

ارائه یک روش حل ترکیبی بر پایه الگوریتم‌های ژنتیک و تبرید شبیه
سازی شده برای حل مساله مکان‌یابی - مسیر یابی ظرفیت دار
ابراهیم تیموری، فاطمه ابوترابیان

توسعه و حل مدل زمانبندی پروژه با در نظر گرفتن منابع از نوع دوگان در
حالت مولتی مود با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری شبیه سازی تبرید
جهانگیر امیری

بهینه سازی استوار در مسئله انتخاب و زمانبندی سبد پروژه با محدودیت
منابع و بودجه در شرایط عدم قطعیت در منابع
مریم جمشیدی، امیر عباس نجفی

بررسی رقابت میان دو زنجیره تامین حلقه باز و بسته تحت سیاست‌های
دولت با رویکرد نظریه بازی‌ها
تینا هادی

ارائه مدل مکانیابی - تخصیص در شبکه زنجیره تأمین خون در حالت عدم
قطعیت با در نظر گرفتن اختلال و ارتباط عرضی بین بیمارستان‌ها
زهرا محمدیان بهبهانی، آرمین جبارزاده



فصلنامه علمی تخصصی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی صنایع
سال اول، شماره یک، تابستان ۱۳۹۷

صاحب امتیاز: گلناز السادات صباغیان

مدیر مسئول: منیژه ملائی

زیر نظر شواری سردبیری

اعضای شواری علمی نشریه:

دکتر سیامک حاجی یخچالی، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

دکتر محمدمهدی نصیری خونساری، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

دکتر فرزاد فیروزی جهان‌تبیغ، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

دکتر علی سلماش نیا، عضو هیئت علمی دانشگاه قم

دکتر رضا سمیع زاده، عضو هیئت علمی دانشگاه الزهرا

دکتر حسین کریمی، عضو هیئت علمی دانشگاه بجنورد

دکتر علی چراغعلی خانی، عضو هیئت علمی دانشگاه تفرش

دکتر مجتبی مرادی، عضو هیئت علمی دانشگاه گیلان

دکتر ارد احمدی، عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی

دکتر محبعلی رهدار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان



۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴ ۸۷
۰۲۶ ۳۴ ۴۳ ۶۹ ۵۹
۰۲۱ ۴۳ ۸۵ ۷۱ ۲۴

نشانی: کرج، بلوار امام خمینی (باغستان)، بین
خیابان پنجم و ششم، روبروی مجموعه ورزشی
انقلاب، پلاک ۷۳۵، ساختمان پرند، واحد ۱

فراخوان پذیرش مقاله

حیات اقتصادی سازمان‌ها، مؤسسات تولیدی و خدمات در بازار رقابتی شدید جهانی به استفاده بهینه از منابع در دسترس وابسته است. مهندسی صنایع ابزار لازم برای حصول اهداف سازمانی را به طور فراگیر و سامان‌مند فراهم می‌آورد و این نشانگر نقش و اهمیت بالای مهندسی صنایع به عنوان موتور محرک حرکت سازمان‌های امروزی است. دانایی یکی از محورها و شاخص‌های اصلی پیشرفت و تعالی هر جامعه به شمار می‌رود. سنجش سطح دانایی به میزان تولید و مصرف اطلاعات و گسترش دانایی به دسترسی سریع و آسان به منابع علمی موثق وابسته است. بنابراین، منبع اصلی تولید اطلاعات و دانش جدید در واقع حاصل فعالیت‌های پژوهشی است که انجام می‌گیرد. تغییر و تحول به طور پیوسته و مستمر در روش زندگی انسان‌ها، سازمان‌ها، جوامع و اجتماعات بشری امر بدیهی بوده و مختص نقطه خاصی از جهان نیست. توسعه پرشتاب و گسترده علوم به ویژه در حوزه فنی و مهندسی، انجام اقدامات علمی برای معرفی دستاوردهای علمی را بیش از پیش ضروری کرده است.

موسسه مدیریت دانش شباک با همکاری اساتید برجسته دانشگاهی باهدف معرفی پژوهش‌های مهندسی صنایع و ایجاد فرصتی برای تبادل مطالعات و تجارب در این حوزه، نشریه پژوهش‌های کاربردی در مهندسی صنایع را منتشر می‌کند. تحریریه به منظور انتشار گسترده پژوهش‌های روزآمد از اساتید، صاحب‌نظران، مهندسان، دانشجویان، کارشناسان، پژوهشگران و علاقه‌مندان محترم مهندسی صنایع، دعوت می‌کند تا با ارائه مقالات علمی ارزشمند خود، از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.ARIEN.ir ضمن مشارکت فعال به غنای این نشریه کمک نمایند. برای ارسال مقاله به نشریه کافی است تا در وبسایت نشریه ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید. پس از بررسی اولیه و داوری علمی از طرف تحریریه جهت انتشار مقاله با نویسنده مسئول تماس گرفته می‌شود.

موضوعات نشریه پژوهش‌های کاربردی در مهندسی صنایع:

- بهینه‌سازی سیستم‌ها
- مدیریت نوآوری و فناوری
- سیستم‌های سلامت
- سیستم‌های کلان
- آینده‌پژوهی
- سیستم‌های مالی
- لجستیک و زنجیره تأمین
- مدیریت پروژه
- مدیریت مهندسی
- مطالعات میان‌رشته‌ای در مهندسی صنایع

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	ارائه یک روش حل ترکیبی بر پایه الگوریتم های ژنتیک و تبرید شبیه سازی شده برای حل مساله مکان یابی - مسیریابی ظرفیت دار ابراهیم تیموری، فاطمه ابوترابیان
۱۵	توسعه و حل مدل زمانبندی پروژه با در نظر گرفتن منابع از نوع دوگان در حالت مولتی مود با استفاده از الگوریتم فراابتکاری شبیه سازی تبرید جهانگیر امیری
۲۹	بهینه سازی استوار در مسئله انتخاب و زمان بندی سبد پروژه با محدودیت منابع و بودجه در شرایط عدم قطعیت در منابع مریم جمشیدی، امیر عباس نجفی
۴۵	بررسی رقابت میان دو زنجیره تامین حلقه باز و بسته تحت سیاست های دولت با رویکرد نظریه بازی ها تینا هادی
۵۹	ارائه مدل مکان یابی-تخصیص در شبکه زنجیره تأمین خون در حالت عدم قطعیت با در نظر گرفتن اختلال و ارتباط عرضی بین بیمارستان ها زهرا محمدیان بهبهانی، آرمین جبار زاده

ارائه یک روش حل ترکیبی بر پایه الگوریتم های ژنتیک و تبرید شبیه سازی شده برای حل مساله مکان یابی - مسیریابی ظرفیت دار

ابراهیم تیموری^{۱*}، فاطمه ابوترابی^۲

۱- استادیار، دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران (teimoury@iust.ac.ir)

۲- کارشناس ارشد، دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران (f.aboutorabian@gmail.com)

چکیده

امروزه رقابت شدید در بازار جهانی شرکت ها را وادار به طراحی و مدیریت بهتر زنجیره های تامین به منظور ایجاد مزیت های رقابتی کرده است. مدیریت زنجیره تامین بر یکپارچه سازی اعضای زنجیره تاکید دارد. مسائل مکانیابی - مسیر یابی، نتیجه یکپارچه سازی تصمیمات مکان یابی و حمل و نقل در زنجیره تامین می باشند که جنبه های مسیر یابی وسایل نقلیه را نیز همراه با تصمیمات مکانیابی در نظر می گیرند. از آنجایی که نقش بالای کاهش هزینه های توزیع در ادامه حیات یک زنجیره تامین پوشیده نیست و به دلیل اینکه این تصمیمات دارای وابستگی ذاتی به هم میباشند و تصمیم گیری در ارتباط با هر کدام از این عناصر بر عناصر دیگر تاثیر گذار است لذا یکپارچگی این عناصر منجر به کاهش هزینه های توزیع و ایجاد یک زنجیره تامین کارا خواهد شد. در این مقاله برای اولین بار، یک الگوریتم حل ترکیبی بر پایه تبرید شبیه سازی شده و الگوریتم ژنتیک برای حل مساله مکان یابی - مسیریابی ظرفیت دار ارائه شده است. این مساله دارای محدودیت ظرفیت برای انبارها و وسایل نقلیه می باشد. عملکرد الگوریتم با استفاده از مجموعه ای از مسائل نمونه مورد ارزیابی قرار گرفته و با نتایج سایر الگوریتم های موجود در ادبیات مقایسه شده است. نتایج محاسباتی بیانگر این واقعیت است که الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه سازی شده و ژنتیک توانایی رقابت با سایر الگوریتم های شناخته شده را دارد چون قادر به تولید جواب های بهینه و یا نزدیک به بهینه در بسیاری از مسائل شده است.

کلمات کلیدی: مکانیابی تسهیلات، تخصیص، مسیریابی، حمل و نقل، مدیریت زنجیره تامین، مساله مکانیابی - مسیریابی، الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، الگوریتم ژنتیک

۱-مقدمه

در در سه دهه اخیر، مفاهیم سیستم های لجستیک یکپارچه و یکپارچگی تصمیم گیری در زنجیره تامین به یکی از مهمترین جنبه های مدیریت زنجیره تامین تبدیل شده اند. این مفاهیم به بررسی وابستگی های میان مکان تسهیلات، تخصیص تامین کنندگان و مشتریان به تسهیلات، ساختار سیستم حمل و نقل، سیستم حمل و نقل، سیستم کنترل موجودی ها، و برنامه ریزی و زمان بندی تولید میپردازند. این رویکرد جامع و حل همزمان مسائل لجستیکی مانع از بهینه سازی محلی مسائل وابسته به همدیگر میشود. در سالیان اخیر، مساله مکان یابی - مسیر یابی (LRP^۱) یکی از مهمترین طبقات مسائل مکانیابی نزد تحلیل گران سیستم های لجستیک یک پارچه بوده است. این مساله با در نظر گیری روابط متقابل بین مکان تسهیلات و مسیرهای ناوگان حمل و نقل، دید قویتری در اختیار تحلیل گران گذاشته و از بهینه سازی محلی دو مساله مکان یابی و مسیریابی جلوگیری میکند [۲۱]. به طور کلی مساله مکان یابی - مسیریابی به تعیین محل انبارها و مسیرهای وسایل نقلیه برای خدمت رسانی به مشتریان تحت برخی از محدودیت ها از قبیل ظرفیت انبارها، ظرفیت وسایل نقلیه، طول مسیر و غیره میپردازد، تا خواسته های تمام مشتریان را برآورده سازد و هزینه کل شبکه شامل هزینه های مسیریابی، هزینه های ثابت

^۱ Location Routing Problem

وسیله نقلیه، هزینه های ثابت تسهیلات و هزینه های عملیاتی تسهیلات را به حداقل برساند [۲۲]. تفاوت اساسی بین این مسئله با مسئله مکان یابی کلاسیک این است که در اولی پس از تعیین مکان تسهیلات، مسیرهای ارتباطی بین مشتریان و تسهیلات به صورت یک تور بررسی می شود ولی در دومی فرض بر این است که مسیرهای مستقیم بین مشتری و تسهیلات وجود دارد و این در نهایت به افزایش هزینه های توزیع منجر می شود. پس برخلاف روش مکان یابی سنتی، روش مسئله مکان یابی- مسیریابی با در نظر گرفتن تور، به طور همزمان به دنبال مکان های بهینه تسهیلات و همچنین مسیرهای بهینه است. بنابراین، با توجه به ماهیت ترکیبی مسائل مکان یابی- مسیریابی برای رسیدن به جواب بهینه نمی توان زیر مسئله های این مسئله (مکان یابی- تخصیص و مسیریابی وسایل نقلیه) را به تنهایی حل نمود بلکه باید به دنبال روشهایی برای حل همزمان آنها بود [۲۱]. تعاریف ما بر اساس دیدگاه سلسله مراتبی بدین ترتیب هستند که حل مسأله مکانیابی (مسأله اصلی) هدف ما است اما طی حل این مسائل، به صورت همزمان به حل یک مسأله مسیریابی وسیله نقلیه (مسأله فرعی) می پردازیم که این موضوع بیانگر یک روند حل یکپارچه است. ویژگی مهم دیگر، نیاز مساله به وجود تور یا وجود توقف های متعدد در یک مسیر است که این پدیده زمانی رخ می دهد که تقاضاهای مشتری کمتر از ظرفیت یک وسیله نقلیه باشد [۲۲].

دو زیر مساله اصلی مساله مکان یابی- مسیریابی، مسایل مکان یابی- تخصیص و مسیریابی وسیله نقلیه هستند. از آنجا که هردو زیر مساله مذکور NP-Hard هستند، بنابراین مساله مکان یابی- مسیریابی نیز NP-Hard محسوب میشود [۶]. با توجه به اینکه روش های سنتی بهینه یابی برای حل مسایل NP-Hard مناسب نیست و به دست آوردن حل بهینه برای مسایل مورد نظر در ابعاد بالا در زمان به وسیله رویکردهای سنتی و ابزارهای بهینه یابی متداول بسیار مشکل است؛ بنابراین از الگوریتم های فراابتکاری برای حل آن استفاده می شود [۲۰].

ساختار مقاله به این ترتیب سازماندهی شده است که : در بخش ۲ به مرور ادبیات مساله می پردازیم. بخش ۳ به تعریف مساله مکانیابی مسیر یابی ظرفیت دار اختصاص دارد. بخش ۴ به تشریح الگوریتم حل و بخش ۵ به بیان نتایج محاسباتی می پردازد و در نهایت در بخش ۶ نتیجه گیری ارائه میشود.

۲- مرور ادبیات

اولین قدم ها در زمینه ایجاد مسایل مکان یابی- مسیریابی به اواسط دهه ۱۹۶۰ میلادی باز میگردد که مسایلی از قبیل مکان یابی- کوتاه ترین مسیر [۱۸] ایجاد گشتند. در مدل ارائه شده توسط مارانزانا^۱ هزینه های حمل و نقل به صورت بخشی از مجموع فواصل نقاط عرضه از سایر نقاط در نظر گرفته شده است که این فواصل توسط حجم انتقال مواد بین نقاط، وزن دار شده است. هر چند در این مدل هزینه های حمل در نظر گرفته شده است ولی به دلیل عدم در نظر گرفتن محدودیت های پیچیدگی های مدل LRP از یک مسئله ترکیبی فاصله زیادی دارد.

ایجاد اولین مدل های واقعی مکان یابی- مسیریابی در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ با فعالیتهای محققین مختلفی همچون جاکوبسن و مادسن^۲ (۱۹۷۸ و ۱۹۸۰) [۱۴] [۱۳]، اور و پیرسکالا^۳ (۱۹۷۹) [۲۴]، نامبیار و همکاران^۴ (۱۹۸۱) [۲۳]، هریسون و همکاران^۵ (۱۹۷۹) [۱۲]، لاپورته و نوبرت^۶ (۱۹۸۱) [۱۵] و مادسن^۷ (۱۹۸۳) [۱۷] انجام شده است.

در طول سالیان اخیر، توجه محققین و متخصصین لجستیک بر انواع کاربردی تر مسایل مکان یابی- مسیریابی و نیز روشهای حل متنوع تر برای این مسائل واقع شده است. برونو و دیگران^۸ (۱۹۹۸) [۴] با در نظر گیری شبکه حمل و نقل چند وجهی، یک الگوریتم ابتکاری بر پایه مساله کوتاهترین مسیر ارائه کرده اند. توزان و برک^۹ (۱۹۹۹) [۲۹] ضمن مدلسازی مساله مکان یابی- مسیریابی یک رده ای با ظرفیت محدود ناوگان حمل و نقل، یک الگوریتم فرا ابتکاری بر پایه الگوریتم جستجوی

¹ Maranzana

² Jacobsen S. K. & Madsen O. B. G

³ Or, I. & Pierskalla, W. P

⁴ Nambiar, J. M., Gelders, L. F. & Van Wassenhove, L. N

⁵ Harrison, H and et al

⁶ Laporte G. & Nobert, Y

⁷ Madsen O. B. G

⁸ Bruno G and et al

⁹ Tuzun, D., Burke, L.I.,

ممنوعه دو مرحله ای طراحی نموده اند. گینی و امپروتا^۱ (۲۰۰۰) [۱۱] برای مساله مکان یابی-مسیریابی یک رده ای با ظرفیت محدود ناوگان حمل و نقل یک مدل ریاضی جدید بر پایه مساله مسیریابی کمان های ظرفیت دار^۲ ارائه کردند که برای حل آن روشهای دقیق و ابتکاری متعددی در ادبیات موضوع وجود دارد. در مطالعه دیگری که توسط تن و دیگران^۳ (۲۰۰۱) [۲۷] در سنگاپور انجام شده از الگوریتم های فراابتکاری تبرید شبیه سازی شده، جست و جوی ممنوعه و الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله مسیریابی با محدودیت زمانی استفاده کرده و این سه روش را برای یک مسئله واحد با ۱۰۰ مشتری پیاده کرده و مقایسه ای بر روی الگوریتم های مختلف ابتکاری انجام شده است. وو و دیگران^۴ (۲۰۰۲) [۳۰] با در نظر گیری محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه و وجود ناوگان حمل و نقل متنوع، روشی ابتکاری بر پایه تجزیه و الگوریتم تبرید شبیه سازی شده ارائه نموده اند و نشان دادند که این روش برای بسیاری از مسایل ترکیبی مشکل و پیچیده مثل مسئله مکان یابی-مسیریابی نتایج خوبی را منعکس میکند. لین و دیگران^۵ (۲۰۰۲) [۱۶] برای حل مساله مکان یابی-مسیریابی دو رده ای با فرض محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه و حداکثر طول مسیر، یک روش ابتکاری سه مرحله ای بر پایه ۳ الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، انشعاب و تحدید، و فروشنده دوره گرد ایجاد نموده اند. در پژوهش دیگری توسط بل و مک مولن^۶ در سال ۲۰۰۴ [۲]، یک مسئله مسیریابی توسط الگوریتم بهینه یابی کلونی مورچگان حل شده که نتایج ارایه شده موفق بودن الگوریتم را برای مسایل با حجم بالا نشان داده است.

پرینس^۷ و همکاران در سال ۲۰۰۶ [۲۶] به حل مساله مکان یابی-مسیریابی ظرفیت دار با ناوگان حل همگن و نامحدود پرداختند. الگوریتم حل پیشنهادی آنها یک الگوریتم جستجوی حریصانه تصادفی انطباقی^۸ (GRASP) می باشد که یک حافظه از انبارهای مورد استفاده نگهداری میکند که از این حافظه در فاز ایجاد واگرایی الگوریتم استفاده میشود. این اطلاعات روند جستجو را به سمت باز کردن انبارهای نوید بخش تر در فاز ایجاد همگرایی هدایت می کند. همین نویسندگان در سال ۲۰۰۶ [۲۵] برای حل مساله مکان یابی مسیریابی ظرفیت دار یک الگوریتم ممتیک^۹ (الگوریتم ژنتیک ترکیب شده با روش های های جستجوی محلی) با روش پراکندگی جمعیت بر اساس اندازه گیری فاصله در فضای راه حل پیشنهاد کردند. بوهافس^{۱۰} و همکارانش در سال ۲۰۰۶ [۳] برای حل مساله مکان یابی مسیریابی ظرفیت دار، آن را به دو فاز تقسیم کردند. فاز مکان یابی تسهیلات و مسیریابی وسیله نقلیه. و یک الگوریتم حل دو فاز برای حل آن ارائه کردند. فاز مکان یابی توسط الگوریتم تبرید شبیه سازی شده و فاز مسیریابی توسط الگوریتم کلونی مورچگان انجام شده است. بارتو^{۱۱} در سال ۲۰۰۷ [۱] برای حل مساله مکان یابی مسیریابی ظرفیت دار یک خانواده از الگوریتم های ابتکاری سه فاز بر اساس تکنیک های خوشه بندی ارائه کرد. در فاز اول خوشه های مشتریان تشکیل می شود به نحوی که محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه را برآورده کند. در فاز دوم برای هر خوشه مساله فروشنده دوره گرد (TSP) حل میشود. در نهایت، در فاز سوم، انبارهای باز شده با حل یک مساله مکانیابی تسهیلات تعیین می شود. ماریناکیس^{۱۲} و همکارانش در سال ۲۰۰۸ [۱۹]، یک الگوریتم ترکیبی (HybPSO) برای حل مساله مکانیابی مسیریابی ارائه کردند. این الگوریتم ترکیبی از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات^{۱۳} (PSO)، روش جستجوی همسایگی چند فاز - جستجوی حریصانه تصادفی انطباقی^{۱۴} (MPNS-GRASP)، روش جستجوی همسایگی گسترش یافته^{۱۵} (ENS) و اتصال دوباره مسیر^۱ می باشد.

¹ Ghiani, G., Improta, G

² Capacitated Arc Routing Problem

³ Tan K.C, Lee L.H, Ou K

⁴ Wu, T.H., Low, C., Bai, J.W.,

⁵ Lin, C.K.Y., Chow, C.K., Chen, A

⁶ Bell J.E, McMullen P.R

⁷ Prins

⁸ Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

⁹ Memetic

¹⁰ Bouhafs

¹¹ Barreto

¹² Marinakis

¹³ Particle Swarm Optimization

¹⁴ Multiple Phase Neighborhood Search –Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

¹⁵ Expanding Neighborhood Search

دوهمال^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۰ [۸] یک الگوریتم جستجوی حریصانه تصادفی انطباقی و جستجوی مکان تکاملی^۳ (GRASP x ELS) برای حل مساله مکان یابی مسیریابی ظرفیت دار ارائه کردند. فاضل‌زندی و همکارانشان در سال ۲۰۱۱ [۹]، با در نظر گرفتن زمان فازی برای حمل کالا و وجود پنجره‌های زمانی برای تحویل کالا به مشتری یک مدل جدید برای مساله مکان یابی- مسیر یابی ظرفیت دار ارائه کردند. برای حل این مساله یک الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده ارائه شده که نتایج محاسباتی کارا و روباست بودن این الگوریتم را به اثبات رسانده است. همین افراد در سال ۲۰۱۳ [۱۰]، با اضافه کردن فرض فازی بودن تقاضای مشتریان به مساله قبل، مجدداً آن را با الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده حل کردند.

اخیراً کونتاردو و همکارانش^۴ [۵] برای مساله مکانیابی- مسیریابی ظرفیت دار یک الگوریتم ابتکاری ۳ مرحله‌ای ارائه کردند. اساس کار این الگوریتم به این شکل است که در فاز اول یک الگوریتم ترکیبی جستجوی حریصانه و جستجوی محلی برای ساخت مجموعه‌ای از جواب‌های اولیه به کار برده می‌شود. در مرحله دوم، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی (ILP^۵) مسیرهای متفاوت تولید شده توسط مرحله اول را به عنوان ورودی می‌گیرد؛ هدف، ساخت یک راه حل جدید به صورت ترکیبی از این مسیرها می‌باشد. در مرحله سوم و نهایی، یک ILP مشابه به صورت مکرر برای بهبود راه‌های پیدا شده در طول دو مرحله اول اجرا می‌شود.

در این مقاله برای اولین بار، یک الگوریتم حل ترکیبی بر پایه تبرید شبیه‌سازی شده و الگوریتم ژنتیک برای حل مساله مکان یابی- مسیریابی ظرفیت دار ارائه شده است. این مساله دارای محدودیت ظرفیت برای انبارها و وسایل نقلیه می‌باشد. عملکرد الگوریتم با استفاده از مجموعه‌ای از مسائل نمونه مورد ارزیابی قرار گرفته و با نتایج سایر الگوریتم‌های موجود در ادبیات مقایسه شده است. نتایج محاسباتی بیانگر این واقعیت است که الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و ژنتیک توانایی رقابت با سایر الگوریتم‌های شناخته شده را دارد چون قادر به تولید جواب‌های بهینه و یا نزدیک به بهینه در بسیاری از مسائل شده است.

۳- تعریف مساله

مساله مکان یابی- مسیر یابی مرتبط با این مقاله به صورت زیر تعریف می‌شود :

مجموعه مشتریان:

$$I = \{i; i = 1, 2 \dots n\}$$

مجموعه انبارها:

$$J = \{j; j = 1, 2 \dots m\}$$

فرضیات

هر انبار دارای ظرفیت محدود b_j و هزینه ثابت احداث f_j می‌باشد.

هر وسیله نقلیه دارای ظرفیت مشخص C می‌باشد

هر مشتری $i \in I$ دارای تقاضای نامنفی d_i می‌باشد که باید برآورده شود.

به ازای هر $i, j \in I \cup J$ ، c_{ij} نشان دهنده هزینه سفر بین دو نقطه i و j است.

متغیرهای تصمیم

$$X_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{اگر مشتری } i \text{ به انبار } k \text{ اختصاص داده شده باشد.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

¹ Path Relinking

² Duhamel

³ A GRASP with evolutionarylocationsearch

⁴ Contardo et al

⁵ an integer-linear program

$$Z_k = \begin{cases} 1 & \text{اگر انبار } K \text{ باز شود.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر یک وسیله نقلیه به طور مستقیم از گره } i \text{ به گره } j \text{ سفر کند.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

درواقع هدف مساله عبارت است از تعیین مکان انبارها، اختصاص مشتریان به انبارهای باز شده و تعیین مسیر وسایل نقلیه مربوطه با حداقل کردن هزینه کل

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{n+m} \sum_{j=1}^{n+m} c_{ij} \cdot Y_{ij} + \sum_{k=1}^m F_k \cdot Z_k$$

تحت محدودیت های زیر میباشد:

هر مشتری تنها توسط یک وسیله نقلیه خدمت رسانی می شود.

مسیر هر وسیله نقلیه با یک انبار آغاز و به همان انبار ختم می شود.

ناوگان نامحدودی از وسایل نقلیه همگن با ظرفیت محدود موجود میباشد.

تقاضای تمامی مشتریان باید برآورده شود .

هر انبار نیز دارای ظرفیت محدود می باشد.

۴- روش حل ترکیبی

دو زیر مساله اصلی مساله مکان یابی- مسیریابی- موجودی، مسایل مکان یابی- تخصیص و مسیریابی وسیله نقلیه هستند. از آنجا که هر دو زیر مساله مذکور NP-Hard هستند، بنابراین مساله مکان یابی- مسیریابی نیز NP-Hard محسوب می شود [۶]. با توجه به اینکه روش های سنتی بهینه یابی برای حل مسایل NP-Hard مناسب نیستند و به دست آوردن حل بهینه برای مسایل مورد نظر در ابعاد بالا در زمان به وسیله رویکردهای سنتی و ابزارهای بهینه یابی متداول بسیار مشکل است؛ بنابراین از الگوریتم های فراابتکاری برای حل آن استفاده می شود [۲۰]. در این مقاله یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و تبرید شبیه سازی شده توسعه داده شده است. روش ترکیبی توسعه داده شده بر اساس این واقعیت ایجاد شده است که در مورد یک فضای جستجوی بزرگ: (۱) الگوریتم ژنتیک ممکن است قادر به همگرا شدن به جواب بهینه نباشد. به این دلیل که این الگوریتم به بررسی بیش از حد بسیاری از زیر بخش های فضای جستجو میپردازد و این امر نیز زمان اجرای زیادی را می طلبد. در حالی که (۲) روش تبرید شبیه سازی شده ممکن است نتواند همه فضای جستجو را به خوبی کاوش کند و در نتیجه به یک بهینه محلی همگرا شود [۷]. از این رو، در این مقاله، از الگوریتم تبرید شبیه سازی شده به عنوان یک جستجوگر محلی برای پالایش فضای جستجوی الگوریتم ژنتیک از طریق تکرارهای پی در پی و به حداکثر رساندن شانس همگرایی به یک راه حل بهینه، استفاده شده است. در ادامه، طرح کلی الگوریتم ترکیبی GA و SA ارائه شده است. این ترکیب امکان استفاده از ویژگی های الگوریتم SA را، به منظور بهبود جمعیت تولید شده در GA فراهم می نماید و به این ترتیب روند جستجوی الگوریتم ژنتیک بهبود می یابد.

Algorithm 1: Combination of Genetic Algorithm with Simulated Annealing

- 1 Define Initial Parameters (Popsiz, Pd, Pc, NonImproveNumber, Sigma) ;
- 2 $F_{\text{EVAL}}(\text{best}) \leftarrow \infty$;
- 3 Create Initial Population;
- 4 While termination criterion is not satisfied do
- 5 Select parents for Crossover;
- 6 Apply Crossover to parents;

```

7      Let  $S_{new}$  be the new obtained child;
8      Apply mutation to  $S_{new}$ ;
9      if  $FEVAL(S_{new}) < (1+\sigma) FEVAL(best)$ 
10     Apply Simulated Annealing with  $S_{new}$ ;
11     Update  $FEVAL(best)$ ;
12     Apply Replacement to pop;
    
```

۴-۱ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک در واقع استخوان بندی اولیه الگوریتم ترکیبی را تشکیل می دهد که در ادامه تشریح می شود:

۴-۱-۱ پارامترهای اولیه الگوریتم ژنتیک

Popsize: اندازه جمعیت

Pd: احتمال جهش در بردار انبار

PC: احتمال جهش در بردار مشتری

NonImproveNumber: تعداد تکرارهای بدون بهبود در الگوریتم (شرط خاتمه)

σ (Sigma): درصد فاصله قابل قبول با بهترین جواب تولید شده به منظور اجرای الگوریتم تیرید شبیه سازی شده بر روی

یک جواب معین ایجاد شده توسط الگوریتم ژنتیک

۴-۱-۲ نحوه نمایش جواب

هر جواب x ، یعنی یک کروموزوم، با استفاده از دو بردار $A(x)$ و $P(x)$ نمایش داده می شود.

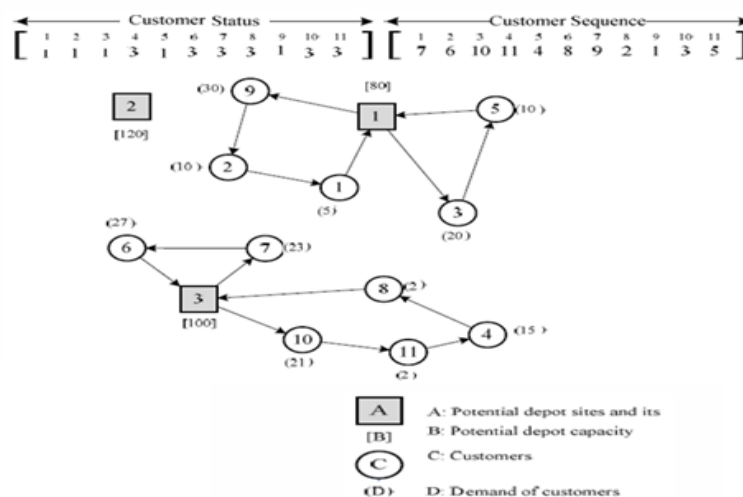
بردار $A(x) = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ، نشان دهنده مجموعه انبارهای باز شده و مشتریان اختصاص داده شده به آنها می باشد. n تعداد مشتری‌ها می باشد. به عنوان مثال $a_1=1$ ، به این معنی است که مشتری شماره ۱ به انبار شماره ۱ تخصیص یافته است.

بردار $P(x) = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ ، بردار جایگشتی است که رتبه مشتریان را در یک مسیر معین مشخص میکند. شکل ۱ دربرگیرنده یک مثال ساده به منظور نشان دادن نحوه نمایش جواب می باشد.

فرآیند رمز گشایی کروموزوم نیز شامل موارد زیر میشود:

۱. تعیین انبارهای باز شده و تخصیص مشتریان از طریق بردار $A(x)$

۲. تعیین مسیرها از طریق بردار $P(x)$



شکل ۱- نحوه نمایش جواب

در مثال فوق مشتری های شماره ۱، ۲، ۳، ۵، ۹ به انبار شماره ۱ و مشتری های شماره ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۱ به انبار شماره ۳ تخصیص یافته اند و انبار شماره ۲ باز نشده است. برای تعیین مسیر تحویل تقاضای مشتریان تخصیص یافته به عنوان مثال به انبار شماره ۱ به صورت زیر عمل می شود: رتبه مشتریان اختصاص یافته به این انبار یعنی مشتری های شماره ۱، ۲، ۳، ۵، ۹ را از بردار $P(x)$ استخراج میشود:

$$1 \rightarrow 9, 2 \rightarrow 8, 3 \rightarrow 10, 5 \rightarrow 11, 9 \rightarrow 7$$

توالی مشتریان به ترتیب صعودی رتبه آنها در بردار جایگشت $P(x)$ تعیین میشود، یعنی ابتدا مشتری شماره ۹ خدمت میگیرد بعد مشتری شماره ۲ و به همین ترتیب مشتریان ۱ و ۳ و ۵ مشتریان بعدی دریافت کننده خدمت می باشند. تخصیص مشتریان به هر مسیر نیز تا زمانی انجام میشود که ظرفیت وسیله نقلیه (در این مثال ۵۰) اجازه تخصیص مشتریان را به مسیر میدهد.

