

طراحی مدل بهینه سازی چند منظوره برای برنامه ریزی چند پروژه ای بر روی زنجیره تامین بحرانی با منابع محدود و با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری

سارا رحمتی^۱، عباس شیخ ابو مسعودی^۲

^۱ دانشگاه آزاد واحد نجف آباد، دانشکده فنی مهندسی کارشناسی ارشد صنایع گرایش مدیریت پروژه

^۲ دانشگاه آزاد واحد نجف آباد، دانشکده فنی مهندسی، دکتری تخصصی، استادیار گروه مهندسی صنایع (نویسنده مسئول)

چکیده

در دنیای رقابتی امروز کاهش هم زمان هزینه و زمان پروژه از اهمیت ویژه ای برخوردار است؛ به این دلیل، برقراری توازن بین زمان و هزینه پروژه، به دلیل کاهش عدم تقارن دو عامل در یک پروژه، ضروری است. با توجه به اهمیت بسیار بالای در نظر گرفتن محدودیت منابع در مساله زمان بندی پروژه و نزدیکی شرایط مطالعه به دنیای واقعی، محدودیت های منابع نیز در نظر گرفته شده است. در یک مقاله، مدیران پروژه نیازمندند تا نسبت به محدودیت های منابع آگاهی داشته باشند. از آنجایی که مساله زمان بندی با محدودیت منابع، از نوع یک مساله NP-hard می باشد، مدل های فراابتکاری^۱ در این مقاله توسعه داده شده اند تا نتایجی را بدست آورند که به مدیران پروژه در تصمیم گیری کمک کنند. برای این منظور الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب (NSGA)^۲ برای بهینه سازی مساله توازن زمان-هزینه توسعه داده شد. علاوه بر این، برای حل یک مساله برنامه ریزی چند پروژه ای، از روش زنجیره بحرانی استفاده شده است. به عبارتی برای ارزیابی عملکرد مدل، مدل توسعه یافته در ابتدا در یک مقیاس کوچک مورد مطالعه قرار گرفت و سپس پروژه ای با ۷، ۸ و ۱۰ وظیفه، برنامه ریزی شد. پس از حل مدل پیشنهادی، تحلیل حساسیت برای منابع روزانه انجام شد و نتایج مورد بحث قرار گرفت. نتایج، توانایی مدل و روش پیشنهادی را در بهینه سازی زمان-هزینه با توجه به محدودیت منابع در مسائل نشان می دهند. راه حل های به دست آمده نشان دادند که بدون استفاده از این الگوریتم در بعضی موارد زمان بندی، منابع مصرفی بیش تر از میزان منابع موجود هستند. **واژه های کلیدی:** برنامه ریزی چند پروژه ای، الگوریتم های فراابتکاری، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب، زنجیره بحرانی.

۱. Metaheuristic models

۲. non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA)

۱- مقدمه

روش زنجیره بحرانی اولین بار توسط گلدریت^۱ پیشنهاد شده است که می تواند هدف کلی پروژه ها را بهبود بخشیده و سرعت اتمام به موقع پروژه ها و کوتاه تر شدن مدت زمان پروژه ها را با در نظر گرفتن عدم قطعیت حاصل کند، که این نتیجه تلاش منابع انسانی است که با افزایش مدت زمان انجام کار آن ها در پروژه ها،

مدت زمان کلی پروژه را کاهش می دهند. در مدیریت چندین پروژه روی زنجیره بحرانی، به دلیل نوع برنامه ریزی پروژه ادغامی، تغییر یک پروژه منجر به تغییر دیگر پروژه ها توسط منابع مشترک خواهد شد و به دلیل این اشتراک، بهره وری خدمات کاهش خواهد یافت. زمانی که هر پروژه برای منابع رقابت کند؛ توانایی MPSCC در برابر عدم قطعیت کاهش می یابد، که به معنی پایداری کم تر است؛ زیرا تاخیر در یک پروژه واحد بر روی دیگر پروژه ها تحت شرایط چند پروژه ای بودن تاثیر می گذارد. همان طور که در بیان مسئله نیز طرح گردید؛ در دنیای امروز و با توجه به پیچیدگی های فراوان در حالت چند پروژه ای بودن روی زنجیره بحرانی، ما تنها به دنبال بهینه سازی یک هدف در پروژه نیستیم و نیاز به بهینه سازی هم زمان چندین هدف داریم. حال مسئله دیگر این است که در همین پیچیدگی موجود، نیاز به برنامه ریزی بسیار دقیق زمانی، هزینه ای و منابع بررسی هر پروژه روی زنجیره بحرانی است تا با توجه به آن بتوان پروژه های مجموعه را بهینه سازی کرد. بنابر مطالب گفته شده، سعی بر بهینه سازی چند هدفه با رویکرد زنجیره بحرانی است. در این پژوهش زمان بندی چندین پروژه در مسئله زنجیره بحرانی مورد توجه قرار می گیرد. این مسئله اثر عوامل عدم قطعیت و اهداف مختلف را در جهت به پایان رسیدن زمان کل پروژه بررسی می کند. متعاقب آن مدل بهینه سازی چند منظوره برای زمان بندی چندین پروژه در زنجیره تامین بحرانی بیان می شود. مدل پیشنهادی را می توان در تولید زمان بندی های متناوب بر مبنای اهمیت اهداف مختلف استفاده کرد. برای انجام چنین منظوری الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهاد می شود. این تکنیک برای اولویت بندی اقدامات زمان بندی در زنجیره تامین بحرانی پیشنهاد شده است.

۲- پیشینه تحقیق

۲-۱- پیشینه داخلی

شیخ ابو مسعودی، عباس^۱(۱۳۹۷)، سازمان های پروژه محور نیاز دارند که فعالیت های خود را بر مبنای

1. Eliyahu Goldratt

1. Abbas Sheikh Abu Masoudi

برنامه ریزی های بلند مدت تنظیم کنند. بنی اسدی، مهدیه^۲ (۱۳۹۳)، در پژوهشی تحت عنوان: زمان بندی پروژه با رویکرد زنجیره تامین بحرانی با مطالعه موردی طرح توسعه میدان نفتی دار خوین در شرکت مهندسی و توسعه نفت، اصول زنجیره تامین بحرانی در زمان بندی پروژه با محدودیت منابع را مورد بررسی قرار داده است. ربیعه و همکاران^۳ (۱۳۹۲) در یک پژوهش تحت عنوان ارائه یک روش ابتکاری برای حل مسئله زنجیره تامین دو سطحی و دو هدفه به بررسی مسئله چند محصولی و چند دوره ای در یک زنجیره تامین دو سطحی شامل چند تولید کننده و توزیع کننده پرداخته است.

نوتاش^۴، زندیه و دری (۱۳۹۳)، طی یک پژوهش تحت عنوان طراحی چند هدفه شبکه زنجیره تامین با رویکرد الگوریتم ژنتیک ارائه کرده است، طراحی شبکه زنجیره تامین از اساسی ترین مسائل مطرح در سازمان ها است، به خصوص سازمان هایی که در سطح بین المللی فعالیت می کنند. کریمی^۵، کاظمی و عزیز مصری (۱۳۹۴)، در یک پژوهش تحت عنوان ارائه یک مدل چندهدفه جدید برای مساله انتخاب تامین کننده در زنجیره تامین، و حل آن با الگوریتم های فراابتکاری مبتنی بر پارتو ارائه کرده است. جبلة و همکاران^۶ (۱۳۹۴)، پژوهشی تحت عنوان شناسایی عوامل بحرانی موثر در مدیریت زنجیره تامین الکترونیکی ارائه کرده است، که مطالعه موردی آن شرکت کوچک و متوسط بوده است. عامل تبریزی^۷ و همکاران، (سال ۱۳۹۵)، طی پژوهشی تحت عنوان ارائه و حل مدل مسئله زمان بندی زنجیره بحرانی با در نظر گرفتن بافر تغذیه در زمان بندی پروژه تحت محدودیت منابع ارائه کرده است. فاروقی و اشرفی فشی^۱ (۱۳۹۶)، پژوهشی را تحت عنوان طراحی شبکه زنجیره ی تامین چند سطحی با در نظر گرفتن راهبردهای پایای چندگانه در سطح مراکز توزیع ارائه کرده است. نبی زاده و همکاران^۲ (۱۳۹۶)، طی یک پژوهش تحت عنوان ارائه مدل زمان بندی استوار پروژه با منابع محدود برای یک مسئله واقعی زمان بندی پروژه پالایشگاهی ارائه کرده

