

ارائه مدل مهندسی و یکپارچه برنامه ریزی بهینه چند هدفه زنجیره تأمین سبز در شرایط عدم قطعیت و حل مدل با استفاده از الگوریتمهای فراابتکاری (مطالعه موردی: بانک سپه)

مسعود پیردستان^{۱*}، فاطمه هرسج^۲، محبوبه صادق پور^۳، یداله رجائی^۴

۱- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، عضو باشگاه دانش پژوهان جوان و نخبگان

۲- استاد یار رشته مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور

۳- استاد یار رشته مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر

۴- دانشیار رشته علوم اقتصادی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان

*Ma.pirdastan@yahoo.com

ارسال: خرداد ماه ۹۹ پذیرش: مرداد ماه ۹۹

چکیده

پژوهش ارائه شده با هدف ارائه مدل یکپارچه برنامه ریزی بهینه چند هدفه زنجیره تأمین سبز در شرایط عدم قطعیت و حل مدل با استفاده از الگوریتمهای فراابتکاری و ارائه چارچوب مفهومی مناسب در بانک سپه صورت گرفته است. در این راستا ابتدا یک مدل جهت بهینه سازی چند هدفه ارائه شده و سپس با استفاده از الگوریتمهای آتش بازی بر پایه آرشو پارتو و الگوریتم ژنتیک نسخه چند هدفه حل گردیده است. پدیده بانک داری سبز با همین هدف در نظامهای بانکی جهان ایجاد شده و امروزه در ابعاد نظری و عملیاتی، پیشرفت قابل ملاحظه ای داشته است. آنچه در این بین حائز اهمیت می باشد آن است که شرایط بحرانی روند آتی محیط زیست در کشور و احتمال رخدادهای زیست محیطی بزرگ تر می طلبد که بانک داری سبز مورد توجه مدیران تصمیم گیرنده قرار گیرد. در این مقاله، زنجیره تأمین سبز بانک سپه بررسی و مدل سازی شده است که شامل سه سطح بانک مرکزی، شعب بانک سپه و مراکز سرمایه گذاری است. مدل ارائه شده دارای سه هدف براساس ابعاد پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی) است. این مدل با استفاده از دو الگوریتم آتش بازی و NSGA-II حل شده و نتایج دو الگوریتم براساس شاخص های کیفیت، یکنواختی و پراکندگی مقایسه شده است. نتایج حل مدل نشان داد، الگوریتم آتش بازی توانایی بیشتری برای اکتشاف و استخراج ناحیه شدنی جواب نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد. هم چنین الگوریتم NSGA-II جواب هایی با یکنواختی بالاتری نسبت به الگوریتم آتش بازی در زمان کمتری تولید می کند.

کلمات کلیدی: بانکداری سبز؛ زنجیره تأمین؛ الگوریتم آتش بازی؛ الگوریتم ژنتیک؛ آرشو پارتو.

۱- مقدمه

در دنیای کنونی نقش و اهمیت زنجیره تأمین در تمامی صنایع و شرکت های تولیدی و خدماتی بر کسی پوشیده نیست، مسائل زیست محیطی دیگر تنها برای کارشناسان محیط زیست حائز اهمیت نمی باشد بلکه تمامی بخش های جامعه و بخش صنعتی ما توجه خاصی به آن دارند [۱]. اخیراً مدیریت زنجیره تأمین توجه خود را به نقش زنجیره تأمین در تاثیر گذاری بر محیط طبیعی معطوف کرده است. زنجیره تأمین یک فرآیند یک پارچه تولیدی است که در آن مواد اولیه تبدیل به محصولات نهایی و تمام شده تبدیل

شده، سپس به مشتری یا مصرف کننده نهایی تحویل داده می‌شوند. تعداد روبه‌رشدی از زنجیره‌های تامین برای ارزیابی فرایندهای محصولات استفاده شده از مشتریان، در سیستم‌های بازیافت سرمایه‌گذاری می‌کنند. مدیریت زنجیره تامین سبز^۱ که با عنوان مدیریت زنجیره تامین زیست‌محیطی^۲، یا مدیریت زنجیره تامین پایدار^۳ نیز شناخته می‌شود. سازمان‌های دارای زنجیره تامین سبز با در نظر گرفتن توسعه پایدار، توانایی مشاهده جهان به صورت واقعی و هدفمند را دارند و برای بهبود ردپای اکولوژیک سازمان، و در حالت کل "محیط‌زیست جهانی" اقداماتی انجام می‌دهند[۲]. از طرفی، صنعت بانک در رشد و توسعه اقتصادی از نظر کیفیت و کمیت تأثیر زیادی دارد و منجر به تغییر در ماهیت رشد اقتصادی می‌شود. بنابراین، بخش بانکی نقش حیاتی در ترویج سرمایه‌گذاری با پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی دارد. بانک‌ها ممکن است مستقیماً باعث ایجاد آلاینده‌ها نباشند، اما معمولاً با برخی از پروژه‌های شرکت‌ها و سرمایه‌گذاری‌هایی که آلوده کننده هستند یا می‌توانند در آینده باشند، ارتباط دارند (به عنوان تامین کننده منابع مالی). بانک به عنوان ستون فقرات اقتصاد در نظر گرفته شده است و تأثیر مستقیم و غیر مستقیم بالایی در حفظ و تخریب پایداری محیطی دارد و نقش میانجی بین توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست را بازی می‌کند[۳]. علت اصلی تمرکز شرکت‌ها بر روی زنجیره تامین‌شان را می‌توان در کوتاه‌تر شدن دوره عمر محصولات و تقاضاهای متغیر مشتریان به عنوان تهدید و رشد و توسعه فناوری‌ها یا اطلاعات به عنوان فرصت قلمداد نمود. در این راستا شرکت‌ها به مرور دریافتند که دیگر نمی‌توانند تنها با توجه به عوامل درون‌سازمانی اقدام به تصمیم‌گیری و حضور در بازارها نمایند. تفکر شرکت‌ها امروزه در یکپارچه‌سازی کل زنجیره تامین و کاهش هزینه‌های کل زنجیره و نه فقط هزینه‌های خود شرکت (خصوصاً هزینه‌های لجستیکی شامل هزینه‌های انبارش موجودی و حمل و نقل) و افزایش سطح خدمت به مشتری می‌باشد. در بسیاری از مواقع دیده شده است که این طرز تفکر در دراز مدت نه تنها هزینه‌های شرکت را نسبت به حالت قبل بیشتر کاهش می‌دهد، بلکه هزینه‌های شرکای شرکت در زنجیره نیز کاهش می‌یابد، امید به بقا در بازار افزایش یافته و پیاده‌سازی طرح‌های جدید ساده‌تر انجام می‌شود[۴]. نخستین هدف وجودی یک زنجیره تامین، راضی کردن نیازهای مشتری در فرآیند تولید ارزش برای خویش است. فعالیت‌های زنجیره تامین با سفارش مشتری آغاز و زمانی که مشتری پول خرید کالا و خدمات دریافتی خود را پرداخت می‌کند، خاتمه می‌یابد. اکثر زنجیره‌ها در واقع به صورت شبکه هستند. هدف هر زنجیره‌ای، حداکثر کردن کل ارزش تولیدی توسط آن است. اختلاف بین پولی که مشتری می‌پردازد با کل هزینه‌های متحمل شده توسط زنجیره برای تولید و توزیع کالا، میزان سوددهی زنجیره را نشان می‌دهد[۵]. میرزایی و همکاران به ارائه الگوریتم جدیدی برای حل مسأله مسیریابی- موجودی با ارسال مستقیم پرداخته‌اند. این مقاله به بررسی مسأله مسیریابی- موجودی چند محصولی چند دوره‌ای در یک زنجیره تامین دو سطحی؛ شامل یک تولید کننده و مجموعه‌ای از خرده‌فروشان اختصاص دارد. در مسأله مورد بررسی، علاوه بر مدیریت موجودی و برنامه‌ریزی توزیع، برنامه‌ریزی تولید نیز در نظر گرفته شده است[۶]. بشیری و شرافتی، به حل توأم دو مسأله بسیار مهم در مدیریت زنجیره‌تأمین یعنی طراحی شبکه و انتخاب تامین کننده در زنجیره تامین حلقه بسته پرداختند و سعی در بهینه‌سازی توأم آن‌ها داشتند[۷]. صفار و همکاران، به طراحی یک زنجیره تامین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک‌های عملیاتی در شرایط عدم قطعیت پرداختند[۸]. پیشوایی و همکاران، در پژوهش خود یک زنجیره تامین دوسطحی را بررسی کردند که هم‌زمان به کمینه کردن هزینه و آثار زیست‌محیطی می‌پردازد. آثار زیست‌محیطی در این پژوهش در قالب انتشار گاز دی اکسید کربن در نظر گرفته شد[۹]. نیکل و همکاران، یک مسأله طراحی شبکه زنجیره تامین چند دوره‌ای را ارائه کرده‌اند که در آن ویژگی‌های عملی متعددی مانند موارد مرتبط با تصمیمات مالی که باید توسط شرکت مدیریت کننده زنجیره تامین در نظر گرفته شوند، مطالعه و بررسی شده‌اند[۱۰]. کومار در مقاله خود، مدل DEA سبز با مانتیور لحظه به لحظه کربن را پیشنهاد کرد که در راستای بحث زنجیره تامین سبز می‌باشد. این مدل روی یک DEA موجود با محدودیت‌های وزنی و فاکتورهای روش دوگان ساخته می‌شود. این مدل تامین کنندگان ناهمگن را یک پارچه کرده و آن‌ها را برای پیوستن به زنجیره تامین سبز، تشویق می‌کند[۱۱]. زاگری و همکاران، به مسئله انتشار کربن در زنجیره تامین سبز پرداخته‌اند و برای این مسئله یک مدل تک هدفی ارائه

¹ GSCM

² ESCM

³ SSCM

داده‌اند و هم‌چنین مسئله سرویس خدمات‌به مشتری و هم‌چنین فاز مسیریابی نیز در نظر گرفته شده است [۱۲]. گولپ‌لا و همکاران، به

بررسی مدیریت زنجیره سبز با در نظر گرفتن ریسک خرده‌فروشان پرداخته‌اند. آن‌ها یک مدل ریاضی چندهدفی برای زنجیره تامین سبز چندسطحی ارائه دادند. هم‌چنین، آن‌ها در مدل خود، ریسک بازگشت محصولات را نیز لحاظ نموده‌اند که با استفاده از روش CVAR ارزیابی شده است [۱۳]. متاوا و همکاران، به بررسی مسئله بهینه‌سازی تصمیمات وام‌دهی بانک‌ها پرداخته‌اند. این مقاله یک مدل هوشمند مبتنی بر الگوریتم ژنتیک^۱ برای سازمان‌دهی تصمیمات وام‌های بانک در یک محیط بسیار رقابتی با محدودیت بحران اعتباری^۲ پیشنهاد می‌کند [۱۴].

با توجه به اهمیت زنجیره تامین سبز در همه صنایع و هم‌چنین اهمیت صنعت بانکداری، در این مقاله به ارائه مدل ریاضی برای زنجیره تامین سبز و برنامه‌ریزی یک‌پارچه بهینه زنجیره در صنعت بانکداری پرداخته شده است. از آنجایی که در مسائل دنیای واقعی، عدم قطعیت بر همه صنایع حاکم است، در تحقیق حاضر، برخی از پارامترهای مدل به صورت فازی در نظر گرفته می‌شوند. پس از طراحی مدل ریاضی، جهت حل مدل از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مانند الگوریتم آتش‌بازی استفاده می‌شود که جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، نتایج آن با نتایج الگوریتم شناخته شده ژنتیک مقایسه می‌شود.