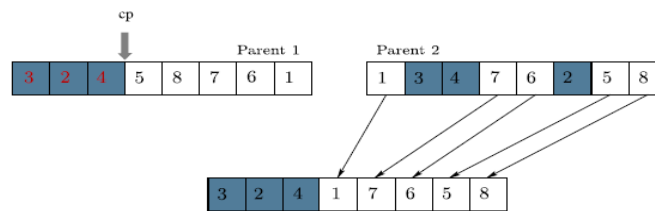
۴-۱-۳ تولید جمعیت اولیه

تولید جمعیت اولیه به صورت تصادفی انجام میشود. هر مشتری به صورت تصادفی به یکی از انبارهای موجود اختصاص یافته و بردار $A(x)$ ایجاد می شود. بردار جایگشت $P(x)$ نیز با تولید یک توالی تصادفی از n مشتری به دست می آید. این کار به اندازه تعداد افراد جمعیت تکرار میشود تا جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک ایجاد شود.

۴-۱-۴ تقاطع

برای بهبود بردار تخصیص A از عملیات تقاطع تک نقطه ای استفاده میشود. نقطه تقاطع C_p به طور یکنواخت از بازه ۱ تا n (تعداد مشتریان) انتخاب می شود.

برای انجام عملیات تقاطع بردار مسیر از روش تقاطع ترتیبی استفاده شده است. نقطه تقاطع C_p به طور یکنواخت از بازه ۱ تا n (تعداد مشتریان) انتخاب می شود. شکل زیر نحوه انجام عملیات تقاطع بر روی بردار مسیر P را نشان می دهد.

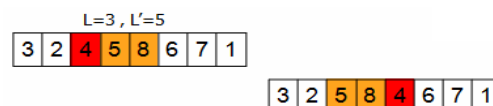


شکل ۲- نحوه انجام عملیات تقاطع بر روی بردار مسیر P

۴-۱-۵ جهش

برای انجام عملیات جهش در بردار تخصیص A ، یک مشتری به تصادف انتخاب شده و به انبار دیگری از لیست انبارهای بالقوه اختصاص می یابد. در این حالت امکان باز شدن انبار جدید نیز وجود دارد که خود منجر به متنوع کردن فضای جستجو می شود

برای انجام عملیات جهش بردار مسیر $P(x)$ ، یک مشتری p_L و یک مکان جدید L' برای این مشتری به صورت تصادفی انتخاب میشود. مثال شکل زیر نشان دهنده نحوه انجام عملیات جهش بر روی بردار مسیر P می باشد.



شکل ۳- نحوه انجام عملیات جهش بر روی بردار مسیر P (در شرایط $L < L'$)

$L=6, L'=2$

3	2	4	5	8	6	7	1
---	---	---	---	---	---	---	---

3	6	2	4	5	8	7	1
---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۴ - نحوه انجام عملیات جهش بر روی بردار مسیر P (در شرایط $L > L'$)

۴-۱-۶ تابع برازندگی

مقدار تابع برازندگی برای مقایسه کیفیت دو جواب منحصر به فرد به صورت زیر محاسبه می شود:

$$F_{\text{EVAL}}(x) = \text{Cost}(x) + \text{Penalty}(x)$$

$\text{Cost}(x)$ ، هزینه کل حل LRP است که توسط جواب منحصر به فرد x به دست آمده است.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{n+m} \sum_{j=1}^{n+m} c_{ij} \cdot Y_{ij} + \sum_{k=1}^m F_k \cdot Z_k$$

$\text{Penalty}(x)$ نیز جریمه تخطی از محدودیت های ظرفیت میباشد. از تابع جریمه به این منظور استفاده میشود که جواب

منحصر به فرد x تا حد ممکن نزدیک به ناحیه شدنی باشد.

$$\text{Penalty}(x) = \sum_{j \in J} \theta \cdot \max\left\{\left(\sum_{i \in I} d_i Y_{ij} - b_i\right), 0\right\}$$

که در این رابطه θ ، پارامتر ثابتی است که منعکس کننده درجه جریمه ایست که یک جواب نشدنی بر تابع هزینه تحمیل میکند.

۴-۱-۷ نحوه انتخاب والدین

انتخاب والدین با استفاده از روش رتبه ای صورت میگیرد. در این روش ابتدا جمعیت بر اساس مقادیر برازندگی افراد مرتب شده و سپس به هر کروموزوم احتمال انتخابی بر اساس رتبه آن در جمعیت نسبت داده میشود. این احتمال برابر است با:

$$P([k]) = \frac{2k}{M(M+1)}$$

که در آن M تعداد افراد جمعیت و K رتبه فرد در جمعیت است. سپس با استفاده از روش چرخ رولت ۲ والد برای تولید نسل بعدی انتخاب میشوند.

۴-۱-۸ عملیات جایگذاری

عملیات جایگذاری، آخرین مرحله الگوریتم ژنتیک است که برای ثابت نگه داشتن اندازه جمعیت استفاده میشود. رویکرد استفاده شده در این مقاله به این صورت است که فرزند جدید تولید شده (از طریق عملگرهای الگوریتم ژنتیک یا بهبود یافته آن از طریق الگوریتم تبرید شبیه سازی شده)، با بدترین جواب موجود در جمعیت مقایسه شده و هر کدام که دارای برازندگی کمتری است از جمعیت حذف میشود.

۴-۱-۹ معیار خاتمه

در صورتی که در تعداد مشخصی تکرار بهبودی در جواب حاصل نشود، الگوریتم متوقف میشود.

۴-۲ الگوریتم تبرید شبیه سازی شده

الگوریتم تبرید شبیه سازی شده به عنوان یک الگوریتم جستجوی محلی به منظور بهبود فرزندان تولید شده توسط اپراتورهای ژنتیک مورد استفاده قرار میگیرد و منجر به هدایت بهتر فرایند جستجو می شود. شبه کد این الگوریتم در ادامه نشان داده شده است.

Algorithm 2: Simulated Annealing

- 1 Define Initial Parameters
- 2 Let X_0 be an initial solution producing by Genetic Operators ;
- 3 Solution= X_0 ;
- 4 Temperature = T_0
- 5 While Temperature $\geq T_{final}$ Do
- 6 for $i=1$: Iteration Do
- 7 Generate neighbors of the current solution by using (N1, N2, N3 and N4) moving strategies
- 8 Choose the best one among the (N1, N2, N3 and N4) neighbors as a NewSolution for the problem
- 9 if $F_{EVAL(NewSolution)} < F_{EVAL(Solution)}$
- 10 Generate neighbor of NewSolution by N5
- 11 Update NewSolution
- 12 End if
- 13 $\Delta s = F_{EVAL(NewSolution)} - F_{EVAL(Solution)}$;
- 14 if $\Delta s \leq 0$
- 15 Solution=NewSolution;
- 16 elseif $\text{rand} < \exp(-\Delta s / \text{Temperature})$
- 17 Solution=NewSolution
- 18 End for
- 19 Update Temperature

جواب اولیه الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، توسط عملگرهای ژنتیک محاسبه میشود. در صورتی که فرزند تولید شده توسط عملگرهای ژنتیک کوچکتر از $(1+\sigma)$ برابر بهترین جواب به دست آمده باشد، آنگاه الگوریتم تبرید شبیه سازی شده به عنوان یک جستجوگر محلی عمل میکند.

۴-۲-۱ نحوه تولید همسایگی

در الگوریتم تبرید شبیه سازی شده ارائه شده در این مقاله، از ۵ ساختار همسایگی $N1, N2, N3, N4$ و $N5$ برای تولید همسایگی از جواب فعلی استفاده میشود.

ساختار همسایگی $N1$: در ساختار همسایگی $N1$ دو مشتری به تصادف انتخاب میشوند. این دو مشتری ممکن است به دو انبار یکسان یا دو انبار متفاوت اختصاص داشته باشند و همچنین ممکن است به دو مسیر یکسان یا متفاوت متعلق باشند. و سپس جای این دو مشتری با هم عوض میشود.

ساختار همسایگی $N2$: یک مشتری به تصادف انتخاب میشود و از یک انبار به صورت تصادفی به یکی از انبارهای باز شده تخصیص می یابد.

ساختار همسایگی $N3$: یک مسیر به تصادف انتخاب میشود و یک مشتری آن بین ۲ مشتری دیگر قرار میگیرد.

ساختار همسایگی $N4$: یک انبار باز شده به تصادف انتخاب شده و جای دو مشتری آن با هم عوض میشود.

در هر تکرار از الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، همسایگیهای جواب فعلی با استفاده از استراتژی های حرکت $N1, N2, N3$ و $N4$ تولید میشود و بهترین آنها به عنوان راه حل جدید مساله (NewSolution) انتخاب میشود. در صورتی که بهترین جواب جدید تولید شده توسط استراتژی های همسایگی $N1, N2, N3$ و $N4$ از جواب فعلی بهتر بود، نوبت به ایجاد همسایگی $N5$ میرسد.

ساختار همسایگی $N5$: در ساختارهای همسایگی شرح داده شده در بالا، حرکت های محلی تنها مرتبط با انبارهای باز است. در واقع به طور منطقی حرکت محلی به سمت یک انبار بسته به دلیل داشتن هزینه های احداث عمدتاً بالا میتواند منجر به بدتر شدن تابع ارزیابی شود. در عین حال باز شدن یک انبار بسته نیز می تواند در ایجاد تنوع در بردار جواب موثر باشد. در این ساختار، یک انبار باز بسته شده و مشتری های آن به صورت تصادفی به یک انبار دیگر (باز یا بسته) اختصاص می یابند. این

کار موجب افزایش تنوع فضای جستجو میشود. در واقع این ساختار همسایگی نقش ایجاد آشفستگی در فضای جستجو را دارد و تنها زمانی استفاده میشود که منجر به ایجاد بهبود در جواب شود.

۴-۲-۲ تنظیم دما

برای کاهش دما در هر مرحله از الگوریتم تبرید شبیه سازی شده از تابع کاهش دمای هندسی $T_k = \beta * T_{k-1}$ ، استفاده میکنیم. که در این تابع β ، نرخ کاهش دما میباشد.

۵- نتایج محاسباتی

الگوریتم پیشنهادی که در قسمت قبل به طور کامل تشریح شد با استفاده از زبان برنامه نویسی متلب کدنویسی شده و در کامپیوتری با مشخصات Intel Core 2 Duo CPU 2.53 GHz و تحت ویندوز ویستا با حافظه 3 GB اجرا شده است.

۵-۱ نمونه های تستی

به منظور ارزیابی الگوریتم حل ارائه شده، تست های محاسباتی بر روی نمونه مسایل بارتو^۱ [۱] موجود در ادبیات مساله مکانیابی- مسیریابی ظرفیت دار انجام شد.

این نمونه مسائل در http://sweet.ua.pt/~iscf143/_private/SergioBarretoHomePage.htm در دسترس هستند. در این مجموعه میزان تقاضا و مختصات مکانی مشتریان، ظرفیت و مختصات مکانی انبارها و ظرفیت وسایل نقلیه ارائه شده است. فاصله بین دو گره با استفاده از فاصله مختصاتی محاسبه شده است. هر نمونه ۱۰ بار توسط الگوریتم اجرا شده است و بهترین جواب به دست آمده گزارش شده است.

۵-۲ تنظیم پارامترها

انتخاب مقادیر مناسب برای پارامترها ممکن است کیفیت نتایج محاسباتی را تحت تاثیر قرار دهد. برای تنظیم پارامترها، مطابق آنچه که یو و همکاران^۲ و تینگ و چن^۳ به ترتیب در سال های (۲۰۱۰) [۳۱] و (۲۰۱۳) [۲۸] انجام دادند، از مجموعه ای از آزمایش های اولیه بر روی داده های موجود در ادبیات برای شناسایی تنظیمات پارامتر مناسب که به طور کلی در بیشتر موارد منجر به نتایج خوب شده اند، استفاده کردیم (حتی اگر آن تنظیمات بهینه برای همه موارد نباشند). نحوه انجام کار به این صورت است که با ثابت در نظر گرفتن تمامی پارامترها و سپس تغییر یکی از آنها، مقدار مناسب هر پارامتر را در شرایطی که به طور کلی در بیشتر موارد منجر به نتایج خوب شده است، استخراج و گزارش شده است. در الگوریتم ترکیبی ارائه شده تعداد زیادی پارامتر وجود داشت که در جداول زیر، مقادیری که در آزمایش های انجام شده از آنها استفاده شده ارائه میگردد. این جداول نشان دهنده مقادیر تست شده برای هر پارامتر و مقدار نهایی استفاده شده در الگوریتم است که در اجراهای مختلف منجر به ایجاد بهترین جواب ها شده است. لازم به ذکر است از آنجایی که ما در این الگوریتم خواستار تولید جواب های شذنی هستیم، از این رو مقدار θ در تابع پنالتی برابر با یک مقدار بزرگ (1000) قرار دادیم تا الگوریتم را مجبور به تولید جواب های شذنی نماییم.

¹ Barreto's instances

² Yu et al

³ Ting and Chen

جدول ۱- تنظیم پارامترها

مقدار برگزیده	بازه تست شده	نماد پارامتر در الگوریتم
پارامترهای الگوریتم ژنتیک		
20	[10, 50]	Popsize
0.9	[0.85, 0.95]	Pd
0.7	[0.65, 0.85]	Pc
1000	[100, 1000]	NonImprove Number
0.1	[0.1, 0.9]	Sigma (σ)
پارامترهای الگوریتم تبرید شبیه سازی شده		
300	[100, 650]	T ₀
0.15	[0.05, 0.20]	T _{final}
0.95	[0.8, 0.99]	Beta
10	[10, 100]	Iteration

۳-۵ مطالعه مقایسه ای

الگوریتم توسعه داده شده در این مقاله با ۳ روش موجود در ادبیات مساله مکان یابی- مسیریابی ظرفیت دار مقایسه و نتایج در جدول ۲ منعکس شده است. این ۳ روش عبارتند از :

۱. الگوریتم ممتیک با مدیریت جمعیت^۱ (MAPM) در [۲۵]

۲. الگوریتم ابتکاری تبرید شبیه سازی شده^۲ (SA) در [۳۱]

۳. الگوریتم ترکیبی جستجوی حریصانه^۳ و برنامه ریزی خطی عدد صحیح^۴ (GRASP + ILP) در [۵].

جدول ۲- نتایج به دست آمده از اجرای روش حل ابتکاری بر روی مسائل نمونه بارتو (۲۰۰۷)

SA-GA		GRASP + ILP		SA		MAPM		بهترین جواب موجود در ادبیات مساله	ظرفیت وسیله نقلیه	مساله نمونه
gap	هزینه	Gap	هزینه	Gap	هزینه	Gap	هزینه			
0	۵۶۵.۶	0.78	570.0	0	565.6	0	565.6	565.6	۱۶۰	Christofides69- 50x5
0	844.4	0	844.4	0.43	848.0	2.57	866.1	844.4	۱۴۰	Christofides69- 75x10

¹ The memetic algorithm with population management

² A simulated annealing heuristic

³ GRASP

⁴ An integer-linear program (ILP)

0.44	۸۳۷,۱	1	841.7	0.59	838.3	2.01	850.1	833.4	۲۰۰	Christofides69-100x10
0	355.8	0	355.8	0	355.8	0	355.8	355.8	۹۰۰۰۰۰	Daskin95-88x8
0.69	44225.1	0.59	44179.0	2.71	45109.0	0.21	44011.7	43919.9	۸۰۰۰۰۰	Daskin95-150x10
0	۴۲۴,۹	0	424.9	0	424.9	0	424.9	424.9	۶۰۰۰	Gaskell67-21x5
0	۵۸۵,۱	0	585.1	0	585.1	4.56	611.8	585.1	۴۵۰۰	Gaskell67-22x5
0	۵۱۲,۱	0	512.1	0	512.1	0	512.1	512.1	۴۵۰۰	Gaskell67-29x5
0	۵۶۲,۲	0	562.2	0	562.2	1.72	571.9	562.2	۸۰۰۰	Gaskell67-32x5
0	۵۰۴,۳	0	504.3	0	504.3	6.03	534.7	504.3	۱۱۰۰۰	Gaskell67-32x5 (2)
0	۴۶۰,۴	0	460.4	0	460.4	5.43	485.4	460.4	۲۵۰	Gaskell67-36x5
0	۳۰۶۲,۰	0	3062.0	0	3062.0	0	3062.0	3062.0	۲۵۰۰	Min92-27x5
0	5709.0	0.18	5719.3	0	5709.0	4.22	5950.0	5709.0	۸۵۰	Min92-134x8
0	۲۰۴,۰	0	204.0	0	204.0		-	204.0	۱۴۰	Perl83-12x2
0.04	۱۱۱۲,۵	0.02	1112.3	0.06	1112.8		-	1112.1	۱۲۰	Perl83-55x15
0.08	۱۶۲۳,۸	0.09	1623.9	0	1622.5		-	1622.5	۱۶۰	Perl83-85x7
0.08		0.17		0.24		2.05				میانگین

در این جدول، هزینه هر راه حل با بهترین جواب موجود در ادبیات مساله^۱ (BKS) مقایسه شده و انحراف راه حل به دست آمده از BKS با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است.

$$Gap(BKS) = \frac{Cost - BKS}{BKS} * 100$$

همانطور که در جدول ۲ مشاهده میشود، روش حل ارائه شده قادر به تولید بهترین جواب برای ۱۲ نمونه ارائه شده می‌باشد و در سایر موارد، نه تنها جواب به دست آمده بسیار نزدیک به بهترین جواب موجود میباشد، بلکه دارای پایین ترین مقدار انحراف از آن در میان سایر الگوریتم‌ها میباشد که این امر نشان دهنده کارایی الگوریتم پیشنهادی برای طیف وسیعی از مسائل با اندازه‌های متفاوت می‌باشد.

۶- جمع بندی

مساله مکانیابی - مسیریابی یکی از مهم ترین مسائل در زمینه طراحی شبکه های توزیع می باشد. در این مقاله یک رویکرد حل ترکیبی از دو الگوریتم تبرید شبیه سازی شده و ژنتیک برای حل مساله مکان یابی - مسیریابی ظرفیت دار ارائه شد. نتایج محاسباتی بیانگر کارایی الگوریتم ارائه شده بود چون قادر به تولید جواب های بهینه و نزدیک به بهینه شده و در مقایسه با سایر الگوریتم های موجود در ادبیات دارای بهترین عملکرد می باشد.

در نظر گیری محدودیت های زیر میتواند به منظور انطباق هرچه بیشتر این مساله با مسائل دنیای واقعی در مطالعات آتی مدنظر قرار گیرد.

در نظر گیری وابستگی تقاضای مشتریان به یکدیگر

¹ Best Known Solution

اولویت‌بندی مشتریان و در نظر گیری سطح سرویس دهی به مشتریان با اولویت های متفاوت در نظر گرفتن محدودیت در دسترس بودن تسهیل
 در نظر گیری بحث امکان وجود چندین سفر به ازای یک وسیله نقلیه
 در نظر گرفتن این فرض که وسیله حمل مجبور نباشد پس از تحویل کالا به آخرین مشتری موجود در تور خود مجدداً به نقطه ای که از آن رهسپار شده بازگردد.
 در نظر گرفتن دوره های برنامه ریزی مختلف بر اساس شرایط متفاوت زنجیره در بازه های زمانی مختلف
 عدم در دسترس بودن وسایل نقلیه و مسیرها در زمان های مشخص

منابع

- [1] Barreto, S., Ferreira, C., Paixao, J., Santos, B.S., 2007. Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. *Eur. J. Oper. Res.* 179 (3), 968–977.
- [2] Bell J.E, McMullen P.R (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem, *Advanced Engineering Informatics* 18: 41-48.
- [3] Bouhafs L, et al (2006). “A Combination of Simulated Annealing and Ant Colony System for the Capacitated Location-Routing Problem”. *KES 2006, Part I, LNAI 4251*, pp. 409 – 416, 2006
- [4] Bruno, G., Ghiani, G., Improta, G., “A Multi-Modal Approach to the Location of a Rapid Transit Line”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 104, 1998, pp. 321-332.
- [5] Contardo, C., Cordeau, J.F., Gendron, B., 2014. A GRASP + ILP-based metaheuristic for the capacitated location-routing problem. *J. Heurist.* 20 (1), 1–38.
- [6] Cordeau, J.F., Laporte, G., Savelsbergh, M.W.P., Vigo, D., “Vehicle Routing”, in *Handbook of Operations Research and Management Science - Transportation*, C. Barnhart and G. Laporte, Editors, Elsevier: Amsterdam, 2006, pp. 367-428
- [7] Derbel, H., Jarboui, B., Hanafi, S., & Chabchoub, H. (2012). Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 2865-2871.
- [8] Duhamel G, et al (2010). “AGRASP×ELS approach for the capacitated location-routing problem”. *Computers & Operations Research* 37: 1912—1923
- [9] Fazel Zarandi et al . “Capacitated location-routing problem with time windows under uncertainty” . *Knowledge-Based Systems* 37 (2013) 480–489
- [10] Fazel Zarandi M et al (2011). “The multi-depot capacitated location-routing problem with fuzzy travel times”. *Expert Systems with Applications* 38 : 10075–10084.
- [11] Ghiani, G., Improta, G., “An Efficient Transformation of the Generalized Vehicle Routing Problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 122, 2000, pp. 11-17.
- [12] HARRISON, H. (1979) A Planning System for Facilities and Resources in Distribution Networks. *Interfaces*, 9, 6-22.
- [13] JACOBSEN, S. K. & MADSEN, O. B. G. (1978) On the Location of Transfer Points in a Two-Level Newspaper Delivery System - A Case Study. *The International Symposium on Locational Decisions*. Banff, Alberta, Canada
- [14] JACOBSEN, S. K. & MADSEN, O. B. G. (1980) A Comparative Study of Heuristics for a Two-Level Routing-Location Problem. *European Journal of Operational Research*, 5, 378-387
- [15] LAPORTE, G. & NOBERT, Y. (1981) An Exact Algorithm for Minimizing Routing and Operating Costs in Depot Location. *European Journal of Operational Research*, 6, 224-226.
- [16] Lin, C.K.Y., Chow, C.K., Chen, A., “A Location- Routing-Loading Problem for Bill Delivery Services”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43, 2002, pp. 5-25.
- [17] MADSEN, O. B. G. (1983) Methods for Solving Combined Two Level Location-Routing Problems of Realistic Dimensions. *European Journal of Operational Research*, 12, 295-301
- [18] MARANZANA, F. E. (1964) On the Location of Supply Points to Minimise Transport Costs. *Operational Research Quarterly*, 15, 261-270
- [19] Marinakis, Y., Marinaki, M., 2008. “A particle swarm optimization algorithm with path relinking for the location routing problem. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms* 7(1), 59–78.
- [20] Megiddo, N., & Supowit, K. J. (1984). On the complexity of some common geometric location problems. *SIAM journal on computing*, 13(1), 182-196.

- [21] Min, H; Jayaraman, V; Srivastava, R; "Combined location- routing problem: A synthesis and future research directions", European Journal of Operational Research 108, 1-15, 1998.
- [22] Nagy G, Salhi S (2007). "Location-routing: Issues, models and methods. European Journal of Operational Research 177: 649-672.
- [23] NAMBIAR, J. M., GELDERS, L. F. & VAN WASSENHOVE, L. N. (1981) A Large Scale Location-Allocation Problem in the Natural Rubber Industry. European Journal of Operational Research, 6,183-189
- [24] OR, I. & PIERSKALLA, W. P. (1979) A Transportation, Location-Allocation Model for Regional Blood Banking. AIIE Transactions, 11, 86-95
- [25] Prins, C., Prodhon, C., & Calvo, R. W. (2006). A Memetic Algorithm with Population Management (MA| PM) for the Capacitated Location-Routing Problem. Lecture notes in computer science, 3906, 183-194.
- [26] Prins C, Prodhon C, Soriano P, Ruiz A, Wolfler-Calvo R. Solving the capacitated location-routing problem by a cooperative Lagrangean relaxation-granular tabu search heuristic. Transportation Science 2007;41(4):470–83.
- [27] Tan K.C, Lee L.H, Ou K (2001). Artificial intelligence heuristics in solving vehicle routing problems with time window constraints. Engineering Applications of Artificial Intelligence 14: 825-837
- [28] Ting, C.J., Chen, C.H., 2013. A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem. Int. J. Prod. Econ. 141 (1), 34–44.
- [29] Tuzun, D., Burke, L.I., "A Two-Phase Tabu Search Approach to the Location Routing Problem", European Journal of Operational Research, Vol. 116, 1999, pp. 87-99.
- [30] Wu, T.H., Low, C., Bai, J.W., "Heuristic Solutions to Multi-Depot Location-Routing Problems", Computers & Operations Research, Vol. 29, 2002, pp. 1393-1415
- [31] Yu, V.F., Lin, S.W., Lee, W., Ting, C.J., 2010. A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem. Comput. Ind. Eng. 58 (2), 288–299.

توسعه و حل مدل زمانبندی پروژه با در نظر گرفتن منابع از نوع دوگان در حالت مولتی مود با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری شبیه سازی تبرید

جهانگیر امیری*

۱-فوق لیسانس مهندسی صنایع/ jahangiramiri00@yahoo.com

چکیده

در این مقاله ما مسئله زمانبندی پروژه را در حالت چند وضعیتی مطابق با محدودیت های منابع دوگان مدل کردیم، بیشتر پروژه هایی که در دسترس داشتیم منابعی که در آن داشتیم منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر بود و منابع دوگان لحاظ نشده بود که ما در این مقاله منابع دوگان را در حالت چند وضعیتی در کنار منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر لحاظ کردیم و همچنین چون محدودیت منابع داریم در حالتی در نظر گرفته شده است که برای هر منبع چند حالت اجرایی داشته باشیم هدف اصلی در این پروژه ماکزیمم کردن سود با در نظر گرفتن کل محدودیت ها می باشد و چون مسئله از نوع سخت به حساب می آید از الگوریتم فرا ابتکاری برای محدودیت منابع در حالت چند وضعیتی برای مسائل زمانبندی پروژه استفاده کردیم و همچنین پارامترهای الگوریتم روش پیشنهادی تنظیم شد و در نهایتاً کارایی روش پیشنهاد شده بر اساس تعدادی مثال عددی نشان داده شده است.

واژگان کلیدی: مسئله زمانبندی پروژه، چند حالت یا مولتی مود، منابع دوگان، منابع تجدید پذیر، منابع تجدید ناپذیر، الگوریتم فرا ابتکاری

۱-مقدمه

مسئله زمانبندی پروژه از دیدگاه تئوری و علمی دارای اهمیت است. پروژه به کمک روش هایی مانند روش شکست کار به تعدادی فعالیت تجزیه میشود. یک پروژه مجموعه ای از فعالیت هایی است که از طریق روابط منطقی متفاوتی که حاکم بر آنهاست به یکدیگر ارتباط پیدا میکنند. به این معنا که هر چند تعدادی از این فعالیت ها میتوانند همزمان و به صورت موازی انجام شوند، اما شروع یا خاتمه تعدادی در گرو انجام یک یا چند فعالیت پیشیناز آنها میباشد. این روابط با استفاده از عوامل کنترل کننده پایان به شروع، پایان به پایان، و شروع به پایان تعریف میشوند. البته در پروژه های پیچیده تر امکان تعریف رابطه های کنترل کننده بیشتری مانند توازن اجرا بین دو فعالیت وجود دارد. (هجو، ۱۹۹۷)^۱ زمانبندی، یکی از مسائل مهم در مرحله برنامه ریزی پروژه است. زمانبندی پروژه عبارت است از تعیین زمان شروع هر یک از فعالیت های پروژه با توجه به محدودیت ها و به منظور رسیدن به یک یا چند هدف مشخص. (دمیلیمستر و هرولن، ۲۰۰۲)^۲ در سال های اخیر برای مواجه با نبود قطعیت عوامل یک مسئله زمانبندی، چندین رویکرد جدید توسعه داده شده است. در ابتدا، همه این رویکرها کم و بیش در مسئله زمانبندی کارها روی یک ماشین بررسی شده است و به تازگی دامنه بحث برخی از آنها به مسئله زمانبندی پروژه کشیده شده است. (هرولن و لیوس، ۲۰۰۵)^۳ در حالت کلی زمانبندی پروژه بخشی از مدیریت پروژه است و عبارت است از تعیین توالی زمانی برای انجام فعالیت های وابسته به یکدیگر. در دهه های اخیر مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع برای زمانبندی پروژه به عنوان یک مسئله استاندارد در ادبیات مطرح شده است. هدف این نوع مسئله ماکزیمم کردن سود پروژه با محدودیت روابط

^۱ Hajdu, 1997

^۲ Demeulemeester and Herroelen, 2002

^۳ Herroelen and Leus, 2005

پیش‌نیازی بین‌فعالیتهای آنها با در نظر گرفتن منابع میباید و چون مدل از نوع سخت (بلاچر، ۱۹۸۶)^۱ به شمار می‌آیند با رویکردهای فراابتکاری این نوع مسائل قابل حل می‌باشند.

۲-۱- پژوهش‌های مرتبط

در رابطه با مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع در حالت‌های چند وضعیت‌ی تحقیقاتی صورت گرفته است که یکی از آنها این است که یک راه حل ابتکاری برای زمانبندی پروژه ارائه شد که در عین حالی که منابع در نظر گرفته شده است طول پروژه هم مینیمم شود. (آگوستین باریوس، ۲۰۱۱)^۲

الگوریتم ژنتیک را برای اتحاد حالت‌ها و برای زمانبندی پروژه با محدودیت منابع در حالتی که طول پروژه مینیمم شود ارائه دادند. (بهروز افشار نجفی و همکاران، ۲۰۱۳)^۳ الگوریتم‌های فراابتکاری را برای بهینه‌سازی تابع هدف‌های ترکیبی یا چند هدفه به کار بردند. (بلوم و رولی، ۲۰۰۳)^۴ الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی تابع هدف و برای حل تابع هدف که از نوع غیر خطی بود به کار بردند. (بیزلی و بال و مارتین، ۱۹۹۳)^۵

برای الگوهای طبقه‌بندی درخت تصمیم الگوریتم ژنتیک را برای الگوهای ترکیبی به کار بردند. (بالا و هاری و وفایی، ۱۹۹۵)^۶ الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای مسئله دوره گرد به کار رفت و برای بهینه‌سازی مسئله دوره گرد الگوی خوبی بود که مسئله را بهینه کرد. (کرنی، ۱۹۸۵)^۷ محدودیت منابع در حالت چند وضعیت‌ی با در نظر گرفتن موازنه زمان و هزینه برای حل مسائل به وسیله الگوریتم ژنتیک در حالت فازی ارائه شد. (نبی پور افروزی، ۲۰۱۳)^۸ برای محاسبات تکاملی روشی ارائه شد که باعث حل بهینه مسئله شد. (فوجل، ۲۰۰۰)^۹

موضوع مهمی که باید دقت می‌شد این بود که روشی باید ارائه می‌شد که هم محدودیت منابع ارضاء شود و هم روابط پیش‌نیازی. (فلیپ دبلاعر، ۲۰۱۱)^{۱۰} برای بهینه‌سازی زمانبندی پروژه در حالتی که سود پروژه ماکزیمم شود و زمان پروژه کاهش یابد الگوریتم ژنتیک را برای آن ارائه دادند. (گولدرگ، ۱۹۸۹)^{۱۱}

۳-۱- بیان مسئله

ما در این بخش از پژوهش ابتدا به پارامترها و متغیرهای تصمیم و همچنین مفروضات مطرح در این مسئله می‌پردازیم و همچنین مدل مفهومی ریاضی مسئله را ارائه می‌دهیم. مدل ارائه شده از نوع مسائل زمانبندی پروژه با محدودیت منابع چند حالتی می‌باشد و شبکه از نوع گره‌ای می‌باشد. در این مدل منابعی که در نظر گرفته شده است منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر و دوگان می‌باشد و تابع هدف این مدل از جنس ماکزیمم‌سازی است که از نوع مسائل سخت به شمار می‌آید. به عنوان مثال هدف در این مدل این است که بادر نظر گرفتن محدودیت‌های منابع و محدودیت زمان و همچنین محدودیت‌های پیش‌نیازی، فعالیت‌ها جوری انجام شوند که تابع هدف پروژه که سود است ماکزیمم گردد.

