توسعهٔ حمل‌ونقل عمومی با محوریت مترو در شهرهای بزرگ جزو اولویت‌های کشور قرار گرفته است [۹].

جهان پیرامون ما آمیخته‌ای از محدودیت‌های گوناگون است که هریک به شکلی بر تصمیم‌های ما اثرگذارند؛ بنابراین سازمان‌هایی پیش‌رو هستند که بتوانند در کنار محدودیت‌هایی مانند بودجه، تورم، نیروی متخصص، زمان، تغییر قوانین و... بهترین تصمیم‌گیری را در جهت اهداف راهبرد خود صورت دهند. در مدل ارائه‌شدهٔ محدودیت‌های زیست‌محیطی، در کنار اهدافی مانند کاهش غلظت آلاینده‌های تولیدی و کاهش هزینه‌های تأمین تجهیزات تحت تورم، کاهش ریسک و افزایش کیفیت درنظر گرفته شده است. در ادامه، توضیحات مختصری درمورد مفاهیم پایه ارائه و مدل ریاضی با رویکرد حمل‌ونقل پایدار شرح داده می‌شود. همچنین مدل مذکور با توجه به عدم‌قطعیت پارامترها به‌صورت بازه‌ای بیان می‌شود.

پیشینهٔ پژوهش

در حوزهٔ مطالعات دانشگاهی و مرتبط با مدیریت سبد پروژه‌ها، مقالاتی در کنفرانس‌های بین‌المللی، نشریات خارجی و داخلی ارائه شده است که در ادامه خلاصه‌ای از آن‌ها بیان می‌شود:

قاسم‌زاده و ارچر (۱۹۹۹) چارچوبی سازمان‌یافته را در سبد پروژه ایجاد کردند و در نرم‌افزار مدل بیشینه‌سازی سود را مدنظر قرار دادند. نتیجهٔ نهایی نرم‌افزار ماتریس ۳*۳ زمان تکمیل پروژه (کوتاه-متوسط-زیاد) و سطح ریسک (کوتاه-متوسط-زیاد) سطر و ستون آن را تشکیل دادند و با رسم دایره‌هایی سبد پروژهٔ بهینه، وضعیت نیروی انسانی، پول و... را در هر سبد پروژه مشخص کردند [۱۰].

لئو (۲۰۱۱) دربارهٔ بهینه‌سازی فازی سبد سرمایه‌گذاری به‌طوری‌که بازگشت سرمایه با اعداد فازی نشان داده می‌شود، بحث می‌کند. در مقالهٔ او مبحث ریسک و جنبهٔ مالی مدنظر قرار دارد و به پورتفولیوهای سرمایه‌گذاری در شرایط عدم اطمینان پرداخته می‌شود. همچنین بررسی اعتبار مدل در سازمان بورس تایوان صورت می‌گیرد [۱۱].

پیورناس و بودیا (۲۰۱۴) طرحی برای اولویت‌بندی پروژه، شامل چندین معیار مرتبط با فرصت‌های پروژه و مؤثر بر اهداف سازمانی (درآمد، هزینه، نرخ بازگشت سرمایه، جریان نقدی و مدت اجرای پروژه) و تخمین ریسک پروژه را ارائه دادند [۱۲]. رجینالدو (۲۰۱۵) پیشنهاد ارزیابی و بالانس پورتفولیویی از پروژه‌ها را با ابزار پشتیبان برای تصمیم‌گیری چندمعیاره با هدف کاهش ریسک داخلی و افزایش سودآوری مدنظر قرار داد [۱۳].

مهلوات (۲۰۱۶) در پژوهش خود به بررسی مشکلات انتخاب فازی پورتفولیو پرداخت. برای دستیابی به راهبرد سرمایه‌گذاری کارآمد برای همه، افق سرمایه‌گذاری رویکرد استفاده از برنامه‌ریزی احتمالی فازی را ارائه داد [۱۴].

جدول ۱. خلاصهٔ پژوهش‌های پیشین

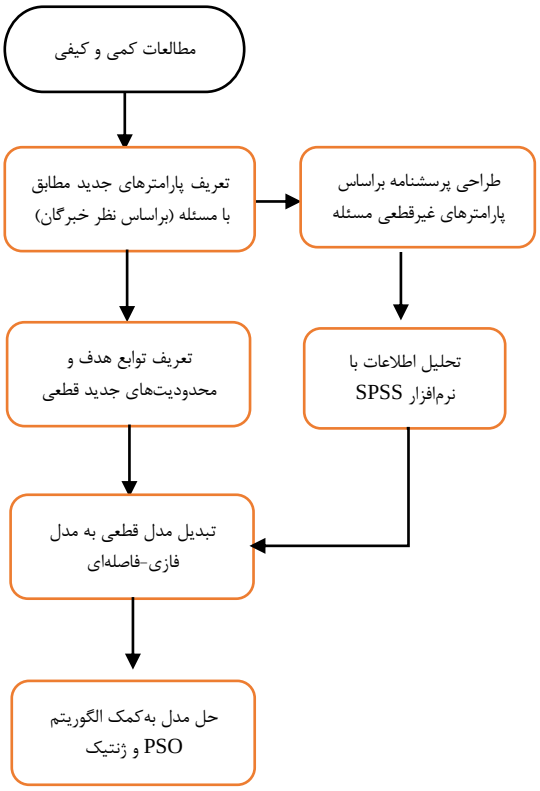
ردیف	نام نویسندگان	سال پژوهش	رویکرد			اهداف				پارامترها		
			قطعی	غیرقطعی: احتمالی	غیرقطعی: فازی	کاهش ریسک	کاهش آلایندگی	حمل‌ونقل پایدار	تورم	ریسک	آلاینده‌ها	بودجه
۱	گاپتا و همکاران [۱۵]	۲۰۰۸			✓	✓				✓		✓
۲	یو و لی [۱۶]	۲۰۱۱			✓	✓				✓		
۳	رحمانی و همکاران [۱۷]	۲۰۱۲		✓		✓				✓		
۴	نصیف و همکاران [۱۸]	۲۰۱۳			✓	✓				✓		
۵	وازابیل و همکاران [۱۹]	۲۰۱۴	✓			✓				✓		
۶	خسروی [۲۰]	۱۳۹۳			✓	✓				✓		
۷	زیکوانگ زنگ و همکاران [۲۱]	۲۰۱۵			✓	✓				✓		
۸	مهلوات [۱۴]	۲۰۱۶		✓	✓							
۹	یانگ لی و کونگ لی [۲۲]	۲۰۱۷			✓			✓			✓	✓
۱۰	پرز و همکاران [۲۳]	۲۰۱۸			✓	✓					✓	✓
۱۱	ژای و بای [۲۴]	۲۰۱۸		✓		✓						✓
۱۲	پژوهش حاضر				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

عمده تحقیقات در خصوص ایجاد و بهینه‌سازی سبد پروژه‌ها برای پروژه‌های تحقیق و توسعه و سرمایه‌گذاری اوراق بهادار انجام شده است و از مفهوم اولیه پورتفولیو مارکویتز در خصوص سهام و سبد سهام استفاده کرده‌اند. این در حالی است که به دلیل ماهیت اجرایی در سازمان‌های پروژه محور متنوع‌سازی و استفاده از سبد پروژه مهم و حیاتی است. همچنین پروژه‌های اجرایی به‌دلیل ماهیت پیچیده و پویا با عدم قطعیت و ریسک مواجه هستند. به همین دلیل بررسی‌های جدید به‌سوی موضوع عدم قطعیت سوق یافته‌اند. در جدول مقایسه‌ای ۱ مطالعات پیشین تحلیل و نوآوری پژوهش حاضر آمده است.