۲- زنجیره تامین سبز

در سال‌های اخیر، آلودگی‌های محیط‌زیستی به یک مساله چالش‌برانگیز برای سازمان‌های تجاری تبدیل شده است. عملیات کسب و کار مانند منبع‌یابی و تولید به عنوان عوامل اصلی در این زمینه شناخته می‌شوند [۱۵]. این عملیات سبب افزایش فشارها و رسیدگی سهام‌داران داخلی و خارجی سازمان مثل دولت‌ها، کارگران و گروه‌های غیرانتفاعی شده است [۱۶]. بنابراین، این موضوع منجر به افزایش تقاضای مشتریان و جوامع محیط‌زیستی برای محصولات سازگار با محیط‌زیست شده است. مفهوم «سبز» تجسمی از محصولات، فرآیندها، سیستم‌ها و فن‌آوری‌های سازگار با محیط‌زیست است که فعالیت‌های مربوط به کسب و کار را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۷]. به طور کلی، نقش سازمان‌ها در جامعه و مسئولیت آن‌ها در حداقل‌سازی آثارشان بر محیط‌زیست اهمیت بیشتری پیدا کرده است. به طور کلی، ایجاد زنجیره تامین سبز و توجه به مسایل محیط‌زیستی سبب کاهش هزینه‌ها و بهبود عملکرد محیطی می‌شود و اعتبار و شهرت شرکت را افزایش می‌دهد [۱۸].

هدف زنجیره تامین سبز حذف یا حداقل کردن آثار منفی محیطی (آلودگی هوا، آب و خاک) و اتلاف منابع انرژی، مواد، محصولات از استخراج یا استفاده از مواد خام تا استفاده نهایی و مصرف محصولات می‌باشد [۱۹]. هم‌چنین، ایجاد مطلوبیت و رضایت‌مندی از نظر محیط‌زیستی در سراسر زنجیره تامین و دست‌یابی به بازار جدید از طریق عرضه محصولات سازگار با محیط‌زیست، کاهش هزینه‌ها از طریق صرفه‌جویی در منابع، هزینه سوخت، تعداد ساعات کارگران، حذف ضایعات و بهبود بهره‌وری و بهره‌مندی از مزایای رقابتی از طریق خلق و ارائه ارزش برای مشتریان و رضایت‌مندی و وفاداری مشتریان نسبت به محصولات و در نهایت افزایش سودآوری از مزایای زنجیره تامین سبز می‌باشد [۲۰]. حسینی و همکاران، سبز بودن زنجیره تامین را مفهومی جدید در مدیریت زنجیره تامین معرفی می‌کنند [۲۱]. کابرال و همکاران، بیان می‌کنند با شیوه‌های مدیریت زنجیره تامین سبز بدون فداکردن کیفیت، هزینه، قابلیت اطمینان، عملکرد یا راندمان استفاده از انرژی، تأثیرات محیطی فعالیت‌های صنعتی کاهش می‌یابد [۲۲]. بنابراین انتظار می‌رود ارزیابی الزامات مدیریت زنجیره تامین سبز، عملکرد محیطی سازمان‌ها را بهبود دهد. این رویکرد از بهبودهای عملکردهای عملیاتی، اقتصادی و سازمانی نیز پشتیبانی می‌کند [۲۳]. مدیریت زنجیره تامین سبز، یکپارچه‌کننده مدیریت زنجیره تامین با الزامات محیطی در همه مراحل طراحی محصول، انتخاب و تامین مواد اولیه، تولید و ساخت، فرایندهای توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و مدیریت بازیافت و مصرف مجدد است. هدف از این کار پیشینه‌کردن میزان بهره‌وری مصرف انرژی و منابع و بهبود عملکرد کل زنجیره تامین است [۲۴].

¹ GA

² GAMCC

۲-۱- تفاوت بین زنجیره تأمین سنتی و سبز

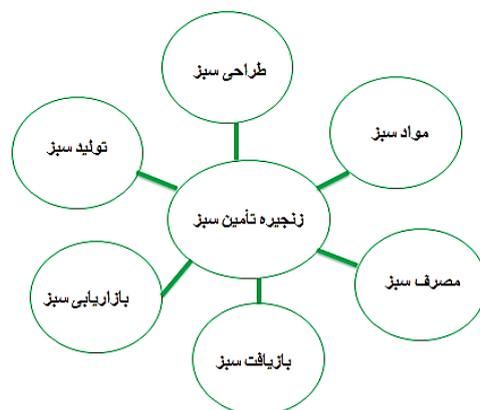
با سبز شدن زنجیره تأمین تغییراتی در زنجیره محصول ایجاد می‌گردد که آن را از زنجیره تأمین سنتی متفاوت می‌سازد. بنابراین، زنجیره تأمین سبز و زنجیره تأمین سنتی از جهاتی با یکدیگر متفاوت می‌باشند. اول این که، زنجیره‌های سنتی اغلب بر اهداف و ارزش‌های اقتصادی متمرکز هستند، در حالی که زنجیره‌های سبز به علل زیست‌محیطی ملاحظات قابل توجهی دارند. معیارهای انتخاب خریدار و فروشنده نیز در زنجیره سبز و سنتی از اساس متفاوت هستند. در زنجیره سبز، هدف زیست‌محیطی بخشی از معیارهای انتخاب تأمین‌کننده است. قرار دادن این ضوابط زیست‌محیطی در ارزیابی تأمین‌کنندگان، موجب می‌شود تنها تعداد بسیار محدودی از تأمین‌کنندگان واجد معیارهای تعریف شده باشند. از این رو، هرگونه تغییر در انتخاب تأمین‌کننده در یک زنجیره سبز نمی‌تواند به سرعت زنجیره‌های سنتی اتفاق بیفتد. برای اداره مؤثر مشکلات هزینه، بهره‌وری کل زنجیره تأمین باید ارزیابی شود. در مقایسه با زنجیره‌های سنتی، که درگیر تعداد زیادی مواد و تأمین‌کنندگان هستند، زنجیره سبز از لحاظ سرعت و انعطاف‌پذیری در سطح پایینی است [۲۵].

۲-۲- اهمیت و مزایای زنجیره تأمین سبز

مدیریت زنجیره تأمین که تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا از مرحله ماده خام تا تحویل به مصرف‌کنندگان نهایی را به موازات جریان اطلاعات در سرتاسر زنجیره تأمین در بر می‌گیرد، تأثیر مهمی بر محیط زیست دارد. امروزه در صنعت به دلیل کوتاه شدن دوره عمر آن‌ها و متنوع شدن محصولات، تصمیم‌گیری در مدیریت زنجیره تأمین از حساسیت خاصی برخوردار است. پرداختن به زنجیره تأمین سبز از دیدگاه‌های ذیل دارای اهمیت است [۲۵]: ۱- ایجاد مطلوبیت و رضایت‌مندی از نظر زیست‌محیطی در سراسر زنجیره تأمین و دستیابی به بازار جدید از طریق عرضه محصولات سازگار با محیط زیست. ۲- کاهش هزینه‌ها از طریق صرفه‌جویی در منابع، هزینه سوخت، تعداد ساعات کار کارگران، حذف ضایعات و بهبود بهره‌وری. ۳- بهره‌مندی از مزایای رقابتی از طریق خلق و ارائه ارزش برای مشتریان و رضایت‌مندی و وفاداری مشتریان نسبت به محصولات و نهایتاً افزایش سودآوری.

۲-۳- طراحی فرآیند کلی زنجیره تأمین سبز

شرکت‌ها باید در مورد طراحی محصولات و تکنیک‌های تولید و خدمت‌رسانی‌شان جهت ایجاد محصولات سازگارتر با محیط، تجدیدنظر کنند بر این اساس مدیریت زنجیره تأمین سبز بیش از پیش اهمیت پیدا کرده است. تعداد مؤلفه‌های فرآیند زنجیره تأمین سبز در منابع مختلف، متفاوت است. این فرآیند می‌تواند دارای شش مؤلفه همانند شکل ۱ باشد [۲۵]:



شکل ۱- طراحی کلی از فرآیند زنجیره تأمین سبز (overview of the green supply chain process)

طراحی سبز: طراحی سبز به این معنی است که شرکت باید شرح کامل زیست‌محیطی، سلامت انسان و ایمنی محصول را در روند کسب مواد اولیه، تولید، توزیع در نظر بگیرد که هدف آن جلوگیری از آلودگی در منبع است.

مواد سبز: مواد آگاهی زیست محیطی نیز نامیده می شوند به موادی اشاره دارد که منابع و انرژی کمتر مصرف نموده و سر و صدای کمتر ایجاد می نماید، غیرسمی بوده و موجب نابودی محیط زیست نمی شود.

تولید سبز: تولید سبز نیز به عنوان تولید پاک شناخته شده است. اما معنای اصلی آن همان است و به معنای استفاده از استراتژی های کاهش آلودگی با دیدگاه افزایش راندمان تولید و کاهش مخاطرات انسانی و زیست محیطی می باشد.

بازاریابی سبز: بازاریابی معادل پژوهش بازار، تحقیقات و طراحی محصول، قیمت گذاری محصول، ارتقاء محصول، به عنوان راهنمایی از نظریه سبز برای حفظ تعادل محیط زیست، ایجاد ارزش بالای حفاظت از محیط زیست و برای توسعه شرکت و همراهی با آداب و رسوم و منافع جامعه در زنجیره تأمین شرکت است.

مصرف سبز: مصرف سبز یعنی تلاش در انتخاب محصول و خدمات سازگار با محیط زیست برای استفاده و مقابله با محصول زائدی که ممکن است برای محیط زیست مضر باشد. تنها تعداد کمی از محصولاتی که اصطلاحاً سبز نامیده می شوند، به طور واقعی برای محیط زیست بی ضرر می باشند.

بازیافت سبز: بازیافت سبز آخرین قسمت از مصرف سبز است که به معنی بازیافت محصول و یا محصول زائد شرکت است که ممکن است نقص داشته باشد. دور نگه داشتن خط از هدر رفتن منابع و آلودگی پایین تر، و اجتناب از آسیب رساندن به محیط و جامعه در طول فرآیند از اهداف بازیافت سبز می باشد.

۳- روش تحقیق

۳-۱- مدل سازی ریاضی

مسئله مورد بررسی در این تحقیق شامل سه سطح بانک مرکزی، شعب بانک و مراکز سرمایه گذاری می باشد که در آن به تعیین میزان سرمایه گذاری شعب پرداخته شده است. جهت نزدیکی مسئله به مسائل دنیای واقعی، برخی از پارامترهای مدل به صورت فازی در نظر گرفته شده اند. هم چنین برای مدل سازی مجموعه، اندیس ها، پارامترها و متغیرهای مسئله به صورت ذیل تعریف می شود.