۳-۲- پارامترهای مدل

مدل مسئله بر اساس پارامترهای زیر ارائه شده است:

n : تعداد فعالیت‌ها

¹ Blacher, 1986

² Agustin Barrios, 2011

³ Behrouz Afshar-Nadjafi, et al, 2013

⁴ Blum & Roli, 2003

⁵ Beasley & Bull & Martin, 1993

⁶ Bala & huay & vafaie, 1995

⁷ Cerny, 1985

⁸ Nabipoor Afrozi, 2013

⁹ Fogel, 2000

¹⁰ Flip Deblaere, 2011

¹¹ Goldberg, 1989

- m : تعداد حالت های اجرایی
 M : عدد بزرگ
 C_{im} : سود یا درآمد فعالیت i در حالت m
 d_{im} : زمان فعالیت i در حالت m
 EST_i : زودترین زمان شروع فعالیت i
 LFT_i : دیرترین زمان پایان فعالیت i
 t : زمان
 T : طول دوره ها
 T' : طول بین هر دوره
 L : تعداد دوره ها
 CL : منبع هر دوره
 rim_k^p : مقداری از منبع تجدیدپذیر " k " که فعالیت i در حالت m نیازمند آن است.
 $rim_{k'}^v$: مقداری از منبع تجدیدناپذیر " k' " که فعالیت i در حالت m نیازمند آن است.
 rim_l^π : مقداری از منبع دوگان " π " که فعالیت i در حالت m در دوره l نیازمند است.
 a_k^p : منبع در دسترس تجدید پذیر k
 $b_{k'}^p$: منبع در دسترس تجدیدناپذیر k'

۳-۳- متغیرهای تصمیم گیری

- مدل مسئله بر اساس متغیرهای زیر ارائه شده است:
- X_{imt} : اگر فعالیت i با حالت m در روز t در حال انجام باشد این متغیر مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر خواهد گرفت.
 Y_{im} : اگر فعالیت i با حالت m در حال انجام باشد این متغیر مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر خواهد گرفت.
 S_i : زمان شروع فعالیت i
 F_i : زمان پایان فعالیت i
 S_j : زمان شروع فعالیت j

۴-۳- مفروضات مسئله

- مفروضاتی که ما جهت ارائه مدل در این پژوهش استفاده می کنیم به شرح ذیل است:
- مسئله در حالت چند وضعیت بررسی می گردد.
 - شبکه از نوع گره ای^۱ می باشد.
 - منابع از نوع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و دوگان می باشد.
 - سیستم تعداد مشخصی منبع با ظرفیت معلوم دارد.
 - زمان انجام هر فعالیت در دسترس است.
 - روابط پیشنهادی در شبکه از نوع پایان به شروع^۲ می باشد.

^۱ AON

^۲ Finish To Start

۳-۵- ارائه مدل ریاضی

مدل مسئله به صورت ذیل می باشد:

- 1) $\max \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M Y_{im} C_{im} e^{-a(S_i + d_{im})}$
- 2) $S_j - F_i - 1 \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A$
- 3) $\sum_m Y_{im} = 1 \quad \forall i$
- 4) $F_i = S_i + \sum_m Y_{im} d_{im} - 1 \quad \forall i$
- 5) $S_i \geq EST_i \quad \forall i$
- 6) $F_i \leq LFT_i \quad \forall i$
- 7) $X_{imt} \leq Y_{im} \quad \forall i, m, t$
- 8) $S_i - t \leq M(1 - X_{imt}) \quad \forall i, m, t$
- 9) $-F_i + t \leq M(1 - X_{imt}) \quad \forall i, m, t$
- 10) $1 - Y_{im} \leq M(1 - X_{imt}) \quad \forall i, m, t$
- 11) $-1 + Y_{im} \leq M(1 - X_{imt}) \quad \forall i, m, t$
- 12) $\sum_t X_{imt} \leq Y_{im} d_{im} + M(1 - Y_{im}) \quad \forall i, m$
- 13) $\sum_t X_{imt} \geq Y_{im} d_{im} - M(1 - Y_{im}) \quad \forall i, m$
- 14) $\sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M x_{imt} r_{im}^p \leq a_k^p \quad \forall k$
- 15) $\sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=0}^T x_{imt} r_{im}^v \leq b_{k'}^v \quad \forall k'$
- 16) $\sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=0}^{LT'} [x_{imt} r_{iml}^\pi] \leq Cl + (L-1)Cl - \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M \sum_{t=0}^{(L-1)T'} (x_{imt} r_{iml}^\pi) \quad \forall l = 1, \dots, L$

معادله شماره ۱ تابع هدف مسئله بوده که ماهیت سود یا درآمد را دارد.

معادله شماره ۲ مربوط به روابط پیشنیازی شبکه پروژه است که تضمین می کند که هیچ یک از فعالیت ها قبل از به پایان رسیدن فعالیت های پیشنیازش شروع نمی شود.

معادله شماره ۳ تضمین این است که هر فعالیت تا آخر با یک مد انجام می شود.

معادله شماره ۴ رابطه منطقی بین F و S و Y را نشان می دهد.

معادله شماره ۵ بیان می کند که زمان شروع فعالیت i باید بزرگتر یا مساوی از زودترین زمان شروع فعالیت i باشد.

معادله شماره ۶ بیان می کند که زمان پایان فعالیت i باید کوچکتر یا مساوی دیرترین زمان پایان فعالیت i باشد.

معادله شماره ۷ بیان کننده رابطه بین xها و yها می باشد.

معادله ۸ و ۹ بیان کننده این است که روزی که در آن هستیم (t) باید بین زمان شروع (S) و زمان پایان (F) است. و کاملاً منطقی می باشد.

معادله ۱۰ و ۱۱ بیان کننده این است که اگر فعالیت در حال انجام باشد y یک می شود در غیر اینصورت صفر می شود.

معادله ۱۲ و ۱۳ رابطه بین xها و yها را با زمان نشان می دهد.

در حالت کلی محدودیت های ۷ تا ۱۳ نشان دهنده این است که اگر فعالیتی با حالت m انجام نشود $Y_{im}=0$ میشود در نتیجه $x_{imt}=0$ می شود. و اگر فعالیتی با حالت m انجام شود $Y_{im}=1$ می شود در نتیجه x_{imt} را فقط برای $S_i \leq t \leq F_i$ برابر یک قرار می دهیم.

معادله ۱۴ معرف منبع از نوع تجدید پذیر می باشد و تضمین می کند که میزان استفاده از منبع تجدید پذیر نوع k ام از مقدار در دسترس a_k^p تجاوز نکند.

معادله ۱۵ معرف منبع از نوع تجدید ناپذیر می باشد و تضمین می کند که میزان استفاده از منبع تجدید ناپذیر نوع k' ام از مقدار در دسترس $b_{k'}^p$ تجاوز نکند.

معادله ۱۶ معرف منبع از نوع دوگان می باشد که در هر دوره یک مقدار منبع در دسترس داریم و برای دوره بعد، هم مقدار منبع دوره فعلی و هم مقدار منبع باقیمانده از دوره های قبل را در اختیار داریم.

۴-۱- تحلیل نتایج

این فصل از پایان نامه به تحلیل نتایج حل مسئله اختصاص دارد. چون مدل از نوع سخت می باشد (بلاچر ۱۹۸۶)^۱ باید با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری مسئله حل شود ابتدا مقدمه ای از الگوریتم فراابتکاری بیان شده، سپس الگوریتم شبیه سازی تبرید معرفی می شوند. در ادامه طراحی الگوریتم مناسب برای مسئله تعریف شده این پایان نامه تشریح می شود.

۴-۲- مقدمه ای بر الگوریتم های فراابتکاری

در سی سال گذشته، نوع جدیدی از الگوریتم های تقریب ظهور یافته اند که اساساً هدف از آنها ترکیب روش های ابتکاری در چارچوب های کلان تر به منظور کاوش کارا و اثربخش فضای جستجو می باشد. امروزه از این روش ها با عنوان روش های فرا ابتکاری (متاهیوریستیک) نام برده می شود. این واژه را اولین بار (گلوور، ۱۹۸۶)^۲ به کار برد که از ترکیب دو واژه یونانی «متا» و «هیوریستیک» ساخته شده است. پیشوند «متا» به معنای فراتر یا در سطحی بالاتر است و «هیوریستیک» به معنای یافتن است. قبل از پذیرش عمومی واژه فرا ابتکاری، عبارت «روش ابتکاری نوین» برای اینگونه روش ها به کار می رفت (بلوم و رولی، ۲۰۰۳)^۳ یک روش فرا ابتکاری، در حقیقت، یک روش ابتکاری برای حل یک طبقه بسیار عمومی از مسائل است و ترکیبی کارآمد از توابع هدف یا روش های ابتکاری مبتنی بر توابع هدف می باشد (ویس، ۲۰۰۷)^۴.

مزیت اصلی استفاده از روش های فرا ابتکاری، وجود مفروضات محدود در فرموله کردن مدل است، در حالی که این امر در برنامه ریزی ریاضی مصداق ندارد. برخی از مسائل بهینه یابی را نمی توان با نمادهای تحلیلی- ریاضی بدون ابهام فرموله کرد. در واقع، تابع هدف در این موارد، مانند یک جعبه سیاه است. در بهینه یابی جعبه سیاه، هیچ قاعده تحلیلی برای هدف وجود ندارد (تالیبی، ۲۰۰۹)^۵.

۴-۳- کلیات الگوریتم شبیه سازی تبرید

الگوریتم تبرید یا شبیه سازی حرارتی، یکی از مجموعه الگوریتم های متاهیوریستیک (فرا اکتشافی) معروف در زمینه الگوریتم های هوش مصنوعی است. الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، یک الگوریتم بهینه سازی فراابتکاری ساده و اثربخش در حل مسائل بهینه سازی است. منشأ الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، کارهای کریک پاتریک و کرنی و همکارانشان در سال های ۱۹۸۳ و ۱۹۸۵ است (کریک و همکاران، ۱۹۸۳؛ کرنی، ۱۹۸۵)^۶. کریک پاتریک و همکارانش، متخصصانی در زمینه فیزیک

¹ Blacher, 1986

² Glover, 1986

³ Blum & Roli, 2003

⁴ Viss, 2007

⁵ Talibi, 2009

⁶ Krik & et al, 1983 & Cerny, 1985

آماری بودند. آنها برای حل مسائل سخت بهینه‌سازی، روشی مبتنی بر تکنیک تبرید تدریجی پیشنهاد نمودند. تکنیک تبرید تدریجی، به وسیله متالورژیست‌ها برای رسیدن به حالتی که در آن ماده جامد، به خوبی مرتب و انرژی آن کمینه شده باشد، استفاده می‌شود. این تکنیک شامل قرار دادن ماده در دمای بالا و سپس کم کردن تدریجی این دماست.

اصولاً اکثر الگوریتم‌های متاهیوریستیک با الگوگیری و شبیه‌سازی یکی از قوانین یا روابط موجود در طبیعت بنا نهاده می‌شوند. این الگوریتم هم بر مبنای فرآیند تبرید یا بازپخت فلزات بنا نهاده شده است. در فرآیند تبرید، ابتدا حرارت فلزات را تا دمای بسیار بالایی افزایش داده و سپس، یک فرآیند سردسازی و کاهش دمای تدریجی بر روی آنها صورت می‌گیرد. در این فرآیند در هنگام افزایش حرارت فلز، سرعت جنبش اتم‌های آن به شدت افزایش یافته و در مرحله بعد، کاهش تدریجی دما موجب شکل‌گیری الگوهای خاصی در جایگیری اتم‌های آن می‌شود. این تغییر الگوی اتمها باعث بروز خواص ارزشمندی در فلز تبرید شده می‌گردد که از جمله می‌توان به افزایش استحکام آن اشاره نمود.

برای حل یک مسئله بهینه‌سازی، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ابتدا از یک جواب اولیه شروع می‌کند و سپس در یک حلقه تکرار به جواب‌های همسایه حرکت می‌کند. اگر جواب همسایه بهتر از جواب فعلی باشد، الگوریتم آن را به عنوان جواب فعلی قرار می‌دهد (به آن حرکت می‌کند)، در غیر این صورت، الگوریتم آن جواب را با احتمال $e^{-\Delta E/T}$ به عنوان جواب فعلی می‌پذیرد. در این رابطه ΔE تفاوت بین تابع هدف جواب فعلی و جواب همسایه‌است و T یک پارامتر به نام دما است. در هر دما، چندین تکرار اجرا می‌شود و سپس دما به آرامی کاهش داده می‌شود. در گام‌های اولیه دما خیلی بالا قرار داده می‌شود تا احتمال بیشتری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود داشته باشد. با کاهش تدریجی دما، در گام‌های پایانی احتمال کمتری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود خواهد داشت و بنابراین الگوریتم به سمت یک جواب خوب همگرا می‌شود. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید یک الگوریتم غیرمقید می‌باشد که برای طراحی‌های سخت به کار می‌رود (یقینی و اخوان کاظم زاده، ۱۳۸۵).^۱

۴-۳-۱ تکرار های الگوریتم در حلقه داخلی

در هر مرحله، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده، چند حالت را در همسایگی حالت کنونی S در نظر می‌گیرد، و به طور احتمالی تصمیم می‌گیرد که سیستم را از حالت S منتقل کند یا در همین حالت باقی بماند. این احتمالات در نهایت سیستم را به حالت با انرژی کمتر میل می‌دهد.

۴-۳-۲ همسایگی یک جواب

همسایه‌های یک حالت (جواب)، حالت‌های جدیدی از مسئله هستند که با تغییر در حالت کنونی و با توجه به روشی از پیش تعیین شده ایجاد می‌شوند. برای مثال در مسئله فروشنده‌ی دوره‌گرد، هر حالت به طور کلی یک جایگشت خاص از شهرهایی است که باید ملاقات شوند. همسایه‌ی یک جواب، جایگشت‌هایی هستند که با انتخاب یک جفت از شهرهای هم‌جوار، از کل مجموعه جایگشت‌ها، و جابجا کردن آن دو شهر ایجاد می‌شوند. عمل تغییر در جواب فعلی و رفتن به جواب‌های همسایه، حرکت^۲ خوانده می‌شود و "حرکت"های متفاوت، همسایه‌های گوناگون را بدست می‌دهد.

۴-۳-۳ شبه کد الگوریتم شبه سازی تبرید

شبه کد الگوریتم در شکل زیر نمایش داده شده است که روند اجرای الگوریتم را نشان می‌دهد.

^۱ Yaghini&Akhavan kazemzadeh,1385

^۲ Move

```

S1 = Choose an initial solution
T = Choose an initial temperature
REPEAT
    S2 = Generate a neighbor of the solution C
    ΔF = objective( S1 ) – objective( S2 )
    IF (ΔF < 0 ) THEN
        S1 = S2
    ELSE IF EXP( ΔF/ T ) > Random(0~1) THEN
        S1 = S2
    END IF
    T = T – Dt
UNTIL T < Temperature Of Stop Condition

```

شبه کد الگوریتم شبیه سازی تبرید

۴-۴- طراحی الگوریتم شبیه سازی تبرید

برای طراحی الگوریتم مورد بررسی برای مسئله باید دو نوع تصمیم گیری انجام شود: توالی انجام فعالیت ها و تخصیص حالت انجام فعالیت. در ادامه جزئیات این روش ها توضیح داده می شود.

۴-۴-۱- طراحی الگوریتم شبیه سازی تبرید

کدگذاری جواب و تولید جواب اولیه و تولید همسایگی

در این بخش الگوریتم شبیه سازی تبرید طراحی می شود. کدگذاری جواب ها عینا شبیه الگوریتم ژنتیک است و تولید جواب اولیه آن نیز مشابه ژنتیک است با این تفاوت که در الگوریتم ژنتیک یک جمعیتی از جواب ها (به اندازه pop) تولید می شود در حالیکه در شبیه سازی تبرید تنها یک جواب تولید می شود.

همسایگی جواب ها در شبیه سازی تبرید

در این الگوریتم همسایگی جواب ها بصورت معاوضه توالی دو فعالیت مجاور انجام می شود. به اینصورت که هر یک از عناصر سطر اول جواب با یک احتمالی انتخاب شده و در صورت نداشتن رابطه پیشینازی با عنصر سمت راست آن، جابجا می شوند. لازم به ذکر است که در این مرحله مد انجام فعالیت ها تغییری نمی کند. پس از انجام این مرحله، عملگری مشابه عملگر جهش الگوریتم ژنتیک روی مد فعالیت ها انجام می شود. برای روشن شدن موضوع با یک مثالی شرح داده می شود. فرض کنید در یک تکرار از الگوریتم جواب بصورت زیر باشد:

۳	۶	۱	۷	۵	۴	۲
۱	۲	۳	۳	۳	۱	۲

برای این منظور فرض کنید پس از تولید اعداد تصادفی، عناصر دوم و سوم انتخاب شوند. انتخاب عنصر دوم به معنای جابجایی توالی فعالیت های ۶ و ۱ است. با توجه به اینکه این فعالیت های ۱ و ۶ محدودیت پیشینازی ندارند، این تغییر اعمال می شود. بدین ترتیب خواهیم داشت:

۳	۱	۶	۷	۵	۴	۲
۱	۳	۲	۳	۳	۱	۲

پس از انجام این تغییر، تغییرات مربوط به عنصر سوم اعمال می‌شود. حال عنصر سوم به معنای تغییر توالی فعالیت های ۶ و ۷ است که با توجه به عدم وجود محدودیت پیشنهادی، این تغییر هم اعمال می‌شود. خواهیم داشت:

۳	۱	۷	۶	۵	۴	۲
۱	۳	۳	۲	۳	۱	۲

پس از این مرحله همانند عملگر جهش الگوریتم ژنتیک، مد انجام فعالیت های ۶ و ۲ تغییر می‌کند و در نهایت جواب جدید بصورت زیر خواهد بود.

۳	۱	۷	۶	۵	۴	۲
۱	۳	۳	۱	۳	۱	۳

رد یا پذیرش جواب

پس از تولید هر جواب در الگوریتم، مقدار تابع هدف ارزیابی می‌شود و در صورتیکه جواب بهبود پیدا کند، آن جواب پذیرفته شده و جایگزین جواب قبلی می‌شود. در صورتی که تابع هدف بدتر شود، آن جواب را با احتمال $e^{-\Delta E/T}$ به عنوان جواب فعلی می‌پذیرد. در این رابطه ΔE تفاوت بین تابع هدف جواب فعلی و جواب همسایه است و T پارامتر دما است.

تکرارهای داخلی الگوریتم در هر دما

در هر دما، الگوریتم یک مجموعه از تکرارها را طی می‌کند و در هر تکرار جواب جدید تولید شده و ارزیابی می‌شود و مطابق آنچه درباره رد یا پذیرش جواب ها گفته شد، عمل می‌شود.

شرط توقف

پس از طی مراحل فوق، دما کاهش می‌یابد و همین روند دوباره طی می‌شود تا زمانی که به دمای نهایی برسیم.

۵-۱- تنظیم پارامتر الگوریتم

در این بخش پارامتر الگوریتم پیشنهادی با استفاده از تکنیک طراحی آزمایش ها انتخاب می‌شوند. بنابراین ابتدا درباره طراحی آزمایش ها و روش تاگوچی توضیح داده می‌شود. در نهایت آزمایش مناسب برای انتخاب پارامترهای الگوریتم طراحی و انجام می‌شود.

طراحی آزمایش ها کاربرد های مختلفی در زمینه های مختلف علم، مانند مهندسی، فیزیک، علم شیمی و غیره دارد. در زمینه مهندسی طراحی آزمایش ها نقش مهمی در طراحی محصول جدید، توسعه فرآیند تولید و بهبود فرآیند ایفا می‌کند. در بسیاری از موارد هدف طراحی آزمایش توسعه دادن یک فرآیند پایدار^۱ که دارای کمترین تاثیرپذیری از عوامل خارجی می‌باشد است.

هدف یک آزمایش عموماً شامل موارد زیر است: (الف) تعیین اینکه کدام متغیرها دارای بیشترین تاثیر روی متغیر پاسخ است؛ (ب) تعیین مقادیر متغیرهای قابل کنترل طوری که متغیر پاسخ نزدیک ترین مقدار خود را به مقدار مطلوب داشته باشد؛ (ج) تعیین مقدار متغیرهای قابل کنترل طوری که تغییر پذیری متغیر پاسخ کمینه شود؛ (د) تعیین مقدار متغیرهای قابل کنترل طوری که تاثیر متغیرهای خارجی روی متغیر پاسخ کمینه شود.

تاگوچی دو روش متفاوت برای انجام و کامل کردن تحلیل پیشنهاد می‌کند. اولی (روش استاندارد) که در آن نتیجه یک موقعیت آزمایش و یا مقدار میانگین نتیجه ی بدست آمده از تکرار یک موقعیت آزمایش به واسطه اثر عمده و تحلیل واریانس که در بالا بدان اشاره شد، پردازش می‌شود. روش دوم، که وی شدیداً برای آزمایشات همراه با تکرار توصیه می‌کند، استفاده از نسبت سیگنال به نویز^۲ برای مراحل یکسان در تحلیل است. تحلیل سیگنال به نویز با استفاده از تغییرات نتایج، بهترین و

^۱ Robust

^۲ S / N (Signal-to-noise)

قویترین شرایط کاری را تعیین می کند. همچنین لازم به ذکر است که ضریب سیگنال به اغتشاش یا سیگنال به نویز بصورت زیر محاسبه می شود:

$$S/N = -10 \times \text{Log} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1-5)$$

که در آن y مقدار برازش مشاهده شده و n تعداد مشاهدات است.

۵-۱-۱- تنظیم پارامتر شبیه سازی تبرید

پارامترهای این الگوریتم عبارتند از: تعداد تکرارهای هر دما، دمای نهایی و دمای اولیه. هر کدام از پارامترهای الگوریتم در سه سطح مورد بررسی قرار می گیرند. سطوح پارامترها در جدول ۵-۵ نمایش داده شده اند:

جدول ۵-۵ سطوح پارامترهای الگوریتم شبیه سازی تبرید

پارامتر	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
تعداد تکرارهای هر دما	30	50	80
دمای نهایی	0.1	0.01	0.001
دمای اولیه	100	1000	10000

با توجه به اینکه در اینجا ۳ عامل سه سطحی داریم، باز هم می توانیم از آرایه اورتوگونال L_{18} که در بخش قبل عنوان شد، استفاده کنیم بشرط اینکه ستون های مربوط به چهار عامل سه سطحی و یک عامل دوسطحی آنرا حذف کنیم. حال هر بار آزمایش را ۴ بار با سطوح مشخص شده در این آرایه انجام می دهیم.

نتایج حاصل از تحلیل واریانس در جدول ۵-۶ نمایش داده شده است. همانطور که از این جدول مشخص است مهمترین عوامل تعیین کننده عملکرد این الگوریتم، تعداد تکرارهای هر دما هستند و در سطح معناداری ۵٪، یکسان بودن سطوح این پارامترها رد می شود. سطوح تعریف شده برای سایر پارامترها، تفاوت معناداری با هم ندارند.

جدول ۵-۶ تحلیل واریانس مقادیر سیگنال به نویز الگوریتم شبیه سازی تبرید

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	مقدار P-value
تعداد تکرارهای هر دما	2	0.006497	0.003249	9.927809	0.003438
دمای نهایی	2	0.001995	0.000998	3.048915	0.088407
دمای اولیه	2	1.43E-05	7.14E-06	2.18E-02	0.978457
خطا	11	0.0036	0.000327		
کل	17	0.012106			

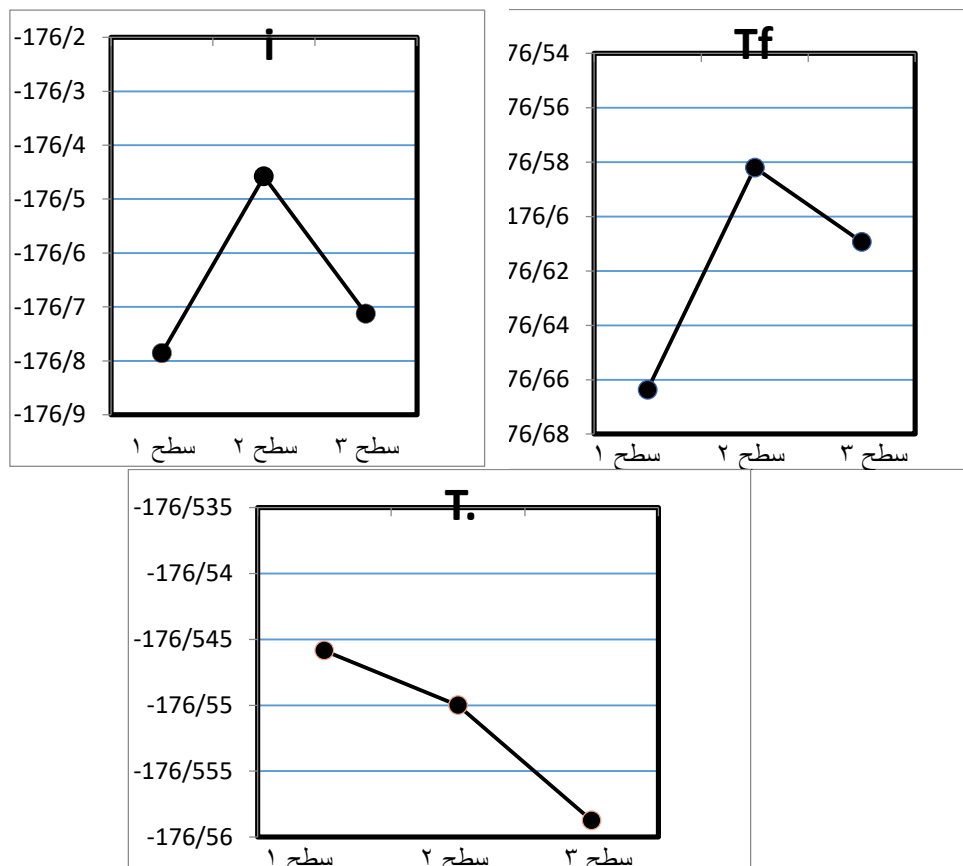
در جدول ۵-۷ مقادیر سیگنال به نویز برای هر یک از سطوح محاسبه شده است، می توان با استفاده از این مقادیر سطوح بهینه را شناسایی کرد. برای پارامتر تعداد تکرارهای هر دما سطحی انتخاب می شود که این مقدار کمتر از همه باشد. سطوح پارامترهای دیگر تفاوت معناداری با هم ندارند. بنابراین می توان یک از این سطوح را به دلخواه انتخاب کرد. در اینجا نیز سطوحی را انتخاب می کنیم که کمترین مقدار سیگنال به نویز را داشته باشد.

جدول ۵-۷ مقادیر میانگین سیگنال به نویز برای سطوح پارامترهای SA

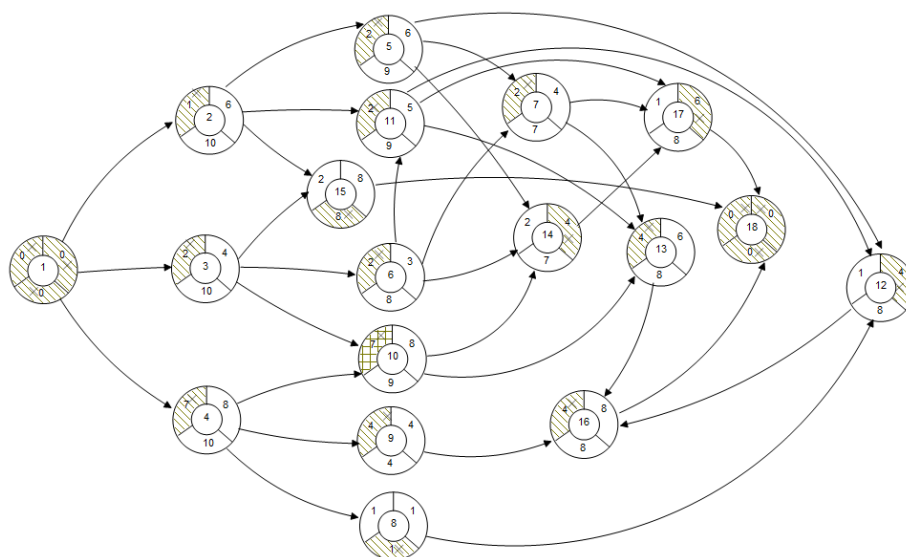
پارامتر	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
---------	-------	-------	-------

-176.712087	-176.458	<u>-176.7851611</u>	تعداد تکرارهای هر دما
-176.609301	-176.582	<u>-176.6637242</u>	دمای نهایی
<u>-176.558749</u>	-176.55	-176.5458491	دمای اولیه

بنابراین سطوح بهینه به این صورت خواهد بود: تعداد تکرارهای هر دما: ۳۰؛ دمای نهایی: ۰/۱ و دمای اولیه: ۱۰۰۰۰



شکل ۵-۲- نمودار سیگنال به نویز تحلیل سه پارامتر در سه سطح مختلف در الگوریتم شبیه سازی تبرید
در شکل ۵-۳- شبکه زمانبندی پروژه را می توان دید که در آن می توان توالی فعالیت ها و همچنین زمان بهینه برای
انجام کل پروژه را رویت کرد.



شکل ۳-۵ شبکه زمانبندی پروژه در حالت بهینه

۵-۲-۲- حل برای مسائل با سازه‌های مختلف

در این بخش تعدادی نمونه مسئله در اندازه‌های مختلف برای ارزیابی الگوریتم‌های طراحی شده ارائه می‌شود و نتایج آنها مورد مقایسه قرار می‌گیرد. این نمونه مسئله‌ها از وب سایت: <http://www.om-db.wi.tum.de/psplib/datamm.html> برداشت شده‌اند. با توجه به اینکه در مسئله تعریف شده در این تحقیق یک محدودیت دوگان تعریف شده و همچنین سود فعالیت‌ها نیز مدنظر قرار می‌گیرد، داده‌های مورد نیاز دیگر بصورت تصادفی تولید شده‌اند. جدول ۵-۸ مسائل تعریف شده و همچنین نتایج حاصل از اجرای الگوریتم شبیه‌سازی تبرید نشان می‌دهند. پارامترهای الگوریتم برابر مقادیر بدست آمده در بخش تنظیم پارامترها تنظیم شده‌اند. همچنین لازم به ذکر است که شرط توقف برای الگوریتم پیشنهادی بصورت عدم بهبود جواب در ۱۰۰ تکرار متوالی تنظیم شده است.

جدول ۵-۸ نتایج محاسباتی الگوریتم

شبیه‌سازی تبرید		گمز		شماره مسئله	تعداد فعالیت	مسئله
زمان	جواب	زمان	جواب			
13.4	21.542	21.23	21.542	1	6	1
20.1	16.511	22.00	16.511	2	6	2
18.5	12.687	19.32	12.687	3	6	3
18.5	19.938	23.90	19.938	4	6	4
29.5	17.889	28.03	21.485	1	10	5
22.8	26.746	31.84	26.746	2	10	6
28.8	17.964	33.02	18.492	3	10	7
29.8	26.911	32.97	26.911	4	10	8

20.7	28.017	-	-	1	12	9
27	25.078	-	-	2	12	10
43.1	64.871	-	-	3	12	11
43.7	27.725	-	-	4	12	12
21.5	29.21	-	-	1	14	13
27.1	26.934	-	-	2	14	14
45.2	83219.	-	-	3	14	15
47.1	27.832	-	-	4	14	16
76	34.193	-	-	1	16	17
71.5	28.985	-	-	2	16	18
59.2	29.27	-	-	3	16	19
67.3	31.937	-	-	4	16	20
120.5	23.635	-	-	1	20	21
152.4	23.528	-	-	2	20	22
124.4	25.337	-	-	3	20	23
73.1	42.67	-	-	4	20	24
56.3	30.9	-	-	1	30	25
108.4	26.909	-	-	2	30	26
118.2	31.287	-	-	3	30	27
126.1	29.671	-	-	4	30	28

همانطور که از جدول مشخص است، از نرم افزار گمز تنها برای حل ۸ مسئله اول استفاده شده است که با افزایش سایز مسئله، با توجه به غیر خطی بودن تابع هدف مسئله، زمان حل آن نیز به شدت بالا می رود. الگوریتم شبیه سازی تبرید نیز برای ۶ مسئله از ۸ مسئله به جواب بهینه رسیده است.

۶-۱- جمع بندی

۶-۱-۱- نتیجه گیری

مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع تحقیقات زیادی را در ادبیات موضوع به خود اختصاص داده است. ولی چون بیشتر تحقیقات فقط منابع تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر را مورد بررسی قرار می دهد نمی توان بیشتر پروژه هایی که در عمل انجام می گیرد را مدل سازی کرد به همین خاطر در این تحقیق منابع دوگان را کنار آن دو منابع ذکر شده مورد بررسی قرار داده و همچنین منابع در حالت های چند وضعیتی مورد بررسی قرار داده شد. و تمام اهداف این مسئله ماکزیمم کردن سود پروژه بود.