روش پژوهش

فرایند پژوهش و طراحی مدل در شکل ۱ آمده است. پس از مطالعات کیفی، کمی، کاربردی و کتابخانه‌ای و دریافت دیدگاه‌های استادان دانشگاه و خبرگان صنعت ریلی، طراحی مدل و انتخاب پارامترها صورت گرفت. توابع هدف و محدودیت‌ها با بررسی سایر مدل‌های این حوزه در حالت قطعی تعریف شد. مدل قطعی ایجادشده نیز با توجه به وجود پارامترهای غیرقطعی به مدل فازی تبدیل شد. با توجه به نوآوری پژوهش، بازنویسی مسئله با توجه به پارامترهای فاصله‌ای صورت گرفت.

براساس پارامترهای غیرقطعی مسئله، پرسشنامه‌ای طراحی شد که تحلیل اطلاعات آن با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت و پارامترها با اعداد فازی مثلثی بیان شد. با برش پارامترهای فازی، پارامترهای فاصله‌ای شکل گرفت که به مدل وارد شد. مسئلهٔ مربوط نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار mathlab حل شد.



شکل ۱. فرایند پژوهش و طراحی مدل

مدل ریاضی

مدل ریاضی قطعی

در مدل ارائه‌شده، چهار هدف حداقل‌سازی آلاینده‌های زیست‌محیطی، حداکثرسازی کیفیت، حداقل‌سازی ریسک و حداقل‌سازی هزینه‌ها در شرایط تورم برای انتخاب پروژه‌ها و طرح‌ها در تشکیل سبد مدنظر قرار گرفت.

در ذیل به معرفی مجموعه‌ها و شرح پارامترها پرداخته شده است.

مجموعه‌ها

I	مجموعهٔ کل پروژه‌های پیشنهادی	$i=$ ۱,۲, ..., n
J	مجموعهٔ کل طرح‌های پیشنهادی	$j=$ ۱,۲, ..., p
M	مجموعهٔ کل آلاینده‌ها	m= ۱,۲, ..., r
T	مجموعهٔ زمان‌های پیش‌بینی‌شده برای اجرای طرح‌ها و پروژه‌ها	t= ۱,۲,۳,...,s
L	فناوری	l= ۱,۲,۳,...,q
Aj	مجموعهٔ پروژه‌های طرح j	$\forall j \in J$

پارامترها

E_m	میزان مجاز آلایندهٔ شمارهٔ m
π	سوبسید دولت بر میزان واحد کاهش آلایندگی
f	تورم داخلی
f'	تورم خارجی
u_t	حداکثر تعداد پروژه‌هایی که شرکت می‌تواند در سبد خود داشته باشد
z_t	حداقل تعداد پروژه‌هایی که شرکت می‌خواهد در سبد خود داشته باشد
$AVBU_t$	کل بودجهٔ نقد سازمان در لحظهٔ تصمیم‌گیری که از آن می‌توان برای تأمین مالی استفاده کرد.
$cost_{ait}$	کل هزینه‌های مورد نیاز برای انجام پروژهٔ i در زمان t
$cost_{cit}$	کل هزینه‌های داخلی مورد نیاز برای انجام پروژهٔ i در زمان t
$cost_{Oit}$	کل هزینه‌های مربوط به تأمین تجهیزات از خارج کشور برای انجام پروژهٔ i در زمان t
e_{ilm}	میزان آلایندهٔ تولیدشدهٔ m با استفاده از فناوری l در پروژهٔ i
q_{it}	میزان کیفیت پروژهٔ i در زمان t
r_{it}	مقدار ریسک پروژهٔ j در زمان t

متغیر x_{it} دو مقدار صفر و یک را می‌گیرد؛ یعنی اگر پروژهٔ پیشنهادی i انتخاب شود، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر را می‌گیرد.

متغیر y_{jt} نیز دو مقدار صفر و یک را اختیار می‌کند. اگر طرح پیشنهادی j انتخاب شود، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر را می‌گیرد. بدین‌ترتیب مدل قطعی به شرح فرمول‌های ۱-۱۱ است.

$$\text{Max} \sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\sum_{m\in M}(E_m - x_{it}.e_{imt}).\pi \quad (۱)$$

$$Max \sum_{i\in I}\sum_{t\in T} x_{it}\, q_{it} \quad (۲)$$

$$Min \sum_{i\in I}\sum_{t\in T} x_{it}\, r_{it} \quad (۳)$$

$$Min \sum_{i\in I}\sum_{t\in T}[cost_{cit}\,(f+1) + cost_{Oit}\,(f'+1)]\,.\,x_{it} \quad (۴)$$

s.t

$$x_{it}.e_{imt} \le E_m \quad (۵)$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{i\in I} x_{it} cost_{ait} \le AVBU_t \quad (۶)$$

$$\sum_{i\in I} x_{it} \le u_t \quad (۷)$$

$$\sum_{i\in I} x_{it} \ge z_t \quad (۸)$$

$$\sum_{i\in A_J} x_{it} = |A_j|.y_{jt} \quad (۹)$$

$$|A_J| \le u_t \quad (۱۰)$$

$$cost_{ait} = cost_{cit} + cost_{oit} \quad (۱۱)$$

شرح مدل

تابع هدف در مدل حاضر به‌صورت چهارهدفهٔ پیشنهاد شده است. بدین‌ترتیب که پروژه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شوند که حداقل آلودگی، حداکثر کیفیت، حداقل ریسک و حداقل هزینه تحت شرایط تور باشد. همچنین مدل بیان‌شده به‌صورت صفر و یک است؛ یعنی اگر پروژه‌ای انتخاب شود، متغیر مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر را می‌گیرد. در مدل ارائه‌شده