جدول ۱ - مجموعه اندیس ها، پارامترها و متغیرهای مسئله (Set of indexes, parameters & variables)

تعریف	اندیس / پارامتر / متغیر
شامل انواع سرمایه گذاری یا دارایی بانک ($i = 1, 2, \dots, I$)	i
شامل نقاط شعب ($j = 1, 2, \dots, J$)	j
مجموعه دوره های برنامه ریزی ($t = 1, 2, \dots, T$)	T
تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده در مرکز تولید راه اندازی شده توسط سرمایه گذاری آم	α_i
تعداد سناریوها و Sen اندیس سناریو	S
احتمال رخ دادن سناریو Sen	$prob_{sen}$
بازده سرمایه گذاری آم در دوره t تحت سناریو Sen.	r_{it}^{sen}
هزینه فازی معاملاتی ناشی از خرید دارایی ها در ابتدای دوره	\bar{c}_{buy}
هزینه فازی معاملاتی ناشی از فروش دارایی ها در ابتدای دوره پرتفو	\bar{c}_{sell}
نرخ قرض دهی	r_l
نرخ قرض گیری	r_b
ثروت اولیه شعبه j در ابتدای دوره	W_{j0}
سطح اطمینان	α
حداکثر میزان جاذبه نوع سرمایه گذاری آم که براساس میزان اشتغال و فواید زیست محیطی محاسبه می شود	BO_i
ضریب جاذبه نوع سرمایه گذاری آم ($B_i = BO_i e^{-\gamma d^2} + \alpha$) که حداکثر فاصله اقلیدسی تا شعبه و γ ضریب جذب می باشد	B_i

θ_h	فاکتور وزنی مواد خطرناک (وزن مواد خطرناک در تابع هدف)
θ_w	فاکتور وزنی ضایعات تولید شده (وزن ضایعات تولید شده در تابع هدف)
θ_i	فاکتور وزنی آسیب کار (وزن آسیب کار در تابع هدف)
sp_i	متوسط ضایعات ایجاد شده در مرکز تولید راه اندازی شده توسط سرمایه گذاری آم
dp_i	متوسط مواد خطرناک استفاده شده در مرکز تولید راه اندازی شده توسط سرمایه گذاری آم
w_{jt}^{sen}	ثروت شعبه j در ابتدا دوره t تحت سناریو Sen
v_{ijt}^{sen}	مقدار خرید از دارایی i در شعبه j در ابتدا دوره t تحت سناریو Sen
u_{ijt}^{sen}	مقدار فروش دارایی i در شعبه j در ابتدا دوره t تحت سناریو Sen
b_{jt}^{sen}	مقدار پول قرض گرفته شده از بانک مرکزی در شعبه j در ابتدا دوره t تحت سناریو Sen
$Weight_t$	وزن مطلوب برای دوره t ام

مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط فازی، سه هدفی است که اهداف براساس ابعاد پایداری (اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی) طراحی شده اند.

۳-۱-۱- توابع هدف مدل

$$\max z1 \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N B_i \sum_{sen=1}^S \alpha_i x_{ijt}^{sen} \quad (1)$$

رابطه (۱) نشان دهنده تابع هدف اول است که عبارتست از: حداکثر سازی ایجاد اشتغال از طریق سرمایه گذاری در مراکز تولیدی توسط شعب بانک (بعد پایداری اجتماعی).

$$\min z2 = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N (1 - B_i) \sum_{sen=1}^S (\theta_w sp_i + \theta_h dp_i + \theta_i) x_{ijt}^{sen} \quad (2)$$

رابطه (۲) نشان دهنده تابع هدف دوم است که عبارتست از: حداقل سازی اثرات منفی زیست محیطی ناشی از سرمایه گذاری در مراکز تولیدی توسط شعب بانک (بعد پایداری زیست محیطی).

$$\max z3 = \sum_{sen=1}^S \sum_{j=1}^J \text{prob}_{sen} w_{jT}^{sen} \quad (3)$$

رابطه (۳) نشان دهنده تابع هدف سوم است که عبارتست از: حداکثر سازی ثروت نهایی شعب بانک (بعد پایداری اقتصادی).

۳-۱-۲- محدودیت های مدل

s.to.

$$\sum_{i=1}^N [(1 + \bar{c}_{buy}) v_{ij0}^{sen} + x_{ij0}^{sen}] = w_{j0} + b_{j0}^{sen} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S \quad (4)$$

محدودیت (۳-۴) محدودیت بودجه در زمان صفر است و بیان می کند که مجموع سرمایه گذاری های اولیه بانک باید برابر با بودجه یا ثروت اولیه باشد.

$$x_{ijt}^{sen} = (1 + r_{i,t-1}^{sen})(x_{ij,t-1}^{sen} - u_{ij,t-1}^{sen} + v_{ij,t-1}^{sen}), \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S \quad (5)$$

$$x_{ij,1}^{sen} = (1 + r_i)(x_{ij,0}^{sen}) - b_{j1}^{sen}, \quad \forall sen \forall i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S \quad (6)$$

$$x_{ij,t}^{sen} = (1 + r_i) \left(x_{ij,t-1}^{sen} + \sum_{i=1}^N (1 + \bar{c}_{sell}) u_{ij,t-1}^{sen} - \sum_{i=1}^N (1 + \bar{c}_{buy}) v_{ij,t-1}^{sen} \right) - b_{j,t-1}^{sen} \times (1 + r_b) + b_{jt}^{sen}; \quad \forall sen \quad t = 2, 3, \dots, T - 1; \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S \quad (7)$$

$$x_{ij,T}^{sen} = (1 + r_i) \left(x_{ij,T-1}^{sen} + \sum_{i=1}^N (1 + \bar{c}_{sell}) u_{ij,T-1}^{sen} - \sum_{i=1}^N (1 + \bar{c}_{buy}) v_{ij,T-1}^{sen} \right) - b_{jT-1}^{sen} \times (1 + r_b); \quad \forall sen; \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S \quad (8)$$

محدودیت‌های (۵) تا (۸) جریان نقدی در دوره t را نشان می‌دهند.

$$\sum_{i=1}^N x_{ijt}^{sen} = w_{jt}^{sen} \forall j, sen, t = 1, 2, \dots, T - 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S \quad (9)$$

محدودیت (۹) ثروت انباشته شده در انتهای دوره t ام تحت سناریوی Sen را محاسبه می‌کند.

$$weight_t = \begin{cases} \gamma(w_{jt-1}^{sen} - \tau)^\varphi & w_{jt-1}^{sen} \geq \tau \\ -\gamma(w_{jt-1}^{sen} - \tau)^{\varphi_1} & w_{jt-1}^{sen} \leq \tau \end{cases} \quad \forall j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S, t = 2, \dots, T \quad (10)$$

محدودیت (۱۰) مطلوبیت بانک را محاسبه می‌کند. $\varphi, \varphi_1, \gamma, \tau$ پارامترهایی هستند که از بانک پرسیده می‌شود و وزن هر دوره از طریق تابع زیر و مبنی بر ثروت به دست آمده از دوره قبل محاسبه شود. با استفاده از این رابطه در ابتدا بانک مقداری از ثروت را به عنوان ثروت معیار در قالب پارامتر π مشخص می‌کند. سپس در هر دوره به میزانی که ثروت کسب شده از مقدار معیار کمتر یا بیشتر باشد مطلوبیت بانک برای برنامه‌ریزی در دوره بعد تغییر خواهد کرد.

$$x_{ijt}^{sen}, v_{ijt}^{sen}, u_{ijt}^{sen}, b_{jt}^{sen}, w_{jt}^{sen} \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S, t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (11)$$

$$0 \leq weight_t \leq 1 \quad \forall t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (12)$$

رابطه (۱۱) و (۱۲) نیز متغیرهای مدل را توصیف می‌کند، که در آن محدوده مقادیر متغیرهای مدل نشان داده شده است.

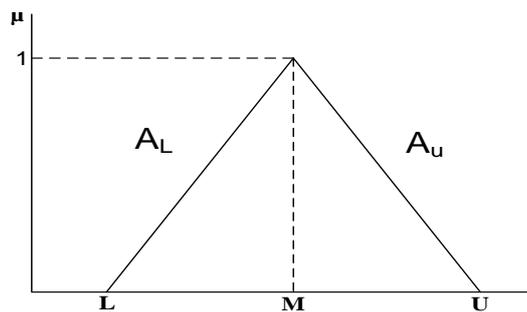
۳-۱-۳- فازی و دفازی کردن مدل

در مدل توسعه‌ای بخش قبل تعدادی ضرائب تابع هدف و برخی مقادیر سمت راست به شکل اعداد فازی هستند.

$$\begin{cases} \min z = \tilde{c} x \\ ax \leq \tilde{b} \\ x \geq 0 \end{cases} \quad (13)$$

روش‌های متعددی برای حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی فازی پیشنهاد شده است. در این تحقیق از روش رتبه‌بندی ارایه شده توسط خیمنز (۲۰۰۷) استفاده شده است. خیمنز یک روش رتبه‌بندی اعداد فازی بر مبنای مقایسه بازه انتظار آن‌ها پیشنهاد داد. اگر عدد فازی مثلثی به شکل $\tilde{A} = \{L, M, U\}$ باشد آن را می‌توان بصورت زیر نوشت (شکل ۲):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} f_A(x) = \frac{X-L}{M-L} & L \leq X \leq M \\ 1 & X = M \\ g_A(x) = \frac{X-U}{M-U} & M \leq X \leq U \end{cases} \quad (14)$$



شکل ۲- عدد فازی مثلثی (Triangular fuzzy number)

برای تضمین این که معکوس توابع $f_A^{-1}(x)$ و $g_A^{-1}(x)$ وجود دارد فرض می‌شود $f_A(x)$ پیوسته و صعودی و $g_A(x)$ پیوسته و نزولی است. بازه انتظاری یک عدد فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$EI(\tilde{A}) = [E_1^{\tilde{A}}, E_2^{\tilde{A}}] = \left[\int_{a_1}^{a_2} xdf_A(x) - \int_{a_3}^{a_4} xdg_A(x) \right] \quad (15)$$

با تجميع اجزا و با تغيير متغير خواهيم داشت:

$$EI(\tilde{A}) = [E_1^{\tilde{A}} \cdot E_2^{\tilde{A}}] = \left[\int_0^1 f_A^{-1}(\alpha) d\alpha - \int_0^1 g_A^{-1}(\alpha) d\alpha \right] \quad (16)$$

اگر توابع $f_A(x)$ و $g_A(x)$ خطی باشند و یک عدد فازی مثلثی باشد، بازه انتظاری آن به صورت زیر خواهد بود:

$$EI(\tilde{A}) = \left[\frac{1}{2}(L + M) \cdot \frac{1}{2}(M + U) \right] \quad (17)$$

و هم چنین ارزش انتظاری عدد فازی \tilde{A} نصف مقدار بازه انتظاری است.

$$EV(A) = \frac{E_1^{\tilde{A}} + E_2^{\tilde{A}}}{2} \quad (18)$$

و برای عدد فازی مثلثی \tilde{A} به صورت زیر است:

$$EV(A) = \frac{L + 2M + U}{2} \quad (19)$$

تعریف ۱- برای هر دو عدد فازی \tilde{A} و \tilde{B} درجه عضویت بزرگ تر بودن \tilde{A} از \tilde{B} به شکل زیر است:

$$\mu_M(\tilde{A} \cdot \tilde{B}) = \begin{cases} 0 & E_2^A - E_1^B < 0 \\ \frac{E_2^A - E_1^B}{E_2^A - E_2^B - (E_1^A - E_2^B)} & 0 \in [E_1^A - E_2^B, E_2^A - E_2^B] \\ 1 & E_1^A - E_2^B > 0 \end{cases} \quad (20)$$

به طوری که $[E_1^A - E_2^A]$ و $[E_1^B - E_2^B]$ بازه های انتظاری \tilde{A} و \tilde{B} هستند. وقتی که $\mu_M(\tilde{A} \cdot \tilde{B}) = 0$ باشد می گوئیم که \tilde{A} و \tilde{B} یکسان هستند. وقتی که $\mu_M(\tilde{A} \cdot \tilde{B}) \geq \alpha$ باشد، می گوئیم که \tilde{A} با حداقل درجه α بزرگ تر مساوی از \tilde{B} است و آن را با $\tilde{A} \geq \alpha \tilde{B}$ نشان می دهیم.