برای ارزیابی مدل ریاضی ارائه شده، مدل در نرم افزار لینگو کدنویسی و در اندازه مسائل کوچک مسئله حل گردید. در ادامه به دلیل سخت بودن مسئله و بزرگ شدن حجم مسئله، نرم افزار لینگو قادر به حل نمی باشد و از الگوریتم های فرا ابتکاری از جمله شبیه سازی تبرید برای حل مسئله در ابعاد بزرگ استفاده می کنیم.

۶-۱-۲- پیشنهاداتی تحقیقات آتی

با توجه به گستردگی مطالب در زمانبندی پروژه با محدودیت منابع می توان از موارد زیر به عنوان فرصت هایی برای تحقیقات آتی نام برد:

- می توان اهداف دیگر را در کنار ماکزیمم کردن سود پروژه در نظر گرفت.
- می توان مدل را با فرض مجاز بودن بریدگی در فعالیت ها حل کرد.
- زمان فعالیت ها می توانند فازی و احتمالی نیز فرض شوند.
- می توان دسترس پذیری متغیر را برای منابع در نظر گرفت.

منابع

- 1) Agustín Barrios;2011. A doublegeneticalalgorithmfortheMRCPSP/max, Computers &OperationsResearch38(2011)33–43
- 2) Behrouz Afshar-Nadjafi, Amir Rahimi, Hamid karimi;2013. A genetic algorithm for mode identity and the resource constrained project scheduling problem. Scientia Iranica E (2013) 20 (3), 824–831
- 3) Blum, C., & Roli, A. (۲۰۰۳). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. ACM Comput. Surv., 35(3), 308-268. doi: 937503.937505/10.1145
- 4) Beasley D. ,D. Bull and R. Martin. *An Overview of Genetic Algorithms: Part 1 Fundamentals* , University of Cardiff ,Cardiff ,1993.
- 5) Bala,J.,Huayr,J,Vafaie,H,Dejong, K.and Wechslev, . “Hybridlearning using genetic algorithms and decision trees for pattern classification”, . IJCAI conference. Montreal. August 19-25.1995.
- 6) Cerny, V. , A thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm, Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 45,PP.41-51,1985
- 7) E. Nabipoor Afrazi;2013. A multi-mode resource-constrained discrete time–cost tradeoff problem solving using an adjusted fuzzy dominance genetic algorithm, Scientia Iranica E (2013) 20 (3), 931–944
- 8) Fogel ,D.B. “ What is Evolutionary Computation?” IEEE Spectrum .Feb 2000 .pp. 26-32
- 9) Filip Deblaere;2011. Proactive policies for the stochastic resource-constrained project scheduling problem, European Journal of Operational Research 214 (2011) 308–316
- 10) Goldberg, D. E. *Genetic Algorithms in Search ,Optimization and Machine Learning* ,Addison Wesley ,Reading ,MA ,1989.

بهینه سازی استوار در مسئله انتخاب و زمان بندی سبد پروژه با محدودیت منابع و بودجه در شرایط عدم قطعیت در منابع

مریم جمشیدی*، امیر عباس نجفی
jamshidi_mz@yahoo.com

چکیده

مسئله انتخاب و زمان بندی پروژه یکی از مسائل بسیار مهم در سازمان های پروژه محور می باشد. از آنجاکه تصمیم گیری اشتباه در خصوص مسائل زمان بندی و انتخاب پروژه بدون در نظر گرفتن توأم بودجه و منابع مورد نیاز و پیش بینی سود حاصل، می تواند پیامدهای منفی سنگین و جبران ناپذیری را به دنبال داشته باشد؛ لذا نقش مسائل انتخاب و زمان بندی پروژه باهدف بیشینه سازی سود و در نظر گرفتن بودجه و منابع مورد نیاز برای هر یک از پروژه ها در ادامه حیات و میزان موفقیت سازمان ها غیر قابل انکار می باشد. از سوی دیگری در دنیای واقعی، معمولاً منابع مورد نیاز پیش بینی شده جهت اجرای هر پروژه با عدم قطعیت همراه هستند که ممکن است منجر به تغییرات زیادی در سود حاصل از پروژه های انتخابی شود، لذا هدف این تحقیق، توسعه مدل انتخاب و زمان بندی پروژه باهدف بیشینه سازی سود حاصل از پروژه های انتخابی و در نظر گرفتن محدودیت های منابع و بودجه مورد نیاز با لحاظ نمودن عدم قطعیت در منابع پیش بینی شده برای هر یک از پروژه ها می باشد. برای بیان این عدم قطعیت در مدل سازی از رویکرد بهینه سازی استوار برتسیماس و سیم استفاده شده است. در نهایت مدل های استوار با استفاده از داده های موجود در مرور ادبیات و نرم افزار لینگو حل و نتایج آن مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: انتخاب پروژه، عدم قطعیت، بهینه سازی استوار، زمان بندی پروژه

۱-مقدمه

با توجه به بازارهای رقابتی امروزی، انتخاب پروژه یکی از مهم ترین تصمیمات راهبردی است که هر سازمانی با آن مواجه می شود. مساله مذکور، شامل انتخاب کردن یک سبد بهینه از پروژه ها در بین پروژه های مختلف با توجه به محدودیت های ذاتی سازمانی است که از جمله ی این محدودیت ها می توان به محدودیت بودجه و منابع موجود اشاره کرد. از طرفی دیگر، ماهیت اقتصادی خیلی از پروژه ها باعث می شود که اکثر فواید در صورتی به تحقق برسند که پروژه زودتر از موعد سررسید، تکمیل شود؛ بنابراین بعد از انتخاب یک سبد از پروژه ها، هر سازمان باید آن ها را برای رسیدن به حداکثر فواید، زمان بندی کند. در واقع هدف اصلی شامل انتخاب کردن زیرمجموعه ای از پروژه ها جهت بهینه کردن فواید کلی پروژه های منتخب می باشد. در دهه های اخیر مساله ی مشترک انتخاب پروژه ها و زمان بندی آن ها، مورد توجه زیادی قرار گرفته است. گاتجادهر و همکاران در سال ۲۰۰۸، مدلی را بر مبنای برنامه ریزی پورتفولیو پروژه پیشنهاد دادند، در این پروژه زمان بندی و تخصیص کارکنان را برای مجموعه پروژه های کاندید شده در نظر گرفته است. چن آسکین (۲۰۰۹) مدل برنامه ریزی عدد صحیح کلی را برای انتخاب و زمان بندی پروژه ها با دو مجموعه از متغیرهای تصمیم برای انتخاب و زمان بندی ایجاد کرد؛ و از مفهوم الگوریتم شمارشی برای جستجوی ترتیبی از اولویت پروژه ها با سود بیشتر استفاده کرد؛ که این قوانین اولویت بندی بر مبنای روش های ابتکاری روی مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع می باشد. لیو و وانگ (۲۰۱۱) ارتباط بین پروژه ها را برای مسئله انتخاب و زمان بندی در نظر گرفت. مداگلیا و همکاران (۲۰۰۸) مسئله زمان بندی را برای پروژه های دولتی ارائه دادند؛ و از شاخص های رضایت اجتماعی برای تابع هدف استفاده کردند و کرازو و همکاران (۲۰۱۰) از مدل برنامه ریزی صفر و یک برای حل مدل

استفاده کرد و برای تعداد پروژه های انتخاب شده حد بالا و پایین در نظر گرفتند. در پژوهشی دیگر، جوزفوسکا و وگلارز (۲۰۰۶) انتخاب و زمان‌بندی پروژه را در یک مسئله برای پروژه‌های تحقیقاتی دارویی، یکپارچه کرده‌اند. انتخاب پروژه‌ها به‌وسیله حالاتی که بازتاب‌کننده عدم انجام فعالیت‌اند در نظر گرفته شده است، درحالی که مفهوم اتحاد حالات این موضوع را تضمین می‌کند که یا همه فعالیت‌های یک پروژه انجام شوند و یا هیچ‌کدام انجام نشوند. همچنین مسئله شامل تقاضای منبع وابسته به زمان و هدف آن بر پایه ارزش خالص فعلی است، همچنین پیمان قهرمانی (۱۳۹۱) در مطالعه خود، مدلی جدید برای مساله انتخاب و زمان بندی پروژه با محدودیت منابع ارایه داده است که تابع هدف این مدل یک تابع غیرخطی است که ارزش فعلی کل سود را بیشینه می‌کند. حسینی‌علی حسین پور (۱۳۹۳) مدل زمان بندی مقاوم پروژه با منابع محدود و حل آن با استفاده از الگوریتم شبیه سازی تبرید ارائه نمود.

بدون شک یکی از مهمترین دغدغه های مدلسازی ها انطباق مدل های ریاضی با واقعیت می باشد. با این حال در علوم مالی، عدم قطعیت، یکی از موارد قطعی است که طبعاً این مساله مهمترین مشکل در مدلسازی و تصمیم گیری در مورد انتخاب سبد مالی است. این در حالی است که فرض اساسی در برنامه ریزی ریاضی این است که مقدار داده های ورودی دقیقاً معلوم است و معادل مقادیر اسمیشان است. این فرض اثر عدم قطعیت در پارامترهای مساله را بر کیفیت و شدنی بودن مساله در نظر نمی گیرد

(سجادی و همکاران، ۱۳۸۹). داده های دارای عدم قطعیت می توانند، در محدودیت ها و یا تابع هدف باشند. بنابراین اگر داده های ورودی در محدودیت های مقداری غیر از مقدار اسمی خود بگیرند، ممکن است آن محدودیت نقض شود و یا حتی مساله نشدنی شود و اگر داده های ورودی تابع هدف از مقدار اسمی خود خارج شوند نیز ممکن است مساله از بهینگی خارج شود و یا حتی جواب بهینه مساله اسمی دیگر موجه نباشد.

بحث حاضر، این خواسته طبیعی را به ذهن متبادر میکند که مدل هایی طراحی شوند که در مقابل عدم اطمینان داده ها، ایمنی و حفاظت ایجاد کنند. روش های کلاسیک برای در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها، شامل آنالیز حساسیت و بهینه سازی تصادفی می باشد. در آنالیز حساسیت، ابتدا عدم قطعیت به طور کلی نادیده گرفته میشود و بعد از حل مساله با آنالیز حساسیت تاثیر عدم قطعیت داده ها در مساله مورد بررسی قرار می گیرد. هرچند آنالیز حساسیت ابزار مناسبی برای بررسی میزان خوبی جواب می باشد، اما راه مناسبی برای تولید جواب هایی که در مقابل تغییرات دادهها استوار باشند، نیست. از طرف دیگر امکان استفاده از آنالیز حساسیت در استفاده از مدل ریاضی بهینه سازی چندهدفه، مدل هایی با پارامترهای عدم قطعیت زیاد وجود ندارد. در بهینه سازی تصادفی نیز، فرض میشود که تابع توزیع پارامترهای ورودی داده شده است؛ اما باید توجه داشت؛ خیلی بعید است که بتوان تابع توزیع قطعی پارامترهای دارای عدم قطعیت را بدست آورد. همچنین تغییر پارامترها ممکن است باعث به هم خوردن خصوصیت تحدب پیچیدگی محاسباتی مساله گردد. این مساله و مشکلات ناشی از آن باعث شد محققان روی روشهای بهینه سازی کار کنند که نسبت به عدم قطعیت مصون باشند و در نهایت منجر به ایجاد روشی شد که اصطلاحاً به آن بهینه سازی استوار گویند. روشهای قطعی (غیر استوار)، مقادیر معینی را برای پارامترها در نظر می گیرند و جواب بهینه ای را حاصل می کنند. در مقابل روشهای استوار جوابی را نزدیک به بهینه ارائه میکنند و هزینه بالاتر (به عبارت دیگر بازده را پایین تر) را نشان می دهند، اما جواب به دست آمده با اطمینان بالایی قابل اتکا و معتبر است. به عبارتی، با لحاظ تغییرپذیری مقادیر پارامترها روی طیفی (بازه ای) از مقادیر جواب، همچنان با اطمینان بالایی قابل اتکا می باشد (ونلندوم، ۲۰۰۲) اولین قدم در راستای مدلسازی استوار، از سوی سویستر در قالب یک مدل برنامه ریزی خطی برای تولید جوابی که برای همه داده های متعلق به یک مجموعه محدب، موجه باشند، ارائه شد. مدل مذکور جوابهایی را ارائه می کند که در برابر بهینگی مساله اسمی به منظور اطمینان از استواری به شدت محافظه کارانه است. درحقیقت این مساله از اولین مسائل بهینه سازی استوار میباشد. پس از آن، گام های مهم دیگری به طور مستقل در توسعه تئوری بهینه سازی استوار، به وسیله بن تال ونمیرسکی، ال قاووی و لبرنت، ال قاووی و همکاران و برتسمایس و سیم انجام شد. درمدلهای بهینه سازی استوار مثل برتسیماس و سیم، عدد وسط این بازه ها، به عنوان مقدار اسمی نامگذاری شده است. در سال ۲۰۰۳، برتسیماس و سیم با درنظر گرفتن مجموعه عدم قطعیت به صورت بازه‌ای، رویکردی متفاوت با سطح محافظه‌کاری قابل تنظیم ارائه کردند که بر درجه

سختی مسئله نمی‌افزاید. مزیت دیگر این رویکرد، قابلیت اعمال آن بر روی مسائل بهینه‌سازی گسسته و همچنین بهینه‌سازی ترکیبی است (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۳).

در اینجا به برخی از مطالعات انجام شده در زمینه زمان‌بندی پروژه در شرایط عدم قطعیت با استفاده از رویکردهای مختلف بهینه‌سازی استوار اشاره می‌شود. مدلی برای مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منبع (RCPSP) در شرایط عدم قطعیت با بهره‌گیری از رویکرد بهینه‌سازی استوار ملوی، توسط والس و همکاران در سال ۱۹۹۸ ارائه شد. در مسئله مورد بررسی، انقطاع فعالیت‌ها مجاز می‌باشد و دیرکرد نسبت به موعد تحویل معلوم برای هر فعالیت محاسبه می‌شود. هدف مدل پیشنهادی، پیدا کردن جوابی است که وزن کلی تأخیر را حداقل نماید (والس و همکاران، ۱۹۹۸). در تحقیقی دیگر در سال ۲۰۰۷ یاماشیتا و همکاران، مسئله هزینه در دسترس‌پذیری منبع (RACP) را مورد توجه قرار دادند. عدم قطعیت در تحقیق آن‌ها در زمان فعالیت‌ها به صورت سناریوهای گسسته در نظر گرفته شد (یاماشیتا و همکاران، ۲۰۰۷). ارتیکیوس و همکاران (۲۰۱۳)، مقاله‌ای با هدف ارائه مدلی برای زمان‌بندی پروژه با محدودیت منبع تحت عدم قطعیت منتشر نمودند. تکنیک‌های مدل‌سازی آن‌ها برگرفته از بهینه‌سازی گسسته استوار در شرایطی که پارامتر مدت زمان فعالیت‌ها دارای عدم قطعیت و بر حسب سناریو مطرح شده است، می‌باشد (ارتیکیوس و همکاران، ۲۰۱۳).

با توجه به اینکه در برخی از پروژه‌ها، ممکن است منابع پروژه‌ها به دلیل وجود عدم قطعیت چون اثر تورم، تنش‌های اقتصادی و سیاسی، خطاهای محاسباتی در زمان بندی، کمبود مصالح اولیه دستخوش تغییرات زیادی باشد. از این رو در این تحقیق، با در نظر گرفتن بازه‌ای برای نوسان توأم در منابع پروژه‌ها به توسعه مدلی برای مسئله انتخاب و زمان‌بندی سبد پروژه با محدودیت منابع و بودجه با بهره‌گیری از رویکرد بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم پرداخته شده است. سپس مدل توسعه یافته با استفاده از نرم افزار لینگو حل شده‌اند. در نهایت، نتایج آن و تأثیر استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار بر روی این مدل، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲- بهینه‌سازی استوار

استواری مدل، یکی از مباحث بسیار مهمی است که در مدل‌سازی و در تحقیق در عملیات مطرح می‌باشد. اگر مدل‌ها استوار باشند، خطر به کارگیری اشتباه یا استفاده غلط از آن‌ها بسیار کمتر خواهد شد. استواری به این مفهوم است که خروجی‌های مدل نباید حساسیت بالا به مقادیر دقیق پارامترها و ورودی‌های آن داشته باشند و بهینه‌سازی استوار به مدل‌سازی مسائل مربوط به بهینه‌سازی در شرایطی اطلاق می‌گردد که عدم اطمینان پارامترها مطرح باشد. درحقیقت، پارامترهایی که مقادیر متفاوتی از مقادیر اسمی خود را اختیار می‌کنند، ممکن است منجر به این شود که تعدادی از محدودیت‌ها نقض گردند و جواب بهینه در طولانی مدت بهینه نماند، یا حتی موجه بودن از بین برود (ربیع و همکاران، ۱۳۹۰). هدف همه‌ی رویکردهای بهینه‌سازی استوار، تولید جواب‌هایی است که با تغییر پارامترهای غیرقطعی در مجموعه‌های عدم قطعیت، همچنان بهینگی و شدنی بودن را حفظ نمایند. مجموعه‌های عدم قطعیت در واقع همان فضای تغییر پارامترهای غیرقطعی هستند که کلیه مقادیر ممکن برای پارامترهای غیرقطعی را شامل می‌شوند (آذر و همکاران، ۱۳۹۰). رویکرد بهینه‌سازی استوار به بهینه‌سازی به هنگام رخ دادن بدترین موارد می‌پردازد. در این تحقیق از رویکرد بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم استفاده می‌شود. برتسیماس و سیم ۲۰۰۴ روشی ارائه کردند که به کمک آن هزینه استواری (هزینه متعادل سازی بین موجه ماندن و بهینه بودن) جواب‌ها را کاهش داد. یک مزیت مهم این رویکرد آن است که همتای استوار ارائه شده همچنان یک مسئله خطی است. رویکرد ارائه شده توسط برتسیماس و سیم را رویکرد عدم قطعیت بودجه‌ای نیز نامیده‌اند، زیرا در این روش تعداد محدودی از داده‌های غیرقطعی می‌توانند در بردارنده‌ی بیشترین تغییرات تعیین شده برای آن‌ها باشند (تاتینا و عشقی، ۱۳۸۸). در ادامه به دلیل کاربرد این روش در مدل پیشنهادی، به طور خلاصه این روش بهینه‌سازی تشریح می‌شود. به این منظور مسئله بهینه‌سازی خطی زیر در نظر گرفته می‌شود:

مسئله بهینه‌سازی خطی زیر را در نظر بگیرید.

$$\text{Maximize } C'x \quad (1)$$

subject to

$$Ax \leq b \quad (2)$$

$$l \leq x \leq u \quad (3)$$

در مسئله فوق فرض می شود که عدم قطعیت داده‌ها فقط در ماتریس A می‌باشد. همچنین فرض می شود که C در تابع هدف عدم قطعیت ندارد. اگر هم ضریب C در تابع هدف دارای عدم قطعیت باشد، می توان از حداکثرسازی تابع هدف Z استفاده کرد و تابع هدف را به صورت محدودیت $Z - C'x \leq 0$ به سایر محدودیت های مسئله اضافه کرد. برتسیماس و سیم برای ارائه مدل بهینه سازی استوار، مجموعه عدم قطعیت را به صورت u برای داده‌ها در نظر گرفته‌اند.

مدل داده‌های عدم قطعیت u : ردیف خاص i از ماتریس A را در نظر بگیرید و را مجموعه ضرایب در ردیف i که عدم قطعیت دارند در نظر بگیرید. هر داده ورودی به صورت متقارن و به صورت متغیر تصادفی محدود شده مدل شده‌اند که مقادیری در بازه‌ی می‌گیرد. همچنین متغیر تصادفی $\tilde{a}_{ij}$ را که از یک توزیع متقارن و نا شناخته پیروی می‌کند را تعریف می‌کنیم. این متغیر تصادفی در بازه‌ی $[-1, 1]$ مقدار می‌گیرد. با در نظرگیری مجموعه عدم قطعیت فوق برای داده‌ها و وارد کردن یک تابع محافظت در محدودیت دارای ضرایب غیرقطعی، برتسیماس و سیم یک مدل خطی برای استوار سازی جواب‌ها ارائه کرده‌اند (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۴).

۳- مدل پیشنهادی

۳-۱- مدل توسعه یافته استوار

در فرآیند مدیریت عدم قطعیت، با توجه به غیرقطعی بودن پارامتر منابع پروژه‌ها به دلیل اثر تورم، تنش‌های اقتصادی و سیاسی، کمبود مصالح اولیه، خطا‌های محاسباتی، در نظر گرفتن یک مقدار عددی برای پارامترهای منابع پروژه‌ها ناکافی است. به عبارت دیگر، در برآورد این پارامترها در مسئله انتخاب و زمان‌بندی سبب پروژه باید بازه تغییراتی را در نظر گرفت و تغییرپذیری آن‌ها را در مدل‌سازی لحاظ نمود. از این رو در این بخش مدلی استوار در شرایط عدم قطعیت در منابع براساس رویکرد بهینه سازی استوار توسعه داده می‌شود. برای ارائه یک مدل استوار، از رویکردهای بهینه سازی استوار که در آن‌ها مجموعه‌های عدم قطعیت به صورت بازه‌یی است استفاده می‌شود. هدف از ارائه این مدل، در نظرگیری تأثیر عدم قطعیت داده‌ها در مدل سازی است تا جواب‌های حاصل از مدل در بدترین شرایط موجه و نزدیک به بهینه باشند. به منظور استفاده از رویکرد استوار، ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی صفر و یک برای مسئله انتخاب و زمان‌بندی سبب پروژه ارائه می‌شود. سپس این مدل به یک مدل استوار تبدیل می‌شود. در این مدل، مجموعه‌ای از پروژه‌های موجود در نظر گرفته شده که هر کدام از پروژه‌ها دارای مدت‌زمان مشخصی هستند؛ به علاوه مجموعه‌ای از منابع و بودجه نیز برای این پروژه‌ها وجود دارند. مدل دارای بودجه کل تعیین شده و یک افق برنامه‌ریزی می‌باشد. به طوری که افق برنامه‌ریزی شده در این مدل دارای دوره‌های زمانی چندگانه بوده و هر کدام از پروژه‌ها دارای مدت‌زمان مشخصی هستند. نرخ استفاده از بودجه و منابع برای هر کدام از پروژه‌ها و حجم منابع در هر دوره‌ی زمانی، از قبل تعیین می‌شوند. هر کدام از پروژه‌های منتخب در هر دوره‌ی زمانی دارای یک سری سود مشخص هستند. هدف اصلی شامل انتخاب کردن زیرمجموعه‌ای از پروژه‌ها جهت بهینه کردن سود کلی پروژه‌های منتخب و حداقل کردن جمع تغییرات مطلق در منابع و بودجه تخصیص یافته به هر زوج از دوره‌های زمانی متوالی می‌باشد. برای این اساس مدل پایه زیر پیشنهاد می‌شود:

$$\text{Max} Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{T-d_i} b_{it} x_{it}$$

Subject to

$$\sum_{t=1}^{T-d_i+1} x_{it} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{T-d_i} c_{it} x_{it} \leq B \quad \forall i = 1, \dots, n \quad 1 \leq t \leq T - d_i$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=\max\{1, t-d_i+1\}}^{\min\{t, T-d_i+1\}} a_{ki} x_{ij} \leq r_{kt} \quad \forall (t, k)$$

$$\sum_{t=1}^{T-d_i+1} x_{it} + \sum_{t=1}^{T-d_h+1} x_{ht} \leq 1 \quad \forall i, h \in H_i$$

$$x_{it} \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1, \dots, n, 1 \leq t \leq T - d_i + 1 \quad (6)$$

شمارنده پروژه $i \in \{1, 2, \dots, N = n\}$	i, h
شمارنده دوره زمانی $j, t \in \{1, 2, \dots, J = T\}$	j, t
شمارنده منابع $k \in \{1, 2, \dots, M = m\}$	K
مجموعه پروژهها	N
تعداد پروژهها	N
مجموعه منابع	M
تعداد منابع	M
مجموعه دورههای زمانی	J
تعداد دورههای زمانی	T
مجموعه پروژههایی که نسبت به پروژه i مستقل نمی باشند	H_i
طول مدت اجرای پروژه i ام	d_i
نرخ استفاده از بودجه پروژه i ام در دوره زمانی t ام	c_{it}
نرخ استفاده از منبع k ام در پروژه i ام	a_{ki}
حجم موجود از منبع k ام در دوره i ام	r_{kt}
سود پروژه i ام در دوره زمانی t ام	b_{it}
کل بودجه در دسترس	B
این متغیر، یک متغیر تصمیم باینری است.	x_{it}

اگر که i در دوره t زمانی آغاز شود، این متغیر مقدار 1، در غیر این صورت مقدار 0 می گیرد.

رابطه (۱) درواقع توابع هدف اولیه می باشد (سود کل مورد انتظار). رابطه (۲) مشخص کننده زمان آغاز هر کدام از پروژهها می باشد. رابطه (۳) و (۴) تضمین می کند که محدودیت های بودجه و منابع، نقض نمی شوند. رابطه (۵) تضمین می کند که وابستگی متقابل در بین پروژهها، برقرار می باشد. رابطه (۶) نیز معرف متغیرهای تصمیم هستند.

مدل پایه را می توان براساس روش ارائه شده توسط برتسیماس و سیم (برتسیماس و سیم، ۲۰۰۴) به مدل استوار خطی زیر تبدیل کرد:

$$Max Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{T-d_i} b_{it} x_{it} \quad (7)$$

$$Subject \ t$$

$$\sum_{t=1}^{T-d_i+1} x_{it} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{T-d_i} c_{it} x_{it} \leq B \quad \forall i = 1, \dots, n \quad 1 \leq t \leq T - d_i \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{j \in W_j} a_{ki} x_{ij} + z_{kt} \Gamma_{kt} + \sum_{i \in I_1} \sum_{j \in W_j} \mu_{ktij} \leq B$$

$$\forall i = 1, \dots, n, j \in W_j \quad (10)$$

$$z_{kt} + \mu_{ktij} \geq d_3 a_{ki} x_{ij} \quad \forall i \in I_3, j \in W_j \quad (11)$$

$$\sum_{t=1}^{T-d_i+1} x_{it} + \sum_{t=1}^{T-d_h+1} x_{ht} \leq 1 \quad \forall i, h \in H_i \quad (12)$$

$$x_{it} \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1, \dots, n, t \leq T - d_i + 1 \quad (13)$$

$$\mu_{ktij} \geq 0 \quad \forall i \in I_3, j \in W_j \quad (14)$$

(۱۵)

$$z_{kt} \geq 0$$

در مدل توسعه یافته بالا، فرض نمودیم که منابع هر پروژه $i \in I$ در بازه‌ای نوسان دارد. این بازه به صورت $[a_{ki} - \hat{a}_{ki}, a_{ki}]$ تعریف می‌شود که I_3 مجموعه ضرایب غیرقطعی منابع $i \in I_3$ ، $\hat{a}_{ki}$ مقدار اسمی ضرایب منابع و $i \in I_3$ حداکثر میزان انحراف یا نوسان از مقدار اسمی می‌باشد (مقدار اسمی منابع، محتمل‌ترین مقدار است که برای منابع هر پروژه توسط مدیر پروژه تعیین می‌شود). با توجه به اینکه در رویکرد بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم، فرض بر این است که تعداد محدودی از ضرایب منابع می‌توانند در بردارنده‌ی بیشترین تغییرات تعیین شده برای آن‌ها باشند، پارامتر Γ_{kt} به عنوان هزینه استواری (هزینه متعادل‌سازی بین موجه بودن و بهینه بودن) تعریف می‌شود. وظیفه این پارامتر تنظیم استواری در مقابل سطح محافظه‌کاری جواب است. به عبارت دیگر، زیرمجموعه‌ای از ضرایب تابع تغییر می‌کنند و بر جواب نهایی مسئله تأثیر می‌گذارند. این پارامتر لزوماً مقدار صحیح نمی‌گیرد و در بازه $[I_3, 0]$ تغییر می‌کند. $|I_3|$ ، تعداد ضرایب غیرقطعی منابع است. سپس برای رعایت شرایط بیان شده، مجموعه s_3 به صورت $s_3 \subseteq I_3, |s_3| = |\Gamma_{kt}|$ تعریف می‌شود

نتایج محاسباتی

پس از توسعه مدل انتخاب و زمان‌بندی پروژه باهدف بیشینه‌سازی سود حاصل از پروژه‌های انتخابی و در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع و بودجه موردنیاز با لحاظ نمودن عدم قطعیت در منابع، در این بخش به تجزیه و تحلیل نتایج محاسباتی می‌پردازیم. بدین منظور، در ادامه ما یک مثال عددی کوچک و حل‌های امکان‌پذیر آن را با استفاده از نرم افزار Lingo ارائه می‌کنیم تا بدین وسیله جنبه‌های مختلف مساله و مدل، بررسی شوند.

در جدول ۱ روابط متقابل پروژه‌ها، جدول ۲ منابع در دسترس، جدول ۳ منابع موردنیاز و مدت زمان اجرایی، جدول ۴ بودجه موردنیاز اجرایی هر پروژه و در جدول ۵ سود مورد انتظار هر پروژه مشاهده می‌گردد. بازه‌ی زمانی (دوره) برابر با ۱۰ واحد زمانی و بودجه کل در دسترس ۵۰ واحد پولی در نظر گرفته شده است.

جدول (۱): روابط متقابل پروژه‌ها

مدت زمان انجام						پروژه
d_i	i	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	$i=5$
$d_1=4$	$i=1$	—	0	0	1	1
$d_2=5$	$i=2$	0	—	0	1	0
$d_3=3$	$i=3$	0	0	—	0	1
$d_4=2$	$i=4$	1	1	0	—	0
$d_5=4$	$i=5$	1	0	1	0	—

جدول (۲): منابع در دسترس در ۱۰ بازه زمانی

r_k	بازه زمانی										مدت زمان انجام
	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	$t=7$	$t=8$	$t=9$	$t=10$	
$r_1=4$	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	

جدول (۳): منابع مورد نیاز هر پروژه در ۱۰ بازه زمانی

بازه زمانی										پروژه	مدت زمان انجام
t=10	t=9	t=8	t=7	t=6	t=5	t=4	t=3	t=2	t=1	i	d_i
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	i=1	$d_1=4$
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	i=2	$d_2=5$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	i=3	$d_3=3$
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	i=4	$d_4=2$
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	i=5	$d_5=4$

جدول (۴): بودجه مورد نیاز هر پروژه در ۱۰ بازه زمانی

بازه زمانی										پروژه	مدت زمان انجام
t=10	t=9	t=8	t=7	t=6	t=5	t=4	t=3	t=2	t=1	i	d_i
0	0	0	22.5	20	18.5	17	16	14	12	i=1	$d_1=4$
0	0	0	0	23	19	18	16	14.5	13.5	i=2	$d_2=5$
0	0	19.5	18	17	14	12.5	10	8	7	i=3	$d_3=3$
0	17	15	13.5	12	9	8	7.5	5.5	4	i=4	$d_4=2$
0	0	0	26	24	21	19	17.5	16	14	i=5	$d_5=4$

جدول (۵): سود هر پروژه در ۱۰ بازه زمانی

بازه زمانی										پروژه	مدت زمان انجام
t=10	t=9	t=8	t=7	t=6	t=5	t=4	t=3	t=2	t=1	i	d_i
0	0	0	10	14	16	17	20	23	25	i=1	$d_1=4$
0	0	0	0	17	19	21	25	28	30	i=2	$d_2=5$
0	0	9	10	12	14	15	17	19	20	i=3	$d_3=3$
0	3	5	7	10	11	11	12	13	15	i=4	$d_4=2$
0	0	0	8	14	17	19	21	24	25	i=5	$d_5=4$

در نهایت به بررسی تغییرات سطح محافظه کاری مدیر پروژه در شرایط عدم قطعیت و تأثیر آن مدیر پروژه در شرایط عدم قطعیت و تأثیر آن بر جواب های مدل های استوار پرداخته می شود. در این مدل، با توجه به رویکرد برتسیماس و سیم جهت

توسعه مدل استوار انتخاب و زمان‌بندی پروژه در شرایط عدم قطعیت در منابع، در بازه‌ای نوسان دارند و تنها زیرمجموعه‌ای از ضرایب غیرقطعی منابع تغییر می‌کنند و نوسان در آن می‌تواند بر جواب نهایی مسئله تأثیرگذار باشند.