- هدف ۱ نشان‌دهندهٔ حداکثرکردن اختلاف میزان مجاز آلاینده و مقدار تولیدشده آن تحت فناوری مشخص است. اختلاف مثبت این دو در سوبسید ریالی درنظر گرفته‌شده در دولت ضرب می‌شود. هرچه این اختلاف بیشتر باشد، نشان‌دهندهٔ مقدار کمتر آلایندهٔ تولیدی در پروژه و طرح‌های اجرایی است.
- هدف ۲ حداکثرسازی کیفیت حاصل از اجرای پروژه و طرح‌ها را نشان می‌دهد که مقدار عددی آن به‌کمک پرسشنامه تهیه شده است.
- هدف ۳ بیانگر حداقل‌کردن ریسک پروژه‌ها و طرح‌هاست که مقدار عددی آن با استفاده از پرسشنامه‌ها به‌دست می‌آید.
- هدف ۴ به حداقل‌سازی هزینه‌های پروژه‌ها و طرح‌ها تحت تأثیر تورم اشاره دارد. در این پژوهش به پروژه‌های حمل‌ونقل ریلی پرداخته شده که هزینه‌ها شامل هزینه‌های خرید مصالح و تجهیزات داخل کشور است. تورم داخلی نیز بر این هزینه‌ها مؤثر است. دستهٔ دوم هزینه‌های مربوط به تأمین تجهیزات از خارج کشور است که از تورم جهانی تأثیر می‌پذیرند. این هدف نیز به‌صورت ریالی است.
- برای استفاده از سوبسیدهای دولتی مقدار پیش‌بینی آلایندهٔ تولیدشده تحت فناوری مشخص برای تمامی پروژه‌ها باید از مقدار مجاز آن کمتر باشد که این مورد در محدودیت ۵ آمده است.
- براساس محدودیت ۶، هزینه‌های پروژه و طرح‌های انتخابی (شامل هزینه‌های داخلی و هزینه‌های تجهیزات تهیه‌شده از خارج) باید از کل بودجهٔ سازمان در لحظهٔ تصمیم‌گیری که از آن می‌توان برای تأمین مالی استفاده کرد، کمتر باشد.
- محدودیت ۷حداکثر تعداد پروژه‌هایی را نشان می‌دهد که شرکت می‌تواند انتخاب کند تا مدیریت درستی بر آن‌ها داشته باشد.
- محدودیت ۸ نشان‌دهندهٔ حداقل تعداد پروژه‌ای است که شرکت باید در سبد خود در برههٔ زمانی داشته باشد تا فعال باقی بماند.
- محدودیت ۹ ارتباط میان پروژه‌های یک طرح را نشان می‌دهد. بدین‌شرح که پروژه‌های طرح یا با هم انتخاب می‌شوند یا هیچ‌یک انتخاب نمی‌شوند.
- محدودیت ۱۰ بیانگر حداکثر تعداد پروژه‌های موجود در طرح است.
- محدودیت ۱۱ کل هزینه‌های شرکت را درنظر می‌گیرد که شامل هزینه‌های خرید مصالح در داخل کشور و هزینه‌های خرید تجهیزات از خارج کشور است.

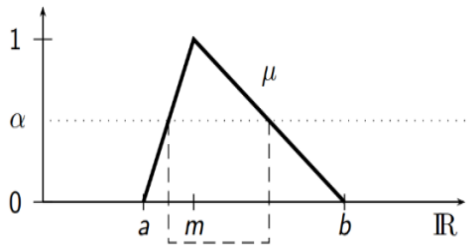
مدل ریاضی مسئله در حالت فازی فاصله‌ای

از آنجا که پارامترهایی مانند تورم، هزینه، آلاینده‌های زیست‌محیطی، ریسک و کیفیت عدم قطعیت دارند، پس از ارائهٔ مدل قطعی به تعریف مدل در شرایط غیرقطعی براساس اعداد فازی-فاصله‌ای می‌پردازیم. برای این منظور می‌توان در سطوح مختلف $\alpha \in [0, 1]$ بر روی اعداد فازی برش زد و بازه‌ها را ایجاد کرد [۲۶].

$$\widetilde{A_\alpha} = [a^+, a^-]$$

$$a^+ = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \ge \alpha, x \epsilon X\}$$

$$a^- = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \ge \alpha, x \epsilon X\}$$



شکل ۲. برش α روی عدد فازی مثلثی

مدل برنامه‌ریزی خطی فازی فاصله‌ای به‌صورت زیر ایجاد می‌شود. پارامترهای بازه‌ای استفاده‌شده در مدل به شرح زیر است:

پارامترهای فازی فاصله‌ای

$f^{\pm}$	تورم داخلی
$f'^{\pm}$	تورم خارجی
$cost_{ait}^{\pm}$	کل هزینه‌های مورد نیاز برای انجام پروژهٔ i در زمان t
$cost_{cit}^{\pm}$	کل هزینه‌های داخلی مورد نیاز برای انجام پروژهٔ i در زمان t
$cost_{oit}^{\pm}$	کل هزینه‌های مربوط به تأمین تجهیزات از خارج کشور برای انجام پروژهٔ i در زمان t
$e_{ilm}^{\pm}$	میزان آلاینده تولیدشده m با استفاده از فناوری l در پروژهٔ i
$q_{it}^{\pm}$	میزان کیفیت پروژهٔ i در زمان t
$r_{it}^{\pm}$	مقدار ریسک پروژهٔ j در زمان t

مدل فاصله‌ای به شرح فرمول‌های ۱۲-۲۱ بیان شده است:

$$Max \sum_{i\in I}\sum_{t\in T}\sum_{m\in M}(E_m - x_{it}.[e_{ilm}^{-}, e_{ilm}^{+}]).\pi \quad (۱۲)$$

$$Max \sum_{i\in I}\sum_{t\in T} x_{it}.[q_{it}^{-}, q_{it}^{+}] \quad (۱۳)$$

$$\text{Min} \sum_{i\in I}\sum_{t\in T} x_{it}.[r_{it}^{-}, r_{it}^{+}] \quad (۱۴)$$

$$Min \sum_{i\in I}\sum_{t\in T}\{[cost_{cit}^{-}, cost_{cit}^{+}](1+[f^{-}, f^{+}]) + [cost_{oit}^{-}, cost_{oit}^{+}](1+[f'^{-}, f'^{+}])\}.x_{it} \quad (۱۵)$$

s.t

$$x_{it}[e_{ilm}^{-}, e_{ilm}^{+}] \le E_m \quad (۱۶)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{t\in T} x_{it}[cost_{oit}^{-}, cost_{oit}^{+}] \le AVBU_t \quad (۱۷)$$

$$\sum_{i\in I} x_{it} \le u_t \quad (۱۸)$$

$$\sum_{i\in I} x_{it} \ge z_t \quad (۱۹)$$

$$\sum_{i\in A_J} x_{it} = |A_j|.y_{jt} \quad (۲۰)$$

$$|A_J| \le u_t \quad (۲۱)$$

حل مدل

معرفی پروژه‌های حمل‌ونقل ریلی

در این مقاله پروژه‌های معرفی‌شده به شرح جدول زیر است:

- ۳ پروژه احداث و ۱ پروژهٔ توسعه، مربوط به کلان‌شهر تهران
- ۴ پروژه مربوط به اتصال شهرهای اسلام‌شهر، پرند، پردیس و هشتگرد به تهران
- ۲ پروژه احداث در شهرهای کرمانشاه و کرج
- ۴ پروژه توسعه در شهرهای مشهد، اصفهان، تبریز و شیراز.