تعریف ۲- فرض کنید بردار $x \in R^n$ باشد، گفته می شود آن با درجه α قابل قبول است اگر:

$$\min\{\mu_M(\tilde{A}x \cdot \tilde{B})\} = \alpha \quad (که می توان آن را با $\tilde{A}x \geq \alpha \tilde{B}$ نشان داد)، می توان رابطه (۱۸) را به صورت زیر بازنویسی کرد:$$

$$[(1 - \alpha)E_2^A + \alpha E_1^A]x \geq \alpha E_2^B + (1 - \alpha)E_1^B \quad یا \quad \frac{E_2^{Ax} - E_1^B}{E_2^{Ax} - E_2^{Ax} + E_2^B - E_1^B} \quad (21)$$

۳-۱-۴- قطعی کردن مدل

بنابراین با توجه به تعاریف بالا می توانیم مدل فازی را به مدل قطعی و دقیق نظیرش تبدیل کنیم. به صورت زیر:

$$\begin{aligned} &MinEV(\tilde{C})x \\ &s. t: \end{aligned} \quad (22)$$

$$x \in \{x \in R^n | \tilde{A}x \geq \alpha \tilde{B} \cdot x \geq 0\}$$

حال با توجه به تعاریف بالا و با استفاده از روش یاد شده، مدل برنامه ریزی فازی ارائه شده را به مدل قطعی نظیرش تبدیل می کنیم: شکل قطعی محدودیت (۴):

$$\sum_{i=1}^N [(1 + \alpha) \frac{c_{buy}^1 + c_{buy}^2}{2} + (1 - \alpha) \frac{c_{buy}^2 + c_{buy}^3}{2}] v_{ij0}^{sen} + x_{ji0}^{sen} = w_{j0} + b_{j0}^{sen}; \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S \quad (23)$$

شکل قطعی محدودیت (۷) و (۸):

$$\begin{aligned} x_{ij,t}^{sen} = (1 + r_l) & \left(x_{ij,t-1}^{sen} + \sum_{i=1}^N (1 + \alpha) \frac{c_{sell}^1 + c_{sell}^2}{2} + (1 - \alpha) \frac{c_{sell}^2 + c_{sell}^3}{2} \right) u_{ij,t-1}^{sen} \\ & - \sum_{i=1}^N (1 + \alpha) \frac{c_{buy}^1 + c_{buy}^2}{2} + (1 - \alpha) \frac{c_{buy}^2 + c_{buy}^3}{2} v_{ij,t-1}^{sen} \Big) - b_{j,t-1}^{sen} \times (1 + r_b) \\ & + b_{jt}^{sen} \quad \forall sen, t = 2, 3, \dots, T - 1, \forall i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned}
 x_{ij,T}^{sen} = (1 + r_l) & \left(x_{ij,T-1}^{sen} + \sum_{i=1}^N (1 + \alpha) \frac{c_{sell}^1 + c_{sell}^2}{2} + (1 - \alpha) \frac{c_{sell}^2 + c_{sell}^3}{2} \right) u_{ij,T-1}^{sen} \\
 & - \sum_{i=1}^N (1 + \alpha) \frac{c_{buy}^1 + c_{buy}^2}{2} + (1 - \alpha) \frac{c_{buy}^2 + c_{buy}^3}{2} \left. \right) v_{ij,T-1}^{sen} - b_{jT-1}^{sen} \\
 & \times (1 + r_b), \forall sen, t = 2, 3, \dots, T-1, \forall i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J, sen = 1, 2, \dots, S
 \end{aligned} \tag{25}$$

وجود تضاد بین توابع هدف در نظر گرفته شده، استفاده از رویکرد بهینه‌سازی چند معیاره برای حل مسئله مورد نظر مناسب‌تر از روش‌های بهینه‌سازی.

۲-۳- بهینه‌سازی چندهدفه

در این تحقیق به علت وجود تضاد بین توابع هدف در نظر گرفته شده، استفاده از رویکرد بهینه‌سازی چند معیاره برای حل مسئله مورد نظر مناسب‌تر از روش‌های بهینه‌سازی تک معیاره می‌باشد. برای آشنایی بیشتر با ماهیت مسائل بهینه‌سازی چند معیاره، تعریف‌های کلیدی زیر ارائه می‌گردند (در تمامی تعریف‌ها، مدل کمینه‌سازی زیر با p متغیر تصمیم‌گیری و q تابع هدف در نظر گرفته شده است).

$$\min y = f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_q(x)) \quad x, y \in R^p, q > 1 \tag{26}$$

۳-۳- تعریف ارتباط غالب^۱

در مسائل بهینه‌سازی چند معیاره، گوئیم بردار \vec{x}_1 بر بردار \vec{x}_2 غلبه می‌نماید، هر گاه دو شرط زیر برقرار باشد:

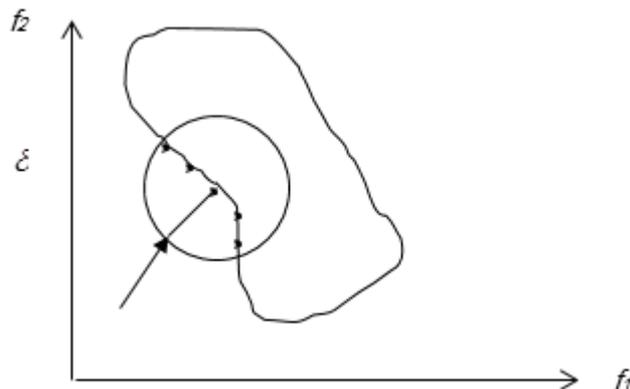
$$i = 1, \dots, q \quad \exists \quad f_i(\vec{x}_1) \leq f_i(\vec{x}_2) \tag{27}$$

$$i = 1, \dots, q \quad \exists \quad f_i(\vec{x}_2) \leq f_i(\vec{x}_1) \tag{28}$$

بنابراین هدف اصلی در این گونه مسائل، پیدا کردن مجموعه‌ای از نقاط است که بر نقاط دیگر غالب باشند. برای درک بیشتر موضوع دو تعریف زیر بیان می‌گردند.

۳-۴- تعریف نقاط بهینه موضعی^۲

برداری مانند \vec{x} به صورت موضعی بهینه در نظر گرفته می‌شود، هر گاه به ازای $\delta > 0$ نتوان بردار دیگری مانند \vec{x}_1 پیدا نمود، به طوری که این بردار بتواند بر بردار \vec{x} در کره‌ای به مرکز \vec{x} و شعاع δ غلبه کند. در این حالت، بردار \vec{x} را به طور موضعی جواب غیر مغلوب^۳ می‌نامند. شکل زیر مفهوم فوق را بهتر نمایان می‌سازد.



شکل ۳- نقاط بهینه موضعی (Optimal local level)

¹ Domination Relation
² Local Optimum
³ Non- Dominated Solutions

۳-۵- تعریف نقاط بهینه سراسری^۱

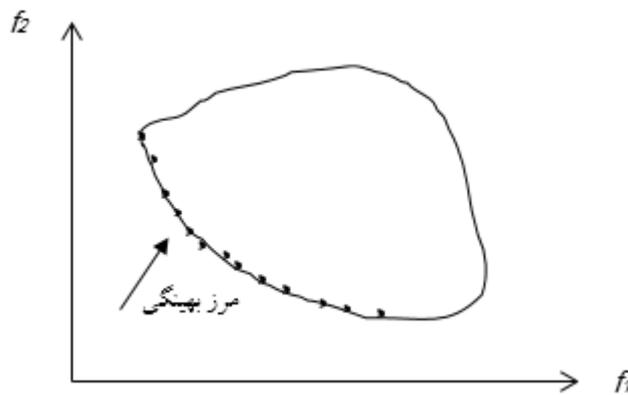
برداری مانند \vec{x} به صورت سراسری بهینه در نظر گرفته می‌شود هرگاه در کل فضای جواب نتوان بردار دیگری مانند \vec{x}_1 پیدا نمود، به طوری که این بردار بتواند بر بردار \vec{x} غلبه کند. در این حالت بردار \vec{x} را به صورت سراسری جواب غیر مغلوب یا پارتو می‌نامند.



شکل ۴- رابطه فضای جواب و ارتباط غالب

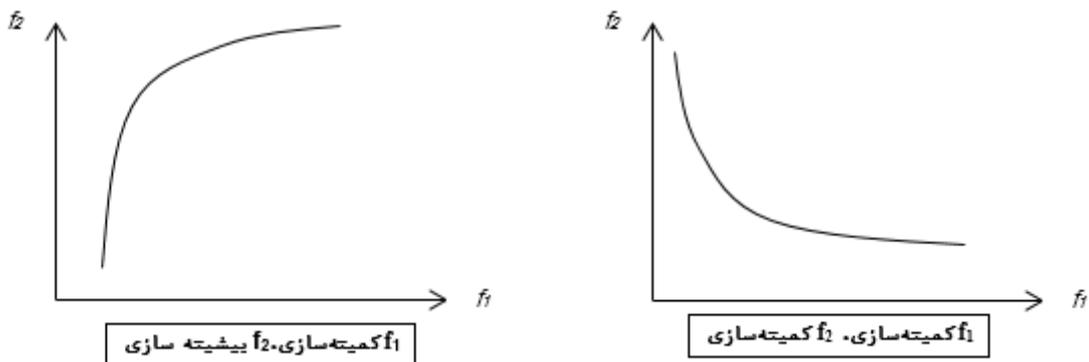
۳-۶- تعریف مرز بهینه پارتو^۲

مجموعه نقاط بهینه سراسری یا پارتو، تشکیل مرزی را می‌دهند که به آن مرز بهینه گفته می‌شود. شکل ۵ و ۶ معرف این موضوع است.



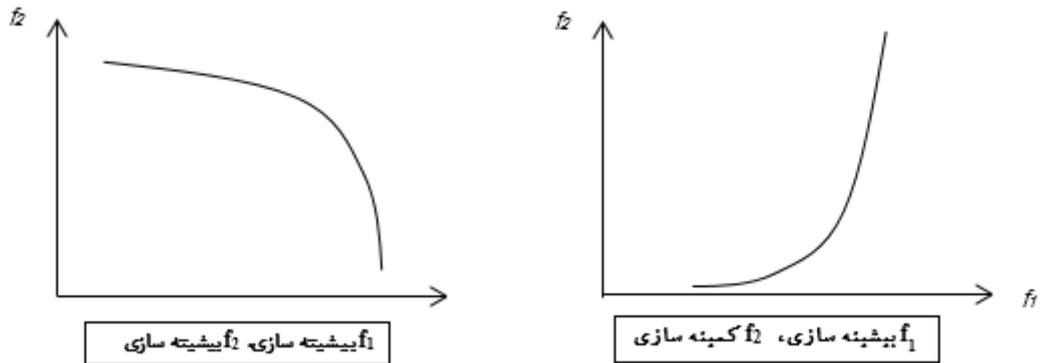
شکل ۵- مرز بهینه (Optimal border)

مرز بهینه در مسائل بهینه‌سازی مختلف، به صورت شکل‌های زیر در نظر گرفته می‌شود (توجه داشته باشید که این شکل‌ها فضای دو بعدی اهداف را در نظر گرفته‌اند).



¹ Global Optimum

² Pareto Front



شکل ۶- حالات مختلف مرز بهینه (optimal borderline modes)

با توجه به مطالب بیان شده می توان این چنین نتیجه گرفت که هدف اصلی رویکرد بهینه سازی چند معیاره، دسترسی هر چه بیشتر به نقاط (جواب های) بهینه سراسری یا پارتو می باشد.