2. Mahdiye Bani Asadi and et al

3. Rabieh and et al

4. Mohsen notash and et al

5. Marziye karimi and et al

6. Morteza jebele and et al

7. Amel tabrizi and et al

1. Hiva faroghi & Ashrafi fasha

2. nabizade Behnamiri and et al

است. جمیلی و رنجبر^۳ (۱۳۹۶)، در پژوهشی تحت عنوان ارائه الگوریتم های ابتکاری و فرا ابتکاری برای مسئله زمان بندی یکپارچه تولید و توزیع در زنجیره تامین، مباحث و ایده هایی را مورد مطالعه قرار دادند. پایدار و همکاران^۴ (۱۳۹۶)، در پژوهشی تحت عنوان طراحی شبکه زنجیره تأمین چند دوره ای و سیر سطحی برای محصولات زراعی فاسد شدنی ارائه کرده اند. مختاری و همکاران^۵ (۲۰۱۲)، پژوهشی تحت عنوان بهینه سازی سه متغیر زمان-هزینه و کیفیت در طراحی پروژه ارائه کرده اند و بهینه سازی هزینه و کیفیت را در پروژه ها مورد بررسی قرار داده است. مهدی غفاری و همکاران^۶ (۲۰۱۵)، پژوهشی را تحت عنوان مقایسه وضعیت فعلی و آینده مدیریت پروژه زنجیره تأمین بحرانی ارائه کرده اند. ربانی و همکاران^۷ (۲۰۱۷)، در طی پژوهشی تحت عنوان طراحی مدل برنامه ریزی پروژه با محدودیت منابع در شبکه های تعاونی و با تلفیق روش های مدیریت منابع جدید و سنتی، مدل پیشنهادی را ارائه کرده اند.

۲-۲- پیشینه خارجی

فرانسیسکو بالستین^۱ و همکاران (۲۰۱۱)، پژوهشی را تحت عنوان مبانی نظری و عملی برای بهینه سازی چند هدفه در مشکلات برنامه ریزی پروژه با محدودیت منابع ارائه نموده اند. علی فوت گینوری و مته مظلوم^۲ (۲۰۱۵)، پژوهشی را تحت عنوان زمان بندی پروژه با توسعه روش های PERT و CCPM ارائه کرده اند. آذرایز میلیو و دیانا کورنوا^۳ (۲۰۱۶)، پژوهشی را تحت عنوان مقایسه روش های سنتی مدیریت پروژه با روش های جدید ارائه کرده اند. جینو ماتیوت^۴ و همکاران در سال (۲۰۱۶)، پژوهشی را تحت عنوان طراحی مدل بهینه سازی چند هدفه جهت برنامه های تکراری ارائه کرده اند و برای حل مدل پیشنهادی و بهینه سازی چند هدفه از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. کریستیان آراسکیویکز^۵ (۲۰۱۷)، پژوهشی را تحت عنوان

3. jamili and Ranjbar

4. paydar and et al

5. mokhtari and et al

6. ghaffari and et al

7. M.Rabbani and et al

1 . Francisco Ballston et al

2. Ali Fuat guneri and Mete Mazlum

۳. Azar Izmailov and Diana Korneva

4. Jino mattheul et al.

5. KrystynaAraszkievicz

بررسی مدیریت زنجیره تأمین بحرانی در برنامه های پروژه های ساختمانی ارائه کرده است و در این پژوهش به بررسی زنجیره تأمین بحرانی در یک محیط چند پروژه ای پرداخته شده است.

فرانکلین جومانی^۶ (۲۰۱۸) پژوهشی را تحت عنوان رویکرد بهینه سازی چند هدفه برای حل مشکل ترکیب در صنعت چای ارائه کرده است. در این پژوهش مدلی پیشنهاد شده است و از شیوه های شبیه سازی مونت کارلو برای حل مدل استفاده شده است. لینگ وانگ و لانگ ژنگ^۷ در سال (۲۰۱۸)، پژوهشی را تحت عنوان طراحی مدل بهینه سازی چند هدفه دانش محور جهت برنامه ریزی پروژه با محدودیت منابع چند مهارته ارائه کرده اند.

چن و تسای^۸ (۲۰۱۱)، در پژوهشی به بررسی مسئله، توازن زمان-هزینه یک پروژه شبکه در محیط فازی پرداختند. چنگ و ترن^۱ (۲۰۱۵)، در پژوهشی یک الگوریتم بهینه سازی جدید، تکامل تفاضلی چند هدفه مبتنی بر رقابت (OMODE)^۲ برای حل مسئله توازن تغییر کاری زمان-هزینه و سود (TCUT)^۳ را پیشنهاد کردند. ترن و همکاران^۴ (۲۰۱۵)، در پژوهشی یک رویکرد ترکیبی جدید به نام کلونی زنبورهای مصنوعی^۵ با تکامل تفاضلی ارائه دادند؛ تا بتواند مسائل منابع با محدودیتی به نام مستعمره زنبور عسل مصنوعی با منابع تحول افتراقی مشکلات محدود شده (ABCDE-RC)^۶ را حل کنند. ژانگ و همکاران^۷ (۲۰۱۶)، در پژوهشی یک مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع^۸ را ارائه کرده اند. آن ها بر روی زنجیره تأمین بحرانی بافر پروژه ای را اندازه گیری کرده اند.

6. Franklin Joumani.

7. Ling wang and Long zheng

8. Chen and Tsai

1. Chang and Toren

2. The Opposition-based Multiple Objective Differential Evolution (OMODE)

3. Time-Cost-Utilization work shift Trade-off (TCUT) problem

4. Toren et al

5. Artificial Bee Colony

6. Artificial Bee Colony with Differential Evolution Resource-Constrained problems (ABCDE-RC)

7. Zhang et al

8. Resource tightness

۳- روش پژوهش

ابتدا روش زنجیره بحرانی (CCM)^۹ توسط گلدرات پیشنهاد شده است که می تواند پروژه ها را با وجود عدم قطعیت مدت زمان به اهداف کلی خود برساند و پروژه ها را بررسی و بهینه کند. لذا در این پژوهش از برنامه ریزی با رویکرد به روش زنجیره تأمین بحرانی مورد بررسی قرار گرفته است همان طور که می دانید قانون پارکینسون^{۱۰}، نام یک قانون مدیریتی است، این قانون مبتنی بر آن است که زمان انجام یک فعالیت تا وقتی که فرصت برای انجام آن در نظر گرفته شده است، طول می کشد و معمولاً افراد تمایل دارند کاری که به آن ها محول شده را تا پایان تاریخی که از قبل برای انجام آن تعیین شده، به تعویق بیندازند، لذا با تخصیص دادن زمان مناسب برای انجام هر فعالیت، هم زمان بیش تری به دست آورده میشود، هم از لحاظ روانی پیچیدگی ها و دشواری ها و استرس های ناشی از آن کاسته می شود. البته اصل پارکینسون جادویی برای کاهش زمان انجام فعالیت ها نیست و نباید فراموش شود که قانون پارکینسون دقیقاً همان مشاهدات و نظارت است و جادویی برای کاهش زمان انجام فعالیت ها نیست. در این پژوهش از این قانون به این دلیل یاد و استفاده شده است که آدم ها زمان بیش تری برای انجام فعالیت های خود داشته باشند و خیال آن ها از اضافه کردن بافر به زمان پیش بینی شده راحت شود. در واقع، استفاده از قانون پارکینسون در زنجیره بحرانی و مسائل چند پروژه ای باعث می شود مدت زمان انجام و اجرای پروژه ها بهینه شود و در واقع با زحمت و کار کم تر می توان با خلاقیت در پروژه ها عمل کرد و علاوه بر این مدت زمان آزاد بیش تری برای انجام دیگر فعالیت ها داشت.