محاسبهٔ پارامترهای مهم مسئله

با استفاده از برش در سطح α =۰/۱ پارامترهای فاصله‌ای ایجاد می‌شود و مسئلهٔ برنامه‌ریزی فازی فاصله‌ای برای پارامترها به شرح زیر مدنظر قرار می‌گیرد.

ریسک

براساس مطالعات مستندات پروژه‌ها، نشریات و مقالات منتشرشده در زمینهٔ ریسک و برگزاری مصاحبه با خبرگان، ۱۶ ریسک شناسایی شد که پس از بازنگری، به ۱۴ ریسک تقلیل یافت و در ۷ گروه دسته‌بندی شد. باید توجه داشت که در مرحلهٔ بازنگری، هیچ‌یک از ریسک‌های شناسایی‌شدهٔ اولیه حذف نشدند، بلکه به‌دلیل نزدیکی و ارتباط معنایی، برخی از ریسک‌ها با یکدیگر تلفیق شدند.

در مرحلهٔ بعد به‌کمک مشورت با خبرگان، پرسشنامه‌هایی تهیه شد که در هریک از آن‌ها ریسک‌های شناسایی‌شده با استفاده از طیف پنج‌درجه‌ای لیکرت (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد، بسیار زیاد) سنجیده شد. روایی پرسشنامه نیز با استفاده از مشورت با خبرگان تأیید شد. به‌منظور دستیابی به پایایی پرسشنامه‌ها، داده‌های جمع‌آوری‌شده وارد نرم‌افزار SPSS شد. ضریب آلفای کرونباخ برای پرسشنامه ۰/۸۰۴ بود که بالاتر از ۰/۷ است؛ بنابراین تأیید پایایی پرسشنامه نیز صورت گرفت. در جدول ۲، ریسک‌های محاسبه‌شده برای هریک از پروژه‌های فوق آمده است.

کیفیت

به‌کمک نظر خبرگان و مطالعهٔ مستندات پروژه‌های حمل‌ونقل ریلی در زمینهٔ کیفیت، ۱۰ زیرمعیار برای محاسبهٔ آن تعیین شد. در مرحلهٔ بعد، پرسشنامه‌ای تهیه شد که در هریک زیرمعیارهای شناسایی‌شده با استفاده از طیف پنج‌درجه‌ای لیکرت (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد، بسیار زیاد) سنجیده شد. سپس برای تأیید پایایی

پرسشنامه‌ها، ضریب آلفای کرونباخ به‌کمک نرم‌افزار SPSS مقدار ۰/۸۱۸ محاسبه و پایایی آن پذیرفته شد. خروجی ایجادشده برای کیفیت پروژه‌های حاصل از پرسشنامه به شرح جدول ۳ است.

جدول ۲. ریسک محاسبه‌شده در حالت فازی فاصله‌ای

شمارهٔ پروژه	بازهٔ ریسک هر پروژه
۱	[۲۷/۹۷۱۵۳ ،۹۲/۴۲۳۴۷]
۲	[۲۶/۴۰۴۱۷،۹۷/۵۷۹۵۸]
۳	[۲۶/۴۰۴۱۷ ،۱۰۱/۲۶۰۸]
۴	[۲۵/۴۳۰۵۶،۹۹/۲۴۸۱۹]
۵	[۳۲/۶۲۱۱۴،۱۰۶/۴۰۷۶]
۶	[۱۸/۷۸۳۸۱ ،۹۴/۹۹۶۱۹]
۷	[۲۰/۱۹۲۹۳ ،۸۰/۱۶۹۵۷]
۸	[۲۰/۸۹،۹۰۰۵۳/۵۰۸۲۲]
۹	[۲۰/۵۷۳۶۷ ،۸۵/۵۱۷۵۸]
۱۰	[۲۲/۴۹۷۹۶ ،۹۱/۱۳۳۲۹]
۱۱	[۱۹/۰۵۴۸۸ ،۸۱/۸۵۳۸۷]
۱۲	[۲۶/۲۳۹۸۶ ،۹۲/۸۲۸۸۹]
۱۳	[۲۳/۶۱۱۱۷ ،۹۴/۸۱۳۸۳]
۱۴	[۱۹/۶۲۳۹ ،۷۸/۸۴۱۱]

جدول ۳. بازهٔ کیفیت هر پروژه

شمارهٔ پروژه	بازهٔ کیفیت هر پروژه
۱	[۲/۶۴۹۰۴۸ ،۶/۵۱۳۴۵۲]
۲	[۲/۳۱۴۸۷۳ ،۶/۰۶۰۱۲۷]
۳	[۳/۳۴۵۹۷۱ ،۶/۸۷۹۰۲۹]
۴	[۳/۴۶۲۸۵۸ ،۶/۷۴۹۶۴۲]
۵	[۲/۳۴۸۰۶۱ ،۵/۸۸۹۴۳۹]
۶	[۳/۵۱۲۵۸۶ ،۷/۳۲۴۹۱۴]
۷	[۳/۲۸۷۵۷۸ ،۷/۰۹۹۹۲۲]
۸	[۳/۶۲۶۱۴ ،۷/۴۲۳۸۶]
۹	[۳/۰۴۱۸۹۷ ،۶/۶۳۳۱۰۳]
۱۰	[۳/۰۲۷۹۲۹ ،۶/۵۷۲۰۷۱]
۱۱	[۴/۷۰۲۹۴۸ ،۸/۲۷۵۱۷۷]
۱۲	[۳/۳۲۴۰۳۴ ،۷/۲۲۵۹۶۶]
۱۳	[۳/۴۳۲۳۴۲ ،۷/۲۳۰۱۵۸]
۱۴	[۴/۰۱۸۹۲۹ ،۷/۱۱۸۵۷۱]

تورم ۲

از آنجا که متوسط نرخ تورم و نوسانات آن در کشور در سطح قابل‌توجهی است، در این پژوهش نیز از تأثیرگذاری این پارامتر مهم در تشکیل سبد غافل نشده است. براساس نظر خبرگان صنعت و استادان دانشگاه، با بررسی تغییرات تورم در کشور، این پارامتر نیز در قالب عدد فازی فاصله‌ای بیان شده که به شرح جدول ۴ است.