۳-۷- الگوریتم آتش بازی

الگوریتم آتش بازی، یک الگوریتم هوشمند جدید است که توسط بینگ تان در سال ۲۰۱۰ پیشنهاد شد [۲۶]. این الگوریتم از طریق تقلید فرایند انفجار آتش بازی، می تواند کارایی راه حل بهینه را جستجو کند. جهت معرفی ساده برای این الگوریتم مسئله بهینه سازی کلی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\text{Minimize } f(x) \mid x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \quad (29)$$

شدت انفجار توسط تعداد جرقه ها اندازه گیری می شود که به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$s_i = m \cdot \frac{y_{\max} - f(x_i) + \xi}{\sum_{i=1}^n (y_{\max} - f(x_i)) + \xi} \quad (30)$$

که s_i تعداد جرقه هایی است که توسط آتش بازی i ام تولید می شود؛ m ، یک مقدار ثابت است که به مقدار کل جرقه ها محدود می شود؛ $f(x_i)$ مقدار تناسب آتش بازی i ام می باشد.

$$y_{\max} = \max(f(x_i)) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (31)$$

بزرگ ترین مقدار تناسب برای جمعیت اخیر می باشد؛ و ξ یک مقدار ثابت مثبت کوچک برای اجتناب از تقسیم بر صفر می باشد. همان طور که تعداد جرقه های تولید شده ممکن است که بسیار بیشتر یا بسیار کمتر برای الگوریتم باشد، ما محدودیت بیشتری بر روی تعداد جرقه ها تعیین می کنیم، و محدوده s_i به صورت زیر نشان داده می شود:

$$\hat{s}_i = \begin{cases} \text{round}(a.m) & \text{if } s_i < a.m \\ \text{round}(b.m) & \text{if } s_i > b.m, a < b < 1 \\ \text{round}(s_i) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (32)$$

که \hat{s}_i تعداد جرقه هایی است که توسط آتش بازی i ام تولید می شود، $\text{round}(\cdot)$ یک تابع بازگشتی است که یک عدد صحیح را باز می گرداند، و a و b مقادیر ثابت مشخص شده در پیشرو هستند. دامنه انفجار توسط فاصله جابجایی اندازه گیری شد، که توسط فرمول زیر نمایش داده می شود:

$$A_i = \hat{A} \cdot \frac{f(x_i) - y_{\min} + \xi}{\sum_{i=1}^n (f(x_i) - y_{\min}) + \xi} \quad (33)$$

که A_i دامنه انفجار آتش بازی i ام را نشان می دهد، \hat{A} یک مقدار ثابت است، که حد بالای دامنه انفجار را نشان می دهد. پس از این که ما شدت و دامنه انفجار را بدست آوردیم، به صورت تصادفی Z بعد از انتخاب می کنیم تا رانش آتش بازی را ایجاد کنیم. این فرمول، این عملیات را به صورت زیر انجام می دهد:

$$Z = \text{round}(d.\text{rand}(0,1)) \quad (34)$$

در این جا، d بعدی از X می باشد، و $\text{rand}(0.1)$ یک تابع برای تولید یک عدد تصادفی توزیع یکنواخت واحد بین ۰ و ۱ می باشد. برای بعد انتخاب شده، فرمول جابجایی به صورت زیر مشخص می شود:

$$\Delta x_i^k = x_i^k + \text{rand}(0. A_i) \quad (35)$$

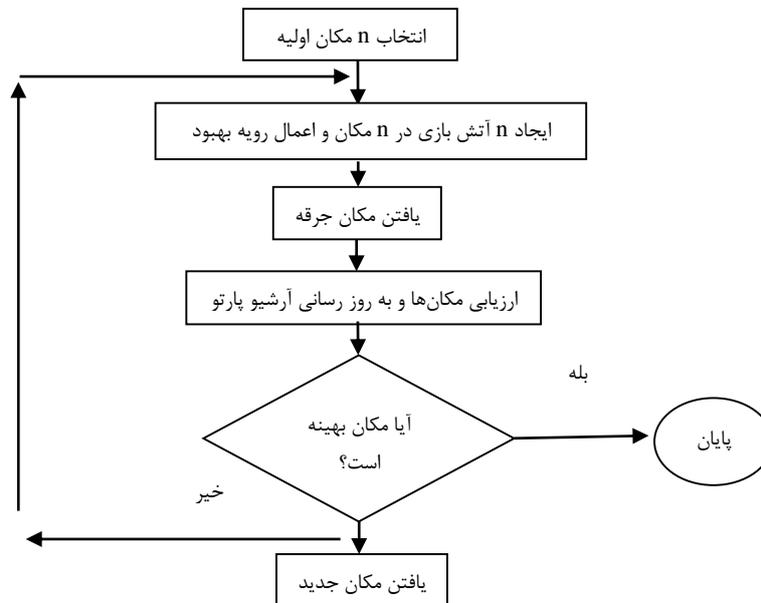
که $\text{rand}(0. A_i)$ نیز یک عدد تصادفی بین A_i و ۰ را بر می گرداند. ایده اصلی استراتژی انتخاب این است که مطمئن شویم که این جرقه در جمعیت اخیر با کوچک ترین مقدار تناسب، همیشه انتخاب خواهد شد و $n-i$ جرقه باقی مانده توسط فاصله اقلیدسی بین آن جرقه و جرقه های دیگر تعیین می شود. فاصله اقلیدسی به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$R(x_i) = \sum_{j \in K} d(x_i, x_j) = \sum_{j \in K} \|(x_i - x_j)\| \quad (36)$$

که K یک مجموعه کامل از جمعیت اخیر است، که نه تنها شامل آتش بازی ها می باشد بلکه هم چنین شامل جرقه های نتیجه شده از انفجارها می باشد. احتمال انتخاب مربوطه به هر جرقه توسط فرمول زیر مشخص می شود:

$$P(x_i) = \frac{R(x_i)}{\sum_{j \in K} R(x_j)} \quad (38)$$

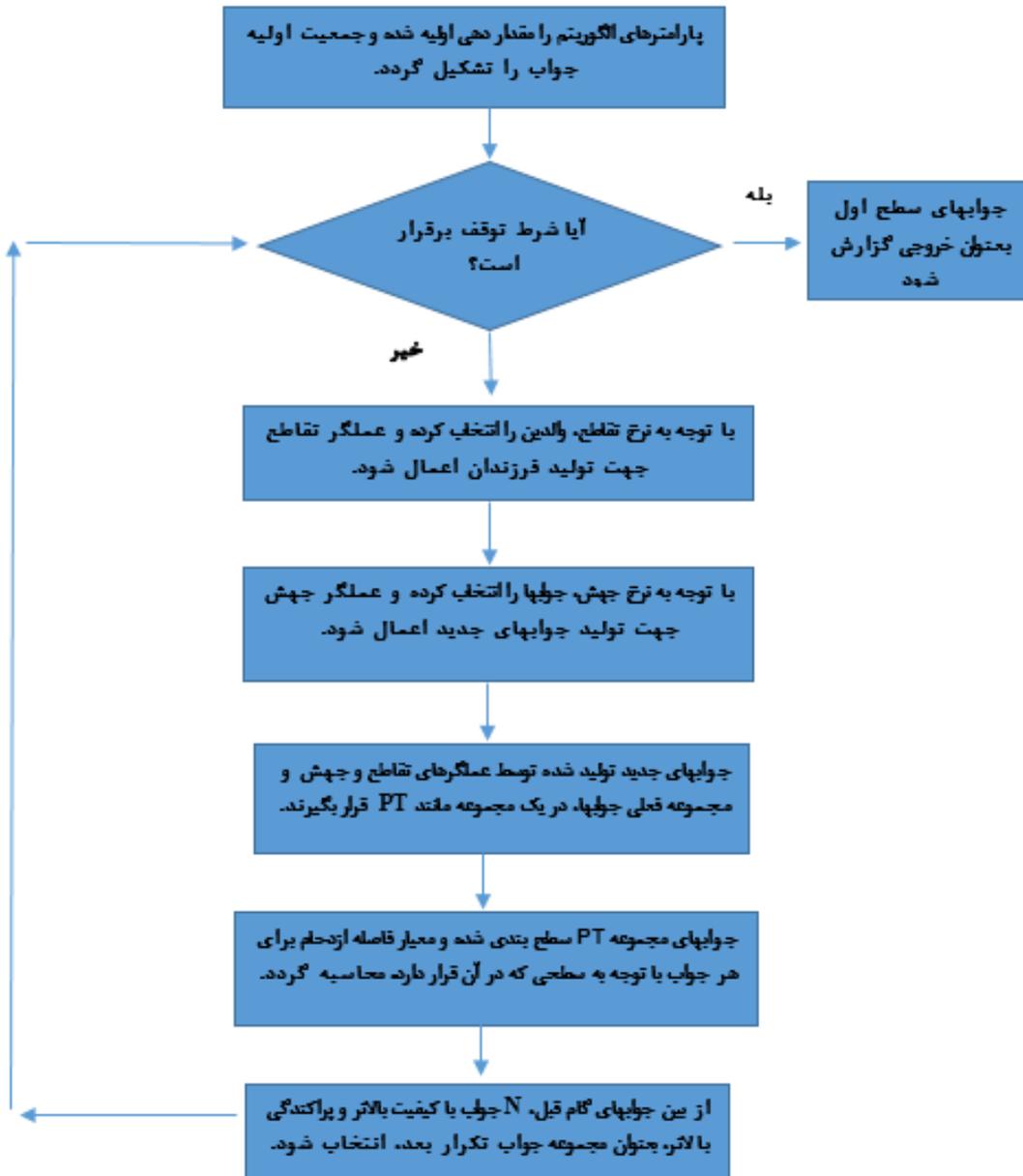
معادله (۳۷) نشان می دهد که جرقه ای که فاصله میانگین بزرگ تری دارد، به احتمال بیشتر انتخاب خواهد شد، در حالی که جرقه ای با فاصله میانگین کوچک تر، به احتمال کمتری انتخاب خواهد شد.



شکل ۷- فلوجارت گام های الگوریتم آتش بازی (Flowchart Steps to the Fireworks Algorithm)

۳-۸- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم های تکامل است که از تکنیک های زیست شناسی فرگشتی مانند وراثت و جهش استفاده می کند. این الگوریتم یک الگوریتم فرا ابتکاری بر پایه جمعیت است که در هر تکرار با جمعیتی از جواب ها کار می کند. این الگوریتم با جمعیتی از جواب ها شروع شده و با استفاده از عملگرهای جهش، تقاطع و تجدید نسل، جواب های جدیدی را تولید می کند. نرخ جهش و تقاطع عددی بین ۰ و ۱ بوده و پارامتر ورودی الگوریتم است.



شکل ۸- فلوچارت گام های الگوریتم ژنتیک (Flowchart Genetic Algorithm Steps)

۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

۴-۱- مسائل نمونه

جهت حل مدل، مسائل نمونه براساس شعب بانک سپه در شهر تهران که تعداد آنها برابر با ۲۱۹ است، طراحی گردید. مسائل نمونه در اندازه‌های کوچک، بزرگ و متوسط در ادامه ارائه شده است. لازم به ذکر است، مسائل به صورت زیر مجموعه ۲۱۹ شعبه بانک سپه در تهران است. برای تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها، مقادیر هر کدام از این پارامترها در سه سطح بررسی شده است که این سطوح در جدول های ۱ تا ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳- مسائل با اندازه متوسط (Medium size issues)

شماره	تعداد شعب	تعداد دارایی	تعداد دوره
۱	۲۰	۴	۶
۲	۲۰	۶	۶
۳	۲۰	۸	۶
۴	۲۰	۱۰	۶
۵	۲۰	۱۲	۶
۶	۳۰	۴	۶
۷	۳۰	۶	۶
۸	۳۰	۸	۶
۹	۳۰	۱۰	۶
۱۰	۳۰	۱۲	۶

جدول ۲- مسائل با اندازه کوچک (Small size issues)

شماره	تعداد شعب	تعداد دارایی	تعداد دوره
۱	۱۰	۴	۶
۲	۱۰	۶	۶
۳	۱۰	۸	۶
۴	۱۰	۱۰	۶
۵	۱۰	۱۲	۶
۶	۱۵	۴	۶
۷	۱۵	۶	۶
۸	۱۵	۸	۶
۹	۱۵	۱۰	۶
۱۰	۱۵	۱۲	۶

جدول ۴- مسائل با اندازه بزرگ (Large size issues)

شماره	تعداد شعب	تعداد دارایی	تعداد دوره
۱	۵۰	۱۰	۶
۲	۷۰	۱۰	۶
۳	۱۰۰	۱۰	۶
۴	۱۲۰	۱۰	۶
۵	۱۴۰	۱۰	۶
۶	۱۶۰	۱۰	۶
۷	۱۸۰	۱۰	۶
۸	۱۹۰	۱۰	۶
۹	۲۰۰	۱۰	۶
۱۰	۲۱۹	۱۰	۶

۴-۲- تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها

برای تنظیم برخی پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی از نرم افزار MINTAB استفاده شده است. برای انجام تحلیل از معیار درصد انحراف نسبی^۱، استفاده شده است که نحوه محاسبه آن در زیر نشان داده شده است:

$$GAP = \left(\frac{alg_{sol} - best_{sol}}{best_{sol}} \right) \times 100 \quad (38)$$

¹ GAP

که در آن alg_{sol} مقدار تابع هدف به دست آمده با ترکیب مورد نظر پارامترها و $best_{sol}$ بهترین مقدار تابع هدف به دست آمده از اجرای الگوریتم است. معیار GAP برای هر الگوریتم محاسبه و در نهایت نمودار مربوطه ترسیم شده است. سطوح پارامترهای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم آتش‌بازی و آرتوگونال برای تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم آتش‌بازی به ترتیب در جدول های ۵ تا ۸ نشان داده شده اند.