در مدیریت چند پروژه ای، زمان بندی چند پروژه ای در زنجیره بحرانی MPSCC^{۱۱} پنج مرحله دارد:

- ۱- تولید باید در اولویت پروژه های فرعی (پروژه هایی که در مسیر بحرانی قرار ندارند) باشند.
- ۲- برنامه ریزی و زمان بندی هر پروژه فرعی (پروژه هایی که در مسیر بحرانی قرار ندارند) باید مطابق با روشی که در زنجیره بحرانی انجام می شود، صورت بگیرد.
- ۳- از ناسازگاری تخصیص منابع در بین پروژه های فرعی (پروژه هایی که در مسیر بحرانی قرار ندارند) جلوگیری شود.
- ۴- در محیط هایی که چندین پروژه وجود دارد باید بافرهای پروژه ای مختلفی تعیین شود و از بافرهای پروژه ای مختلفی استفاده شود.

9. Critical chain management

10. Goldrat

11. Cyril Northcote Parkinson

1. Multi project schedule critical chain

۵- برای بر آورده کردن اهداف مختلف در پروژه ها جهت تکمیل هدف کلی هر پروژه در زمان معین باید بافرهای مختلف را تجزیه و تحلیل کرد.

با توجه به مطالبی که تا به حال گفته شده است روش زنجیره بحرانی در مدیریت پروژه روشی کارآمد و مناسب است، و تقاضای مدیریت پروژه برای شناسایی و بهینه سازی کلی زمان بندی چندین پروژه در زنجیره بحرانی (MPSCC) امری ضروری می باشد، همچنین در این پژوهش هدف بر این است که بهینه سازی به صورت چند منظوره انجام گیرد. منظور از چند منظوره بودن در نظر گرفتن کیفیت-هزینه و زمان مناسب است و دلیل بر این است که این پژوهش بتواند یک مدیریت یکپارچه زمان بندی پروژه را در شرکت ها فراهم کند.

نوساناتی که بین مدت زمان در نظر گرفته شده و هزینه های موجود در پروژه های به هم مرتبط و در حالت چند پروژه ای وجود دارد، باعث شده چالش های جزئی برای تخصیص منابع محدود بین پروژه ها ایجاد شود. همان طور که می دانید مسائل زمان بندی چند پروژه ای مختلفی تا به حال شرح داده شده است اما تعداد کمی مسائل زمان بندی چند پروژه ای کار آمدی را با توجه به وجود عدم قطعیت ها در پروژه ها بررسی کرده اند.

در این پژوهش هدف بر این است که کارآیی زمان بندی چند پروژه در مسائل بهینه سازی چند منظوره را با توجه به محدودیت منابع و با در نظر گرفتن عدم قطعیت ها صورت گیرد. در این بخش بر اساس روش ارائه شده در مقاله پایه (وانگ و همکاران، ۲۰۱۴)^۱، زمان بندی چند پروژه ای در زنجیره بحرانی بیان شده است. محیط^۲ MPSCC پیچیده است و تقاضاهای زیادی درباره ی سیکل پروژه و کاربرد منبع دارد. امنیت کافی باید حفظ شود زمانی که مدت زمان برای اقدام در ضمانت کامل شود هرچند توانایی در برابر عدم قطعیت ها ضعیف خواهد شد زیرا این روش ریسک را در اقدامات پروژه توزیع می کند. وجود اثر متوالی توسط ویژگی مدیریت چند پروژه زنجیره بحرانی تعیین شده است، یعنی تغییر پروژه به تغییر دیگری با منابع مشترک می انجامد و کارآیی خدمات کاهش خواهد یافت زمانی که هر پروژه برای منابع بررسی می شود. قابلیت MPSCC در برابر عدم قطعیت ها می تواند کم تر باشد که به معنای قدرتمندی کم تر می باشد. عباسی یک مدل چندمنظوره برای زمان بندی طراحی کرد که به حداقل رساندن مدت زمان و حداکثر قدرتمندی را هدف قرار می دهد.

1. Vang et al

2. Multi project schedule critical chain

۳-۱- ساخت مدل و تحلیل هدف بهینه‌سازی چندمنظوره MPSCC

فرآیند زمان‌بندی و کنترل در چند پروژه زنجیره بحرانی بسیار پیچیده هستند و مدت زمان کلی همیشه هدف اجراکننده پروژه است، بنابراین زمان‌بندی چند پروژه در زنجیره بحرانی حداقل زمان است.

$$\min T = E_{e_0} + PB \quad (1)$$

هزینه کلی مدیریت چند پروژه شامل هزینه تجدید شدنی و منابع تجدید نشدنی می‌باشد. CP مساوی قیمت واحد P امین منبع تجدید نشدنی در مدت زمان واحد می‌باشد و C_k مساوی قیمت واحد K امین منبع تجدید شدنی در مدت زمان واحد می‌باشد و تابع هدف هزینه پروژه زمان‌بندی چند پروژه در زنجیره بحرانی است.

$$\min C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J \left(\sum_{k=1}^K r_{ijk} C_k t_{ij} + \sum_{p=1}^P n r_{ijp} C_p \right) \quad (2)$$

ویژگی کیفیت پروژه باید برای هدف انجام تحقیق نظام‌مند و عمیق در MPSCC تعیین شود. در اینجا، متغیر میانی در فعالیت برای ارائه ارزش کیفیت شرح داده شود که فرمول محاسبه‌اش است:

$$EQV_{ij} = EV_{ij} \times q_{ij} \quad (3)$$

EV_{ij} ارزش به دست آمده فعالیت j در پروژه i است، q_{ij} شاخص کیفیت j است زمانی که در پروژه i اجرا شد و کیفیت کلی فعالیت‌ها را اندازه‌گیری می‌کند و در زیر محاسبه شد:

$$q_{ij} = \frac{\text{actual quality level of activity } j}{\text{prescribed quality level of activity } j \times 100\%} \quad (4)$$

سطح کلی کیفیت زمان‌بندی چند پروژه را می‌توان توسط میانگین وزنی سطح کیفیت در کل فعالیت‌ها بیان کرد:

$$\begin{aligned} \max Q &= \frac{1}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J EV_{ij}} \times \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J EQV_{ij} \\ &= \frac{1}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J EV_{ij}} \times \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J EV_{ij} \times q_{ij} \end{aligned} \quad (5)$$

کمیت قدرت مندی در تحقیق قدرت مندی MPSCC مهم است هرچند مطالعه کلی در این مبحث وجود ندارد. حداقل زمان سکون فعالیت می‌تواند فقط زمان تصادفی فعالیت‌ها در MPSCC را به جای فراوانی‌اش افزایش دهد. بدین دلیل قدرت مندی با میانگین ارزش زمان سکون و حداقل زمان سکون فعالیت‌ها در این مدل تعیین خواهد شد و روش محاسبه‌اش داده شد:

$$L = \min S_{A_{ij}} + \left(\sum \sum S_{A_{ij}} \right) / \xi \quad (6)$$

$$s_{A_{ij}} = \min(S_{U_{ij}} - E_{ij}) \quad (۷)$$

در فرمول بالا، $s_{A_{ij}}$ بدون زمان سکون فعالیت A_{ij} است، SV_{ij} زمان راهاندازی فعالیت A_{ij} است، C تعداد فعالیت‌ها در زنجیره بحرانی است. زمانی که زمان سکون فعالیت‌ها در زنجیره بحرانی مساوی صفر باشد، زمان سکون فعالیت‌ها در زنجیره غیربحرانی حداقل است. برای تکمیل به موقع و افزایش کیفیت پروژه، بافر پروژه تعیین شده توسط احتمال انتظار تکمیل باید در MPSCC طبق توافق مشخص شود و R_{uf} در زیر محاسبه شد:

$$RUF(k) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J (r_{ijk} \times t_{ij}) / (T \times R_k) \quad k = 1, 2, \dots, k \quad (۷)$$

T طول زنجیره بحرانی و زنجیره غیربحرانی را نشان می‌دهد که زمانی که بافر پروژه و زمان محاسبه می‌شود. ارزش کمتر بین اندازه بافر و بدون شناور بودن فعالیت آخر در زنجیره غیربحرانی باید داده شود و تغییر زنجیره بحرانی به علت سائز زیاد بافر اجتناب شد.