جدول ۴. بازه‌های تورم داخلی و خارجی پروژه‌ها

f	[۸/۶۱۶۴۴۱۴ ،۱۹/۳۸۳۵۵۸۶]
f'	[۳/۱۵۸۶۶۳۰۲ ،۲۳/۸۴۱۳۳۶۹۸]

وزن‌دهی به اهداف مسئله

در این پژوهش برای وزن‌دهی به اهداف از روش FAHP استفاده شد و نتایج زیر به‌دست آمد:

$W = (۰/۰۶, ۰/۱۳, ۰/۳۸, ۰/۴۳)$

حل مدل به‌کمک الگوریتم ازدحام ذرات ۱

هلادیک در پژوهشی به اثبات NP-Hard بودن مسائل برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای پرداخته است [۲۷]. بازه‌ای‌بودن برخی متغیرهای پژوهش حاضر، آن را در دستهٔ مسائل ان.پی-سخت قرار داده است. شاید مهم‌ترین چالش در مسائل بهینه‌یابی، به‌ویژه بهینه‌یابی با الگوریتم‌های فراابتکاری انتخاب الگوریتم مناسب باشد. انتخاب هر الگوریتم به نوع مسئله، الگوریتم‌های دردسترس، ابزارهای محاسباتی و قیدهای مسئله وابسته است. در پژوهش شهروزی و صالحی (۱۳۹۶) با بررسی هفت الگوریتم بهینه‌یابی به تحلیل نحوهٔ عملکرد این الگوریتم‌ها در حل چهار مسئلهٔ آزمون پرداخته شد و به‌کمک شاخص‌های عملکردی مقایسه‌ای از کیفیت آن‌ها ارائه شد. براساس نتایج تحلیل آن‌ها الگوریتم‌هایی که شاخص پراکندگی جمعیت در آن‌ها با تکرار برنامه کاهش یافته است، اما به صفر نمی‌رسد، پاسخ‌های مناسب‌تری از سایر الگوریتم‌ها دارند [۲۸].

در این مقاله از الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) برای حل مدل مورد نظر استفاده شده است. نتایج اجرای مدل نشان می‌دهد پراکندگی جمعیت در آن با تکرار برنامه کاهش می‌یابد، اما به صفر نمی‌رسد. همچنین به‌منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک مقایسه شد.

ایدهٔ اصلی الگوریتم ازدحام ذرات برگرفته از رفتار اجتماعی دسته‌ای از پرندگان است. از آنجا که استفاده از این الگوریتم تنها به برخی عملگرهای محاسباتی ابتدایی نیازمند است، اجرای این الگوریتم ساده و از نظر هزینه‌های اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است. در الگوریتم ازدحام ذرات هر ذره نمایندهٔ یکی از پاسخ‌های مسئله است که در فضای جست‌وجو حرکت می‌کند تا به بهترین موقعیت برسد. بردار سرعت ذره سه جزء دارد:

۱. حرکت در جهت سرعت قبلی ذره؛
۲. حرکت ذره به سمت بهترین موقعیتی که تاکنون ملاقات کرده است؛

۳. حرکت در جهت بهترین موقعیتی که ذره در کل جمعیت با آن مواجه شده است.

پس از تولید جمعیت اولیه (ذرات) و درنظرگرفتن سرعت اولیه برای هر ذره، کارایی هر ذره براساس موقعیتش محاسبه شد. هر ذره در فضای جست‌وجو نمایانگر راه‌حلی برای مسئله است و سرعتش را براساس بهترین پاسخ به‌دست‌آمده در گروه ذرات (بهترین فرد گروه) و بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است، تغییر می‌دهد. این سرعت با موقعیت ذره جمع می‌شود و موقعیت جدید ذره به‌دست می‌آید. به‌عبارت‌دیگر هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضای جست‌وجو که در آن قرار دارد، محاسبه می‌کند. در تکرارهای بعدی، بهترین ذره از نظر شایستگی به سایر ذرات یاری می‌رساند و حرکت آن‌ها را اصلاح می‌کند و پس از تکرارهای متوالی مسئله به‌سوی جواب بهینه هم‌گرا خواهد شد [۲۹].

هدف از اجرای الگوریتم ازدحام ذرات در این پژوهش، ایجاد مدل غیربازه‌ای از مدل بازه‌ای است. با اجرای الگوریتم، در هر تکرار مدل برنامه‌ریزی خطی غیربازه‌ای حل می‌شود و محاسبهٔ تابع هدف صورت می‌گیرد.

جدول ۵. تنظیم پارامتر الگوریتم ژنتیک به روش تاگوچی

نام پارامتر	مقدار
تعداد تکرار ۳	۱۰۰
اندازه جمعیت ۴	۱۰
نرخ برش ۵	۰/۷
تعداد فرزند ۶	nc=2*round(pc*nPop/2)
فاکتور اضافی برای برش ۷	۰/۴
درصد جهش ۸	۰/۳
تعداد جهش ۹	nm=round(pm*nPop
نرخ جهش ۱۰	۰/۱
انتخاب مسابقه‌ای ۱۱	۳

شاید مهم‌ترین چالش در بهینه‌یابی با الگوریتم‌های فراابتکاری، انتخاب پارامترهای مناسب باشد. در این پژوهش، برای بهبود کارایی الگوریتم ازدحام ذرات به تنظیم پارامترهای اولیه به‌کمک روش طراحی آزمایش‌ها با استفاده از روش تاگوچی پرداختیم. براین‌اساس پیشنهاد روش تاگوچی برای این مسئله L100(10^1) است که به معنی انجام ۱۰۰ آزمایش (به‌جای ۱۰۰۰ آزمایش کلی) با تعداد ذرات ۵۰ و حداکثر تعداد چرخه (MCN) برابر با ۱۰۰ درنظر گرفته شده است. مقدار نرخ یادگیری فردی و اجتماعی ۲، r_1 و r_2 اعدادی تصادفی در باز] صفر و یک و توزیع یکنواخت هستند. همچنین برای الگوریتم ژنتیک، پارامترها به شرح جدول ۵ آمده است.

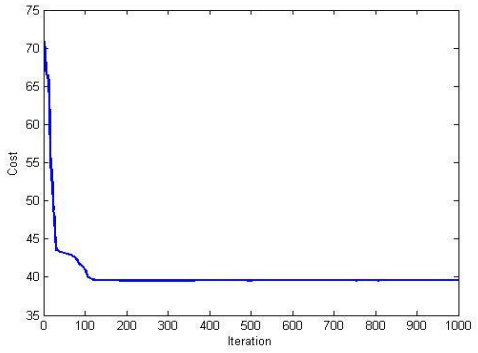
پس از تنظیم پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک، در این مرحله به تنظیم پارامترهای مدل ریاضی مسئله خواهیم پرداخت که در جدول ۶ آمده‌اند.

جدول ۶. های مدل ریاضی

نام پارامتر	اندازه
AVBU	۱۳۰
u_t	۶
z_t	۳
E_m	۰/۷۵
β_t	۲
π	۰/۰۵

پس از تعیین پارامترهای الگوریتم و مدل ریاضی مسئله، به حل مدل خواهیم پرداخت. تابع هدف محاسبه‌شده با الگوریتم ازدحام ذرات برای تکرار اول به شرح زیر محاسبه شده است:

Positon:	[۱x۸۶ double]
cost:	۵۶۹۴۱۷۴۳۶۳۷۲۲ / ۳۹



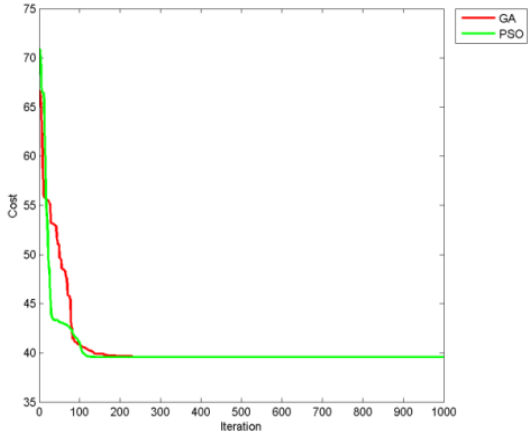
شکل ۳. برازندگی الگوریتم ازدحام ذرات

برای رسیدن به نقطه‌ای هم‌گرا در حل مدل، اجرای مدل را برای ۱۰۰۰ تکرار مدنظر قرار می‌دهیم. نتایج در شکل ۳ آمده است. همچنان که مشاهده می‌شود تابع هدف به ۳۹/۵۶۹۴۱۷۴۳۶۳۷۲۲۳۴ هم‌گرا شده است.