جدول ۲- سطوح پارامترهای الگوریتم ژنتیک (Levels of genetic algorithm parameters)

اندازه جمعیت	نرخ تقاطع	نرخ جهش	تعداد تکرار الگوریتم
۷۰	0/75	0/006	۱۵۰
۱۵۰	0/85	0/009	۳۰۰
۲۰۰	0/95	0/01	۵۰۰

جدول ۶- سطوح پارامترهای الگوریتم آتش‌بازی (Levels of firefighting algorithm parameters)

اندازه جمعیت	حد بالای دامنه انفجار	پارامتر کنترل تعداد جرقه‌ها (m)	تعداد تکرار الگوریتم
۷۰	۵	۰/۵	۱۵۰
۱۵۰	۱۰	۱	۳۰۰
۲۰۰	۱۵	۲	۵۰۰

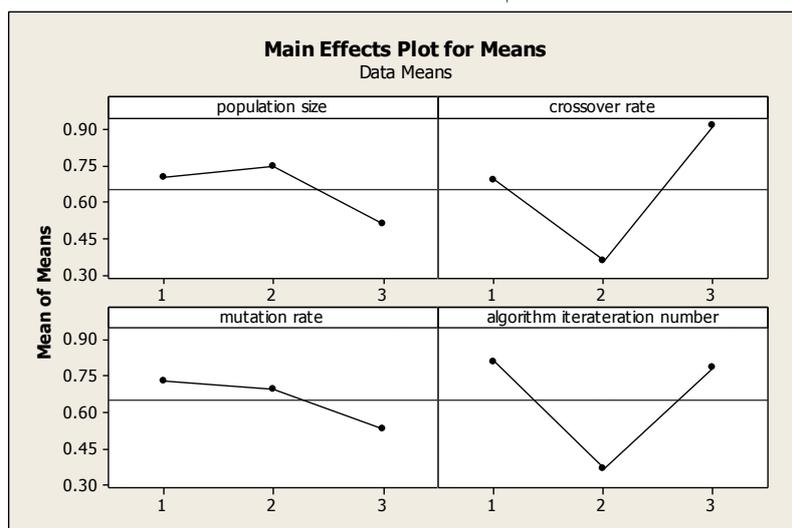
جدول ۷- آرتوگونال برای تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک (orthogonal to adjust the parameters of the genetic algorithm)

شماره آزمایش	اندازه جمعیت	نرخ تقاطع	نرخ جهش	تعداد تکرار الگوریتم	مقدار GAP
۱	70	0/75	0/006	150	0/965
۲	70	0/85	0/009	300	0/158
۳	70	0/95	0/01	500	0/971
۴	150	0/75	0/009	500	0/957
۵	150	0/85	0/01	150	0/485
۶	150	0/95	0/006	300	0/800
۷	200	0/75	0/01	300	0/142
۸	200	0/85	0/006	500	0/422
۹	200	0/95	0/009	150	0/967

جدول ۳. آرتوگونال برای تنظیم پارامترهای الگوریتم آتش‌بازی (orthogonal to set fire parameter algorithm parameters)

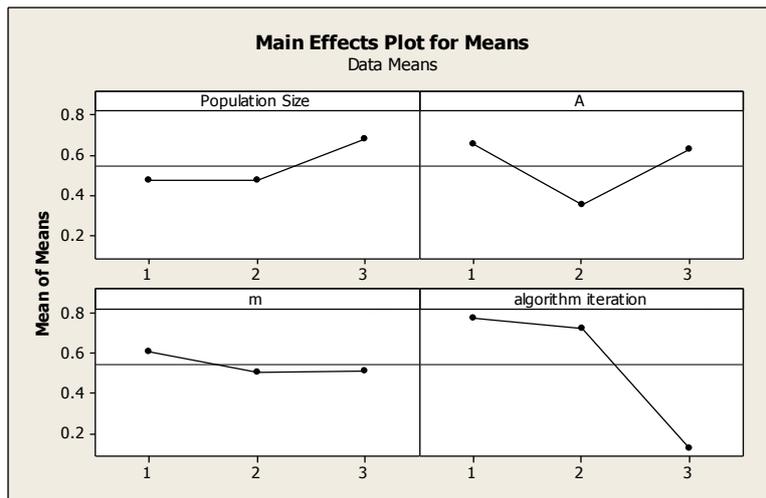
شماره آزمایش	اندازه جمعیت	حد بالای دامنه انفجار	پارامتر کنترل تعداد جرقه‌ها (m)	تعداد تکرار الگوریتم	مقدار GAP
۱	70	5	0/5	150	0/888
۲	70	10	1	300	0/427
۳	70	15	2	500	0/112
۴	150	5	1	500	0/131
۵	150	10	2	150	0/485
۶	150	15	0/5	300	0/800
۷	200	5	2	300	0/942
۸	200	10	0/5	500	0/134
۹	200	15	1	150	0/967

نتایج نرم افزار MINITAB برای اثر میانگین الگوریتم ژنتیک در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- اثر میانگین الگوریتم ژنتیک (The effect of the average genetic algorithm)

سطح ۳ برای نرخ جهش و سطح ۲ برای نرخ تقاطع؛ سطح ۳ برای اندازه جمعیت و سطح ۲ برای تکرار الگوریتم موثرتر می‌باشد. لذا مقادیر ۲۰۰ برای اندازه جمعیت، ۳۰۰ برای تکرار الگوریتم، ۰/۰۱ برای نرخ جهش و ۰/۸۵ برای نرخ تقاطع در نظر گرفته شده است. نتایج نرم افزار MINITAB برای اثر میانگین الگوریتم آتش‌بازی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- اثر میانگین الگوریتم آتش‌بازی (The effect of the average fire algorithm)

سطح ۲ برای پارامترهای کنترل الگوریتم؛ سطح ۲ برای اندازه جمعیت و سطح ۳ برای تکرار الگوریتم موثرتر می‌باشد. لذا مقادیر ۲۰۰ برای اندازه جمعیت، ۵۰۰ برای تکرار الگوریتم، مقدار ۱۰ برای حد بالای دامنه انفجار (A) و مقدار ۱ برای پارامتر کنترل تعداد جرقه‌ها (m) در نظر گرفته شده است.

۳-۴- شاخص‌های مقایسه‌ای

برای ارزیابی کیفیت و پراکندگی الگوریتم‌های فراابتکاری چند هدفی، در این مقاله، برای انجام مقایسه، سه شاخص، مورد توجه قرار گرفته است.

A- شاخص کیفیت Quality metric: این شاخص به مقایسه کیفیت جواب‌های پارتوی بدست آمده توسط هر روش می‌پردازد. در واقع همه جواب‌های پارتوی بدست آمده توسط هر ۲ روش را با هم سطح‌بندی کرده و مشخص می‌کند که چند درصد جواب‌های سطح یک متعلق به هر روش می‌باشد. هر چه این درصد بالاتر باشد، الگوریتم، از کیفیت بالاتری برخوردار است.

B- شاخص فاصله گذاری Spacing metric: این معیار، یکنواختی توزیع جواب‌های پارتوی بدست آمده را در مرز جواب‌ها مورد آزمایش قرار می‌دهد. این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$s = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} |d_{mean} - d_i|}{(N-1) \times d_{mean}} \quad (39)$$

در رابطه فوق، d_i نشان‌دهنده فاصله اقلیدسی بین دو جواب غیر مغلوب یافت شده مجاور بوده و d_{mean} معرف میانگین مقادیر d_i می‌باشد.

C- شاخص پراکندگی Diversity metric: این شاخص برای تعیین میزان جواب‌های غیرمغلوب یافت شده بر روی مرز بهینه استفاده می‌گردد. تعریف شاخص پراکندگی به صورت زیر است:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^N \max(\|x_t^i - y_t^i\|)} \quad (40)$$

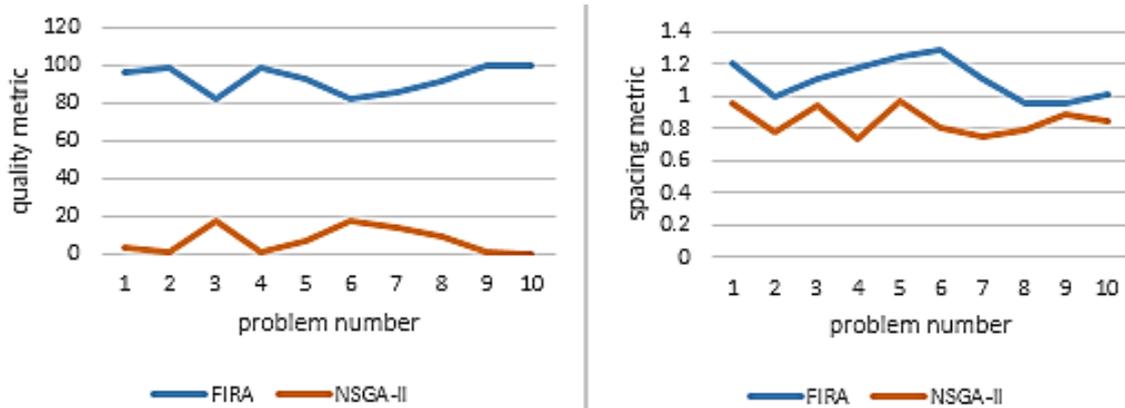
در رابطه فوق، $\|x_t^i - y_t^i\|$ نشان‌دهنده فاصله اقلیدسی بین دو جواب مجاور x_t^i و y_t^i بر روی مرز بهینه است.