۳-۲- ساخت مدل بهینه سازی چندمنظوره

برای حل مسأله بیان شده، مدل بهینه‌سازی چندمنظوره پیشنهاد شده است. بر مبنای بررسی زمان، هزینه، کیفیت و قدرتمندی کلی که توسط پیمانکاران انجام شد، تابع سودمندی چند ویژگی در اجرای بهینه‌سازی کامل زمان، هزینه، کیفیت، قدرتمندی پذیرفته شد و مدل بهینه‌سازی در زیر ساخته شد:

$$\max u(T, C, Q, L) \quad (۸)$$

$$s.t. E_{ij} - E_{i(j-1)} \geq t_{ij} \quad (۹)$$

$$PB = (1 + \max\{RUF(k)\}) \times \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J VAR_{ij}} \quad (۱۰)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J r_{ijk} \leq R_k \quad (۱۱)$$

$$A_{ij} \in P_{pq} \cup \{A_{nm} | E_{nm} = S_{pq}, k_{nm} = k_{pq}\} A_{ij} \in NCC, A_{pq} \in CC; \quad (۱۲)$$

در مدل بالا، VAR_{ij} واریانس مدت فعالیت است. A_{pq} فعالیت‌ها را در زنجیره بحرانی نشان می‌دهد. NCC مجموعه فعالیت‌ها در زنجیره غیربحرانی است. CC فعالیت‌ها در زنجیره بحرانی است. K_{mm} برای انواع منابع موردنیاز در فعالیت A_{nm} است.

فرمول ۸ به معنای حداکثر رساندن سودمندی کلی بهینه‌سازی چندمنظوره در MPSCC می‌باشد: فرمول ۹ رابطه قبل و بعد در بین پروژه‌ها را نشان می‌دهد که فعالیت بعد نمی‌تواند اجرا شود تا زمانی که تکمیل

فعالیت فعلی انجام شود. فرمول ۱۰ نشان می‌دهد که ارزش میانجی پروژه با توافق تعیین شده است: فرمول ۱۱ بیان می‌کند که مصرف منبع در یک فعالیت مقدار کلی‌اش را اجرا نمی‌کند: فرمول ۱۲ وضعیت قرار گرفتن بافر را نشان می‌دهد یعنی PB بین یک فعالیت و زنجیره بحرانی قرار خواهد گرفت زمانی که فعالیت منبع محدود شده است اما به زنجیره بحرانی تعلق دارد.

۳-۳- روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب (NSGA-II)

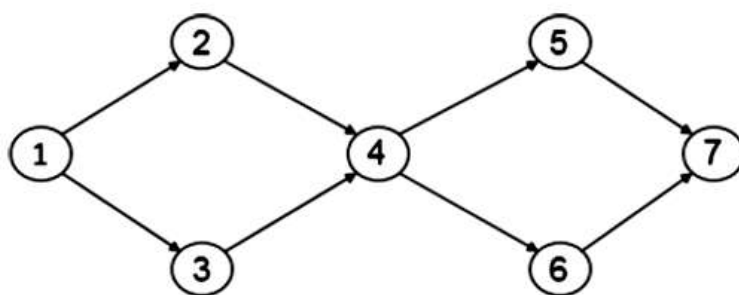
تکنیک NSGA-II یکی از رایج ترین روش های ابرابتکاری است که چندین راه حل پرتو^۱ بهینه برای مسائل بهینه سازی چندهدفه بدست می آورد. آن سه مشخصه زیر را دارد:

۱- اصل نخبه گرایی را رعایت می کند.

۲- مکانیزم خاصی برای حفظ تنوع در جمعیت دارد.

۳- بر روی راه حل نامغلوب تاکید می نماید.

فلوچارت روش NSGA-II در شکل ۱ نشان داده شده است. ساختار الگوریتم NSGA-II پیشنهادی در زیر توصیف شده و در گراف شکل ۱ نشان داده شده است. ساختار NSGA-II چگونگی تولید پاسخ اولیه و نسل‌های جدید با استفاده از دو عملگر یعنی تقاطع^۲ و جهش را شامل می شود. شکل ۱ یک نمونه گراف برای شرح ساختار پیشنهادی را شامل می شود.



شکل (۱) نمایی از شبکه نودی

در این گراف، فعالیت ۱ اولین فعالیت^۲ برای اجرا است، و تا زمان پایان این فعالیت، امکان پذیر نیست تا فعالیت‌های بعدی اجرا شوند. بعد از اجرای فعالیت ۱، حالا زمان اجرای فعالیت‌های ۲ و ۳ است. اگر منابع موجود باشند، هر دو فعالیت می توانند همزمان اجرا شوند، در غیراینصورت، یکی از این فعالیت‌ها بطور تصادفی

1. pareto

1.crossover

2.activity

انتخاب شده و اجرا می شود، و بعد از کامل شدن فعالیت انتخابی، فعالیت بعدی اجرا خواهد شد. به منظور اجرای فعالیت ۴، علاوه بر نیاز به منابع، آن باید برای فعالیتهای ۲ و ۳ منتظر بماند تا تکمیل شوند. پس از اتمام فعالیت ۴، فعالیتهای ۵، ۶ یا هردو با درنظر گرفتن محدودیتهای منابع انتخاب می شوند. فعالیت ۷ آخرین فعالیتی است که اجرا می شود که این فعالیت تا زمانیکه فعالیتهای ۱ تا ۶ اجرا نشوند، نمی تواند اجرا شود.

۴- تحلیل تابع هدف در زمانبندی زنجیره بحرانی چند پروژه ای^۱

در این مطالعه، دو فاکتور زمان و هزینه برای ارزیابی زمان بندی زنجیره بحرانی چند پروژه ای درنظر گرفته شد.

۱- از نظر زمان، هدف پروژه این است تا مدت زمان را با استفاده از روش زنجیره بحرانی به حداقل برساند.

۲- از نظر هزینه، هدف این پژوهش این است تا هزینه کل پروژه شامل هزینه های مستقیم و غیر مستقیم را به حداقل برساند.

در واقع هزینه های مستقیم شامل هزینه های مربوط به منابع تجدیدپذیر^۲ و تجدیدنپذیر^۳ است که برای تمامی عملیات پروژه به کار می روند. از طرف دیگر، هزینه های غیرمستقیم شامل هزینه های ثابت شرکت در مدت اجرای پروژه است. به این دلیل که تابع هدف برای مسئله پیشنهادی ارائه شود، در ابتدا نمادهای مرتبط با آن بیان شده است:

• نمادها

N : تعداد کل پروژه

$i = 1, \dots, N$: اندیس پروژه

$j = 1, 2, \dots, J$: فعالیتهای پروژه

$k = 1, 2, \dots, K$: منابع تجدیدپذیر

r_{ijk} : منابع تجدید پذیر، K نیازمند به انتها رسیدن فعالیت j در پروژه i است.