پس از اجرای الگوریتم ازدحام ذرات و اطمینان از ثبات الگوریتم، این الگوریتم به همراه الگوریتم ژنتیک مقایسه شد.

مقایسهٔ پاسخ‌های الگوریتم ازدحام ذرات با الگوریتم ژنتیک

در این مرحله به اجرای هم‌زمان مدل با دو الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک پرداخته و نتایج خروجی را مقایسه می‌کنیم. براین‌اساس مشخص شد که الگوریتم ژنتیک پس از حدود ۲۵۰ تکرار، و الگوریتم ازدحام ذرات پس از ۱۸۰ تکرار به سمت جواب هم‌گرا شده است. به عبارت دیگر، الگوریتم ازدحام ذرات هم‌گرایی سریع‌تری دارد (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسهٔ نمودار برازندگی الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک

هر دو الگوریتم به نتایج تقریباً مشابهی رسیدند؛ یعنی تابع هدف و پارامترهای محاسبه‌شده تقریباً یکسان بود، اما الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات از نظر اجرا، برنامه‌نویسی و سرعت هم‌گرایی به‌مراتب از الگوریتم ژنتیک قوی‌تر است.

در ادامه به بررسی خروجی حاصل از اجرای دو الگوریتم فوق بر مدل ریاضی برای ۱۴ پروژه مسئلهٔ مورد نظر خواهیم پرداخت.

با توجه به نتایج خروجی مدل، پروژه‌های x_{10}، x_{12} و x_{14} به‌عنوان پروژه‌های بهینه در سبد سازمان مدنظر قرار گرفته‌اند که براساس چهار هدف تعریف‌شده، اهمیت بسیاری در روان‌سازی ترافیک‌های شهری دارند. این پروژه‌ها عبارت‌اند از:

۱. پروژهٔ حمل‌ونقل ریلی کرج؛
۲. پروژهٔ حمل‌ونقل ریلی اصفهان؛
۳. پروژهٔ حمل‌ونقل ریلی شیراز.

جدول ۷. پارامترهای حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات روی ۱۴ پروژه