در این راستا، در این رویکرد پارامتر d_3 به عنوان بازه پارامترهای منابع دارای عدم قطعیت و پارامتر Γ_{kt} به عنوان هزینه استواری (بودجه متعادل‌سازی بین موجه بودن و بهینه بودن) یا تعیین‌کننده سطح محافظه‌کاری تصمیم‌گیرنده (به این معنا که تصمیم‌گیرنده مشخص می‌کند چه تعداد از ضرایب غیرقطعی منابع تغییر می‌کنند) تعریف شده است. در ادامه به منظور انجام تحلیل حساسیت بر روی سطح محافظه‌کاری مدیر پروژه و بررسی تأثیر آن‌ها بر تابع هدف مدل توسعه‌یافته ابتدا با توجه به زمان موردنیاز جهت اجرای پروژه یعنی همان میزان d_i ، حداکثر حالات ممکن جهت شروع پروژه‌ها در طول ۱۰ دوره زمانی بررسی و نتایج آن در جدول ۶ آمده است.

جدول (۶): امکان شروع پروژه در ۱۰ بازه زمانی

مدت زمان انجام d_i						
$d_5=4$	$d_4=2$	$d_3=3$	$d_2=5$	$d_1=4$	بازه زمان	Γ_{kt}
i=5	i=4	i=3	i=2	i=1		
x_{51}	x_{41}	x_{31}	x_{21}	x_{11}	$t = 1$	$\Gamma_{11} \leq 5$
x_{51}, x_{52}	x_{41}, x_{42}	x_{31}, x_{32}	x_{21}, x_{22}	x_{11}, x_{12}	$t = 2$	$\Gamma_{12} \leq 10$
x_{51}, x_{52}, x_{53}	x_{42}, x_{43}	x_{31}, x_{32}, x_{33}	x_{21}, x_{22}, x_{23}	x_{11}, x_{12}, x_{13}	$t = 3$	$\Gamma_{13} \leq 14$
$x_{51}, x_{52}, x_{53}, x_{54}$	x_{43}, x_{44}	x_{32}, x_{33}, x_{34}	$x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}$	$x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}$	$t = 4$	$\Gamma_{14} \leq 17$
$x_{52}, x_{53}, x_{54}, x_{55}$	x_{44}, x_{45}	x_{33}, x_{34}, x_{35}	$x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}$	$x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}$	$t = 5$	$\Gamma_{15} \leq 18$
$x_{53}, x_{54}, x_{55}, x_{56}$	x_{45}, x_{46}	x_{34}, x_{35}, x_{36}	$x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}, x_{26}$	$x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}$	$t = 6$	$\Gamma_{16} \leq 18$
$x_{54}, x_{55}, x_{56}, x_{57}$	x_{46}, x_{47}	x_{35}, x_{36}, x_{37}	$x_{23}, x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27}$	$x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}$	$t = 7$	$\Gamma_{17} \leq 17$
x_{55}, x_{56}, x_{57}	x_{47}, x_{48}	x_{36}, x_{37}, x_{38}	x_{24}, x_{25}, x_{26}	x_{15}, x_{16}, x_{17}	$t = 8$	$\Gamma_{18} \leq 14$
x_{56}, x_{57}	x_{48}, x_{49}	x_{37}, x_{38}	x_{25}, x_{26}	x_{16}, x_{17}	$t = 9$	$\Gamma_{19} \leq 10$
x_{57}	x_{49}	x_{38}	x_{26}	x_{17}	$t = 10$	$\Gamma_{110} \leq 5$

علاوه بر آن با توجه به اینکه در هر بازه زمانی حداکثر چه تعداد پروژه‌های امکان‌پذیر است شروع شود مشخص شده در هر بازه زمانی حداکثر چه تعداد از ضرایب غیرقطعی منابع تغییر می‌کنند و سطح محافظه‌کاری Γ_{kt} در هر بازه زمانی حداکثر تا چه میزان می‌توان مقدار بگیرد. در این بخش مدل استوار انتخاب و زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع در شرایط عدم قطعیت در منابع با در نظر گرفتن دو بازه برای عدم قطعیت در پارامتر منابع، در سطوح مختلف محافظه‌کاری موردبررسی قرار می‌دهیم.

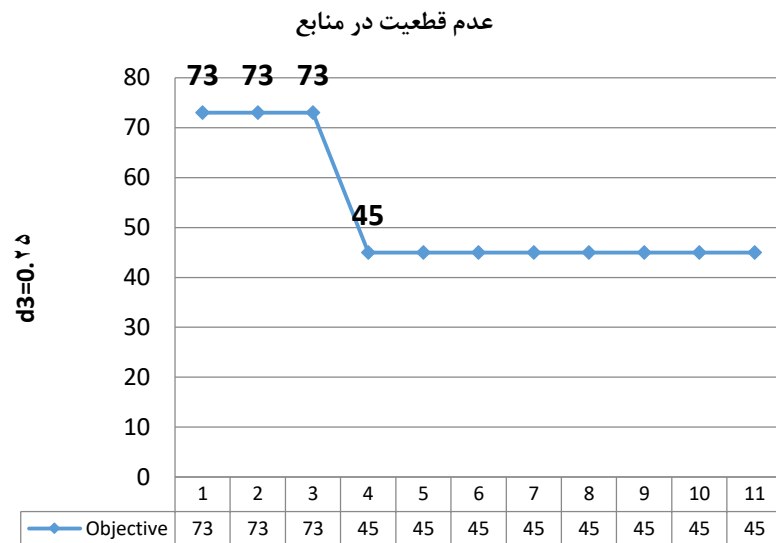
۴-۱ تجزیه تحلیل مدل استوار توسعه یافته در شرایط عدم قطعیت در منابع با بازه ۲۵٪

در این بخش با در نظر گرفتن بازه ۲۵٪ برای عدم قطعیت در پارامتر منابع و تعیین سطوح مختلف محافظه کاری در هر بازه زمانی به پارامتر Γ_{kt} مقدار داده و مدل توسعه یافته (مدل استوار انتخاب و زمان بندی پروژه با محدودیت منابع در شرایط عدم قطعیت در منابع) حل شده است. جواب های حاصل از اجرای مدل برای برخی سطوح محافظه کاری در جدول (۴-۷) گزارش شده است.

جدول (۷): حل مدل استوار توسعه یافته در شرایط عدم قطعیت در منابع $d3=0.25$

حالت	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
درصد انحراف	$d3=0$	$d3=0.25$	$d3=0.25$	$d3=0.25$	$d3=0.25$	$d3=0.25$	$d3=0.25$	$d3=0.25$	$d3=0.25$	$d3=0.25$	$d3=0.25$
پارامتر استوار	$\Gamma_{11}=0$	$\Gamma_{11}=0.5$	$\Gamma_{11}=1$	$\Gamma_{11}=1.5$	$\Gamma_{11}=2$	$\Gamma_{11}=2.5$	$\Gamma_{11}=3$	$\Gamma_{11}=3.5$	$\Gamma_{11}=4$	$\Gamma_{11}=4.5$	$\Gamma_{11}=5$
	$\Gamma_{12}=0$	$\Gamma_{12}=1$	$\Gamma_{12}=2$	$\Gamma_{12}=3$	$\Gamma_{12}=4$	$\Gamma_{12}=5$	$\Gamma_{12}=6$	$\Gamma_{12}=7$	$\Gamma_{12}=8$	$\Gamma_{12}=9$	$\Gamma_{12}=10$
	$\Gamma_{13}=0$	$\Gamma_{13}=1.4$	$\Gamma_{13}=2.8$	$\Gamma_{13}=4.2$	$\Gamma_{13}=5.6$	$\Gamma_{13}=7$	$\Gamma_{13}=8.4$	$\Gamma_{13}=9.8$	$\Gamma_{13}=11.2$	$\Gamma_{13}=12.6$	$\Gamma_{13}=14$
	$\Gamma_{14}=0$	$\Gamma_{14}=1.7$	$\Gamma_{14}=3.4$	$\Gamma_{14}=5.1$	$\Gamma_{14}=6.8$	$\Gamma_{14}=8.5$	$\Gamma_{14}=10.2$	$\Gamma_{14}=11.9$	$\Gamma_{14}=13.6$	$\Gamma_{14}=15.3$	$\Gamma_{14}=17$
	$\Gamma_{15}=0$	$\Gamma_{15}=1.8$	$\Gamma_{15}=3.6$	$\Gamma_{15}=5.4$	$\Gamma_{15}=7.2$	$\Gamma_{15}=9$	$\Gamma_{15}=10.8$	$\Gamma_{15}=12.6$	$\Gamma_{15}=14.4$	$\Gamma_{15}=16.2$	$\Gamma_{15}=18$
	$\Gamma_{16}=0$	$\Gamma_{16}=1.8$	$\Gamma_{16}=3.6$	$\Gamma_{16}=5.4$	$\Gamma_{16}=7.2$	$\Gamma_{16}=9$	$\Gamma_{16}=10.8$	$\Gamma_{16}=12.6$	$\Gamma_{16}=14.4$	$\Gamma_{16}=16.2$	$\Gamma_{16}=18$
	$\Gamma_{17}=0$	$\Gamma_{17}=1.7$	$\Gamma_{17}=3.4$	$\Gamma_{17}=5.1$	$\Gamma_{17}=6.8$	$\Gamma_{17}=8.5$	$\Gamma_{17}=10.2$	$\Gamma_{17}=11.9$	$\Gamma_{17}=13.6$	$\Gamma_{17}=15.3$	$\Gamma_{17}=17$
	$\Gamma_{18}=0$	$\Gamma_{18}=1.4$	$\Gamma_{18}=2.8$	$\Gamma_{18}=4.2$	$\Gamma_{18}=5.6$	$\Gamma_{18}=7$	$\Gamma_{18}=8.4$	$\Gamma_{18}=9.8$	$\Gamma_{18}=11.2$	$\Gamma_{18}=12.6$	$\Gamma_{18}=14$
	$\Gamma_{19}=0$	$\Gamma_{19}=1$	$\Gamma_{19}=2$	$\Gamma_{19}=3$	$\Gamma_{19}=3$	$\Gamma_{19}=5$	$\Gamma_{19}=6$	$\Gamma_{19}=7$	$\Gamma_{19}=8$	$\Gamma_{19}=9$	$\Gamma_{19}=10$
	$\Gamma_{110}=0$	$\Gamma_{110}=0.5$	$\Gamma_{110}=1$	$\Gamma_{110}=1.5$	$\Gamma_{110}=2$	$\Gamma_{110}=2.5$	$\Gamma_{110}=3$	$\Gamma_{110}=3.5$	$\Gamma_{110}=4$	$\Gamma_{110}=4.5$	$\Gamma_{110}=5$
هدف	73	73	73	45	45	45	45	45	45	45	45
x_{11}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
x_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{17}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{21}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{22}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{23}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{24}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{25}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{26}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{31}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
x_{32}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{33}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{34}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{35}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{36}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{37}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{38}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{41}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{42}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{43}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{44}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{45}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{46}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{47}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{48}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{49}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{51}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{52}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{53}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{54}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{55}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{56}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{57}



نمودار (۱): تغییرات مقدار تابع هدف در مقابل هزینه استواری در شرایط عدم قطعیت ۲۵٪ در منابع پروژه ها

همان‌طور که در جدول (۷) و شکل (۱) ملاحظه می‌گردد با افزایش تعداد ضرایب غیرقطعی منابع یعنی Γ_{kt} و وجود عدم قطعیت در منابع مدل، میزان تابع هدف مدل یعنی سود حاصل از سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انتخابی نسبت به حالت قطعی کاهش می‌یابد. نکته دیگر، در برخی حالات حتی مقدار متغیر تصمیم نیز با افزایش Γ_{kt} تغییر می‌نماید، به‌طور مثال در حالت قطعی، پروژه دوم در زمان دوم شروع می‌شود و x_{22} مقدار ۱ می‌گیرد ولی با افزایش گاما از حالت C به بعد دیگر پروژه دوم جزء پروژه‌های انتخابی نمی‌باشد و مقدارش از یک به صفر تغییر می‌یابد. بدین ترتیب مدیر پروژه، می‌تواند طبق جدول (۷) با توجه به عدم قطعیت ۲۵٪ در منابع و سطوح محافظه‌کاری مختلف جهت بدست آوردن بیشینه سود، پروژه‌های مطلوب را انتخاب و جهت زمان مناسب شروع پروژه تصمیم‌گیری نماید.

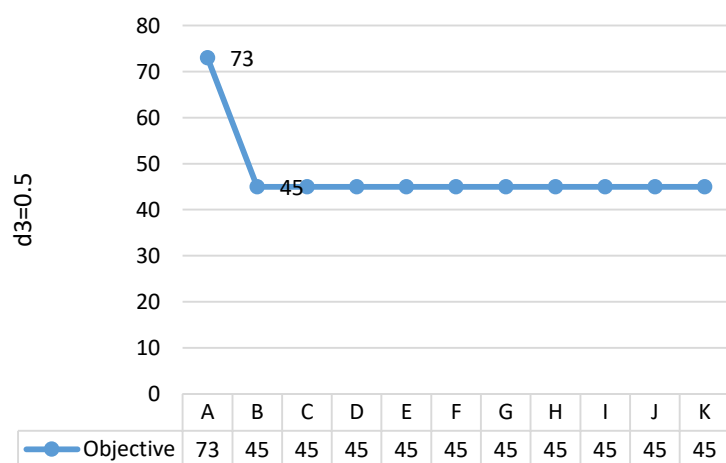
۴-۲-۲ تجزیه تحلیل مدل استوار توسعه‌یافته: در شرایط عدم قطعیت در منابع با بازه ۵۰٪

در ادامه این بخش، با تغییر بازه مربوط به عدم قطعیت در پارامتر غیرقطعی منابع به بررسی تأثیر تغییرات بر تابع هدف مدل توسعه‌یافته در شرایط عدم قطعیت در منابع پروژه‌ها پرداخته شده است. جواب‌های حاصل از اجرای مدل برای برخی سطوح محافظه‌کاری با عدم قطعیت ۵۰٪ در پارامتر منابع در جدول (۴-۸)، ارائه شده است.

جدول (۸): حل مدل استوار توسعه‌یافته: در شرایط عدم قطعیت در منابع $d3=0.5$

K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	حالت
$d3=0.5$	$d3=0.5$	$d3=0.5$	$d3=0.5$	$d3=0.5$	$d3=0.5$	$d3=0.5$	$d3=0.5$	$d3=0.5$	$d3=0.5$	$d3=0$	درصد انحراف
$\Gamma_{11}=5$	$\Gamma_{11}=4.5$	$\Gamma_{11}=4$	$\Gamma_{11}=3.5$	$\Gamma_{11}=3$	$\Gamma_{11}=2.5$	$\Gamma_{11}=2$	$\Gamma_{11}=1.5$	$\Gamma_{11}=1$	$\Gamma_{11}=0.5$	$\Gamma_{11}=0$	۹۰٪ ۸۰٪ ۷۰٪ ۶۰٪ ۵۰٪ ۴۰٪ ۳۰٪ ۲۰٪ ۱۰٪ ۰٪
$\Gamma_{12}=10$	$\Gamma_{12}=9$	$\Gamma_{12}=8$	$\Gamma_{12}=7$	$\Gamma_{12}=6$	$\Gamma_{12}=5$	$\Gamma_{12}=4$	$\Gamma_{12}=3$	$\Gamma_{12}=2$	$\Gamma_{12}=1$	$\Gamma_{12}=0$	
$\Gamma_{13}=14$	$\Gamma_{13}=12.6$	$\Gamma_{13}=11.2$	$\Gamma_{13}=9.8$	$\Gamma_{13}=8.4$	$\Gamma_{13}=7$	$\Gamma_{13}=5.6$	$\Gamma_{13}=4.2$	$\Gamma_{13}=2.8$	$\Gamma_{13}=1.4$	$\Gamma_{13}=0$	
$\Gamma_{14}=17$	$\Gamma_{14}=15.3$	$\Gamma_{14}=13.6$	$\Gamma_{14}=11.9$	$\Gamma_{14}=10.2$	$\Gamma_{14}=8.5$	$\Gamma_{14}=6.8$	$\Gamma_{14}=5.1$	$\Gamma_{14}=3.4$	$\Gamma_{14}=1.7$	$\Gamma_{14}=0$	
$\Gamma_{15}=18$	$\Gamma_{15}=16.2$	$\Gamma_{15}=14.4$	$\Gamma_{15}=12.6$	$\Gamma_{15}=10.8$	$\Gamma_{15}=9$	$\Gamma_{15}=7.2$	$\Gamma_{15}=5.4$	$\Gamma_{15}=3.6$	$\Gamma_{15}=1.8$	$\Gamma_{15}=0$	
$\Gamma_{16}=18$	$\Gamma_{16}=16.2$	$\Gamma_{16}=14.4$	$\Gamma_{16}=12.6$	$\Gamma_{16}=10.8$	$\Gamma_{16}=9$	$\Gamma_{16}=7.2$	$\Gamma_{16}=5.4$	$\Gamma_{16}=3.6$	$\Gamma_{16}=1.8$	$\Gamma_{16}=0$	
$\Gamma_{17}=17$	$\Gamma_{17}=15.3$	$\Gamma_{17}=13.6$	$\Gamma_{17}=11.9$	$\Gamma_{17}=10.2$	$\Gamma_{17}=8.5$	$\Gamma_{17}=6.8$	$\Gamma_{17}=5.1$	$\Gamma_{17}=3.4$	$\Gamma_{17}=1.7$	$\Gamma_{17}=0$	
$\Gamma_{18}=14$	$\Gamma_{18}=12.6$	$\Gamma_{18}=11.2$	$\Gamma_{18}=9.8$	$\Gamma_{18}=8.4$	$\Gamma_{18}=7$	$\Gamma_{18}=5.6$	$\Gamma_{18}=4.2$	$\Gamma_{18}=2.8$	$\Gamma_{18}=1.4$	$\Gamma_{18}=0$	

$\Gamma_{19}=10$	$\Gamma_{19}=9$	$\Gamma_{19}=8$	$\Gamma_{19}=7$	$\Gamma_{19}=6$	$\Gamma_{19}=5$	$\Gamma_{19}=3$	$\Gamma_{19}=3$	$\Gamma_{19}=2$	$\Gamma_{19}=1$	$\Gamma_{19}=0$	
$\Gamma_{110}=5$	$\Gamma_{110}=4.5$	$\Gamma_{110}=4$	$\Gamma_{110}=3.5$	$\Gamma_{110}=3$	$\Gamma_{110}=2.5$	$\Gamma_{110}=2$	$\Gamma_{110}=1.5$	$\Gamma_{110}=1$	$\Gamma_{110}=0.5$	$\Gamma_{110}=0$	
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	73	هدف
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	x_{11}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{12}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{13}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{14}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{15}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{16}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{17}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{21}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	x_{22}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{23}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{24}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{25}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{26}
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	x_{31}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{32}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{33}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{34}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{35}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{36}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{37}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{38}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{41}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{42}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{43}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{44}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{45}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{46}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{47}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{48}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{49}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{51}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{52}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{53}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{54}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{55}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{56}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x_{57}



نمودار (۴): تغییرات مقدار تابع هدف در مقابل هزینه استواری در شرایط عدم قطعیت ۵۰٪ در منابع پروژهها همانطور که در جدول (۸) و شکل (۲) ملاحظه می‌گردد با افزایش تعداد ضرایب غیرقطعی منابع یعنی Γ_{kt} و وجود عدم قطعیت در منابع مدل، میزان تابع هدف مدل یعنی سود حاصل از سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انتخابی نسبت به حالت قطعی

کاهش می‌یابد. نکته دیگر، در برخی حالات حتی مقدار متغیر تصمیم نیز با افزایش Γ_{kt} تغییر می‌نماید، به‌طور مثال در حالت قطعی x_{31} و x_{11} و x_{22} ، انتخاب‌شده‌اند و پروژه دوم در زمان دوم شروع می‌شود و x_{22} مقدار ۱ می‌گیرد ولی با افزایش Γ_{kt} از حالت B به بعد دیگر پروژه دوم جزء پروژه‌های انتخابی نمی‌باشد و مقدارش از یک به صفر تغییر می‌یابد. بدین ترتیب مدیر پروژه، می‌تواند طبق جدول (۸) با توجه به عدم قطعیت ۵۰٪ در منابع و محافظه‌کاری مختلف جهت بدست آوردن بیشینه سود، پروژه‌های مطلوب را انتخاب و جهت زمان مناسب شروع پروژه تصمیم‌گیری نماید.

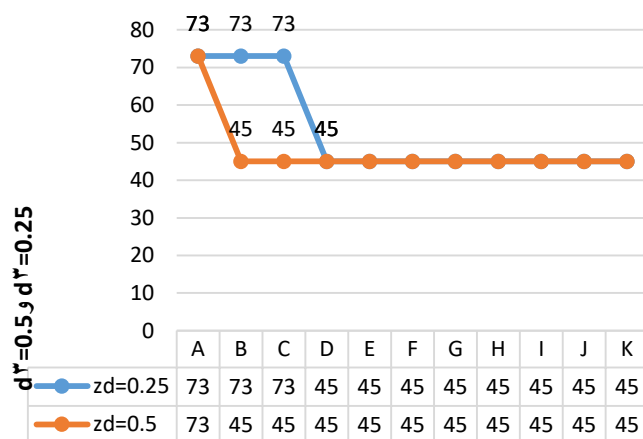
۴-۲-۳ مقایسه دو مدل استوار توسعه‌یافته در شرایط عدم قطعیت در منابع با بازه ۲۵٪ و ۵۰٪:

در ادامه به بررسی تأثیر تغییرات بازه مربوط به عدم قطعیت در پارامتر غیرقطعی منابع بر تابع هدف مدل توسعه‌یافته (در شرایط عدم قطعیت در منابع پروژه‌ها) پرداخته شده است. جواب‌های حاصل از اجرای مدل برای برخی سطوح محافظه‌کاری با عدم قطعیت ۵۰٪ و ۲۵٪ در پارامتر منابع در جدول (۹)، ارائه شده است.

جدول (۹): حل مدل استوار توسعه‌یافته ۱: در شرایط عدم قطعیت در منابع ۲۵٪ و ۵۰٪

حالت	هزینه استواری									
V	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
$\Gamma_{11}=0$	$\Gamma_{11}=0.5$	$\Gamma_{11}=1$	$\Gamma_{11}=1.5$	$\Gamma_{11}=2$	$\Gamma_{11}=2.5$	$\Gamma_{11}=3$	$\Gamma_{11}=3.5$	$\Gamma_{11}=4$	$\Gamma_{11}=4.5$	$\Gamma_{11}=5$
$\Gamma_{12}=0$	$\Gamma_{12}=1$	$\Gamma_{12}=2$	$\Gamma_{12}=3$	$\Gamma_{12}=4$	$\Gamma_{12}=5$	$\Gamma_{12}=6$	$\Gamma_{12}=7$	$\Gamma_{12}=8$	$\Gamma_{12}=9$	$\Gamma_{12}=10$
$\Gamma_{13}=0$	$\Gamma_{13}=1.4$	$\Gamma_{13}=2.8$	$\Gamma_{13}=4.2$	$\Gamma_{13}=5.6$	$\Gamma_{13}=7$	$\Gamma_{13}=8.4$	$\Gamma_{13}=9.8$	$\Gamma_{13}=11.2$	$\Gamma_{13}=12.6$	$\Gamma_{13}=14$
$\Gamma_{14}=0$	$\Gamma_{14}=1.7$	$\Gamma_{14}=3.4$	$\Gamma_{14}=5.1$	$\Gamma_{14}=6.8$	$\Gamma_{14}=8.5$	$\Gamma_{14}=10.2$	$\Gamma_{14}=11.9$	$\Gamma_{14}=13.6$	$\Gamma_{14}=15.3$	$\Gamma_{14}=17$
$\Gamma_{15}=0$	$\Gamma_{15}=1.8$	$\Gamma_{15}=3.6$	$\Gamma_{15}=5.4$	$\Gamma_{15}=7.2$	$\Gamma_{15}=9$	$\Gamma_{15}=10.8$	$\Gamma_{15}=12.6$	$\Gamma_{15}=14.4$	$\Gamma_{15}=16.2$	$\Gamma_{15}=18$
$\Gamma_{16}=0$	$\Gamma_{16}=1.8$	$\Gamma_{16}=3.6$	$\Gamma_{16}=5.4$	$\Gamma_{16}=7.2$	$\Gamma_{16}=9$	$\Gamma_{16}=10.8$	$\Gamma_{16}=12.6$	$\Gamma_{16}=14.4$	$\Gamma_{16}=16.2$	$\Gamma_{16}=18$
$\Gamma_{17}=0$	$\Gamma_{17}=1.7$	$\Gamma_{17}=3.4$	$\Gamma_{17}=5.1$	$\Gamma_{17}=6.8$	$\Gamma_{17}=8.5$	$\Gamma_{17}=10.2$	$\Gamma_{17}=11.9$	$\Gamma_{17}=13.6$	$\Gamma_{17}=15.3$	$\Gamma_{17}=17$
$\Gamma_{18}=0$	$\Gamma_{18}=1.4$	$\Gamma_{18}=2.8$	$\Gamma_{18}=4.2$	$\Gamma_{18}=5.6$	$\Gamma_{18}=7$	$\Gamma_{18}=8.4$	$\Gamma_{18}=9.8$	$\Gamma_{18}=11.2$	$\Gamma_{18}=12.6$	$\Gamma_{18}=14$
$\Gamma_{19}=0$	$\Gamma_{19}=1$	$\Gamma_{19}=2$	$\Gamma_{19}=3$	$\Gamma_{19}=3$	$\Gamma_{19}=5$	$\Gamma_{19}=6$	$\Gamma_{19}=7$	$\Gamma_{19}=8$	$\Gamma_{19}=9$	$\Gamma_{19}=10$

انحراف درصد	d3=0										هدف
	$\Gamma_{110}=5$	$\Gamma_{110}=4.5$	$\Gamma_{110}=4$	$\Gamma_{110}=3.5$	$\Gamma_{110}=3$	$\Gamma_{110}=2.5$	$\Gamma_{110}=2$	$\Gamma_{110}=1.5$	$\Gamma_{110}=1$	$\Gamma_{110}=0.5$	$\Gamma_{110}=0$
	45	45	45	45	45	45	45	45	73	73	73
	X11	X11	X11	X11	X11	X11	X11	X11	X11	X11	X11
	X31	X31	X31	X31	X31	X31	X31	X31	X31	X22	X22
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X31	X31
انحراف درصد	d3=0.5										هدف
	$\Gamma_{110}=5$	$\Gamma_{110}=4.5$	$\Gamma_{110}=4$	$\Gamma_{110}=3.5$	$\Gamma_{110}=3$	$\Gamma_{110}=2.5$	$\Gamma_{110}=2$	$\Gamma_{110}=1.5$	$\Gamma_{110}=1$	$\Gamma_{110}=0.5$	$\Gamma_{110}=0$
	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	73
	X11	X11	X11	X11	X11	X11	X11	X11	X11	X11	X11
	X31	X31	X31	X31	X31	X31	X31	X31	X31	X31	X22
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X31



نمودار (۳): مقایسه تغییرات مقدار تابع هدف در مقابل هزینه استواری در شرایط عدم قطعیت ۲۵٪ و ۵۰٪ در منابع پروژه ها همان طور که پیش تر توضیح داده شد، مقدار d_3 نشان دهنده انحراف مربوط به پارامتر غیرقطعی منابع مدل می باشد. هدف از آوردن جدول (۴-۹) و شکل (۴-۳) مقایسه مدل استوار توسعه یافته (در شرایط عدم قطعیت در منابع) بر اساس مقادیر مختلف میزان انحراف مربوط به پارامتر غیرقطعی منابع می باشد. بدین صورت که مقدار d_3 از ۰٫۲۵ به ۰٫۵ افزایش یافته است.

یعنی بازه مربوط به عدم قطعیت پارامترهای غیرقطعی مدل بزرگ‌تر گردیده، آنگاه همان‌طور که ملاحظه می‌گردد ممکن است با افزایش Γ_{kt} تابع هدف مدل در $d_3=0,5$ از تابع هدف مدل در $d_3=0,25$ زودتر افت کند. علاوه بر آن جواب‌های مدل یعنی پروژه‌های انتخابی و زمان شروع آن‌ها نیز با تغییر بازه پارامتر غیرقطعی ممکن است تغییر نمایند. به‌طور مثال برای نشان دادن تحلیل حساسیت جواب‌ها به ازای دو d_3 مختلف (۰,۲۵ و ۰,۵)، پروژه دوم را در نظر بگیرید در $d_3=0,5$ با افزایش سطح محافظه‌کاری پارامتر منابع از حالت C به بعد پروژه دوم پروژه انتخابی ما نمی‌باشد ولی در $d_3=0,5$ با افزایش Γ_{kt} از حالت B به بعد پروژه دوم پروژه انتخابی ما نمی‌باشد.

۵- نتیجه گیری

با توجه به بازارهای رقابتی امروزی، مسئله انتخاب و زمان‌بندی پروژه، یکی از مسائلی است که همیشه شرکت‌ها و سازمان‌ها با آن سروکار دارند و نقش غیرقابل‌انکاری در میزان موفقیت و ادامه حیات و روند رو به رشد شرکت‌ها دارد. مساله مذکور، شامل انتخاب کردن یک سبد بهینه از پروژه‌ها در بین پروژه‌های مختلف با توجه به محدودیت‌های ذاتی سازمانی است که از جمله‌ی این محدودیت‌ها می‌توان به محدودیت بودجه و منابع موجود اشاره کرد. از سوی دیگری در دنیای واقعی، پروژه‌ها همواره با عدم قطعیت مواجه هستند. در نظر نگرفتن این عدم قطعیت در انتخاب و زمان‌بندی پروژه‌ها می‌تواند اثر منفی بگذارد و دستیابی به اهداف پروژه را مورد تهدید قرار دهد. با توجه به این مسئله در این تحقیق، از رویکرد بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم جهت لحاظ نمودن نوسان و عدم قطعیت منابع پروژه‌ها، در انتخاب و زمان‌بندی پروژه‌ها استفاده شده است. همچنین تحلیل حساسیتی بر روی سطح محافظه‌کاری مدیر پروژه در رویکرد بهینه‌سازی استوار در شرایط عدم قطعیت انجام شده است. با توجه به نتایج حاصل در حالت عدم قطعیت، مقدار سود پروژه، روند بدتر شدن را دنبال می‌کند. روند بدتر شدن مقدار بهینه، نشان دهنده تأثیر عدم قطعیت پارامترها در مدل است و تصویر بهتر و ملموس‌تری از واقعیت مسئله انتخاب و زمان‌بندی پروژه‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج و یافته‌های این تحقیق، مهم‌ترین پیشنهاداتی که می‌تواند به‌عنوان چارچوبی برای تحقیقات آتی مدنظر قرار گیرند، عبارت‌اند از: استوار سازی مساله انتخاب و زمان‌بندی پروژه با تمرکز بر زمان‌بندی در سطح فعالیت‌ها به‌جای زمان‌بندی زمان کل اجرای پروژه. اضافه کردن هدف کمینه کردن تغییرات در نرخ استفاده از منابع و استوار سازی آن. چند هدف در نظر گرفتن مدل و استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی برای حل مدل و در نظر گرفتن عدم قطعیت به‌صورت هم‌زمان. استفاده از روش‌های فرا ابتکاری برای حل مدل در شرایط پیچیده‌تر از لحاظ اهداف و محدودیت‌ها و همچنین مقیاس بزرگ‌تر.

منابع

- آذر، ع. نجفی، ا. نجفی، س. (۱۳۹۰) "مدل سازی ریاضی استوار، رویکردی نوین در بودجه ریزی عمومی ایران"، نشریه علمی پژوهشی مدیریت در ایران، ۲، ۱۹-۱.
- تاتینا، ش. عشقی، ک. (۱۳۸۸) "رأیه مدل‌های پایدار به منظور استخراج وزن از ماتریس مقایسات زوجی بازه‌یی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی"، مجله علمی پژوهشی مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۱، ۶۵-۸۱.
- شکوهی، ا. شهریار، ح. (۱۳۸۹) "رویکرد بهینه‌سازی استوار در تخصیص منابع در سیستم نگهداری و تعمیرات"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۱، ۲۵-۳۳.
- ربیع، م. آذر، ع. مدرس یزدی، م. فطانت فرد حقیقی، م. (۱۳۹۰) "طراحی مدل ریاضی منبع یابی استوار چندهدفه: رویکردی در کاهش ریسک زنجیره تأمین (مورد مطالعه: زنجیره تأمین ایران خودرو)"، فصلنامه علمی پژوهشی چشم انداز مدیریت صنعتی، ۱، ۵۷-۷۷.
- محمدزاده، م. محبتی کلجایی، ن. (۱۳۸۷) "بررسی مفهوم عدم قطعیت در پروژه و چرایی و چگونگی مدیریت عدم قطعیت: فراتر از مدیریت فرصت‌ها و تهدیدات"، چهارمین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه.
- Afshar, a. and Kavek, A. and Shoghli, O. (2007). Multi-Objective Optimization of Time-Cost-Quality Using Multi-Colony Ant algorithm., Asian J. of Civil Eng. (Building and Housing), 8, 113-124.