$i = 1, 2, \dots, N \ \& \ j = 1, 2, \dots, J \ \& \ k = 1, 2, \dots, K$

1. Critical Chain Multi-project Scheduling

2. renewable

3. nonrenewable

$$\begin{aligned}
 &C_k: \text{هزینه منابع تجدیدپذیر} \quad k = 1, 2, \dots, K \\
 &t_{ij}: \text{مدت زمان فعالیت } j \text{ در پروژه } i, \quad i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J \\
 &P: \text{منابع تجدید ناپذیر} \\
 &nr_{ijk}: \text{منابع تجدید ناپذیر، } P \text{ نیازمند به انتها رسیدن فعالیت } j \text{ در پروژه } i \text{ است.} \\
 &i = 1, 2, \dots, N \text{ \& } j = 1, 2, \dots, J \text{ \& } p = 1, 2, \dots, P \\
 &C_p: \text{هزینه منابع تجدید ناپذیر} \quad p = 1, 2, \dots, P \\
 &E_{e_0}: \text{زمان خاتمه یک فعالیت مجازی} \\
 &PB: \text{بافر پروژه} \\
 &T: \text{کل زمان پروژه با روش زنجیره بحرانی} \\
 &R_k: \text{مقدار منابع غیرقابل استفاده موجود} \quad k = 1, 2, \dots, K \\
 &S: \text{جمع فعالیت‌های زنجیره بحرانی} \\
 &T_{ts}: \text{مدت زمان کل فعالیت‌های زنجیره بحرانی} \\
 &S_i: \text{هزینه غیرمستقیم برای پروژه } i \text{ به ازای هر روز} \quad i = 1, \dots, N \\
 &t_i: \text{زمان تکمیل پروژه } i \\
 &t_{ij}: \text{مدت زمان فعالیت } j \text{ در پروژه } i \\
 &E_{ij}: \text{زمان شروع فعالیت } j \text{ در پروژه } i
 \end{aligned}$$

۱-۴- مدل زمان بندی زنجیره بحرانی چندپروژه ای پیشنهادی با در نظر گرفتن

• محدودیت های منابع

در این پژوهش، یک مسئله زمان بندی چند-پروژه ای دوهدفه مطالعه می شود. دو تابع هدف مدل ریاضی در معادلات ۱۳ و ۱۴ ارائه شدند.

$$\min T = E_{e_0} + PB \quad (13)$$

$$(14)$$

$$\min C = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^J \left(\sum_{k=1}^K r_{ijk} C_k t_{ij} + \sum_{p=1}^P nr_{ijp} C_p \right) + (S_i t_i) \right)$$

محدودیت های مدل بیان شده در معادلات ۱۵ تا ۱۶ نشان داده شده است

s. t

$$E_{ij} - E_{i(j-1)} \geq t_{ij} \quad (15)$$

$$PB = \frac{T_{ts}}{\gamma} \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J r_{ijk} \leq R_k \quad \forall t \in T \quad (17)$$

$$A_{ij} \in P_{pq} \cup \{A_{nm} | E_{nm} = S_{pq}, k_{nm} = k_{pq}\} A_{ij} \in NCC, A_{pq} \in CC; \quad (18)$$

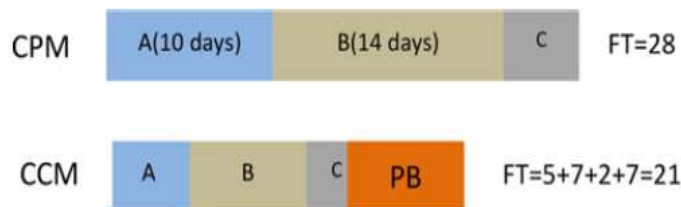
فرمول (۱۳) به معنای مینیم رساندن هزینه و زمان بندی کلی بهینه سازی چندمنظوره در MPSCC می باشد: CP مساوی قیمت واحد P امین منبع تجدید نشدنی در مدت زمان واحد می باشد و C امین مساوی قیمت واحد K امین منبع تجدید شدنی در مدت زمان واحد می باشد و تابع هدف هزینه پروژه زمان بندی چند پروژه در زنجیره بحرانی است. فرمول (۱۴) رابطه قبل و بعد در بین پروژه ها را نشان می دهد که فعالیت بعد نمی تواند اجرا شود تا زمانی که تکمیل فعالیت فعلی انجام شود. فرمول (۱۵) نشان می دهد که ارزش میانجی پروژه با توافق تعیین شده است. فرمول (۱۶) بیان می کند که مصرف منبع در یک فعالیت مقدار کلی آن را اجرا نمی کند. فرمول (۱۸) وضعیت قرار گرفتن بافر را نشان می دهد یعنی PB بین یک فعالیت و زنجیره بحرانی قرار خواهد گرفت زمانی که فعالیت منبع محدود شده است اما به زنجیره بحرانی تعلق دارد.

• توضیح مدل

معادله ۱۳ مینیم سازی هزینه پروژه را با استفاده از روش زنجیره بحرانی نشان می دهد. فرآیند کنترل و برنامه ریزی زنجیره بحرانی چند پروژه ای پیچیده است و مجریان پروژه و کارفرمایان همیشه روی کل زمان پروژه تمرکز می کنند. لذا، هدف زمان بندی زنجیره بحرانی چند پروژه، به حداقل رساندن زمان پروژه است. در معادله ۱، بافر پروژه (PB) براساس روش برش و چسباندن^۱ محاسبه می شود. در واقع روش برش و چسباندن همان عملگر تقاطع است یعنی شما چندین کروموزوم را از والد A و B جدا کرده و نیمه های کروموزوم های برش داده شده را به یک دیگر می چسبانید و فرزند را به وجود می آورید. برای روشن شدن نحوه محاسبه بافر پروژه و تفاوت بین مسیر بحرانی و روش های زنجیره بحرانی، مثالی با سه فعالیت A (۱۴ روز)، B (۱۰ روز) و C (۴ روز) را در نظر بگیرید. روابط پیش شرط بین فعالیت ها چنین هستند که فعالیت A هیچ پیش شرطی ندارد، فعالیت B به فعالیت A وابسته است، و فعالیت C به فعالیت B وابسته است. اگر پروژه با روش مسیر بحرانی زمان بندی شود، کل زمان پروژه برابر جمع زمان های فعالیت های A، B و C یعنی ۲۸ روز خواهد بود.

۱. cut-and-paste method

در روش زنجیره بحرانی، بر اساس فلسفه ای که در پس این روش قرار دارد، بیان می کند ۵۰ درصد از زمان فعالیت شامل عدم اطمینان است، در واقع فعالیت های وابسته چهارده روز را تشکیل می دهند و فعالیت مستقل نیز چهارده روز را تشکیل می دهد و به همین دلیل ۵۰ درصد از زمان فعالیت دارای عدم اطمینان می باشد و برای محاسبه زمان فعالیت بحرانی فعالیت های وابسته دارای شرایط عدم اطمینان هستند زیرا منابع در ابتدا به فعالیت مستقل اختصاص داده می شود. این زمان از زمان اولیه فعالیت حذف می شود و نیمی از زمان حذف شده به بافر پروژه اختصاص داده می شود (این روش محاسبه بافر پروژه به روش برش و چسباندن اشاره می نماید). لذا، فرض می شوند زمان های فعالیت های A ، B و C به ترتیب ۷، ۵ و ۲ باشند و فرض می شود زمان بافر پروژه ۷ $(\frac{7+5+2}{2})$ باشد، شکل (۲) نشان می دهد چگونه زمان پروژه با استفاده از روشهای مسیر بحرانی و زنجیره بحرانی محاسبه می شوند.



شکل (۲) محاسبه بافر پروژه

معادله ۱۴ هزینه کل پروژه را نشان می دهد. هزینه کل مدیریت چند-پروژه شامل هزینه های مرتبط با منابع تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر به علاوه هزینه های سربار برای هر روز است. معادله ۱۵ پیش نیازها^۱ و جانشین ها (عملیات بعدی ها)^۲ این پروژه را نشان می دهد و اشاره می کند که عملیات بعدی تا زمان اتمام عملیات پیش شرط فعلی قابل اجرا نیستند و به دلیل پیوستگی نمی توان عملیاتی را پس از آغاز متوقف کرد. معادله ۱۶ نشان می دهد که چگونه بافر پروژه را باید محاسبه کرد. معادله ۴-۵ محدودیت های منابع در این مدل را منعکس می نماید که بیان می نماید که استفاده از یک منبع برای عملیاتی که در یک روز انجام می شود نمی تواند از یک میزان منابع موجود در آن روز بیش تر باشد.