	بهترین پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات	بهترین پارامترهای الگوریتم ژنتیک
f	۰/۰۸۶۱۶۴۴۱۴۰۹	۰/۰۸۶۱۶۴۴۱۴۰۹
f'	۰/۰۳۱۵۸۶۶۳۰۲۷	۰/۰۳۱۵۸۶۶۳۰۲۷
$cost_i$	۱۵/۲۱۳۵۲۲۰۱۴۳	۱۶/۵۱۵۸۷۰۸۸۰۱۵
	۱۴/۲۴۶۱۵۰۱۷۱۷	۱۴/۲۴۸۰۴۹۸۳۲۷۳
	۱۰/۶۷۷۰۳۳۶۳۱۵	۱۰/۸۳۶۳۳۳۹۹۶۲۲
	۱۳/۸۹۳۵۸۴۴۳۵۲	۱۳/۰۵۵۵۱۹۰۴۷۰۳
	۹/۲۷۳۲۸۳۳۷۰۵۸	۸/۳۹۰۹۶۶۸۰۸۸۶۹
	۵/۷۰۲۳۳۷۷۸۴۶۹	۵/۲۱۹۴۰۳۲۲۲۷۰۴۳۴
	۴/۵۵۲۷۷۹۰۹۶۳۰	۴
	۷/۴۸۳۲۸۹۹۴۴۴۹	۷/۰۱۷۵۲۳۷۲۲۵۴۳۸۸
	۸/۸۶۸۷۷۹۹۷۰۶۰	۹/۲۶۶۰۴۹۶۵۹۲۴۲۶۸
	۱۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۰
	۵/۰۳۷۳۵۸۸۹۹۴۵	۵
	۸/۰۰۰۲۱۱۲۰۲۱۳	۸
	۱۱/۲۴۰۸۸۲۶۹۰۲	۱۲/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
	۳/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
$cost_c$		۹/۲۴۴۴۵۶۹۰۰۹۴۹۹۷
	۹/۳۰۹۷۹۴۷۳۷۹۸	۱۳/۴۷۳۴۹۸۶۶۳۴۴۸۱
	۱۴/۲۳۰۳۰۹۷۳۱۰	۱۰/۰۳۵۵۵۵۷۱۸۹۳۴۴
	۱۱/۵۲۹۴۱۳۴۹۰۳	۲۲/۴۱۵۵۸۸۵۵۸۵۵۹۴
	۲۱/۳۲۷۴۲۳۹۳۰۲	۱۰/۵۳۲۰۷۹۵۲۰۹۸۸۷
	۱۰/۳۴۸۶۰۲۶۰۶۷	۱۱/۳۹۴۰۰۰۴۹۵۴۱۹۷
	۱۱/۵۳۴۰۰۴۶۵۵۱	۹/۲۴۴۲۳۴۷۵۴۹۲۹۸۶
	۹/۱۹۰۶۷۹۴۷۰۱۶	۹/۱۷۴۹۷۵۳۰۵۲۹۴۷۹
	۹/۰۹۵۴۵۴۶۷۰۱۸	۱۰
	۹/۲۶۷۱۱۰۲۴۹۵۶۷	۷
	۹/۰۰۵۳۵۷۴۵۶۷۵	۸/۶۶۰۰۵۰۱۱۲۷۶۳۷۰
	۵/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۹	۵
	۱۲/۲۳۶۸۷۷۹۷۴۱۳	۱۱/۳۶۲۲۲۱۳۸۹۴۷۳۶
		۳/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
e_{ilm}		۰/۳۰۸۸۰۶۰۶۲۸۲۷۷
	۰/۳۵۳۳۱۸۶۲۶۱۹	۰/۲۶۲۳۳۰۷۳۳۶۷۷۸
	۰/۱۱۰۶۵۰۸۳۱۷۲	۰/۰۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
	۰/۱۴۷۰۷۴۷۵۱۰۵	۰/۲۹۳۷۳۶۹۲۷۲۸۰۵
	۰/۲۶۶۶۶۵۱۷۳۲۲	۰/۳۲۷۸۵۵۱۰۷۱۵۰۳
	۰/۲۲۱۸۹۱۲۷۹۴۴	۰/۳۱۵۴۳۱۴۳۹۷۲۱۲
	۰/۳۱۰۷۸۹۹۳۹۷۳	۰/۲۶۰۰۷۴۶۲۴۲۲۱۲
	۰/۱۲۳۴۸۰۳۵۹۰۷	۰/۳۰۸۴۷۹۴۷۰۰۵۸۸
	۰/۰۹۵۵۲۴۲۱۸۶۸	۰/۰۶۶۹۲۸۳۶۳۹۰۶۴
	۰/۰۵۵۶۰۴۷۷۵۶۴	۰/۰۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰
	۰/۰۵۰۰۰۰۰۰۰۷	۰/۰۶۸۵۹۰۷۴۱۱۵۷۴
	۰/۰۸۴۸۱۴۷۶۴۸۷	۰/۰۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
	۰/۰۵۰۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۹۶۳۸۷۰۹۴۸۶۳۰
	۰/۰۶۶۱۰۸۲۶۶۱۵	۰/۰۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰
	۰/۰۷۱۸۶۱۵۵۴۴۹	۰
		.
q_{it}	۲/۶۵۰۳۹۴۶۳۲۶۰	۵/۳۲۰۹۳۰۰۱۸۶۶۷۰۴
	۲/۷۸۰۴۶۲۶۲۰۶۹	۲/۳۱۴۸۷۳۰۱۳۲۷۹۹۴
	۵/۲۷۶۵۵۰۵۹۸۶۹	۶/۸۱۷۱۱۰۷۶۷۱۳۹۴۲
	۶/۰۸۵۴۰۳۷۵۴۰۳	۵/۳۶۶۵۸۷۹۸۷۵۵۶۶۴
	۳/۷۷۹۸۱۱۷۲۷۲۹	۴/۳۵۳۱۱۳۰۴۵۷۹۱۳۴
	۴/۷۲۴۰۳۹۷۵۴۵۷	۴/۸۲۸۲۳۴۴۱۰۳۰۵۴۵
	۴/۳۸۶۹۴۷۸۱۳۰۱	۶/۰۵۵۲۶۵۲۴۶۴۲۰۴۷
	۴/۰۳۸۶۳۵۲۰۵۲۷	۴/۸۶۴۲۲۶۰۳۳۱۵۹۷۸
	۵/۵۸۱۳۴۴۱۱۶۶	۶/۵۱۲۶۷۱۱۸۷۱۴۱۰۸
	۶/۵۷۲۰۷۰۸۸۳۳۳	۶/۵۷۲۰۷۱۱۴۵۹۶۸۷۵
	۸/۱۳۶۰۷۲۵۱۷۷۶	۶/۹۴۵۹۴۶۶۳۵۴۳۹۳۹
	۷/۲۲۵۹۶۶۰۶۳۳۱	۷/۲۲۵۹۶۶۰۶۳۳۸۷۵۶
	۴/۲۹۶۸۸۱۷۰۱۸۶	۴/۸۲۳۶۴۳۳۳۹۲۶۱۸۵
	۷/۱۱۸۴۷۷۳۹۳۲۸	۷/۱۱۸۵۷۰۵۷۸۸۵۵۲۸
r_{it}	۵۳/۴۳۳۱۷۷۵۲۷۸	۳۸/۰۸۷۹۰۷۸۱۷۴۸۱۶
	۹۱/۹۱۳۰۸۶۹۵۵۶	۴۶/۹۸۶۹۵۲۴۹۰۰۹۸۸
	۴۱/۳۴۶۹۸۳۵۰۵۷	۷۹/۶۲۹۸۶۰۰۳۴۷۹۵۰
	۴۰/۸۵۰۳۹۱۱۶۸۹	۹۳/۶۴۴۰۳۸۴۶۷۸۵۴۴
	۷۸/۷۲۵۹۶۱۰۸۹۳	۸۸/۰۲۹۵۸۰۲۸۷۲۳۳۷
	۳۳/۱۸۳۳۸۹۲۶۸۸	۴۱/۸۳۰۰۲۲۶۹۲۲۲۱۹
	۵۵/۸۲۵۸۲۹۶۳۹۲	۴۷/۱۷۸۴۶۹۱۷۷۱۲۸۴
	۸۸/۹۰۸۷۲۷۴۹۴۶	۳۹/۵۱۲۰۲۲۲۱۴۹۷۴۹
	۳۵/۷۴۳۷۷۴۳۹۱۰	۶۳/۳۷۵۳۱۱۳۲۶۷۳۹۴
	۲۲/۴۹۷۹۶۱۴۶۰۶	۲۲/۴۹۷۹۶۱۴۵۲۵۷۸۱
	۳۲/۹۱۴۹۲۷۹۹۸۲	۸۱/۸۰۵۴۷۹۸۳۵۵۲۴۲
	۲۶/۲۳۹۸۵۷۸۵۴۸	۲۶/۲۳۹۸۵۷۸۵۴۶۷۲۰
	۵۹/۰۴۱۲۶۷۹۷۰۶	۸۲/۳۵۲۳۲۹۸۹۳۰۳۴۹
	۱۹/۶۲۳۹۰۰۱۳۶۶	۱۹/۶۲۳۹۰۰۱۳۶۸۶۹۶

نتیجه‌گیری

مدل ریاضی با درنظرگرفتن چهار هدف نوشته شده است. بدین‌صورت که حداقل‌کردن آلودگی زیست‌محیطی، حداکثرکردن کیفیت، حداقل‌کردن ریسک و حداقل‌کردن هزینهٔ پروژه‌های تحت تورم به‌عنوان هدف درنظر گرفته شدند. برای تبدیل مدل چندهدفه به تک‌هدفه و بهره‌گیری از نظر خبرگان، از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و ایجاد وزن استفاده شد.

یکی از اهداف پژوهش مذکور، رویکرد حمل‌ونقل پایدار در انتخاب بود که این مورد در مدل‌سازی با نشان‌دادن اهداف منطبق با حمل‌ونقل پایدار بیان شد. از اهداف مدل‌سازی نشان‌دادن تأثیر تورم در انتخاب بود که این دو مورد نیز با عنوان پارامترهای اثرگذار در مدل‌سازی نشان داده شدند. پس از معرفی پروژه‌ها، کیفیت و ریسک هریک از آن‌ها به‌کمک پرسشنامه‌ها به‌صورت اعداد فازی- فاصله‌ای اندازه‌گیری شد. آلفای کرونباخ هریک از پرسشنامه‌های طراحی‌شده در نرم‌افزار SPSS اندازه‌گیری شد. برای بیان داده‌ها به‌صورت بازه‌ای در سطح ۰/۱ روی آن‌ها برش ایجاد شد.

با توجه به NP-Hard بودن مدل، از روش‌های فراابتکاری برای حل آن استفاده شده است. بدین‌منظور دو الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک انتخاب شد. برای پیاده‌سازی الگوریتم‌ها نیز نرم‌افزار متلب به‌کار رفت. هدف از اجرای الگوریتم‌ها در این پژوهش، ایجاد بهترین مدل دقیق برای حل بود. خروجی الگوریتم با محاسبهٔ تابع هدف و ۸۶ پارامتر و متغیر پایان یافت. هر دو الگوریتم جواب تقریباً یکسانی برای تابع هدف ایجاد کردند. همچنین سبد پروژه یکسانی نیز ایجاد شد، اما الگوریتم ازدحام ذرات از نظر سرعت هم‌گرایی و اجرا به‌مراتب از الگوریتم ژنتیک سریع‌تر بود.