۴-۴- نتایج حل مدل

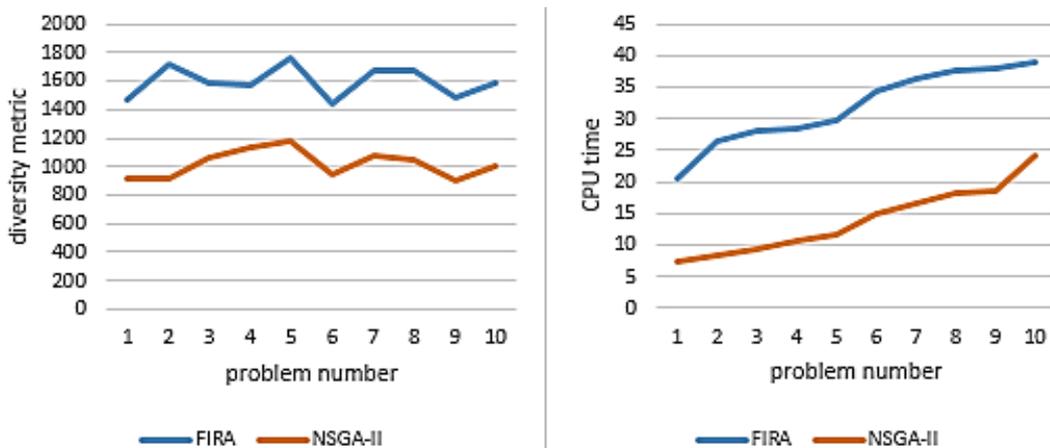
در این تحقیق جهت مقایسه دقیق‌تر عملکرد دو الگوریتم آتش‌بازی چندهدفی و NSGA-II، نتایج مقایسه‌ای برای حل مسائل با اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ براساس شاخص‌های مطرح شده در جدول‌های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۹- نتایج حل مسئله با اندازه کوچک (Small size problem solving results)

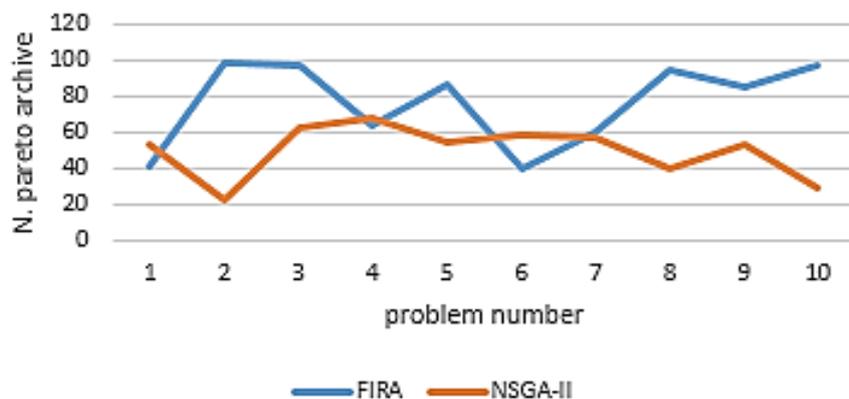
Prob.	FIREWORKS					NSGA-II				
	Quality metric	Spacing metric	Diversity metric	cpu time	NA. pareto	Quality metric	Spacing metric	Diversity metric	cpu time	NA. pareto
1	96/3	1/2	1475/8	20/6	41	3/7	0/95	922/7	7/3	53
2	98/1	1/002	1715/4	26/4	98	1/9	0/77	916/1	8/2	22
3	82/5	1/10	1592/6	28/1	97	17/5	0/94	1059/2	9/4	62
4	98/3	1/18	1574/8	28/3	64	1/7	0/73	1133/7	10/5	67
5	92/6	1/25	1758/5	29/6	86	7/4	0/97	1180/2	11/8	54
6	82	1/28	1442/9	34/3	40	18	0/80	938/9	14/9	58
7	85/6	1/11	1678/6	36/2	60	14/4	0/75	1070/6	16/7	57
8	90/9	0/95	1676/8	37/6	94	9/1	0/79	1040/8	18/1	40
9	99/2	0/96	1490/2	37/9	85	0/8	0/88	903/5	18/5	53
10	99/3	1/003	1583/9	38/8	97	0/7	0/84	1001/1	24/1	29



شکل ۱۱- شاخص های کیفیت و یکنواختی برای مسائل با اندازه کوچک



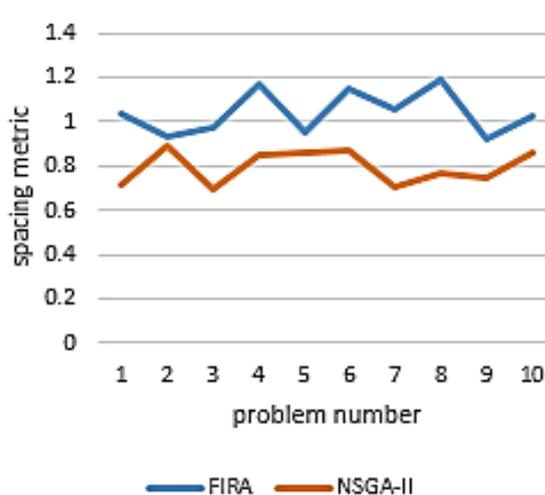
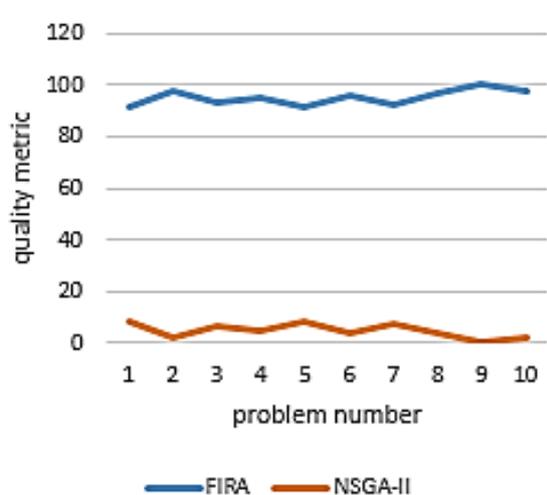
شکل ۱۲- شاخص های پراکنندگی و زمان اجرا برای مسائل با اندازه کوچک



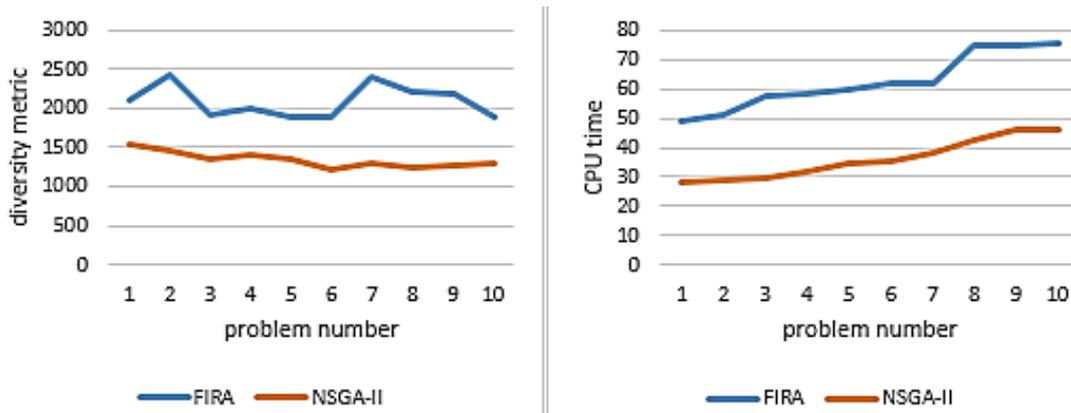
شکل ۱۳- شاخص تعداد جوابهای پارتو برای مسائل با اندازه کوچک

جدول ۱۰- نتایج حل مسئله با اندازه متوسط (Medium size problem solving results)

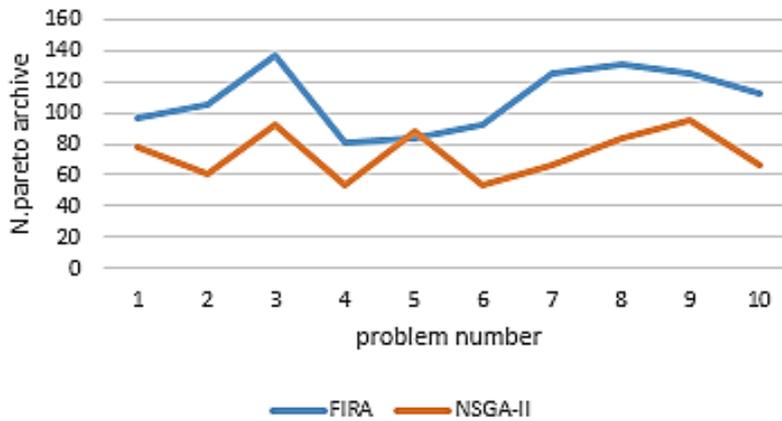
Prob.	FIREWORKS					NSGA-II				
	Quality metric	Spacing metric	Diversity metric	cpu time	NA pareto	Quality metric	Spacing metric	Diversity metric	cpu time	NA. pareto
1	91/6	1/04	2101/9	48/9	96	8/4	0/72	1541/2	28/1	78
2	97/9	0/93	2437/4	50/8	105	2/1	0/89	1448/8	28/9	61
3	93/1	0/97	1927/2	57/6	137	6/9	0/70	1340/3	29/6	92
4	95/3	1/17	1984/6	58/5	81	4/7	0/85	1405/2	31/8	53
۵	91/7	0/95	1901/8	60/01	83	8/3	0/86	1360/7	34/7	88
6	96/02	1/15	1895/2	62/1	92	3/98	0/87	1230/3	35/1	53
7	92/6	1/06	2408/5	62/2	125	7/4	0/71	1295/9	38/5	66
8	96/5	1/19	2205/7	74/5	131	3/5	0/77	1249/3	42/6	84
9	100	0/92	2184/9	74/6	125	0	0/75	1273/5	45/8	95
10	97/5	1/03	1901/4	75/8	112	2/5	0/86	1295/9	46/1	66



شکل ۱۴- شاخص های یکنواختی و کیفیت برای مسائل با اندازه متوسط



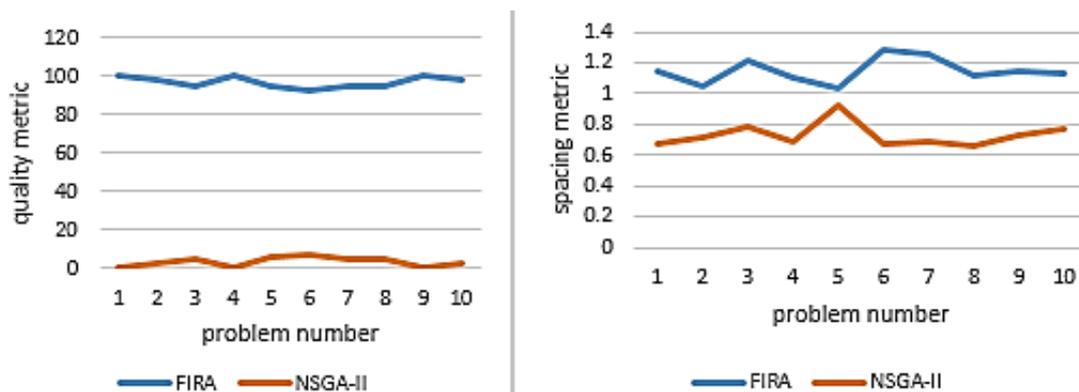
شکل ۱۵- شاخص های زمان اجرا و پراکنندگی برای مسائل با اندازه متوسط



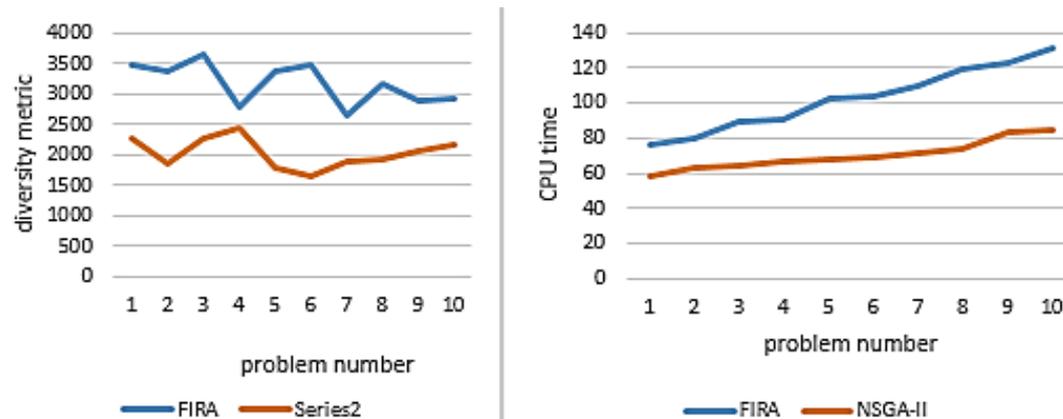
شکل ۱۶- شاخص تعداد جوابهای پارتو برای مسائل با اندازه متوسط

جدول ۱۱- نتایج حل مسئله با اندازه بزرگ (Large size problem solving results)