1. predecessors

2. successors

۴-۲- طراحی الگوریتم مرتب سازی نامغلوب

در این پژوهش، الگوریتم ژنتیک برای زمان بندی زنجیره بحرانی چند پروژه با در نظر گرفتن محدودیت های منابع به کار برده شد. با استفاده از این الگوریتم برای مسئله، بهترین دنباله عملیات برای رسیدن به بهترین ارزش مطلوب یافت می شود. رویه یافتن راه حل با الگوریتم ژنتیک در گام های زیر شرح داده شده است:

-ورود مدل و پارامترهای پروژه مانند:

✓ تعداد اهداف

✓ محدودیت ها

✓ زمان اجرای فعالیت ها و منابع مورد نیاز

✓ روابط پیش شرط فعالیت ها

✓ منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر

پارامترهای NSGA-II به صورت زیر انتخاب می شوند:

✓ تعداد نسل ها: $\text{maxiter}=100$

✓ تعداد اعضای جمعیت اولیه: $\text{npop}=100$

✓ نرخ تقاطع: ۷۰٪ از جمعیت اولیه که به صورت اختیاری و تصادفی این نرخ انتخاب شده است.

✓ نرخ جهش: ۳۰٪ جمعیت اولیه که به صورت اختیاری و تصادفی این نرخ انتخاب شده است.

بندی بهینه انتخاب می شود. به منظور تأیید و اعتبارسنجی مدل ، دو نمونه مثال در این پژوهش مورد

بررسی قرار گرفت.

جدول (۱): اطلاعات و خروجی های به دست آمده از نمونه پیاده سازی اول

اطلاعات نمونه پیاده سازی اول																خروجی های به دست آمده از نمونه پیاده سازی اول					
شماره	نام فعالیت	تقدم	زمان	منابع						فعالیت	زمان شروع	مدت زمان	زمان خاتمه	هزینه منابع تجدید پذیر	هزینه منابع تجدید ناپذیر						
				P2	P1	K4	K3	K2	K1												
۱	1-Site preparation	-	۱۴	۲	۳	۲	۱	۱۰۰	۱۰۰	۱	۱	۷	۷	۸۰۰	۲۲۴۰						
۲	2-Forms and rebars	۱	۱۵	۲	۲	۲	۲	۱۲۰	۱۲۰	۲	۲	۸	۱۵	۸۰۰	۲۹۲۰						
۳	3-Excavation	۱	۱۵	۳	۲	۳	۲	۱۰۰	۱۰۰	۲	۳	۸	۱۵	۶۷۰	۱۴۴۰						
۴	4-Precast concrete girders	۱	۱۲	۱	۲	۲	۱	۸۰	۹۰	۱	۴	۶	۱۳	۹۶۰	۲۳۲۰						
۵	5-Pour foundation and piers	۲و۳	۲۲	۵	۴	۴	۵	۱۵۰	۲۰۰	۵	۱۶	۱۱	۲۶	۱۳۵۰	۷۱۵۰						
۶	6-Deliver precast girders	۴	۱۴	۳	۲	۱	۲	۹۰	۱۲۰	۲	۱۴	۷	۲۰	۸۱۰	۱۹۲۵						
۷	7-Erect girders	۵و۶	۹	۱	۲	۱	۱	۶۰	۷۰	۱	۲۷	۵	۳۱	۵۱۰	۹۷۵						

جدول (۲): جدول روابط پیش شرط عملیات در پروژه های اول ، دوم و سوم در نمونه پیاده سازی دوم

روابط پیش شرط عملیات در پروژه اول										روابط پیش شرط عملیات در پروژه دوم										روابط پیش شرط عملیات در پروژه سوم									
منابع						نام فعالیت	مدت زمان	روابط پیش شرط		منابع						نام فعالیت	مدت زمان	روابط پیش شرط		منابع						نام فعالیت	مدت زمان	روابط پیش شرط	
P2	P1	K4	K3	K2	K1					P2	P1	K4	K3	K2	K1					P2	P1	K4	K3	K2	K1				
۴۰	۶۰	۳	۵	۴	۴	A3	۵	-		۴۰	۴۰	۱	۴	۰	۲	A2	۹	-		۴۰	۹۰	۳	۱	۳	۰	A1	۵	-	
۶۰	۸۰	۰	۲	۲	۲	B3	۷	-		۸۰	۸۰	۰	۲	۴	۲	B2	۶	-		۱۰۰	۹۰	۵	۰	۶	۰	B1	۸	A1	
۷۰	۵۰	۳	۰	۴	۱	C3	۸	-		۸۰	۳۰	۴	۵	۰	۱	C2	۱۱	-		۱۰	۱۰۰	۰	۶	۰	۱	C1	۹	A1	
۷۰	۱۰۰	۲	۰	۰	۳	D3	۸	B3		۲۰	۷۰	۱	۰	۶	۴	D2	۷	A2		۰	۹۰	۳	۲	۱	۳	D1	۸	A1	
۱۰	۷۰	۱	۴	۳	۰	E3	۷	B3		۸۰	۹۰	۰	۱	۶	۲	E2	۸	B2		۱۰	۵۰	۳	۰	۲	۲	E1	۶	B1 C1	
۹۰	۲۰	۶	۰	۱	۳	F3	۴	A3 D3		۱۰	۶۰	۰	۵	۳	۰	F2	۵	B2		۹۰	۹۰	۱	۲	۲	۰	F1	۱۲	D1	
۷۰	۹۰	۲	۰	۳	۳	G3	۸	B3		۴۰	۹۰	۵	۶	۳	۱	G2	۸	C2		۱۰	۲۰	۰	۰	۵	۵	G1	۸	E1 F1	
۸۰	۸۰	۲	۶	۳	۰	H3	۶	C3 E3		۸۰	۳۰	۳	۳	۳	۰	H2	۷	D2 E2											
										۹۰	۱۰۰	۶	۱	۱	۱	I2	۶	F2											

[illegible]

شماره	محدودیت منابع ۶ واحد (سناریوی اول)	محدودیت منابع ۸ واحد (سناریوی دوم)	محدودیت منابع ۱۰ واحد (سناریوی سوم)	محدودیت منابع ۱۲ واحد (سناریوی چهارم)
۱	۴۸۳۳۲/۶	۹۷	۴۸۳۳۳/۷	۶۴
۲	۴۸۳۴۲	۹۲	۴۸۳۳۱/۹	۶۵
۳	۴۸۳۳۴/۲	۹۵	۴۸۳۳۱/۹	۶۵
۴	۴۸۳۳۳/۵	۹۶	۴۸۳۳۱/۷	۶۸
۵	۴۸۳۳۳/۵	۹۶	۴۸۳۳۱/۷	۶۸
۶			۴۸۳۲۷/۳	۷۰
۷			۴۸۳۲۷/۳	۷۰

۳-۴- یافته ها

بعد از اجرای نمونه پیاده سازی دوم توسط نرم افزار R محدودیت منابع ۶، ۸، ۱۰، و ۱۲ واحد منبع در مدل برای هر منبع در طول روز را شامل می شد و نتایج مربوط به آن ها مورد بررسی قرار گرفت.

در سناریوی اول، تعداد ۵ پاسخ پارتو به دست آمد. با توجه به دنباله های مختلف اجرا، هر یک از این

1. crowding distance

2. front

پاسخ ها گزینه های اجرای مختلفی را در اختیار مدیر پروژه قرار می دهند. بهترین گزینه می تواند با توجه به شرایط پروژه انتخاب شود. خروجی به دست آمده نشان می دهد مناسب ترین مدت زمان برای انجام پروژه ها در این حالت ۹۲ روز با هزینه ۴۸۳۴۲ است. قابل قبول ترین هزینه انجام پروژه برابر ۴۸۳۳۲,۶ با زمان انجام ۹۷ روز بود.

-در سناریوی دوم، تعداد ۱۳ پاسخ پارتو به دست آمد. خروجی به دست آمده نشان می دهد که مناسب ترین مدت زمان برای انجام پروژه در این حالت ۶۴ روز با هزینه ۴۸۳۳۳,۷ بود. قابل قبول ترین هزینه انجام پروژه برابر ۴۸۳۲۷,۳ با زمان اجرای ۷۰ روز بود. بهترین گزینه می تواند با توجه به شرایط و اهمیت پارامترهای هزینه و زمان انتخاب شود.