7. Artigues, c. and Leus, R. and Nibibon, F. T. (2013). Robust Optimization for Resource-Constraint Project scheduling with Uncertain Activity Duration., Flexible Services and Manufacturing, 25, 175-205.
8. Ben-Tal, A. and Nemirovski, A. (2000). Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data., Mathematical Programming, 88, 411-424.
9. Bertsimas, D. and Sim, M. (2003). Robust discrete optimization and network flows., Mathematical Programming, 98, 49-71.
10. Bertsimas, D. and Sym, M. (2004). The price of the robustness., Operation Research, 52, 35-53.
11. Dantzig, G. B. (1995). Linear Programming Under Uncertainty., Management Science, 1, 197-206.
12. El-Ghaoui, L. and Oustry, F. and Lebret, H. (1998). Robust solution to uncertain semidefinite programs., SIAM J.Optim., 9, 32-52.
13. Hazir, O. and Erel, E. and Gu"nalay, Y. (2011). Robust optimization models for the discrete time/cost trade- off problem., Int. J. Production Economics, 130, 87-95.
14. Kouvelis, P. and Yu, G. (1997). Robust discrete optimization and its applications., Kluwer Academic Publishers, 14, 358.
15. Mulvey, J. and Vanderbei, R. and Zenios, S. (1995). Robust optimization of large scale system., Oper. Res, 43, 264-281.
16. Soyster, A. (1973). Convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming., Operation Research, 21, 1154-1157.

بررسی رقابت میان دو زنجیره تامین حلقه باز و بسته تحت سیاست های دولت با رویکرد نظریه بازی ها

تیناهادی^۱

۱- کارشناسی ارشد، tina.hadi66@gmail.com

چکیده:

به طور کلی زنجیره تامین زنجیره ای است که همه فعالیتهای مرتبط با جریان کالا و تبدیل مواد، از مرحله تهیه ماده اولیه تا مرحله تحویل کالای نهایی به مصرف کننده را شامل می شود. در بسیاری از زنجیره های تامین، اجزاء زنجیره، واحدهای متعارض با یکدیگر بوده که این امر مدیریت یکپارچه و هماهنگی اجزاء در زنجیره را دشوار می سازد. امروزه تئوری بازی، به ابزاری کارا در تحلیل زنجیره های تامین با اهداف متعارض چندگانه تبدیل شده است. در این تحقیق ابتدا مفاهیم کلیدی زنجیره تامین بیان میشود و پس از شرح دلیل نیاز به مفهوم تئوری بازی، به ارائه مفاهیم کلی و نیز مفاهیم خاص مورد استفاده در زنجیره تامین پرداخته می شود. در بخش پایانی نیز با محدود کردن مطالعات به مفاهیم و کاربرد تئوری بازی در زنجیره تامین حلقه بسته، مطالعات انجام شده طبقه بندی و ارائه می شود. در ادامه به مدلسازی رقابت میان زنجیره ای تامین حلقه بسته و حلقه باز تحت دخالت دولت می پردازیم. در انتها با کمک مثال عددی به بررسی نتایج می پردازیم.

کلمات کلیدی: زنجیره تامین، زنجیره تامین حلقه بسته، نظریه بازی ها، استراتژی، مداخله دولت.

۱- مقدمه

در سال های اخیر توجه بسیار زیادی به مسائل زیست محیطی، الزامات قانونی و نیز منافع اقتصادی ناشی از فعالیت باز تولید سبب توجه به فعالیت های لجستیک معکوس به صورت یک زنجیره تامین حلقه بسته چه در حوزه صنعت و چه در زمینه تحقیقات علمی شده است. (پاراهین شین و همکاران^۱، ۲۰۰۶) زنجیره ای که از ترکیبی از سیستم تولید و باز تولید استفاده می کند یک زنجیره ای تامین حلقه بسته است. (ساواشکان و همکاران^۲، ۲۰۰۴) یک زنجیره ای تامین حلقه بسته شامل یک زنجیره ای تامین رو به جلو و مستقیم و یک زنجیره ای تامین معکوس به صورت توأمان است. زنجیره ای تامین معکوس می تواند به صورت فعالیتهای لجستیکی برای جمع آوری کالاهای استفاده شده ای مشتری جهت تولید مجدد و قابل استفاده بودن آن در بازار تعریف شود. (کیم^۳ و همکاران، ۲۰۰۶) در واقع یک زنجیره ای تامین حلقه بسته ای ساده می تواند شامل تولید کننده، توزیع کننده و یک بخش شامل جمع آوری کننده محصولات استفاده شده ای مشتری باشد که به وسیله ای زیر ساخت حمل و نقل، اطلاعات و مالی به یکدیگر متصلند.

^۱ . C.Parahinshi et al

^۲ . R.C.Savashkan et

^۳ . K.Kim et al

از زمان ایجاد نظریه‌ی بازی‌ها در اوایل دهه‌ی ۱۹۴۰ تا به حال این دانش کاربردهای بسیار زیادی در زمینه‌های گوناگون داشته است به طوریکه جوایز نوبل اقتصاد در سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ مربوط به فعالیت‌هایی در زمینه‌ی نظریه‌ی بازی‌ها بوده است. نظریه‌ی بازی‌ها با تحلیل شرایطی که در برگزیده‌ی رقابت و همکاری است مرتبط بوده و یکی از قابل ملاحظه‌ترین و جذاب‌ترین عنوان‌های رشدیافته در زمینه‌ی زنجیره‌ی تامین و رقابت میان اعضای زنجیره‌ی تامین است. لذا نظریه‌ی بازی‌ها یکی از ابزارهای بسیار کاربردی در بررسی مسائل زنجیره‌ی تامین است.

تشدید صحنه رقابت جهانی در محیطی که به صورت دائم در حال تغییر است ضرورت واکنش مناسب شرکت‌ها و سازمان‌های تولیدی- صنعتی را دو چندان کرده است و بر انعطاف پذیری آنها با محیط نامطمئن خارجی پای می‌فشارد و سازمان‌های امروزی در عرصه‌ی ملی و جهانی به منظور کسب جایگاهی مناسب و حفظ آن نیازمند بهره‌گیری از الگوی مناسب همچون مدیریت زنجیره‌ی تامین در راستای تحقق مزیت رقابتی و انتظارات مشتریان است.

در طول دهه‌های اخیر، مدیران شاهد یک دوره تغییرات شگرف جهانی به واسطه‌ی پیشرفت در تکنولوژی، جهانی شدن بازارها و تثبیت اقتصاد سیاسی بوده اند. با افزایش تعداد رقبا در کلاس جهانی، سازمان‌ها مجبور شدند که سریعاً فرایندهای را برای باقی ماندن در صحنه‌ی رقابت بهبود بخشند.

مجموعه‌ای از روش‌های مورد استفاده برای یکپارچگی موثر و کارای تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشندگان به گونه‌ای که به منظور حداقل کردن هزینه‌های سیستم و تحقق نیازهای خدمات، کالاها به تعداد صحیح در مکان مناسب و در زمان مناسب تولید و توزیع گردند.

مدیریت زنجیره‌ی تامین هماهنگی در تولید، موجودی، مکان یابی و حمل و نقل بین شرکت‌کنندگان در یک زنجیره‌ی تامین است برای دستیابی به بهترین ترکیب پاسخگویی و کارایی برای موفقیت در بازار.

زنجیره‌ی تامین بر تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل کالاها از مرحله‌ی ماده‌ی خام تا تحویل به مصرف‌کننده‌ی نهایی و نیز جریان‌های اطلاعاتی مرتبط با آنها مشتمل می‌شود. به طور کلی زنجیره‌ی تامین زنجیره‌ای است که همه‌ی فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا و تبدیل مواد، از مرحله تهیه‌ی ماده‌ی اولیه تا مرحله‌ی تحویل کالای نهایی به مصرف‌کننده را شامل می‌شود. درباره‌ی جریان کالا دو جریان دیگر که یکی اطلاعات و دیگری جریان منابع مالی و اعتبارات است نیز حضور دارند. (لادون و لادون^۱، ۲۰۰۲)

در مفاهیم متاخر زنجیره‌ی تامین، مدل‌هایی مانند زنجیره تامین حلقه بسته و سبز نیز مطرح بوده اند که جریان مواد در این زنجیره‌ها می‌توانند به عقب نیز باشند.

در تعریفی دیگر می‌توان زنجیره تامین را به صورت شبکه‌ای از سازمان‌ها که با ارتباطی بالا دستی به پایین دستی در فعالیت‌ها و فرایندهایی در برگزیده و به صورت محصولات و خدمات ارائه شده به مشتری نهایی تولید ارزش می‌کنند. به طور وسیع‌تر یک زنجیره‌ی تامین شامل دو یا چند سازمان است که از نظر قانونی از هم جدا بوده و توسط جریان‌ها مواد، اطلاعات و مالی به هم مرتبط هستند. این سازمان‌ها می‌توانند شرکت‌هایی باشند که قطعات اجزای تشکیل دهنده محصولات نهایی تولید می‌کنند و حتی فراهم‌کنندگان خدمات تهیه و توزیع (لجستیک) و خود مشتری نهایی را نیز در برگزیده (استادتر^۲، ۲۰۰۵)

تقریباً حدود ۵۰ درصد از محصولات در طول فرایند ساخت نیاز به دوباره کاری و اصلاح دارند که مجموع این بازگشت‌ها، هزینه‌ای در پی خواهد داشت. با دانستن اینکه هزینه پردازش یک محصول مرجوعی ممکن است دو تا سه برابر هزینه حمل و نقل بیرونی آن باشد، بیشتر به اهمیت مقوله‌ی لجستیک معکوس در صنایع می‌پردازیم. از جمله مباحثی که امروزه در حوزه‌ی لجستیک مدیریت زنجیره‌ی تامین صنایع مختلف مطرح است، موضوع لجستیک معکوس و مدیریت بازگشتی‌ها است، موضوعی که به نظر می‌رسد در صنایع مختلف کشورمان به آن توجه جدی نشده است.

^۱ . Laudon & laudon

^۲ . Stadter

لجستیک معکوس را می‌توان به این صورت تعریف کرد: هماهنگی و کنترل کامل و بارگیری و تحویل فیزیکی مواد، قطعات و محصولات از محل مصرف به محل عملیات و بازیابی با دفع و سپس بازگرداندن متعاقب به محل مصرف در موارد مناسب است. لجستیک معکوس بیانگر آن بخش از فعالیت‌های مدیریت زنجیره‌ی تامین است که فعالسیت‌های مربوط به بازگشتی‌ها، کنترل ورودی‌ها و اجتناب دوباره‌کاری‌ها را در درون بنگاه و بین اعضای مختلف یک زنجیره‌ی تامین مدیریت می‌کند. به کارگیری این فرایندها نه تنها مدیریت را قادر می‌سازد که جریان محصولات بازگشتی را به طور صحیح مدیریت کنند، بلکه تشخیص فرصت‌هایی برای کاهش بازگشتی‌های ناخواسته و کنترل سرمایه‌های قابل استفاده مجدد می‌شود. مدیریت موثر بازگشتی‌ها یک بخش مهم در زنجیره‌ی تامین است که فرصت حصول یک مزیت رقابتی پایدار را برای زنجیره‌ی تامین فراهم می‌سازد.

در بسیاری از زنجیره‌های تامین، اجزاء زنجیره، واحدهای متعارض با یکدیگر هستند. در این زنجیره‌ها، مدیریت یکپارچه و هماهنگ اجزاء، بسیار دشوار می‌باشد. حال سوال اصلی این است که چگونه با وجود رقابت و تعارض در بین اجزاء می‌توان آنها را به تعادل در زنجیره رساند؟

به طور کلی، امروزه تئوری بازی‌ها، به ابزاری ضروری در تحلیل زنجیره‌های تامین با اهداف متعارض چندگانه تبدیل شده است. اغلب موضوعات جالب توجه و مطرح در مدیریت زنجیره‌ی تامین، به «هماهنگی/همکاری» و یا «رقابت» در بین اعضای زنجیره می‌پردازند. در یک زنجیره تامین متمرکز، تصمیم گیرنده مرکزی با هماهنگ کردن فعالیت‌های اعضا، سعی در افزایش و بالا بردن توان رقابتی زنجیره دارد. یعنی این یک تصمیم گیرنده، حل بهینه کلی را که سبب بهبود عملکرد زنجیره تامین می‌شود، ارائه می‌دهد. لذا در این گونه مسائل متمرکز، از تئوری بازی‌ها استفاده نمی‌شود. ولی در زنجیره‌های غیرمتمرکز، که هر عضو زنجیره، خود یک تصمیم گیرنده مستقل است، دو مسئله مطرح می‌شود:

۱) اعضای زنجیره با هم رقابت می‌کنند تا عملکرد خود را به تنهایی بهبود دهند. در نتیجه موارد استفاده زیادی برای تئوری بازی، ایجاد می‌شود.

۲) اعضای زنجیره تامین، با هم موافقت می‌کنند که بنا بر یک قرارداد الزام آور، با هماهنگی استراتژی‌های خود، عملکرد کلی سیستم را علاوه بر عملکرد خود به تنهایی، بهبود بخشند. در این نوع مسائل، اعضای موجود نه تنها سعی در بهیمنی کل زنجیره دارند، بلکه هیچ گونه دلیلی برای انحراف از حل بهینه نیز نمی‌بینند. (وحیده دل‌بهداری، ۱۳۸۶)

به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که بازی‌های مشارکتی و غیر مشارکتی ابزاری توانمند برای تحلیل این نوع مسائل، هستند که به بحث توالی یا هم زمانی تصمیم گیری‌ها در شرایط وجود چند بازیکن، تحت اطلاعات کامل یا ناکامل می‌پردازند.

حال دوباره به سوال ابتدایی بحث باز می‌گردیم، چگونه با وجود تعارض و تضاد بین اهداف اجزاء موجود در یک زنجیره، می‌توان به هدایت یکپارچه زنجیره تامین پرداخت؟ ارائه تعریف زیر می‌تواند ابزاری برای پاسخ به این سوال ارائه دهد: «تئوری بازی‌ها» شامل تصمیم گیری در شرایط تعارض بوده و تصمیم گیرنده با توجه به استراتژی‌های رقیب موجود، عملکرد احتمالی خود را مورد ارزیابی قرار دهد. (محمد جواد اصغرپور، ۱۳۷۶) به عبارت دیگر، «تئوری بازی‌ها» یک نظریه‌ی ریاضی درباره‌ی موقعیت‌های تعارض آمیز است. هدف این نظریه، تدوین توصیه‌هایی برای هر یک از حریفان، جهت اقدام عقلانی در جریان یک موقعیت متعارض است. (ی.س. و نسل، ۱۳۷۳) که اولین بار توسط ریاضی دانی به نام نیومن مطرح گردید. به طور کلی می‌توان گفت که یکی از اهداف نظریه بازی‌ها، از بین بردن تمامی حدس‌ها و گمان‌ها از طرف هر یک از بازیکنان است که این کار از طریق بیان یک نحوه عمل بهینه برای هر یک از بازیکنان صورت می‌گیرد. (علی اکبر عرب مازار، ۱۳۶۹) لازم است که در ابتدا به شرح و ارائه پاره‌ای از مفاهیم ابتدایی نظریه بازی‌ها بپردازیم.

۲- تعریف مسئله

در اینجا رقابت میان دو زنجیره تأمین، یکی حلقه باز و یکی حلقه بسته تحت دو سناریوی متفاوت را بررسی می‌کنیم. در سناریوی اول زنجیره تأمین حلقه باز شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش می‌باشد و زنجیره تأمین حلقه بسته شامل یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش و یک باز یافت‌کننده می‌باشد. تولیدکننده محصول خود را با قیمت عمده‌فروشی به خرده‌فروش می‌فروشد و خرده‌فروش نیز همان محصول را با قیمت خرده‌فروشی به دست مشتری می‌رساند. در برگشت نیز بخش سوم اقدام به جمع‌آوری محصولات استفاده شده و ارسال آن جهت بازتولید به تولیدکننده می‌نماید. در سناریوی دوم نیز رقابت میان یک زنجیره تأمین حلقه باز (شامل تولیدکننده و خرده‌فروش) و یک زنجیره تأمین حلقه بسته (شامل تولیدکننده و خرده‌فروش) که نقش جمع‌آوری کننده را نیز دارد) می‌باشد. تولیدکننده محصول خود را با قیمت عمده‌فروشی می‌فروشد و خرده‌فروش همان محصول را با قیمت خرده‌فروشی به دست مشتری می‌رساند. در برگشت نیز خرده‌فروش که نقش جمع‌آوری کننده را نیز دارد اقدام به جمع‌آوری محصولات استفاده شده و ارسال آن جهت بازتولید به تولیدکننده می‌نماید.

همچنین دولت با تعیین تعرفه به کنترل بازار و حفاظت از محیط زیست می‌پردازد. در دنیای واقعی دولت سیاست‌های مالی را با تعیین سوبسید یا مالیات اتخاذ می‌کند. در اینجا مقدار تعرفه را پارامتری ثابت در نظر می‌گیریم و به مدلسازی مسئله تحت دو سناریو می‌پردازیم.

۲-۱- مفروضات مسئله

تابع تقاضا به صورت خطی می‌باشد.

$$D_i = a_i - p_i + dp_i (i, j = 1, 2; i \neq j) \quad (1)$$

این تابع دارای خاصیت کاهشی نسبت به قیمت خود و افزایشی نسبت به قیمت رقیب است. هر چه سطح قیمت دو محصول تفاوت بیشتری داشته باشد، تقاضای محصول یک زنجیره کمتر تحت تأثیر سطح قیمت زنجیره دیگر قرار می‌گیرد. تابع تقاضا همان تابع تقاضای مرجع (zhao et al, 2011) می‌باشد که مورد استفاده قرار گرفته شده است.

۱. کیفیت محصول تولید شده و بازتولید شده یکسان است.
۲. اعضای زنجیره تأمین دارای اطلاعات متقارن می‌باشند.
۳. اعضای زنجیره دارای ریسک معقول و معمول بوده و رفتاری عاقلانه و آگاهانه دارند.

۲-۲- تعریف نمادها، متغیرها و پارامترها

در این قسمت به معرفی نمادها و متغیرها و پارامترها در مسئله می‌پردازیم. ($i = 1, 2; i \neq j$)
برای سهولت از اندیس‌های R و S و τ به ترتیب برای نمایش تولیدکننده و خرده‌فروش و جمع‌آوری کننده استفاده می‌کنیم.

- D_i تقاضای محصول برای زنجیره i ام
- π_{R_i} سود خرده‌فروش برای زنجیره i ام
- π_{t_i} سود جمع‌آوری کننده برای زنجیره i ام
- π_{S_i} سود تولیدکننده برای زنجیره i ام
- a_i اندازه بالقوه بازار برای محصول زنجیره i ام
- d ضریب کششی قیمت محصول ($0 \leq d \leq 1$)
- P_i قیمت خرده‌فروشی محصول برای زنجیره i ام
- w_i قیمت عمده‌فروشی محصول برای زنجیره i ام

P_{bi} هزینه ارسال هر واحد محصول از جمع کننده به تولیدکننده برای زنجیره i ام
 P_{ci} هزینه جمع آوری هر واحد محصول توسط جمع کننده برای زنجیره i ام ($P_{bi} \geq P_{ci}$)
 τ_i نرخ قابلیت جمع آوری محصول استفاده شده توسط جمع کننده برای زنجیره i ام ($0 \leq \tau_i \leq 1$)
 B پارامتر ثابت هزینه جمع آوری
 C_{mi} هزینه تولید هر واحد محصول برای زنجیره i ام
 C_{ri} هزینه بازتولید هر واحد محصول برای زنجیره i ام ($C_{mi} \geq C_{ri}$)
 T_i تعرفه که توسط دولت تعیین می گردد.
 Φ_i پارامتر ثابت نرخ مالیات ($0 \leq \Phi_i \leq 1$)

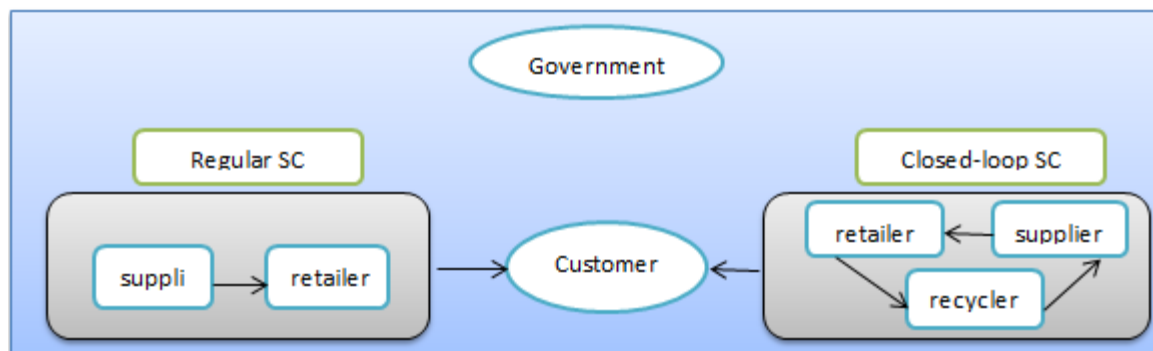
۳-۲-مدلسازی مسئله

بر طبق مقاله (zhao et al,2013) هزینه کل جمع آوری محصول استفاده شده $c(\tau)$ به صورت $c(\tau) = b.\tau^2 +$ نشان داده می شود که $b\tau^2$ نشان دهنده هزینه ثابت جمع آوری محصول استفاده شده توسط مشتری و $P_c.\tau.D_i$ نشان دهنده هزینه متغیر جمع آوری و τD_i در واقع کل تعداد محصول استفاده شده جمع آوری شده می باشد. با توجه به مطالب فوق مدل تحت دو سناریوی زیر بررسی می شود:

۴-۲-حل و مدلسازی مسئله سناریوی اول:

رقابت میان زنجیره های تأمین باز و بسته صورت می گیرد. زنجیره های تأمین بسته شامل یک تولیدکننده، خرده فروش و یک جمع آوری کننده می باشد. همانند آنچه به صورت شماتیک در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.

شکل 1-2: رقابت میان زنجیره های تأمین باز و بسته تحت دخالت دولت (سناریوی اول)



با توجه به مدل فوق و محاسبه مقدار هزینه کل جمع آوری محصولات استفاده شده بر طبق

$$C(\tau_i) = b.\tau_i^2 + P_{ci}.\tau_i.D_i$$

توابع سود هر یک از اعضاء به صورت زیر تعریف می شود.

$$\max_{P_1} \pi_{R_1} = (P_1 - w_1 - \Phi_1 T_1). D_1 \quad i = 1, 2. \quad (2)$$

$$\max_{w_1} \pi_{S_1} = (W_1 - C_1 - (1 - \Phi_1). T_1). D_1. \quad (3)$$

$$\max_{w_2} \pi_{S_2} = (W_2 - (1 - \tau_2). C_{m_2} - (C_{r_2} + P_{b_2}). \tau_2 - (1 - \Phi_2). T_2). D_2. \quad (4)$$

$$\max_{\tau_2} \pi_{\tau_2} = (P_{b_2} - P_{c_2}). \tau_2. D_2 - b\tau_2^2. \quad (5)$$

حل این مسئله با توجه به استکبرگ به صورت زیر می‌باشد:

گام ۱: ابتدا تولیدکننده‌ها به عنوان رهبران بازی قیمت عمده‌فروش W_1^* را که تابع سود هر یک را حداکثر می‌نماید مشخص می‌کنند.

گام ۲: با توجه به قیمت عمده‌فروشی تعیین شده هر یک از خرده‌فروشان به عنوان پیرو مقدار بهینه‌ی قیمت خرده‌فروشی P_1^* را تعیین می‌کنند.

گام ۳: با توجه به قیمت عمده‌فروشی و خرده‌فروشی تعیین شده، جمع‌کننده به عنوان پیرو بازی نرخ بازگشت محصول استفاده شده T_2^* را تعیین می‌کند.

برای این منظور با توجه به قیمت بهینه‌ی عمده‌فروشی و مشخص شدن توابع پاسخ از روش رو به عقب استفاده می‌شود. نکته‌ی حائز اهمیت نحوه‌ی به دست آوردن نقاط بهینه با در نظر گرفتن رقابت برون زنجیره‌ای اعضای زنجیره‌ها است که به عنوان نوآوری این مقاله می‌باشد.

با توجه به اینکه تابع سود جمع‌آوری‌کننده مقعر می‌باشد لذا:

قضیه ۱ به محاسبه‌ی نرخ بهینه‌ی بازگشت محصول استفاده شده می‌پردازد.

قضیه ۱: اگر تابع سود جمع‌آوری‌کننده مقعر باشد، نرخ بهینه‌ی بازگشت محصول استفاده شده به صورت زیر می‌باشد:

$$\tau_2(P_1, P_2) = M - \mu P_2 - d\mu P_1, \quad (6)$$

که در آن $M = \frac{(P_{b2} - P_{c2})(a_2)}{2b}$ و $\mu = \frac{(P_{b2} - P_{c2})}{2b}$ می‌باشد.

با توجه به مقعر بودن تابع سود خرده‌فروش قضیه ۲ به محاسبه‌ی مقدار بهینه‌ی قیمت خرده‌فروشی می‌پردازد.

قضیه ۲: تابع سود خرده‌فروشان مقعر باشد، مقدار بهینه‌ی قیمت خرده‌فروشی به صورت زیر می‌باشد:

$$P_1^*(w_1, w_2) = N_1 + f_1 w_1 + f_2 w_2, \quad (7)$$

$$P_2^*(w_1, w_2) = N_2 + f_2 w_1 + f_1 w_2, \quad (8)$$

که در آن $N_1 = \frac{2a_1 + da_2 + d\Phi_2 T_2 + 2\Phi_1 T_1}{4 - d^2}$ و $N_2 = \frac{2a_2 + 2\Phi_2 T_2 + da_1 + d\Phi_1 T_1}{4 - d^2}$ و $f_1 = \frac{2}{4 - d^2}$ و $f_2 = \frac{d}{4 - d^2}$ می‌باشد.

پس از جایگذاری مقادیر (۸) - (۶) توابع سود تولیدکننده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\max_{w_1} \pi_{s1} = (w_1 - c_1 - (1 - \Phi_1) \cdot T_1) \cdot (a_1 - N_1 + dN_2 + (df_2 - f_1)w_1 + (df_1 - f_2)w_2). \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \max_{w_2} \pi_{s2} = & (w_2 - (1 - M - \mu N_2 - d\mu N_1 + (\mu f_2 - d\mu f_1)w_1 + (\mu f_1 - d\mu f_2)w_2) \cdot C_{m2} - \\ & (C_{r2} + P_{b2}) \cdot (M - \mu N_2 + d\mu N_1 + (-\mu f_2 + d\mu f_1)w_1 + (-\mu f_1 + d\mu f_2)w_2) - \\ & (1 - \Phi_2) \cdot T_2) \cdot (a_2 - N_2 + dN_1 + (df_1 - f_2)w_1 + (df_2 - f_1)w_2). \end{aligned} \quad (10)$$

اگر رابطه‌ی $(1 - f_1\mu + d\mu f_2) > 0$ برقرار باشد آن‌گاه توابع سود تولیدکننده‌ها مقعر بود و مقدار بهینه‌ی قیمت عمده‌فروشی مطابق با قضیه ۳ بدست می‌آید.

و w_1^* برقرار باشد، آن‌گاه مقدار بهینه‌ی قیمت عمده‌فروشی به صورت $(1 - f_1\mu + d\mu f_2) < 0$ قضیه ۳: اگر رابطه‌ی

از برقراری شرایط مشتق اول توابع (۱۰) و (۹) بدست می‌آید. w_2^*

تمامی اثبات‌های مربوط به قضایا در ضمیمه آمده است.

با جایگذاری مقادیر بهینه‌ی قیمت عمده‌فروشی، خرده‌فروشی و نرخ بازگشت محصول استفاده شده توابع سود خرده‌فروش،

عمده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\begin{aligned} \pi_{p1}^* = & (N_1 + f_1 w_1^* + f_2 w_2^* - w_1^* - \Phi_1 T_1) \cdot (a_1 - N_1 + dN_2 + (df_2 - f_1)w_1^* + (df_1 - f_2)w_2^*). \\ \pi_{p2}^* = & \end{aligned} \quad (11)$$

$$(N_2 + f_2 w_1^* + f_1 w_2^* - w_2^* - \Phi_2 T_2) \cdot (a_2 - N_2 + dN_1 + (df_1 - f_2)w_1^*) + (df_2 - f_1)w_2^* \quad (12)$$

$$\pi_{w_1}^* = (w_1^* - c_1 - (1 - \Phi_1) \cdot T_1) \cdot (a_1 - N_1 + dN_2 + df_2 - f_1)w_1^* + (df_1 - f_2)w_2^* \quad (13)$$

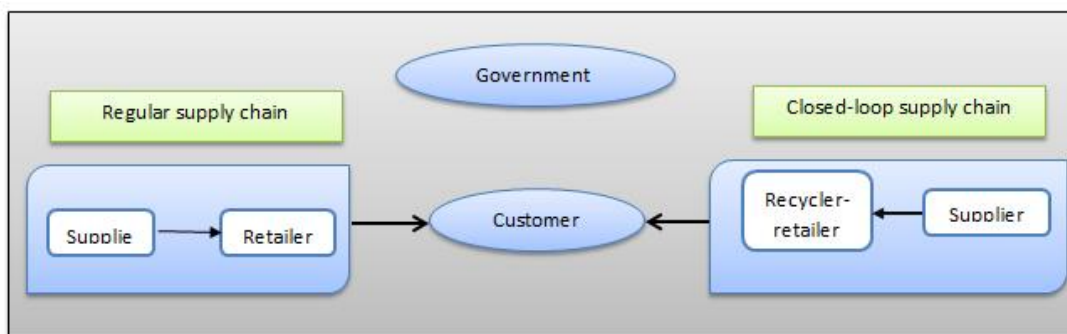
$$\pi_{w_2}^* = (w_2^* - (1 - M + \mu N_2 - d\mu N_1 + (\mu f_2 - d\mu f_1)w_1^* + (\mu f_1 - d\mu f_2)w_2^*) \cdot C_{m_2} - (C_{r_2} + P_{b_2}) \cdot (M - \mu N_2 + d\mu N_1 + (-\mu f_2 + d\mu f_1)w_1^* + (-\mu f_1 + d\mu f_2)w_2^*) - (1 - \Phi_2) \cdot T_2) \cdot (a_2 - N_2 + dN_1 + (df_1 - f_2)w_1^* + (df_2 - f_1)w_2^*) \quad (14)$$

$$\pi_{\tau_2}^* = (P_{b_2} - P_{c_2}) \cdot (M - \mu N_2 + d\mu N_1 + (-\mu f_2 + d\mu f_1)w_1^* + (-\mu f_1 + d\mu f_2)w_2^*) \cdot (a_2 - N_2 + dN_1 + (df_1 - f_2)w_1^* + (df_2 - f_1)w_2^* - b(M - \mu N_2 + d\mu N_1 + (-\mu f_2 + d\mu f_1)w_1^* + (-\mu f_1 + d\mu f_2)w_2^*)^2 \quad (15)$$

۲-۵- حل و مدل سازی مسئله سناریوی دوم:

رقابت میان زنجیره‌ی تأمین باز و بسته صورت می‌گیرد. زنجیره‌ی تأمین بسته شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش می‌باشد که این خرده‌فروش نقش جمع‌آوری‌کننده را نیز عهده‌دار می‌باشد. همانند آنچه به صورت شماتیک در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.

شکل ۲-۲: رقابت میان زنجیره‌ی تأمین باز و بسته تحت دخالت دولت (سناریوی دوم)



با توجه به مدل فوق و محاسبه‌ی مقدار هزینه‌ی کل جمع‌آوری محصولات استفاده شده بر طبق

$$C(\tau_i) = b \cdot \tau_i^2 + P(c_i) \cdot \tau_i \cdot D_i$$

توابع سود هر یک از اعضاء به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\max_{\tau_1} (P_1) \left[\pi_{(R_1)} = (P_1 - w_1 - \Phi_1 T_1) \cdot D_1 \right] \quad (16)$$

$$\max_{\tau_1} (W_1) \left[\pi_{(S_1)} = (W_1 - C_1 - (1 - \Phi_1) \cdot T_1) \cdot D_1 \right] \quad (17)$$

$$\max_{\tau_2} (RR_2) \left[\pi_{(R_2, \tau_2)} = (P_2 - W_2 - \Phi_2 T_2) \cdot D_2 + (P(b_2) - P(c_2)) \cdot \tau_2 \cdot D_2 - b\tau_2^2 \right] \quad (18)$$

$$\max_{\tau_2} (W_2) \left[\pi_{(S_2)} = (W_2 - (1 - \tau_2) \cdot C_{(m_2)} - (C_{(r_2)} + P(b_2)) \cdot \tau_2 - (1 - \Phi_2) \cdot T_2) \cdot D_2 \right] \quad (19)$$

حل این مسئله با توجه به استکبرگ به صورت زیر می‌باشد.