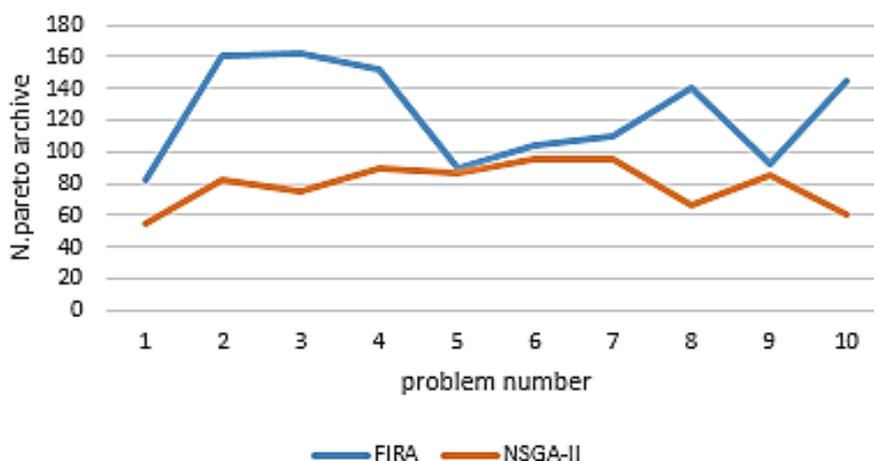
Prob.	FIREWORKS					NSGA-II				
	Quality metric	Spacing metric	Diversity metric	cpu time	NA. pareto	Quality metric	Spacing metric	Diversity metric	cpu time	NA. pareto
1	100	1/15	3466/6	76/7	83	0	0/68	2273/4	58/1	55
2	97/8	1/05	3385/1	80/1	160	2/2	0/72	1840/8	62/8	83
3	94/9	1/22	3645/3	89/2	162	5/1	0/78	2283/6	63/8	75
4	100	1/11	2277/2	90/7	152	0	0/69	2424/5	67/1	89
5	94/5	1/04	3357/3	102/5	89	5/5	0/93	1788/2	68/2	86
6	93/1	1/28	3469/6	104/3	104	6/9	0/67	1652/6	69/1	95
7	95/1	1/25	2658/3	109/7	110	4/9	0/69	1885/6	71/8	95
8	95/1	1/12	3166/6	118/8	141	4/9	0/66	1914/4	73/7	67
9	100	1/15	2887/1	123/1	92	0	0/73	2051/4	83/7	85
10	97/9	1/13	2913/1	130/7	145	2/1	0/77	2160/2	84/5	60



شکل ۱۷- شاخص های یکنواختی و کیفیت برای مسائل با اندازه بزرگ



شکل ۱۸- شاخص های زمان اجرا و پراکندگی برای مسائل با اندازه بزرگ



شکل ۱۹- شاخص تعداد جوابهای پارتو برای مسائل با اندازه بزرگ

نتایج مقایسه‌ای در جدول های ۸ تا ۱۰ و مقادیر مربوط به شاخص های مقایسه‌ای نشان می‌دهند که الگوریتم آتش‌بازی در همه موارد توانایی بالاتری برای تولید جواب‌های با کیفیت‌تر نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد. الگوریتم آتش‌بازی قادر به تولید جواب‌های با پراکندگی بالاتری نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد یا به عبارتی الگوریتم آتش‌بازی توانایی بیشتری برای اکتشاف و استخراج ناحیه شدنی جواب نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد. هم‌چنین، الگوریتم NSGA-II جواب‌هایی با یکنواختی بالاتری نسبت به الگوریتم آتش‌بازی تولید می‌کند. ۴

۵- نتیجه گیری

بانکداری سبز نوعی از بانکداری است که ضمن انجام عملیات بانکی به عوامل زیست محیطی و اجتماعی هم توجه دارد. این نوع بانکداری، بانکداری اخلاقی هم نامیده می شود که علاوه بر اهداف سودآوری هدف حفاظت از محیط زیست را هم بر عهده دارد. در این رساله، مدل بهینه سازی زنجیره تامین بانکداری سبز پرداخته شد. ابتدا یک مدل ریاضی چندهدفه ارائه گردید و سپس جهت حل مدل از الگوریتم های آتش بازی و ژنتیک NSGA-II استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می دهد که الگوریتم آتش بازی در همه موارد توانایی بالاتری برای تولید جواب های با کیفیت تر نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد. هم چنین الگوریتم آتش بازی قادر به تولید جواب های با پراکندگی بالاتری نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد یا به عبارتی الگوریتم آتش بازی توانایی بیشتری برای اکتشاف و استخراج ناحیه شدنی جواب نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد. الگوریتم NSGA-II جواب هایی با یکنواختی بالاتری نسبت به الگوریتم آتش بازی تولید می کند. مقادیر زمان اجرا حاکی از این است که الگوریتم آتش بازی چندهدفه دارای زمان حل بالاتری است. از آن جا که بر اساس ساختار طراحی شده روش پیشنهادی، این روش، در هر تکرار به صورت هوشمندانه نقاط زیادی از فضای جواب را جستجو می کند. بدیهی است که این روش، زمان محاسباتی بیشتری را نسبت به روش NSGA-II مصرف می کند.

۶- مراجع

- Hart, S.L. and Dowell, G. (2011), "A natural-resource-based view of the firm: Fifteen years after", *Journal of Management*, Vol.37 No.5, pp.1464-1479.
- Dharwal, M. and A. Agarwal, (2013). Green banking: An innovative initiative for sustainable development. 2(3): 1-5.
- Bhardwaj, B.R. and A. Malhotra, 2013. Green banking strategies: Sustainability through corporate entrepreneurship. *Greener Journal of Business and Management Studies*, 3(4): 180-193.
- Bonfill A., Espuna A., Puigjaner L.(2008), "Decision support framework for coordinated production and transport scheduling in SCM", *Computers and Chemical Engineering* 32 , pp. 1206 –1224.
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65–83. doi:10.1016/S0019- 8501(99)00113-3.
- میرزایی، علی حسین؛ نخعی کمال آبادی، عیسی؛ سید حسام الدین، ذگردی (۱۳۹۰). " الگوریتمی جدیدی برای حل مسئله مسیریابی- موجودی با ارسال مستقیم". مدیریت تولید و عملیات، دوره ۲، شماره ۱، صص ۱-۲۷.
- بشیری، مهدی؛ شرافتی، مهتاب (۱۳۹۲). طراحی دو هدفه شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن معیارهای همبسته در محیط فازی. پژوهشهای مهندسی صنایع در سیستمهای تولید، دوره ۱، شماره ۱، صص ۲۵-۳۶.
- صفار، محمد مهدی؛ شکوری گنجوی، حامد؛ رزمی، جعفر (۱۳۹۴)، به طراحی یک زنجیره تامین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک های عملیاتی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با الگوریتم NSGA-II. نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۹، شماره ۱، صص ۵۵-۶۸.
- Pishvaei, M. S., Rabbani, M., Torabi, S. A.; "A Robust Optimization Approach to Closed-Loop Supply Chain Network Design Under Uncertainty", *Applied Mathematical Modelling*, 35, p. p. 637-649, 2011.
- Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., & Ziegler, H.-P. (2012). A multi-stage stochastic supply network design problem with financial decisions and risk management. *Omega*, 40(5), 511-524 .
- Kumar Mangla, S. (2013). Prioritizing the responses to manage risks in green supply chain: An Indian plastic manufacturer perspective. *Sustainable production and consumption*, 1:pp:67-86.
- Zakeri, Atefe & Dehghanian, Farzad & Fahimnia, Behnam & Sarkis, Joseph, (2015). "Carbon pricing versus emissions trading: A supply chain planning perspective," *International Journal of Production Economics*, Elsevier, vol. 164(C), pages 197-205.

13. Golpira, H.M., Zandieh, M., Najafi, E., Sadi-Nezhad, S. (2017). A multi-objective, multi-echelon green supply chain network design problem with risk-averse retailers in an uncertain environment. *Scientia Iranica, Transactions E: Industrial Engineering* 24 (2017) 413-423.
14. Noura Metawa, M.Kabir Hassan, Mohamed Elhoseny, Genetic Algorithm Based Model For Optimizing Bank Lending Decisions, *Expert Systems With Applications* (2017), doi: 10.1016/j.eswa.2017.03.021.
15. Beamon, B. (1999). Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12(4), 332-342.
16. Sarkis, J. (2006). *Greening the supply chain*. London: Springer.
17. Vachon, S. and Klassen, R.D. (2006), "Extending green practices across the supply chain: the impact of upstream integration", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 26 No. 7, pp. 795-821.
18. Kenneth W. Green Jr, Pamela J. Zelbst, Jeremy Meacham, Vikram S. Bhaduria, (2012), "Green supply chain management practices: impact on performance", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 17 Iss: 3 pp. 290 – 305.
19. Wu, H., Chang, S., 2015. A case study of using DEMATEL method to identify critical factors in green supply chain management. *Appl. Math. Comput.* 256, 394e403.
20. Kristina Petljak, Katrin Zulauf, Ivana Štulec, Stefan Seuring, Ralf Wagner, (2018) "Green supply chain management in food retailing: survey-based evidence in Croatia", *Supply Chain Management: An International Journal*, <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2017-0133>
۲۱. حسینی، سیده اسماء؛ ایرانبان، سید جواد؛ میرجهان مرد، سید جواد. (۱۳۹۳). "تعیین و اولویت بندی عوامل مؤثر بر زنجیره تأمین سبز با استفاده از رویکرد تحلیل مسیر"، *مدیریت تولید و عملیات*، دوره پنجم، پیاپی (۹)، شماره (۲)، ۷۸-۱۶۱.
22. Cabral, I., Espadinha-Cruz, P., Puga-Leal, R., Grilo, A., & Cruz-Machado, V. (2011). "Decision-making models for interoperable lean, agile, resilient and green supply chains". In *Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, 1-6.
23. Muduli, K., Govindan, K., Barve, A., & Geng, Y. (2012). "Barriers to green supply chain management in Indian mining industries: a graph theoretic approach". *Journal of Cleaner Production*, 41(Available online 3), 335-344.
۲۴. الفت، لعیا؛ خاتمی فیروز آبادی، علی؛ خداوردی، روح الله. (۱۳۹۰). "مقتضیات تحقق مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنعت خودروسازی ایران". *فصلنامه علوم مدیریت ایران*، سال ششم (شماره ۲۱)، ۱۲۳-۱۴۰.
۲۵. نیک نژاد، مریم (۱۳۹۰). *زنجیره تأمین سبز (به همراه مطالعه موردی)*. مدیریت زنجیره تأمین، دوره ۱۳، شماره ۳۴، صص ۲۰-۲۷.
26. Ying Tan , Yuanchun Zhu.(2010). "Fireworks Algorithm for Optimization". *International Conference in Swarm Intelligence*, 1-10.
27. Laskowska, A. (2018). Green banking as the prospective dimension of banking in Poland. *Ecological Questions*, 29(1), 129-135.
28. Chen, Z., Hossen, M. M., Muzafary, S. S., & Begum, M. (2018). Green banking for environmental sustainability-present status and future agenda: Experience from Bangladesh. *Asian Economic and Financial Review*, 8(5), 571.
29. Bottani, E., Casella, G. (2018). Minimization of the Environmental Emissions of Closed-Loop Supply Chains: A Case Study of Returnable Transport Assets Managemen. *Sustainability*, 10, 329.
30. Vafaeenezhad, T., Tavakkoli-Moghaddam, R., Cheikhrouhou, N. (2019). Multi-objective mathematical modeling for sustainable supply chain management in the paper industry. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 135, September 2019, Pages 1092-1102.
31. Zhen, L., Huang, L., Wang, W. (2019). Green and sustainable closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, Volume 227, 1 August 2019, Pages 1195-1209.