منابع

1. Killen, C. P., Hunt, R. A., and Kleinschmidt E. J., (2007). "Managing the New Product Development Project Portfolio. In Management of Engineering and Technology", *Portland International*, Vol. 25, No. 2, PP. 1864–1874.
2. Depiante, A., and Jensen, A., (1999). "A Practical R and D Project-Selection Scoring Tool", *IEEE Trans Eng Manage*, Vol. 46, No. PP. 158-170.
3. Cristóbal, J. R. S., (2011). "Multi-Criteria Decision-Making in the Selection of a Renewable Energy Project in Spain: The Vikor Method", *Renewable Energy*, Vol. 36, No. 2, PP. 498-502.
4. Badri, M. A., and Davis, D., (2001). "A Comprehensive 0-1 Goal Programming Model For Project Selection", *International Journal of Project Management*, Vol. 19, No. 4, PP. 243-252.
5. Weber, R., Werners, B., and Zimmermann, H., (1990). "Scheduling Models for Research and Development", *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, No. 2, PP. 175-188.
6. Kyparisis, G. J., Gupta, S. K., and LP, C. M., (1996). "Project Selection with Discounted Returns and Multiple Constraints", *European Journal of Operational Research*, Vol. 94, No. 1, PP. 87-96.
7. Santhanam, R., and Kyparisis, G. J., (1996). "A Decision Model for Interdependent Information System Project Selection", *European Journal of Operational Research*, Vol. 89, No. 2, PP. 380-399.
8. Vazhayil, J. P., and Balasubramanian, R., (2014). "Optimization of India's Electricity Generation Portfolio Using Intelligent Pareto-Search Genetic Algorithm", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 55, No. 1, PP. 13-20.
9. Ahadi, S. et al., (2016). "Annual Tehran Air Quality Report", *City Publishing Center*, Vol. 1, No. 2, PP.15-23.
10. Archer, N. P., and Ghasemzadeh, F., (1999). "An Integrated Framework for Project Portfolio Selection", *International Journal of Project Management*, Vol. 17, No. 4, PP. 207-216.
11. Liu, S. T., (2011). "A Fuzzy Modeling for Fuzzy Portfolio Optimization", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 5, PP. 13803–13809.

12. Purnus, A., and Bodea, C. N., (2014). "Project Prioritization and Portfolio Performance Measurement in Project Oriented Organizations", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 119, No. 1, PP. 339-348.
13. Reginaldo, F., (2015). "Portfolio Management in Brazil and a Proposal for Evaluation and Balancing of Portfolio Projects with ELECTRE TRI and IRIS*", Procedia Computer Science*, Vol. 55, No. 1, PP. 1265-1274.
14. Mehlawat, M. K., (2016). "Credibilistic Mean-Entropy Models for Multi-Period Portfolio Selection with Multi-Choice Aspiration Levels", *Information Sciences*, Vol. 345, No. 1, PP. 9-26.
15. Gupta, P., Mehlawat, M. K., and Saxena, A., (2008). "Asset Portfolio Optimization Using Fuzzy Mathematical Programming", *Information Sciences*, Vol. 178, No. 6, PP. 1734-1755.
16. Yu, J. R., and Lee, W. Y., (2011). "Portfolio Rebalancing Model Using Multiple Criteria", *European Journal of Operational Research*, Vol. 209, No. 2, PP. 166–175.
17. Rahmani, N., Talebpour, A., and Ahmadi, T., (2012). "Developing Amulti Criteria Model for Stochastic IT Portfolio Selection by AHP Method", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 62, No. 1, PP. 1041–1045.
18. Nassif, L. N., Santiago Filho, J. C., and Nogueira, J. M., (2013). "Project Portfolio Selection in Public Administration Using Fuzzy Logic", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 74, No. 1, PP. 41-50.
19. Vazhayil, J. P., and Balasubramanian, R., (2014). "Optimization of India's Electricity Generation Portfolio Using Intelligent Pareto-Search Genetic Algorithm", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 55, No. 1, PP. 13-20.
20. Khosravi, A., (2014). "Making Multi-Objective Dynamic Model of Portfolio Management Under Uncertainty", *Master's Thesis, Payame Noor University of Assaluye*.
21. Zeng, Z. et al., (2015). "A Multiple Objective Decision Making Model for Energy Generation Portfolio Under Fuzzy Uncertainty: Case Study of Large Scale Investor-Owned Utilities in Florida", *Renewable Energy*, Vol. 75, No. 2, PP. 224-242.
22. Liu, Y., Liu, Y.K, (2017). "Distributionally Robust Fuzzy Project Portfolio Optimization Problem with Interactive Returns", *Applied Soft Computing*, Vol. 56, No. 3, PP. 655-668.
23. Pérez, F. et al., (2018). "Project Portfolio Selection and Planning with Fuzzy Constraints", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 131, No. 1, PP. 117-129.
24. Zhai, P, and Bai, M., (2018). "Mean-Risk Model for Uncertain Portfolio Selection with Background Risk", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol. 330, No. 1, PP. 59-69.
25. Shahraki, A., and Moradi, M., (2013). "Risk Assessment in the Workplace with Job Safety Analysis, Nominal Group Technique and Fuzzy TOPSIS", *Iranian Health Workbook*, Vol. 10, No. 4, PP. 43-54.
26. Khaje Golestane, A., (2015). "Comparison of Numerical Solutions for Intervals Linear Programming Based on Coverage and Validity", *Master's Thesis, University Of Sistan-Baluchestan.*
27. Hladık, M., (2012). "Interval Linear Programming: A Survey", *Linear Programming-New Frontiers in Theory and Applications*, PP. 85-120.
28. Shahrozi, M., and Salehi, A., (2017). *Functional Indicators for Comparison of Fractronic Algorithms with Basic Differences in Operators*. 1th International Soft Computing Conference, Gilan, Iran.
29. Mizban, H. et al., (2012). "Optimization of Stock Basket Using Particle Swarm Algorithm in Different Risk Measurement Definitions", *Economics Quarterly*, Vol. 19, No. 2, PP. 205-224.
30. Sherafatman, SH., (2012). "Solving Fuzzy Linear Programming and Bi-Level Linear Programming Problem Using Genetic Algorithms", *Master's Thesis, University Of Sistan-Baluchestan.*

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Particle Swarm Optimization (PSO)
2. Inflation
3. Maximum Number of Iterations
4. Population Size
5. Crossover Percentage
6. Number of Offsprings (Also Parnets)
7. Extra Range Factor for Crossover
8. Mutation Percentage
9. Number of Mutants
10. Mutation Rate
11. Tournamnet Size