گام ۱: ابتدا تولیدکننده‌ها به عنوان رهبران بازی قیمت عمده‌فروشی W_i^* را که تابع سود هر یک را حداکثر می‌نماید مشخص می‌کنند.

گام ۲: با توجه به قیمت عمده‌فروشی تعیین شده، خرده‌فروش در زنجیره‌ی تأمین باز و خرده‌فروشی که نقش جمع‌کننده را دارد در زنجیره‌ی تأمین بسته، که نقش پیرو بازی را دارند، مقدار بهینه‌ی قیمت خرده‌فروشی P_i^* و نرخ بازگشت محصول استفاده شده τ_2^* را تعیین می‌کنند.

برای این منظور با توجه به قیمت بهینه‌ی عمده‌فروشی و مشخص شدن توابع پاسخ خرده‌فروش و خرده‌فروش - جمع‌کننده از روش رو به عقب استفاده می‌شود. نکته‌ی حائز اهمیت و نوآوری این پایان نامه در نظر گرفتن رقابت برون زنجیره‌ای اعضای زنجیره‌های تأمین می‌باشد.

اگر $(P_{b_2} - P_{c_2})^2 > b$ برقرار باشد، آن‌گاه توابع سود خرده‌فروش زنجیره‌ی تأمین باز و خرده‌فروش - جمع‌آوری کننده مقربوده و قضیه ۴ مقدار بهینه‌ی قیمت خرده‌فروشی و نرخ بازگشت محصول را محاسبه می‌کند. قضیه ۴: اگر $(P_{b_2} - P_{c_2})^2 > b$ برقرار باشد، آن‌گاه قیمت‌های بهینه‌ی خرده‌فروشی و نرخ بازگشت محصول به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_1^c(W_1, W_2) = K_1 + \gamma_1 W_1 + V_1 W_2 \quad (20)$$

$$P_2^c(W_1, W_2) = K_2 + \gamma_2 W_1 + V_2 W_2 \quad (21)$$

$$\tau_2^c(W_1, W_2) = K_3 + \gamma_3 W_1 + V_3 W_2 \quad (22)$$

که در آن

$$K_1 = \frac{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 + 4b)(\Phi_1 T_1 + a_1 + da_2) + (2bd)(\Phi_2 T_2 - a_2)}{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 (d^2 - 2) - 2b(d^2 - 4))}$$

و

$$K_2 = \frac{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 + 2b)(d\Phi_1 T_1 + da_1 + 2a_2) + 2b(\Phi_2 T_2)}{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 (d^2 - 2) - 2b(d^2 - 4))}$$

و

$$K_3 = \frac{(P_{b_2} - P_{c_2})(d\Phi_1 T_1 + da_1 + 2a_2) + (P_{b_2} d^2 - P_{c_2} d^2 - 2P_{b_2} + 2P_{c_2})(\Phi_2 T_2)}{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 (d^2 - 2) - 2b(d^2 - 4))}$$

و

$$\gamma_1 = \frac{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 + 4b)}{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 (d^2 - 2) - 2b(d^2 - 4))} \quad \text{و} \quad \gamma_2 = \frac{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 + 2b)}{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 (d^2 - 2) - 2b(d^2 - 4))} \quad \text{و} \quad \gamma_3 = \frac{(P_{b_2} - P_{c_2})}{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 (d^2 - 2) - 2b(d^2 - 4))}$$

و

$$V_1 = \frac{2bd}{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 (d^2 - 2) - 2b(d^2 - 4))} \quad \text{و} \quad V_2 = \frac{2b}{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 (d^2 - 2) - 2b(d^2 - 4))} \quad \text{و} \quad V_3 = \frac{(P_{b_2} d^2 - P_{c_2} d^2 - 2P_{b_2} + 2P_{c_2})}{((P_{b_2} - P_{c_2})^2 (d^2 - 2) - 2b(d^2 - 4))}$$

می‌باشد.

با جایگذاری ۲۰-۲۲ در توابع سود تولیدکننده‌ها خواهیم داشت:

$$\max_{\pi} \pi(W_1) = (W_1 - C_1 - (1 - \Phi_1) T_1) (a_1 - K_1 + dK_2 + (-\gamma_1 + d\gamma_2) W_1 + (-V_1 + dV_2) W_2) \quad (23)$$

$$\max_{\pi} \pi(W_2) = (W_2 - (1 - \tau_2) C_2 - (C_2(r_2) + P_{b_2})) (K_3 + \gamma_3 W_1 + V_3 W_2 - (1 - \Phi_2) T_2) \quad (24)$$

$$((a_1 - K_2 + dK_1 + (-\gamma_2 + d\gamma_1) W_1 + (-V_2 + dV_1) W_2) \quad (24)$$

اگر $\gamma_1 > \gamma_2$ برقرار باشد تابع سود تولیدکننده اول روی W_1 مقعر می‌باشد و اگر

$$(-V_2 + dV_1)(1 + V_3 C_2(m_2) - V_3(C_2(r_2) + P_{b_2})) < 0$$

برقرار باشد، تابع سود تولیدکننده دوم روی W_2 مقعر می‌باشد و لذا از قضیه ۵ مقدار بهینه‌ی قیمت عمده‌فروشی

بدست می‌آید.

قضیه ۵: اگر $\gamma_1 > d\gamma_2$ و $(-V_2 + dV_1)(1 + V_3 C_2(m_2) - V_3(C_2(r_2) + P_{b_2})) < 0$ برقرار باشند،

آن‌گاه مقدار بهینه‌ی قیمت عمده‌فروشی به صورت W_1^c و W_2^c از برقراری شرایط مشتق اول توابع سود تولیدکننده‌ها

یعنی ۲۳ و ۲۴ بدست می‌آید.

با جایگذاری مقادیر بهینه‌ی قیمت خرده‌فروشی، نرخ بازگشت محصول و قیمت عمده‌فروشی توابع سود هر یک از اعضای زنجیره‌های تأمین به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} \pi_{(P_1)}^C &= (25) \\ (K_1 + \gamma_1 W_1^C + V_1 W_2^C - W_1^C - \Phi_1 T_1) \cdot (a_1 - K_1 + dK_2 + (-\gamma_1 + d\gamma_2) \cdot W_1^C + (-V_1 + dV_2) \cdot W_2^C \\ \pi_{(RR_2)}^C &= (K_2 + \gamma_2 W_1^C + (V_2 - 1) W_2^C - \Phi_2 T_2) \cdot (a_2 - K_2 + dK_1 + (-\gamma_2 + d\gamma_1) \cdot W_1^C + \\ &+ (-V_2 + dV_1) \cdot W_2^C + (P_{(b_2)} - P_{(c_2)}) \cdot (K_3 + \gamma_3 W_1^C + V_3 W_2^C) \cdot (a_2 - K_2 + dK_1 + (-\gamma_2 + d\gamma_1) \cdot W_1^C \\ &+ (-V_2 + dV_1) \cdot W_2^C) - b(K_3 + \gamma_3 W_1^C + V_3 W_2^C)^2 \quad (26) \\ \pi_{(W_1)}^C &= (W_1^C - C_1 - (1 - \Phi_1) \cdot T_1) \cdot (a_1 - k_1 + dk_2 + (-\gamma_1 + d\gamma_2) \cdot W_1^C + (-V_1 + dV_2) \cdot W_2^C) \quad (27) \\ \pi_{(W_2)}^C &= (W_2^C - (1 - \tau_2) \cdot C_{(m_2)} - (C_{(r_2)} + P_{(b_2)}) \cdot (k_3 + \gamma_3 W_1^C + V_3 W_2^C) - (1 - \Phi_2) \cdot T_2) \\ &\cdot (a_2 - k_2 + dk_1 + (-\gamma_2 + d\gamma_1) \cdot W_1^C + (-V_2 + dV_1) \cdot W_2^C) \quad (28) \end{aligned}$$

۳- نتیجه گیری و ارائه و تحلیل مثال عددی

در این قسمت با ارائه مثال عددی به تشریح و مقایسه روابط حاصل خواهیم پرداخت. مثال با کمک مدل های ارائه شده در این مطالعه و به کمک نرم افزار میپل حل گردیده است. بدین منظور از پارامترهای زیر برای مقایسه و تاثیر میزان عایدی هریک از اعضای زنجیره در قالب جدول و نمودارهای ارائه شده استفاده شده است. در قسمت نخست تعرفه را به صورت پارامتری ثابت در نظر می گیریم.

$$\varphi_i = 0.5 (i=1,2), a_i = 1 (i=1,2), d=0.5, p_{(b_2)} = 2, p_{(c_2)} = 1, c_{(m_2)} = 1, c_{(r_2)} = 1,$$

تاثیر پارامتر T_1 و T_2 (۲) و بر روی هریک از پارامترهای زنجیره های تأمین در جدول ۱ نشان داده شده است:

جدول ۳-۱: آنالیز حساسیت سناریو اول

$T1$	$T2$	w_1^*	w_2^*	p_1^*	p_2^*	τ_2^*	π_{w1}^*	π_{w2}^*	π_{p1}^*	π_{p2}^*	$\pi_{\tau2}^*$
1	-4	2.02	4.65	2.77	4.02	0.68	0.13	5.85	0.06	1.86	0.47
1	1	2.27	3.91	3.13	4.99	0.29	0.28	1.06	0.13	0.34	0.08
1	2	2.32	3.76	3.21	5.18	0.21	0.32	0.56	0.15	0.18	0.04
1	3	2.37	3.61	3.28	5.37	0.13	0.36	0.22	0.17	0.07	0.02
1	4	2.42	3.46	3.35	5.57	0.06	0.40	0.04	0.19	0.01	0.00
1	5	2.47	3.31	3.43	5.76	-0.02	0.44	0.01	0.21	0.00	0.00
1	10	2.72	2.56	3.79	6.73	-0.42	0.70	2.17	0.33	0.69	0.17
-4	1	2.20	2.20	1.70	4.39	0.23	4.79	0.68	2.23	0.22	0.05
1	1	2.27	3.91	3.13	4.99	0.29	0.28	1.06	0.13	0.34	0.08
2	1	2.29	4.00	3.42	5.11	0.30	0.04	1.15	0.02	0.36	0.09

جدول ۳-۲: آنالیز حساسیت سناریو دوم

$T1$	$T2$	w_1^c	w_2^c	p_1^c	p_2^c	τ_2^c	π_{w1}^c	π_{w2}^c	π_{p1}^c	π_{RR2}^c
1	-4	1.94	4.89	2.64	3.70	0.81	0.09	6.92	0.04	1.96
1	1	2.23	4.01	3.08	4.85	0.34	0.25	1.25	0.12	0.36
1	2	2.29	3.83	3.16	5.08	0.25	0.30	0.67	0.14	0.19
1	3	2.35	3.65	3.25	5.31	0.16	0.34	0.26	0.16	0.07
1	4	2.40	3.47	3.34	5.54	0.06	0.39	0.04	0.19	0.01
1	5	2.46	3.30	3.42	5.77	-0.03	0.44	0.01	0.21	0.00
1	10	2.76	2.41	3.86	6.91	-0.49	0.75	2.57	0.36	0.73
-4	1	2.14	3.50	1.64	4.27	0.27	4.70	0.79	2.25	0.23
1	1	2.23	4.01	3.08	4.85	0.34	0.25	1.25	0.12	0.36
2	1	2.25	4.11	3.37	4.97	0.36	0.03	1.36	0.01	0.38

جدول ۳-۳: مجموع عایدی خرده فروش و جمع آوری کننده زنجیره تامین دوم و خرده فروش-جمع آوری کننده

$T1$	$T2$	$\pi_{\tau 2}^* + \pi_{p 2}^*$	π_{RR2}^c
1	-4	-3.00	1.96
1	1	2.00	0.36
1	2	3.00	0.19
1	3	4.00	0.07
1	4	5.00	0.01
1	5	6.00	0.00
1	10	11.00	0.73
-4	1	-3.00	0.23
1	1	2.00	0.36
2	1	3.00	0.38

در سناریو اول سود خرده فروش در زنجیره ی تامین معمولی کمتر از زنجیره تامین بسته می باشد. در سناریو دوم با افزایش T_1 (۱) قیمت عمده فروشی و خرده فروشی در هر دو زنجیره افزایش می یابد. با افزایش T_2 (۲) قیمت عمده فروشی در زنجیره تامین دوم و خرده فروشی در هر دو زنجیره افزایش می یابد اما قیمت عمده فروشی در زنجیره تامین باز کاهش می یابد.

سود حاصل زمانیکه جمع آوری کننده و خرده فروش تشکیل یک مجموعه را بدهند با مجموع سود هر یک هنگامیکه مستقل به فعالیت می پردازند مقایسه گردیده است. همانطور که مشاهده می شود هنگامیکه T_1 (۱) T_2 (۲) و نامنفی باشند سود در ادغام این دو نمی باشد. بعلاوه سود تولیدکننده در زنجیره تامین معمولی در سناریوی دوم بیشتر است و با ادغام جمع آوری کننده و خرده فروش دوم سود تولید کننده زنجیره تامین معمولی افزایش می یابد. در سناریو اول سود خرده فروش در زنجیره ی تامین معمولی کمتر از زنجیره تامین بسته می اشد.

۴-جمع بندی

در این مقاله سعی بر مدلسازی رقابتی و مقایسه بین دو زنجیره تامین حلقه بسته و معمولی با در نظر گرفتن مفاهیم نظریه بازی ها تحت دخالت دولت، تحت دو سناریوی مختلف را داشتیم. با استفاده از مفاهیم نظریه ی بازی ها جهت مدلسازی این زنجیره ها در قالب بازی استکلبرگ مفادیر بهینه عمده فروشی، خرده فروشی، پارامتر جمع آوری را برای هریک از زنجیره ها بدست آوردیم.

در پایان از جمله موارد قابل توسعه حذف هریک از فرض های حاکم بر مسئله حاضر است. در صورتی که هر یک از پیش فرض های مذکور در تحقیق صادق نباشند، شرایط تغییر نموده و مدلسازی و پاسخ های آن نیز متفاوت خواهند بود. از جمله این موارد استفاده از هزینه های موجودی، نگهداری، سفارش یا کمبود در فرایند مدلسازی تحقیق است که هر یک ساختار مدل و پاسخ ها را تغییر خواهند داد. در ضمن وابسته بودن تقاضا به قیمت کالا به صورت خطی رویکرد ساده انگارانه ای می باشد. با وابسته بودن تقاضا به عواملی دیگر چون کیفیت، کالاهای جانشین و مکمل و هزینه های تبلیغات و بازاریابی انطباق بیشتری بین خروجی های مدل و واقعیت پدیدار خواهد شد. حل و مدلسازی بازی در چنین شرایطی دشوار بوده اما در عمل کاربردی تر می باشد.

منابع

۱. اصغرور، محمدجواد، ۱۳۷۶، "کاربرد برنامه ریزی خطی"، انتشارات دانشگاه تهران.
۲. اصغریور، محمدجواد، ۱۳۸۲، "تصمیم گیری گروهی و نظریه بازی ها با نگرش تحقیق در عملیات"، انتشارات دانشگاه تهران.
۳. دل بهاری، وحیده، ۱۳۸۴، "تحلیل زنجیره های تامین با کمک تئوری بازی ها و آنالیز شرایط تعادل در زنجیره تأمین"، پایان-نامه کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات
۴. عرب مازار، علی اکبر، ۱۳۶۹، "تصمیم گیری کاربردی"، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
۵. گوپتا، پ.ک، "نظریه بازی ها"، ترجمه توسلی حضوری، بیژن، مرکز انتشارات صنعت فولاد.
۶. ونسل، ی.س، ۱۳۷۳، "نظریه بازی و کاربرد آن در تصمیم گیری های استراتژیک"، ترجمه روشندل، ج، طیب، ع، انتشارات قومس.
7. Ali Naimi Sadigh, Marzieh Mozafari, Behrooz Karimi, "Manufacturer-retailer supply chain coordination: A bi-level programming approach", *Advances in Engineering Software* 45 (2012) 144–152
8. Arshinder, A.kanda, S.Deshmukh, (2008), "Supply chain coordination: Perspective, empirical studies and research direction", *Int.J.production Economics*, vol 115, 316-335.
9. Bichescu, Bogdan C., Michael J. Fry, "A numerical analysis of supply chain performance under split decision rights", *OMEGA*, 2007
10. Cachon, G.P, S. Netessin, "Game theory in supply chain management", *Hand book of quantitative supply chain analysis: modeling in the E-business era*, pages 13-66. Kluwer, Boston, 2004
11. G.Cachon, S.Netessin, (2004), "Game theory in supply chain analysis", *Handbook of quantitative supply chain analysis: Modeling in ebusiness Era*, Kluwer academic publisher.
12. Cachon, G.P, S. Netessin, "Game theory in supply chain analysis", *Inform*, 2005
13. T.X.Cebing Chen, (2011), "Ordering policy and coordination of a supply chain with two-period demand uncertainty", *European Journal of Operations Research*, 347-357.
14. Cheng-Han Wu, "price and service competition between new and remanufactured products in a two-echelon supply chain", *International Journal of Production Economics*, 140(2012), 496-507.
15. vChopra S. Meindl P., "Supply chain management", Pearson, 4th edition, 2010
16. S. Dowlatshahi, A strategic framework for the design and implementation of remanufacturing operations in reverse-logistics, *Int. J. Prod. Res.* 43 (2005) 3455–3480.
17. Esmaeili, M.B, Aryanezhad, P. Zeepongsekul, (2009), "A game theory approach in seller-buyer supply chain", *European Journal of Operations Research*, 442-448.
18. Guardiola, Luis A., and Judith Timmer, "A primer in game theory", 1992

19. D. Guide, V. Jayaraman, J. Linton, "Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery", *J. Oper. Manage.* 21 (2003) 259–279.
20. Handfield, R.B., E.L. Nichols, "introduction to supply chain management", Printice-Hall, USA, 1999
21. Hisashi Kurata , Seong-Hyun Nam, "After-sales service competition in a supply chain: Optimization of customer satisfaction level or profit or both?", *Int. J. Production Economics* 127 (2010) 136–146
22. Huang, Zhimin, Susan X.Li, "An analysis of manufacturer- retailer supply chain coordination in cooperative advertising", *Decision Science*, vol.33, No.3, 2002
23. Y.Huang, G.Q.Huang, S.T.Newman, (2011), "Coordinating pricing and inventory decisions in a multi-level supply chain: A game theory approach", *Transportation research part E* 47, 115-129.
24. M.E. Ketzenberg, E. van der Laan, R.H. Teunter, " Value of information in closed loop supply chains", *Product. Oper. Manage.* 15 (2006) 393–406.
25. K. Kim, I. Song, J. Kim, B. Jeong, "Supply planning model for remanufacturing system in reverse logistics environment", *Comput. Ind. Eng.* 51 (2006) 279–287.
26. Konstantaras, S. Papachristos, " Optimal policy and holding cost stability regions in a remanufacturing options", *Eur. J. periodic review inventory system with manufacturing and Oper. Res.* 178 (2007) 433–448.
27. Kunpeng Li, Dilip Chhajed, Suman Mallik, "Design of Extended Warranties in Supply Chains" 2005
28. Laverse, E.L. Porteus, (2001), "Selling to newswendor: an analysis of price-only contract", *Manufacturing Service Operation Management*, 293-305.
29. .Leng, Mingming, Parlar, Mahmut, "Game theoretic applications in supply chain management: A review", *Infor*, vol.43, 2005.
30. A.Meca, J.Timmer , (2000), "Supply chain collaboration", supply chain, theory and application, viena, austria, I-Tech education and publishing, 435-472.
31. H. Min, C.S. Ko, H.J. Ko, The spatial and temporal consolidation of returned products in a closed-loop supply chain network, *Comput. Ind. Eng.* 51 (2006) 309–320.
32. M.M.B.K.Ali Naimi Sadigh, (2012), "manufacturer-retailer supply chain coordination: A bi-level programming approach", *Advances in engineering software*, 144-152.
33. Nagarajan, Mahesh, Greys Sos, "Game-theoretic analysis of cooperation among supply chain agents: Review and extensions", *European Journal of Operational Research*, 2006
34. Owen, Guillermo, "Game Theory", Academic Press Inc, 1982
35. C. Prahinski, C. Kocabasoglu, Empirical research opportunities in reverse supply chains, *Omega* 34 (2006) 519–532.
36. Gu Qiaolun, Ji Jianhua and Gao Tiegang, " Pricing management for a closed-loop
37. supply chain" Vol. 7, 1 45–60 *Journal of Revenue and Pricing Management*, 2007
38. Gu Qiaolun, Ji Jianhua, Gao Tiegang, " Pricing decisions for reverse supply chains"
39. *Kybernetes*, Vol.40 Iss:5 pp, 831-841, 2011
40. S. Rubio, A. Corominas, Optimal manufacturing-remanufacturing policies in a lean production environment, *Comput. Ind. Eng.* 55 (2008) 234–242.
41. R.C. Savaskan, S. Bhattacharya, L.N.V. Wassenhove, Closed-loop supply chain models with product remanufacturing, *Manage. Sci.* 50 (2004) 239–252.

42. R.savaskan, Luk N.van Wassenhove,"reverse chanel design:the case of competing retailers",management science,vol 52,No 1,2006, 1-14.
43. M.M.SeyedEsfahani,M.Biazaran,M.Gharakhani,(2011),"A game theoretic approach to coordinate pricing and vertical co-op advertising in manufacturer-retailer supply chain", European Journal of Operations Research,263-273
44. J. Shi, G. Zhang, J. Sha, "Optimal production planning for a multi-production planning for a multi-product closed loop" (2011) 641–650.system with uncertain demand and return, Comput. Oper. Res. 38.
45. M.Slikker, J.Fransoo, M.Wouters,(2005),"Cooperation between multiple news-vendors with transshipments",European Journal of Operations Research,330-380.
46. S.T.,R.N.Wenming Chuang,(2011),"Price markdown scheme in a multi-echelon supply chain in a high-tech industry", European Journal of Operations Research,581-589.TiaoJun Xiao, Danqin
47. Yang, "Price and service competition of supply chains with risk-averse retailers under demand uncertain" Int. J. Production Economics 114 (2008) 187–200
48. TiaoJun Xiao, KuiranShi , DanqinYang, "Coordination of a supply chain with consumer return under demand uncertainty", Int. J. Production Economics 124 (2010) 171–180
49. Tsay,Agrawal, "chanel dynamics under price and service competition",manufacturing and service operations management,2(4),(fall 2000),372-391
50. Jie Wei , Jing Zhao, "Pricing decisions with retail competition in a fuzzy closed-loop supply chain", Expert Systems with Applications 38 (2011) 11209–11216
51. T.Xiao, D.Yang,(2008)," Price competition of supply chain with risk-averse retailers", Int.J.production Economics,vol 114,187-200.
52. J.A.W.J.Xie,(2008),"Coordination advertising and pricing in a manufacturer-retailer channel", European Journal of Operations Research,758-791.
53. Xu Chen , Ling Li , Ming Zhou, "Manufacturer's pricing strategy for supply chain with warranty period-dependent demand", Omega 40 (2012) 807–816
54. Jing Zhao, Jie Wei, "Applied reverse channel decisions for a fuzzy closed-loop supply chain" , Mathematical Modelling.37 (2013) 1502–1513

ارائه مدل مکان‌یابی-تخصیص در شبکه زنجیره تأمین خون در حالت عدم قطعیت با در نظر گرفتن اختلال و ارتباط عرضی بین بیمارستان‌ها

زهرا محمدیان بهبهانی^{۱*}، آرمین جبار زاده^۲

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

(z.mohammadian.b@gmail.com)

۲- نویسنده مسئول: استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، (arminj@iust.ac.ir)

چکیده

این تحقیق به ارائه یک مدل غیرقطعی بهینه‌سازی چندهدفه طراحی شبکه زنجیره تأمین خون با تمرکز بر مکان‌یابی و تخصیص مراکز مختلف در صورت بروز اختلال می‌پردازد. غیرقطعی در نظر گرفتن اهدا علاوه بر تقاضا، در نظر گرفتن ارتباط عرضی بین بیمارستان‌ها به منظور افزایش قدرت تأمین تقاضا و مقابله با کمبود در بیمارستان‌ها، برنامه‌ریزی برای همه فرآورده‌های خونی، وجود مراکز ثابت، موقت و بانک‌های خون با ظرفیت‌های محدود و همچنین بررسی دو تابع هدف زمان و هزینه گامی در راستای نزدیک کردن مدل‌های موجود در ادبیات موضوع به واقعیت می‌باشد. از طرفی به منظور تأکید بر اهمیت بحث خرابی و دسترس‌پذیری مسیر در زمان بروز اختلال و نیز با توجه به ماهیت عدم قطعیت در مسئله مذکور، این موضوع در تحقیق پیش روی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت مدل ارائه شده با استفاده از داده‌های شهر تهران و با استفاده از مطالعات پیشین در حوزه زنجیره تأمین انتقال خون و نیز با به کارگیری روش محدودیت افسیلون و رویکرد بهینه‌سازی استوار حل شده و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین خون؛ مکان‌یابی-تخصیص؛ اختلال؛ ارتباط عرضی؛ عدم قطعیت

۱. مقدمه

خون انسان یک منبع کمیاب است که فقط به وسیله خود انسان تولید می‌شود و در حال حاضر هیچ محصول یا فرآیند شیمیایی دیگری نیست که به عنوان جایگزین آن مورد استفاده قرار گیرد. تأمین خون سالم و کافی مورد نیاز بیمارستان‌ها و مدیریت آن چالشی است که سیستم سلامت دولت‌ها همیشه با آن مواجه هستند. نیاز به اهداکنندگان خون و فرآورده‌های آن همیشه وجود دارد، در حالی که عرضه آن از سوی اهداکنندگان تا حدودی نامنظم و تقاضا برای فرآورده‌های خونی اغلب تصادفی است (زنده‌دل، ۱۳۹۳: ۳۴-۳۳).

تطبیق عرضه و تقاضا به شیوه‌های کارآمد درباره این محصول کار چندان ساده‌ای نیست. خون و فرآورده‌های خونی، محصولاتی فاسدشدنی هستند که این کار را مشکل‌تر می‌کند. کمبود خون نیز هزینه‌های بالایی را برای جامعه به همراه می‌آورد، زیرا باعث افزایش نرخ مرگ و میر می‌شود؛ بنابراین طراحی یک زنجیره تأمین مناسب برای تأمین خون مورد نیاز، موضوعی است که باید به آن توجه داشت. از آنجایی که زنجیره تأمین در هر حوزه‌ای همه فعالیت‌های مربوط به جمع‌آوری، تحویل، بازرسی و توزیع را انجام می‌دهد؛ در مبحث انتقال خون نیز با برنامه‌ریزی مناسب برای دریافت خون از اهدا دهندگان،

بررسی سلامت خون و تحویل آن به مراکز تقاضا (بیمارستان‌ها و واحدهای درمانی) علاوه بر کاهش هزینه‌های سازمانی باعث افزایش سطح خدمت و رضایت واحدهای متقاضی در امر خون‌رسانی می‌شود.

همان‌طور که ذکر شد میزان تقاضا و اهدای خون قطعی نیستند. از اینرو در این مقاله علاوه بر غیرقطعی در نظر گرفتن تقاضا، اهدای خون نیز به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است تا به شرایط واقعی جامعه نزدیک‌تر باشد. یکی دیگر از موضوعاتی که در این تحقیق به آن پرداخته شده امکان بروز اختلال در مسیر بین تسهیلات ثابت یا موقت خون و مراکز خون می‌باشد که با توجه به در نظر گرفتن سناریوهای مختلف در مدل، مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در این مطالعه به منظور افزایش دسترس‌پذیری در تأمین تقاضای مورد نیاز بیمارستان‌ها و مقابله با بروز کمبود به علت عدم وجود موجودی کافی در یک بیمارستان، بین بیمارستان‌ها ارتباط عرضی منظور گردیده است. لازم به ذکر است که در مقاله پیش روی حالت چندمحصولی در نظر گرفته شده و علاوه بر خون کامل برای سایر فرآورده‌های خونی نیز برنامه‌ریزی صورت گرفته است.

مابقی مطالب ارائه شده در این مقاله به این صورت است که بخش دوم از مقاله ادبیات حوزه زنجیره تأمین انتقال خون را به‌طور مختصر مرور می‌کند. مدل ریاضی توسعه داده شده در بخش سوم معرفی می‌گردد. در بخش چهارم مدل با استفاده از داده‌های واقعی در نرم افزار گمز اجرا شده و نتایج حاصل از حل مدل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نهایت در بخش پنجم به ارائه جمع‌بندی و پیشنهادهای آتی در زمینه موضوع مورد بحث پرداخته می‌شود.

۲. مرور ادبیات

مطالعه درباره مدیریت زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی که فرآورده‌های خونی نیز یک زیرمجموعه مهم از آن به شمار می‌رود توسط ون زایل (Van zyl, ۱۹۶۴: ۱) آغاز شد. کندال و لی (Kendall, Lee, ۱۹۸۰: ۱۱۵۷-۱۱۴۵) با توسعه یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی، اهداف چندگانه سطوح موجودی، در دسترس بودن خون تازه، کاهش میزان خون فاسد شده و هزینه‌های جمع‌آوری را بررسی کردند. ناهمیاس (Nahmias, ۱۹۸۲: ۹۵-۸۶) مدلی در رابطه با مدیریت موجودی محصولات فاسدشدنی ارائه داد. وی در این مطالعه اندکی به بررسی فرآورده‌های خونی پرداخت.

ژاکوبز و همکاران (Jacobs, et al., ۱۹۹۶: ۵۰-۴۰) در مورد نحوه زمان‌بندی فعالیت‌های جمع‌آوری و توزیع فرآورده‌های خونی تصمیم‌گیری کردند و به بررسی مسئله مکان‌یابی مجدد پایگاه‌های اهدای خون در نورفاک ویرجینیا پرداختند. آن‌ها در این مطالعه از مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح استفاده کردند.

دسکین و همکارانش (Daskin, et al., ۲۰۰۲: ۱۰۶-۸۳) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی به‌منظور تأمین تقاضای بیمارستان‌ها ارائه دادند. همچنین آن‌ها مراکز توزیع را مکان‌یابی کرده و تصمیمات موجودی را نیز لحاظ کردند. در نهایت مدل پیشنهادی آن‌ها با روش‌های ابتکاری حل شده است. پیرسکالا (Pierskalla, ۲۰۰۵: ۱۴۵-۱۰۳) در مورد بانک خون منطقه‌ای مطالعاتی را انجام داد.

شاهین و همکارانش (Şahin et al., ۲۰۰۷: ۷۰۴-۶۹۲) چندین مدل ریاضی مکان‌یابی-تخصیص تک دوره‌ای را به‌منظور بررسی خدمات انتقال خون در ترکیه ارائه دادند. ستین و سارول (Cetin, Sarul, ۲۰۰۹: ۱۲۴-۱۱۲) مدل برنامه‌ریزی ترکیبی ریاضی که ترکیبی از مدل‌های مکان‌یابی پیوسته گرانس و مدل‌های مکان‌یابی گسسته پوشش بود را به کار گرفتند. تابع هدف مسئله با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی غیرخطی فرموله شد و هدف آن کاهش زمان سفر بین بانک خون و بیمارستان-ها، کاهش هزینه‌های ثابت مکان‌یابی بانک‌های خون بود ضمناً شاخصی با عنوان نابرابری عدالت اجتماعی را نیز در این مطالعه در نظر گرفتند.

هملمایر و همکاران (Hemmelmayr, et al., ۲۰۰۹: ۱۲۴-۱۱۲) با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح در مورد انتخاب بیمارستان‌هایی که باید به‌صورت روزانه توسط وسایل حمل خون از پایگاه‌های اهدای خون پوشش داده شوند، تصمیم‌گیری کردند. نویسندگان عدم قطعیت در تقاضا را نیز لحاظ کرده و مقدار خون مورد نیاز هر بیمارستان را در هر روز تعیین

کردند. ناگورنی و همکارانش (Nagurney, et al., ۲۰۱۲: ۴۹-۷۲) یک مدل زنجیره تأمین خون شامل مراکز جمع‌آوری، تسهیلات آزمایشگاهی و تسهیلات ذخیره‌سازی و مراکز توزیع را مورد مطالعه قرار دادند. نویسندگان با به کار گیری یک رویکرد بهینه‌سازی چند معیاره به بررسی هزینه‌های عملیاتی کل زنجیره و ریسک‌های ناشی از کمبود و یا مازاد موجودی پرداختند.