-در سناریوی سوم، تعداد ۳ پاسخ پارتو به دست آمد. خروجی به دست آمده نشان می دهد که مناسب ترین مدت زمان برای انجام پروژه در این حالت ۵۳ روز با هزینه ۴۸۳۲۴,۵ بود. قابل قبول ترین هزینه انجام پروژه برابر ۴۸۳۲۳ با زمان انجام ۵۴ روز بود. بهترین گزینه می تواند با توجه به شرایط و اهمیت پارامترهای هزینه و زمان انتخاب شود.

-در سناریوی چهارم، تعداد ۲ پاسخ پارتو به دست آمد. خروجی به دست آمده نشان می دهد که مناسب ترین مدت زمان برای انجام پروژه در این حالت ۴۶ روز با هزینه ۴۸۳۲۳,۵ بود. قابل قبول ترین هزینه انجام پروژه برابر ۴۸۳۲۲,۶ با زمان انجام ۴۷ روز بود. بهترین گزینه می تواند با توجه به شرایط و اهمیت پارامترهای هزینه و زمان انتخاب شود.

-در سناریوی پنجم، منابع K2 و K3 نسبت به بقیه در پروژه مهم تر هستند، که با آزادسازی آن ها، پروژه در کوتاه ترین زمان ممکن تکمیل می شود.

-هزینه تکمیل شدن پروژه با آزادسازی هر منبع تغییر می یابد. نتایج نشان می دهد که تفاوت قابل توجهی در هزینه کل پروژه با در نظر گرفتن آزادسازی منابع به طور انفرادی وجود ندارد.

-سناریوی ششم، بیان می نماید که با آزادسازی هم زمان دو منبع، زمان اتمام پروژه بیش تر از سناریوهای دیگر کاهش می یابد. نتایج، عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی را منعکس می نماید. زمان اتمام پروژه به طور قابل توجهی با آزادسازی دو منبع K2 و K3 کاهش می یابد. این مسئله اهمیت بالای این دو منبع را نشان می دهد. لذا، می توان نتیجه گرفت که وقتی زمان اتمام پروژه از اهمیت ویژه ای در یک پروژه برخوردار است؛ آزادسازی دو منبع K2 و K3 (یعنی فراهم کردن این دو منبع به طور کامل و حذف محدودیت های منبع مرتبط با آن ها) می تواند به طور قابل توجهی در کاهش زمان اتمام پروژه مشارکت نماید.

-براساس نتایج به دست آمده کران پایین هزینه به آزادسازی دو منبع در حالت های مختلف حساس نمی باشد، اما با درنظر گرفتن کران بالا، حالت های ($K1$ و $K3$) و ($K2$, $K4$) بالاترین هزینه را دارند؛ در حالی که حالت ($K3$ و $K4$) کم ترین هزینه را دارند.

-سناریو هفتم، نشان می دهد که زمان اتمام پروژه بیش تر با آزادسازی سه منبع $K2$ ، $K3$ و $K4$ کاهش می یابد. باید توجه شود که کران های بالا و پایین زمان به دست آمده در دو حالت ($K1$ و $K3$ و $K4$) و ($K2$ و $K3$ و $K4$) برابر بودند. این بدان معنا است که حساسیت آن ها به زمان تکمیل شدن با آزادسازی این سه منبع از بین می رود.

-براساس شکل (۱۸-۴)، هزینه کل پروژه با آزادسازی منابع ($K2$ ، $K3$ و $K4$) مینیمم می شود.
-زمان تکمیل شدن پروژه با آزادسازی هم زمان ۴ منبع کاهش می یابد. این بدیهی است زیرا منابع کافی موجود است و هیچ تأخیری در اثر محدودیت منابع ایجاد نمی شود.

۵- نتیجه گیری کلی

هدف اصلی از این مطالعه تهیه یک مدل بهینه سازی چند منظوره برای برنامه ریزی چند پروژه ای بر روی زنجیره تأمین بحرانی با منابع محدود و با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری جهت توازن هزینه- زمان برای کشف پاسخ های بهینه بود. در این راستا، از یک الگوریتم ژنتیکی مرتب سازی نامغلوب استفاده شد تا به مدیران پروژه پاسخ های مختلف پارتو را ارائه دهد. با ارائه تعریف صحیح تری از مسئله، راه حل بهینه و پاسخ مناسب تری از پارامترهای پروژه، حاصل می شود. برای این منظور، اصول اولیه الگوریتم ژنتیکی مرتب سازی نامغلوب ایجاد شد، سپس مسئله توازن زمان-هزینه توسط الگوریتم پیشنهادی حل شد که از چندین سناریو استفاده شد.

سرانجام، نتایج به دست آمده از سناریوها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به سناریوهای مربوط به محدودیت منابع و نتایج حاصل از حل آن ها، چندین راه حل پارتو با زمان، هزینه و تعداد متفاوتی از منابع ارائه می شود به گونه ای که مدیران با توجه به امکانات و شرایط خود می توانند یکی از این موارد را انتخاب کنند. نتایج نشان می دهد که اگر منابع بیش تری موجود باشد، زمان اتمام پروژه کاهش می یابد، اما هزینه کل پروژه تغییر قابل توجهی نخواهد کرد. همچنین برای تجزیه و تحلیل حساسیت هر منبع و سنجش اهمیت آن ها، هر منبع با توجه به یک سری محدودیت منابع به صورت تکی، دوتایی و سه گانه آزاد شدند تا اهمیت این منابع برای مدیر پروژه مشخص شود. پس از تجزیه و تحلیل، مشخص شد که منابع $K2$ و $K3$ از اهمیت بالایی برخوردار هستند و تأثیر زیادی در زمان و هزینه پروژه دارند. لذا، تهیه این دو منبع در پروژه

های مربوطه باعث بهبود زمان و هزینه پروژه می شود. با توجه به پیچیدگی بحث در مورد زمان بندی پروژه با محدودیت منابع، مدل پیشنهادی با چالش هایی روبرو است. در بین این موارد، ممکن است علاوه بر زمان و هزینه، نیز اهداف دیگری در نظر گرفته شود. علاوه بر این، اگرچه اولویت بندی برای تخصیص منابع مبتنی بر سودآوری پروژه ها است، در این مطالعه، سطح یکسانی از سودآوری در بین پروژه ها در نظر گرفته شده است. در این تحقیق، پارامترهای ورودی مسئله مانند زمان و هزینه هر فعالیت ثابت و از پیش تعریف شده است، در حالی که در دنیای واقعی آن ها می توانند نامشخص باشند.

با توجه به موارد فوق، ممکن است پیشنهادهای مختلفی برای انجام مطالعات آینده بر اساس مدل پیشنهادی در این تحقیق در نظر گرفته شود. در میان اهداف دیگر در نظر گرفته شده برای این مسائل، می توان کیفیت و انحراف منابع موجود را مشخص کرد. علاوه بر این برای تحقق مدل پیشنهادی می توان ضرایب تأثیر مختلفی را برای پروژه ها در نظر گرفت. سرانجام می توان از رویکردهای مختلف مانند رویکرد تئوری فازی و مدل سازی تصادفی استفاده کرد تا عدم اطمینان را در مورد مسئله به کار برد. همچنین، در این مطالعه، حداکثر تعداد فعالیت در پروژه های چندگانه برابر ۱۰ بود. در مطالعه آینده، این مدل می تواند برای پروژه های در مقیاس بزرگ یا پروژه مگا که دارای فعالیت های زیادی مانند ساختمان های مرتفع و آسمان خراش ها است، استفاده شود. با توجه به رویکرد استفاده شده در این تحقیق برای ارزیابی اهمیت هر منبع، این اثر در پروژه های بزرگ تر بهتر نشان داده می شود و باعث بهبود عملکرد چنین پروژه هایی می شود. با مشخص شدن وزن هر منبع، تأمین منابع با اهمیت تر مانع از تأخیرهای زمان در پروژه های مقیاس-بزرگ می شود.

۶- پیشنهاداتی برای کارهای آتی

-مدل برنامه نویسی چند منظوره از توزیع امداد برای زنجیره تأمین پایدار در برابر بلایای طبیعی در مقیاس بزرگ

-بهینه سازی سیاست یکپارچه موجودی در یک زنجیره تأمین چند پروژه ای-چند مرحله ای
-مدل چند منظوره تصادفی برای یک زنجیره تأمین حلقه بسته با ملاحظات زیست محیطی و چند پروژه ای

-طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار و سبز چند پروژه ای- چند منظوره فازی
-طراحی یک شبکه چند منظوره یکپارچه، چند پروژه ای و چند مرحله ای با زنجیره های فصلی.
-الگوریتم ژنتیکی حالت پایدار برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چند پروژه به صورت هم زمان
-مدیریت ریسک کیفیت چند پروژه ای در زنجیره تأمین چند لایه با الگوریتم ژنتیک

منابع فارسی

- بنی اسدی ، مهدیه ، "زمان بندی با رویکرد زنجیره بحرانی و مطالعه موردی : طرح توسعه میدان نفتی دار خوین شرکت مهندسی و توسعه نفت". دانشگاه شهید بهشتی دانشکده مدیریت و حساب داری ، ۱۳۹۳
- پایدار محمد مهدی ، آرمن چراغعلی پور، مصطفی حاجی آقائی کشتلی. "طراحی شبکه زنجیره تأمین چند دوره ای و سه سطحی برای محصولات زراعی فاسد شدنی با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری". مازندران، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل. دوره ۱۴، شماره ۳ - (۱۳۹۶-۷)
- جبله مرتضی، رنجکش سجاد، قیاسی محمدرضا، حسن پور حسینعلی. "شناسایی عوامل بحرانی موثر در مدیریت زنجیره تامین الکترونیکی؛ مطالعه موردی: شرکت های کوچک و متوسط". دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. ۱۳۹۵، دوره ۱۲، شماره ۴۷؛ از صفحه ۲۹ تا صفحه ۳۷
- جمیلی ، رنجبر و سالاری. "یک مدل دو هدفه برای برنامه ریزی یکپارچه تولید و توزیع در یک زنجیره تامین با محدودیت های تاریخ انتشار سفارش. مجله سیستم های تولیدی". ۴۰، ۱۱۸-۱۰۵، سال ۱۳۹۶
- ربیعیه و محمودی و اکایا و تونیالی ، " طرح های لغو گواهی مقیاس پذیر برای شبکه های ami شبکه هوشمند با استفاده از فیلترهای شکوفه. معاملات IEEE در محاسبات قابل اعتماد و امن " (۴) ۱۴، ۴۳۲-۴۲۰.
- ربانی ، طاهری باویل اولیایی ، فرخی و مبینی . "یک مدل جدید ریاضی در مسئله تشکیل سلول با در نظر گرفتن موجودی و سفارش مجدد: الگوریتم های بهینه سازی ازدحام ژنتیک و ذرات مجله مطالعات مدیریت ایران " ۱۰ (۴) ، ۸۵۲-۸۱۹. سال ۲۰۱۷
- شیخ ابومسعودی ، عباس ، "ایجاد کنترل مالی و هزینه ها (پروژه های شرکت)". اصفهان جهاد دانشگاهی ، ۲۰۱۹
- عباسی ، شادروخ و ارکات. " برنامه ریزی پروژه با هدف محدودیت منابع دو هدف با استحکام و معیارهای ساخت ". ۲۰۰۶، ۱۸۰ (۱): ۱۴۶-۵۲.
- عالم تبریز اکبر ، اشکان عیوق ، مهدیه بنی اسدی. "ارائه و حل مدل مساله زمانبندی زنجیره بحرانی پروژه با در نظر گرفتن بافر تغذیه". مطالعات مدیریت صنعتی سال چهاردهم پاییز ۱۳۹۵ شماره ۴۲
- غفاری فر محمدرضا ، محمدرضا علیزاده، سیداسماعیل نجفی، محمد کریمی مشکانی. " نظریه محدودیتها و مزایای آن در مدیریت پروژه به روشی موثر: متدولوژی زنجیره بحرانی ". دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم های اقتصادی-اجتماعی، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات . سال ۱۳۹۴

فاروقی هیوا ، محمد اشرفی فشی . " طراحی شبکه زنجیره ی تامین چند سطحی با در نظر گرفتن راهبردهای پایای چندگانه در سطح مراکز توزیع ". دانشکده مهندسی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران . ۱۳۹۶ ، دوره ۵، شماره ۱۰ . صفحه ۵۳-۶۷

کریمی مرضیه، کاظمی ابوالفضل، عزیزمحمدی مهدی. " ارائه ی یک مدل چندهدفه ی جدید برای مساله ی انتخاب تامین کننده در زنجیره ی تامین، و حل آن با الگوریتم های فراابتکاری مبتنی بر پارتو ". دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین ، ۱۳۹۴ ، دوره ۱-۳۱ ، شماره ۱/۲ (ویژه مهندسی صنایع و مدیریت) ؛ از صفحه ۶۱ تا صفحه ۷۱ . مختاری. " مدل مدیریت مزیت رقابتی مبتنی بر EFQM در شرکت های توزیع نیروی برق (شرکت برق یزد)". سال ۲۰۱۲

نبی زاده محمدحسین ، بهنمیری حسینعلی حسن پور ، روزبه عزیزمحمدی ، نوید هشترودی ". ارائه مدل زمانبندی استوار پروژه با منابع محدود و حل آن با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری بهینه سازی انبوه ذرات (مطالعه موردی: پالایشگاه میعانات گازی بندرعباس)". مدیریت صنعتی (آزاد سنندج) سال دوازدهم ۱۳۹۶ شماره ۳۹

نوتاش. ، زندیه ، و دوری نوکورانید. (۲۰۱۵). استفاده از رویکرد الگوریتم ژنتیک برای طراحی شبکه چند منظوره زنجیره تأمین. تحقیقات مدیریت در ایران ، ۱۸ (۴) ، ۲۰۳-۱۸۳

Balstein Francisco: "Theoretical and practical foundations for multi-objective optimization in resource-constrained project planning problems". 2011

Chen, S. P. and Tsai, M. J. (2011). "Time-cost trade-off analysis of project networks in fuzzy environments." European Journal of Operational Research, Vol. 212, No. 2, pp. 386-397.

Cheng, M. Y. and Tran, D. H. (2015). "Opposition-based Multiple Objective Differential Evolution (OMODE) for optimizing work shift schedules." Automation in Construction, Vol.

۵۵, pp. ۱-۱۴,

Franklin joumani ."A multi-objective optimization approach to solve the compounding problem in the tea industry".2018

Goldratte EM. Critical chain. Great Barrington, Mass., USA: The North River Press; 1997.

Izmailov azar and korneva diana."Comparison of traditional project management methods with new methods".2016

Krystyna araszkiewicz." Investigating the management of the critical supply chain in construction project plans".2017

- Mattheut jino ." Designing a multi-objective optimization model for repetitive programs".2016
- Mazloom mete and ali fuat guneri." Project scheduling with the development of pert and ccpm methods".2015
- Tran, D. H. Cheng, M. Y., and Cao, M. (2015). "Solving resource constrained project scheduling problems using hybrid artificial bee colony with differential evolution." *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 30, Issue 4, 04015065, DOI: 10.1061/(ASCE) CP.1943-5487.0000544
- Wang, W. X., Wang, X., Ge, X. L., & Deng, L. (2014). Multi-objective optimization model for multi-project scheduling on critical chain. *Advances in Engineering Software*, 68, 33-3⁹.
- Younis, M &. Abbasi, A. A., (2007). A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks. *Computer communications*, 30(14-15), 2826-2841
- Zhang, J., Song, X., and Diaz, E. (2016). "Project buffer sizing of a critical chain based on comprehensive resource tightness." *European Journal of Operational Research*, Vol. 248, Issue 1, pp. 174-182, DOI: ۱۰,۱۰۱۶/j.ejor.۲۰۱۵,۰۷,۰۰۹.
- Zhang long ana ling wang." Designing a knowledge-based multi-objective optimization model for project planning with limited multi-resource resources".2018