با توجه به عمر کوتاه پلاکت خون، ژو و همکارانش (Zhou, et al., ۲۰۱۱: ۴۳۸-۴۲۰) مدیریت موجودی این فرآورده خونی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از رویکرد برنامه‌ریزی دینامیکی برای مدل خود استفاده کردند. آلفنسو و همکاران (Alfonso, et al., ۲۰۱۲: ۶۳-۷۸) در مطالعه خود به ارائه مدلی در حوزه مکان‌یابی تسهیلات ثابت و سیار جمع‌آوری خون در فرانسه پرداختند و چگونگی مدیریت اهدا دهندگان را نیز مورد بررسی قرار دادند. شا و هانگ (Zhou, et al., ۲۰۱۲: ۲۸-۲۱) به ارائه یک مدل زنجیره تأمین خون در شرایط بحران بعد از وقوع زلزله در پکن پرداختند و از روش آزادسازی لاگرانژ برای مسئله مکان‌یابی-تخصیص استفاده کردند. از جمله مطالعاتی که در زمینه طراحی شبکه صورت گرفته است می‌توان به مقاله جبار زاده و همکاران (Jabbarzadeh, et al., ۲۰۱۴: ۲۴۴-۲۲۵) اشاره کرد که در سطح استراتژیک و در مورد احداث مراکز ثابت و موقت خون در زمان بحران و چگونگی تخصیص این مکان‌ها به بیمارستان‌ها تصمیم‌گیری می‌کند.

فهمیم نیا و همکاران (Fahimnia, et al., ۲۰۱۵) به طراحی شبکه زنجیره تأمین کارا و مؤثر در شرایط وقوع بحران پرداختند و دو تابع هدف هزینه و زمان را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای حل مد از یک رویکرد ترکیبی استفاده کردند که روش محدودیت افسیلون و آزادسازی لاگرانژ را به‌طور هم‌زمان به کار می‌گیرد.

عاروان و همکارانش (Arvan, et al., ۲۰۱۵: ۶۸-۵۷) مسئله طراحی شبکه همراه با مکان‌یابی تسهیلات را با هدف حداقل کردن هزینه‌ها و زمان و در نظر گرفتن فسادپذیری بررسی کرد و ارتباط عرضی بین بیمارستان‌ها را نیز در نظر گرفت. در این مطالعه مراکز جمع‌آوری و مراکز خون مکان‌یابی شده‌اند و سپس تخصیص بیمارستان‌ها و مراکز صورت گرفته است.

ظهیری و همکارانش (Zahiri, et al., ۲۰۱۴: ۱) نیز به طراحی یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل اهدا دهندگان و مراکز ثابت و موقت پرداختند که شامل تصمیمات مکان‌یابی و تخصیص است. در این مطالعه ظرفیت هر یک از مراکز ثابت و موقت مشخص می‌باشد و ارتباط عرضی بین مراکز وجود دارد. در مقاله پیش روی نیز برای هر یک از مراکز ثابت، مراکز موقت، مراکز خون و بیمارستان‌ها ظرفیت مشخص در نظر گرفته شده است و در مراکز خون و بیمارستان‌ها موجودی نگهداری می‌شود.

در مدل‌سازی زنجیره تأمین خون از مدل‌سازی‌های متنوعی استفاده شده است. بخصوص روش‌های شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی دینامیکی، برنامه‌ریزی عدد صحیح، برنامه‌ریزی آرمانی و رویکردهای چندهدفه که بعضی از روش‌های معمول در ادبیات این موضوع هستند. این رویکردها به‌تنهایی یا ترکیبی با دیگر روش‌ها برای تجزیه و تحلیل مسائل واقعی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین رویکردهای گوناگونی مانند مسائل مکان‌یابی، مکان‌یابی-تخصیص، مکان‌یابی-مسیریابی و مکان‌یابی-مسیریابی-تخصیص وجود دارند. برخی مقالاتی که در حوزه مکان‌یابی-تخصیص وجود دارند از جمله مقاله پیش روی، سعی دارند که حداکثر پوشش تقاضا را داشته باشند. لازم به ذکر است که به دلیل حساسیت موضوع در مورد تحویل به‌موقع خون و فسادپذیر بودن آن اغلب از مسائل مسیریابی وسایل نقلیه همراه با پنجره‌های زمانی در زنجیره تأمین خون استفاده نمی‌شود (زننده‌دل، ۱۳۹۳: ۳۳-۳۴).

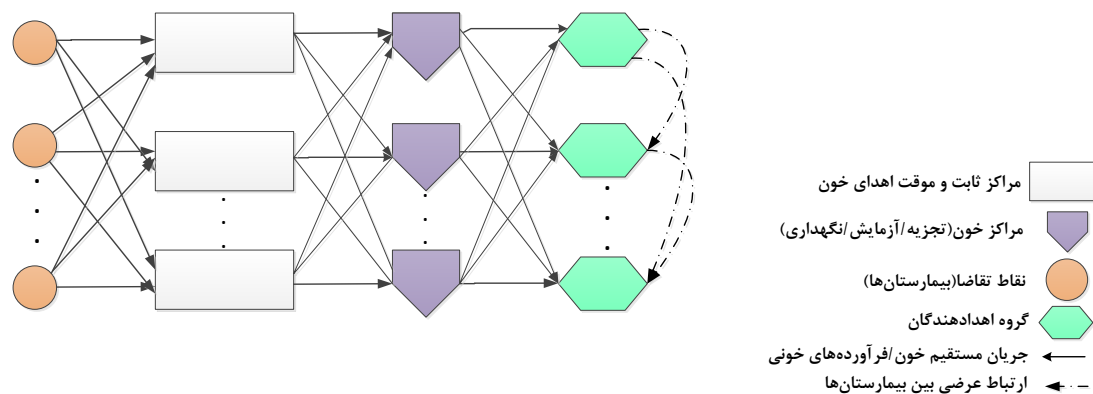
یکی دیگر از مواردی که در مقالات و مدل‌ها باید به آن توجه شود، غیرقطعی بودن اهدای خون است. اگر شرایط را برای کشور خودمان بررسی کنیم، درمی‌یابیم که اهدای خون در کشور ما در فصول مختلف سال متفاوت است. در فصل تابستان به دلیل افزایش سفرهای تابستانی و در پی آن تصادفات و جراحات، نیاز به خون به طرز چشمگیری افزایش پیدا می‌کند. این در حالی است که به دلیل گرمای هوا و سایر شرایط میزان اهدای خون در فصل تابستان کاهش می‌یابد. هم‌چنین در مناسبت‌های مذهبی-فرهنگی مانند ماه رمضان میزان اهدای خون کاهش و در ماه محرم افزایش می‌یابد. از طرفی با توجه به اینکه تا ۳ ماه بعد از اهدای خون فرد نمی‌تواند اهدای خون مجدد داشته باشد، در زمان بعد از اوج اهدا با کاهش شدید مواجه خواهیم شد؛ لذا در مقاله پیش روی برای در نظر گرفتن این مسئله رویکردی در نظر گرفته شده است. به این ترتیب که دو دسته مراکز خون

ثابت و موقت به صورت بالقوه وجود دارند. در صورتی که مراکز ثابت بتوانند پاسخگوی نیاز بیمارستان‌ها باشند به باز شدن مراکز موقت نیازی نیست ولی در صورتی که در برخی دوره‌ها مثلاً در فصل تابستان با افزایش میزان تقاضای خون رو به رو شویم، مراکز موقت در برخی نقاط فعال خواهند شد.

در این مقاله یک مدل طراحی شبکه چندهدفه و چند دوره‌ای با در نظر گرفتن اختلال و ارتباط عرضی بین بیمارستان‌ها به منظور کاهش هزینه‌ها (شامل هزینه‌های عملیاتی، نگهداری و موجودی و حمل‌ونقل) و کاهش زمان (شامل زمان‌های پردازش و حمل‌ونقل) در زنجیره تأمین انتقال خون ارائه شده است. همچنین به منظور تک‌هدفه کردن مدل و حل آن از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است.

۳. تعریف مسئله

در این مقاله، مسئله طراحی شبکه انتقال خون با تقاضا و اهدای غیرقطعی مورد مطالعه قرار گرفته است که شامل فروضاتی در این زمینه می‌باشد. مسئله شامل چندین مرکز جمع‌آوری و اهدای خون ثابت و موقت، مراکز پردازش خون و نقاط تقاضا می‌باشد که زنجیره مربوط به آن در شکل ۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱- فرم شماتیک شبکه زنجیره تأمین انتقال خون مورد نظر

در این مطالعه حالت چندمحصولی و مراکز ثابت و موقت در زنجیره تأمین خون در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در ادبیات مراکز ثابت و موقت در زمان وقوع بحران‌هایی مانند زلزله بررسی شده است ولی در این تحقیق مراکز موقت در دوره‌های زمانی که با کاهش قدرت تأمین (کاهش میزان اهدا) رو به رو هستیم و به منظور افزایش دسترسی اهدا دهندگان فعال خواهند شد. گروه اهدا دهندگان خون اهدایی خود را از طریق مراکز ثابت یا موقت به مراکز خون می‌رسانند. در این میان یکی از مفروضات مورد بررسی در این مطالعه امکان بروز اختلال در مسیر حرکت واحدهای خونی از تسهیلات به مراکز خون در سناریوهای مختلف است؛ که مدل پیشنهادی برای این حالت برنامه‌ریزی‌هایی را انجام می‌دهد. در مرحله بعد این خون‌ها در مراکز خون مورد از جهت سلامت و انجام تست‌های مورد نیاز، مورد پردازش قرار می‌گیرد و از طریق عملیات سانتریفیوژ به فرآورده‌های خونی متفاوت تجزیه می‌گردد. سپس مراکز خون فرآورده‌های خونی مورد نیاز بیمارستان‌ها را از موجودی نگهداری شده خود تأمین می‌کند. یکی دیگر از مفروضاتی که در این تحقیق مورد توجه است این است که در برخی شرایط به منظور افزایش توان مقابله با کمبود و تسریع در فرآیند تأمین خون در شرایط اضطرار، تأمین خون مورد نیاز بیمارستان‌ها ممکن است از طریق سایر بیمارستان‌ها تأمین شود.

هدف کلی این تحقیق طراحی یک شبکه زنجیره تأمین انتقال خون با تأکید بر مسئله مکان‌یابی-تخصیص با در نظر گرفتن اختلال و وجود ارتباط عرضی بین نقاط تقاضا است. توابع هدف مدل پیشنهادی شامل حداقل سازی هزینه‌های ایجاد تسهیلات ثابت و موقت، هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های حمل‌ونقل، پردازش و نگهداری و همچنین حداقل سازی زمان انجام فعالیت‌های پردازش و حمل‌ونقل‌ها در زنجیره تأمین است.

۴. مدل‌سازی

در این بخش ابتدا اندیس‌ها و مجموعه‌های مورد استفاده، پارامترها و متغیرهای مدل معرفی می‌شوند و سپس مدل نهایی ارائه خواهد شد.

۱.۴. اندیس‌ها و مجموعه‌ها

$i \in I$	I : اندیس گروه‌های اهدا دهندگان
$j \in J$	J : اندیس مکان‌های کانیدیا برای ایجاد تسهیلات
$k \in K$	K : اندیس مراکز خون
$l \in L$	L : اندیس نقاط تقاضا (بیمارستان‌ها)
$f_1 \in F$	f_1 : گلبول‌های قرمز
$f_2 \in F$	f_2 : پلاسما
$f_3 \in F$	f_3 : پلاکت
$f_4 \in F$	f_4 : خون کامل
$t \in T$	T : اندیس دوره‌های زمانی

$$F = (f_1 \cup f_2 \cup f_3 \cup f_4) : \text{مجموعه فرآورده‌های خونی متفاوت}$$

۲.۴. پارامترهای مدل

f_j	هزینه ثابت ایجاد یک تسهیل ثابت در مکان j
e	هزینه ثابت ایجاد یک تسهیل موقت
g_k	هزینه ثابت باز بودن مرکز خون k
o_{ijt}^s	هزینه عملیاتی جمع‌آوری خون از اهدا دهندگان گروه i در مکان j در دوره t تحت سناریوی s
ob_{kt}^s	هزینه عملیاتی در مرکز خون k در دوره t تحت سناریوی s
oh_{lt}^s	هزینه عملیاتی در بیمارستان l در دوره t تحت سناریوی s
ol_{flmt}^s	هزینه عملیاتی انتقال فرآورده خونی f از بیمارستان l به بیمارستان m در دوره t تحت سناریوی s
ab_{jk}	هزینه حمل‌ونقل از مکان j به مکان k
ah_{kl}	هزینه حمل‌ونقل از مکان k به مکان l
h_f	هزینه نگهداری موجودی فرآورده خونی f
df_{lts}	تقاضای محصول f در نقطه تقاضای l در دوره t تحت سناریوی s
p_s	احتمال وقوع سناریو s
r_{ij}	مسافت بین اهدا دهندگان گروه i و تسهیل موجود در مکان j
rr	مسافت پوشش داده شده توسط تسهیلات خون
b	ظرفیت تسهیل موقت در مکان j

- C_j : ظرفیت تسهیل ثابت در مکان j
 u_k : حداکثر ظرفیت ذخیره خون در مرکز خون k
 hc_l : ظرفیت نقاط تقاضا l (به عنوان مثال بیمارستان‌ها)
 m_i^s : حداکثر خون تأمین شده از اهدا دهندگان گروه i تحت سناریوی s
 M : یک عدد خیلی بزرگ
 th_{kl} : زمان سفر در طول مسیر (k,l)
 tb_{jk} : زمان سفر در طول مسیر (j,k)
 tL_{lm} : زمان سفر در طول مسیر (l,m)
 tC_{kf} : زمان پردازش فرآورده خونی f در مرکز خون k برای فرآورده خونی f
 tq_{lf} : زمان پردازش فرآورده خونی f در بیمارستان l برای فرآورده خونی f
 VH_{jks} : مقدار 1 دارد اگر در سناریوی s در طول مسیر (j,k) اختلال رخ دهد و در غیر این صورت مقدار صفر دارد.

۳,۴. متغیرهای تصمیم مدل

- X_j : مقدار 1 دارد اگر تسهیل ثابت در مکان j باز باشد و در غیر این صورت مقدار صفر دارد.
 Z_{jt}^s : مقدار 1 دارد اگر تسهیل موقت در مکان j و در سناریوی s باز باشد و در غیر این صورت مقدار صفر دارد.
 V_k : مقدار 1 دارد اگر مرکز خون k در سناریوی s باز باشد و در غیر این صورت مقدار صفر دارد.
 Y_{ijt}^s : مقدار 1 دارد اگر تسهیل در مکان j به اهدا دهندگان گروه i در دوره زمانی t در سناریوی s تخصیص داده شود و در غیر این صورت مقدار صفر دارد.
 w_{klt}^s : مقدار 1 دارد اگر بیمارستان l به مرکز خون k در دوره زمانی t و در سناریوی s تخصیص داده شود و در غیر این صورت مقدار صفر دارد.
 WH_{lmt}^s : مقدار 1 دارد اگر بیمارستان l با بیمارستان m در دوره زمانی t و در سناریوی s ارتباط عرضی داشته باشند و در غیر این صورت مقدار صفر دارد.
 Q_{ijkt}^s : تعداد واحد خون جمع‌آوری شده از تسهیل موجود در مکان j و از گروه اهدا دهندگان نوع i در دوره t و در سناریوی s به مرکز خون k فرستاده می‌شود.
 QB_{klft}^s : تعداد واحد فرآورده خونی f که از مرکز خون k در دوره t و در سناریوی s به نقطه تقاضای l فرستاده می‌شود.
 QH_{flmt}^s : تعداد واحد فرآورده خونی f که از بیمارستان l در دوره t و در سناریوی s به بیمارستان m فرستاده می‌شود.
 IB_{kft}^s : سطح موجودی فرآورده خونی f در مرکز خون k در انتهای دوره t و تحت سناریوی s
 IH_{lft}^s : سطح موجودی فرآورده خونی f در بیمارستان l در انتهای دوره t و تحت سناریوی s

۴,۴. تابع هدف مدل

مدل ارائه شده در این تحقیق یک مدل غیرقطعی چندهدفه در طراحی شبکه زنجیره تأمین انتقال خون است که به دنبال حداقل کردن دو تابع هدف هزینه و زمان با توجه به محدودیت‌های موجود می‌باشد. به منظور تک‌هدفه کردن توابع هدف این مسئله از روش محدودیت افسیلون استفاده شده است. با توجه به اهمیت تابع هدف زمان در مسائل زنجیره تأمین انتقال خون به دلیل فسادپذیری فرآورده‌های خونی، تابع هدف زمان به عنوان تابع هدف اصلی در روش محدودیت افسیلون در نظر گرفته شده و تابع هدف هزینه در محدودیت‌ها لحاظ می‌گردد که رویکرد این روش در بخش ۵,۱ شرح داده خواهد شد. تابع هدف اول

مربوط به حداقل کردن هزینه‌ها که شامل هزینه‌های ثابت احداث مراکز خون و تسهیلات ثابت و موقت، هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های نگهداری موجودی و هزینه‌های حمل‌ونقل می‌باشد. برای مقابله با عدم قطعیت‌های موجود در هر سناریو در تابع هدف هزینه از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده است که در (۱) آورده شده است.

$$\begin{aligned}
 \text{Min} F_1 = & \sum_{j \in J} f_j X_j + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s e Z_{jt}^s + \sum_{k \in K} g_k V_k + \\
 & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s o_{ijt}^s Q_{ijkt}^s + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s ob_{kt}^s Q_{ijkt}^s + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s oh_{lt}^s QB_{klft}^s + \\
 & \sum_{m \in L} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s oL_{flmt}^s QH_{lmft}^s + \\
 & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s ab_{jk} Q_{ijkt}^s + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s ah_{kl} QB_{klft}^s + \\
 & \sum_{k \in K} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s h_f IB_{kft}^s + \sum_{f \in F} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s h_f IH_{flt}^s +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \lambda \left[\left(\sum_{j \in J} f_j X_j + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s e Z_{jt}^s + \sum_{k \in K} g_k V_k + \right. \right. \\
 & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s o_{ijt}^s Q_{ijkt}^s + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s ob_{kt}^s Q_{ijkt}^s + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s oh_{lt}^s QB_{klft}^s + \\
 & \sum_{m \in L} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s oL_{flmt}^s QH_{lmft}^s + \\
 & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s ab_{jk} Q_{ijkt}^s + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s ah_{kl} QB_{klft}^s + \\
 & \left. \sum_{k \in K} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s h_f IB_{kft}^s + \sum_{f \in F} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s h_f IH_{flt}^s + \right. \\
 & \left. - \left(\sum_{j \in J} f_j X_j + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{s' \in S} p_s e Z_{jt}^{s'} + \sum_{k \in K} g_k V_k + \right. \right. \\
 & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{s' \in S} p_s o_{ijt}^{s'} Q_{ijkt}^{s'} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{s' \in S} p_s ob_{kt}^{s'} Q_{ijkt}^{s'} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s' \in S} p_s oh_{lt}^{s'} QB_{klft}^{s'} + \\
 & \sum_{m \in L} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s' \in S} p_s oL_{flmt}^{s'} QH_{lmft}^{s'} + \\
 & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{s' \in S} p_s ab_{jk} Q_{ijkt}^{s'} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s' \in S} p_s ah_{kl} QB_{klft}^{s'} + \\
 & \left. \sum_{k \in K} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s' \in S} p_s h_f IB_{kft}^{s'} + \sum_{f \in F} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} \sum_{s' \in S} p_s h_f IH_{flt}^{s'} + \sum_{s \in S} 2\theta_s p_s \right)
 \end{aligned}
 \tag{۱}$$

تابع هدف دوم مجموع زمان‌های پردازش در مراکز خون و بیمارستان‌ها و همچنین مجموع زمان‌های حمل‌ونقل خون از تسهیلات به مراکز خون، از مراکز خون به بیمارستان‌ها و انتقال بین بیمارستان‌ها را حداقل می‌کند. تابع هدف زمان یک تابع هدف وزن‌دار است که از حاصل ضرب زمان‌های سفر در میزان واحد خون جابه‌جا شده در هر مسیر به دست می‌آید. معادله (۲) تابع هدف زمان ارائه شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned}
 \text{Min} F_2 = & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s tb_{jk} Q_{ijkt}^s + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s tc_{kf} Q_{ijkt}^s + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s th_{kl} QB_{klft}^s \\
 & + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s tq_{lf} QB_{klft}^s + \sum_{m \in L} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} p_s tL_{lm} QH_{lmft}^s
 \end{aligned}
 \tag{۲}$$

۵.۴. محدودیت‌های مدل

محدودیت‌های مربوط به توابع هدف مسئله به شرح زیر می‌باشد.

$$IB_{kft-1}^s + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Q_{ijkt}^s - \sum_{l \in L} QB_{klft}^s = IB_{kft}^s \quad \forall k \in K, \forall f \in F, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (3)$$

$$IH_{lft-1}^s + \sum_{k \in K} QB_{klft}^s + \sum_{m \in L} QH_{fmlt}^s - \sum_{m \in L} QH_{flmt}^s = IH_{lft}^s \quad \forall l \in L, \forall f \in F, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} QB_{klft}^s + \sum_{m \in L} QH_{fmlt}^s - \sum_{m \in L} QH_{flmt}^s = d_{lts}^f \quad \forall l \in L, \forall f \in F, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (5)$$

$$X_j + Z_{jt}^s \leq 1 \quad \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (6)$$

$$Y_{ijt}^s \leq X_j + Z_{jt}^s \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (7)$$

$$r_{ij} Y_{ijt}^s \leq rr \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (8)$$

$$Q_{ijkt}^s \leq MY_{ijt}^s \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} Q_{ijkt}^s \leq m_i^s \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} Q_{ijkt}^s \leq c_j X_j + b_j Z_{jt}^s \quad \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (11)$$

$$\sum_{f \in F} I_{kft}^s \leq u_k V_k \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (12)$$

$$\sum_{f \in F} I_{flmt}^s \leq hc_l \quad \forall l \in L, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (13)$$

$$QB_{klft}^s \leq Mw_{klt}^s \quad \forall l \in L, \forall f \in F, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Q_{ijkt}^s \leq u_k V_k \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (15)$$

$$QB_{klft}^s \leq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Q_{ijkt}^s \quad \forall k \in K, \forall l \in L, \forall f \in F, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (16)$$

$$w_{klt}^s \leq V_k \quad \forall l \in L, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (17)$$

$$\sum_{k \in K} w_{klt}^s \leq 1 \quad \forall l \in L, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (18)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ijt}^s \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (19)$$

$$\sum_{m \in L} QH_{flmt}^s \leq \sum_{k \in K} QB_{klft}^s \quad \forall l \in L, \forall f \in F, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (20)$$

$$QH_{flmt}^s \leq MVH_{lmts} \quad \forall l, m \in L, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (21)$$

$$VH_{lmts} \leq w_{klt}^s \quad \forall k \in K, \forall l, m \in L, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (22)$$

$$\sum_{l \in L} VH_{lmts} \leq 1 \quad \forall l, m \in L, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (23)$$

$$X_j, Z_{jt}^s, V_k, w_{klt}^s, VH_{lmts} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, \forall j \in J, \forall l \in L, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (24)$$

$$Q_{ijkt}^s, QB_{klft}^s, QH_{flmt}^s, IB_{kft}^s, IH_{lft}^s, \sigma_{flt}^s, WB_{kft}^s, WL_{lft}^s \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall l \in L, \forall f \in F, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (25)$$

محدودیت (۳) محدودیت تعادل موجودی هر مرکز خون است. محدودیت (۴) تعادل موجودی در هر بیمارستان و محدودیت (۵) برآورده کردن تقاضای هر بیمارستان را نشان می‌دهد. محدودیت (۶) بیان می‌کند که در هر ایستگاه باید فقط یک تسهیل وجود داشته باشد. محدودیت (۷) بیان می‌کند که یک اهدا دهنده تنها به یک تسهیل باز می‌تواند اختصاص داده شود. محدودیت (۸) تضمین می‌کند که اهدا دهندگان با مسافت I به تسهیلی که به آن اختصاص دارند پوشش داده می‌شوند. محدودیت (۹) بیان می‌کند خون اهداشده توسط یک اهدا دهنده فقط از همان تسهیلی که خون را دریافت کرده می‌تواند منتقل گردد. محدودیت (۱۰) حداکثر ظرفیت خون جمع‌آوری شده از اهدا دهندگان گروه i را بیان می‌کند. محدودیت (۱۱) خون‌های جمع‌آوری‌شده در هر تسهیل را به حداکثر ظرفیت آن محدود می‌کند. محدودیت (۱۲) خون‌های جمع‌آوری‌شده در هر مرکز را به حداکثر ظرفیت آن محدود می‌کند. محدودیت (۱۳) ظرفیت هر بیمارستان را محدود می‌کند. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که میزان فرآورده خونی مورد نیاز در هر بیمارستان از مرکز خونی که به آن بیمارستان تخصیص داده شده تأمین می‌گردد. محدودیت (۱۵) بیان می‌کند که تسهیلات ثابت و موقت فقط به یک مرکز خون باز می‌تواند تخصیص یابند. محدودیت (۱۶) نشان می‌دهد که میزان واحدهای خونی که به بیمارستان‌ها فرستاده می‌شود از مجموع خونی که به مراکز خون فرستاده می‌شود بزرگ‌تر نیست. محدودیت (۱۷) تضمین می‌کند که بیمارستان‌ها به مراکز خون باز تخصیص داده می‌شوند. محدودیت (۱۹) بیان می‌کند که هر گروه اهدا دهنده تنها به یک تسهیل ثابت یا موقت تخصیص داده می‌شود. محدودیت (۲۰) تضمین می‌کند که واحد خونی که از هر بیمارستان به سایر بیمارستان‌ها فرستاده می‌شود از میزان خونی که از مراکز خون به آن بیمارستان فرستاده می‌شود بیشتر نمی‌باشد. محدودیت (۲۱) بیان می‌کند که انتقال فرآورده خونی از یک بیمارستان به بیمارستان دیگر در صورتی امکان‌پذیر است که امکان انتقال عرضی بین آن دو بیمارستان وجود داشته باشد. محدودیت (۲۲) بیان می‌کند که در صورتی امکان انتقال از یک بیمارستان به سایر بیمارستان‌ها وجود دارد که آن بیمارستان خود به یک مرکز خون تخصیص داشته باشد. محدودیت (۲۳) نشان می‌دهد که هر بیمارستان تنها با یک بیمارستان دیگر می‌تواند ارتباط عرضی داشته باشد. محدودیت‌های (۲۴) و (۲۵) نوع متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند.

۵. نتایج عددی و تحلیل حساسیت

مدل پیشنهادی به‌منظور اعتبارسنجی در نرم‌افزار گمز پیاده‌سازی شده است. داده‌های مورد استفاده از مدل اغلب از داده‌های واقعی شهر تهران و با استخراج از مطالعات قبلی (به‌عنوان نمونه مقاله جبار زاده و همکاران (۲۰۱۴)) و در برخی موارد نیز از داده‌های تصادفی به دست آمده است. ابتدا برای مشاهده صحت عملکرد مدل، مسئله در دو اندازه مختلف حل شده است که نتایج به دست آمده در جدول ۱ مشاهده می‌گردد.

جدول ۱- نتایج عددی حاصل از حل مدل در اندازه‌های مختلف

شماره مسئله	توابع هدف	اندازه مسئله	مقدار توابع هدف	زمان حل مسئله (S)
		i/j/k/s/t/l		
مسئله شماره ۱	تابع هدف هزینه	۳/۴/۳/۵/۳/۸	۷۶۷۴۵۵۵,۸۶۰	۲۹,۵۸۳
	تابع هدف زمان	۳/۴/۳/۵/۳/۸	۱۲۸۹۵۳,۸۰۰	۲۰,۱۰۴
مسئله شماره ۲	تابع هدف هزینه	۵/۵/۴/۸/۴/۸	۱۳۵۸۵۷۴۰	۱۰۲۱,۸۰۶
	تابع هدف زمان	۵/۵/۴/۸/۴/۸	۱۸۷۹۶۴,۲۹۰	۲۵,۸۰۹

۵.۱. روش محدودیت اپسیلون

رویکرد روش به این صورت است که با تشکیل جدول نتایج نهایی^۱ بهترین مقدار و بدترین مقدار برای هر تابع هدف به دست می‌آید. سپس فاصله بین این دو مقدار به تعداد دلخواه بازه تقسیم شده و هر یک از اعداد به دست آمده یک اپسیلون

^۱ payoff

به حساب می‌آید. با تغییر اپسیلون‌ها می‌توان به جواب پارتو دست یافت. در مورد مسئله پیش روی تابع هدف هزینه به عنوان یک محدودیت در نظر گرفته می‌شود که در معادله (۲۶) نیز به چشم می‌خورد.

$$\text{Min} F_2(x)$$

Subject to:

$$F_1(x) \leq \varepsilon_1$$

$$x \in S$$

(۲۶)

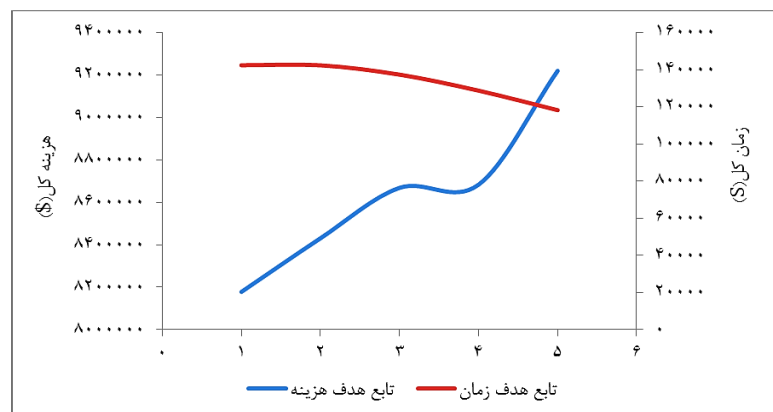
به منظور بررسی تغییراتی که بر اثر هزینه‌ها و زمان در پیکره‌بندی و مقدار توابع هدف در زنجیره تأمین خون به وجود می‌آید، مقادیر متفاوتی برای اپسیلون‌ها در نظر گرفته می‌شود. جدول ۲ تأثیر مقادیر مختلف اپسیلون را بر توابع هدف هزینه و زمان و همچنین چگونگی پیکره‌بندی زنجیره تأمین نشان می‌دهد.

جدول ۲- تأثیر مقادیر مختلف اپسیلون بر توابع هدف هزینه و زمان و همچنین چگونگی پیکره‌بندی زنجیره تأمین

تسهیلات موقت	تسهیلات ثابت	مقدار تابع هدف زمان	مقدار تابع هدف هزینه	مقدار اپسیلون مربوط به تابع هدف هزینه
	۴ و ۳ و ۱	۱۲۸۶۷۷,۷۰۰	۹۲۱۹۶۸۹,۹۱۰	۷۹۲۵۰۸۶,۸۶۰
۳ و ۲	۴ و ۱	۱۳۲۵۸۲,۲۱۱	۸۱۷۷۷۷۹,۱۳۵	۸۱۷۷۷۷۹,۱۳۵
۱	۴ و ۲	۱۲۸۱۲۰,۰۰۰	۸۴۳۰۴۷۱,۴۱۰	۸۴۳۰۴۷۱,۴۱۰
	۴ و ۳ و ۱	۱۳۶۵۰۶,۶۰۰	۸۶۸۳۱۶۳,۶۸۵	۸۶۸۳۱۶۳,۶۸۵
	۴ و ۳ و ۱	۱۳۰۷۶۸,۷۰۰	۸۶۶۸۱۱۷,۹۶۰	۸۹۳۵۸۵۵,۹۶۰

۲.۵. تعادل بین توابع هدف

در این بخش تأثیر افزایش هزینه‌های ثابت زنجیره تأمین خون (شامل هزینه‌های ثابت احداث مراکز ثابت و موقت و باز بودن مراکز خون) بر توابع هدف مسئله و فعال بودن یا نبودن هر یک از تسهیلات مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۲ تعادل بین توابع هدف هزینه و زمان را با توجه به گروه‌های مختلف هزینه‌ها که به صورت افزایشی نیز می‌باشند، نشان می‌دهد.



شکل ۲- تعادل بین توابع هدف هزینه و زمان با افزایش هزینه‌ها

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش هزینه‌های ثابت زنجیره تأمین، تابع هدف هزینه افزایش می‌یابد و به ازای آن تابع هدف زمان کاهش می‌یابد. این امر وجود تناقض بین توابع هدف را به خوبی نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌دانیم به دلیل فسادپذیری خون و فرآورده‌های خونی، عامل زمان در زنجیره تأمین محصولات خونی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. لذا با توجه به تحلیل انجام شده، می‌توان در ازای افزایش هزینه، زمان را در زنجیره تأمین خون کاهش داد یا به عبارتی دیگر به

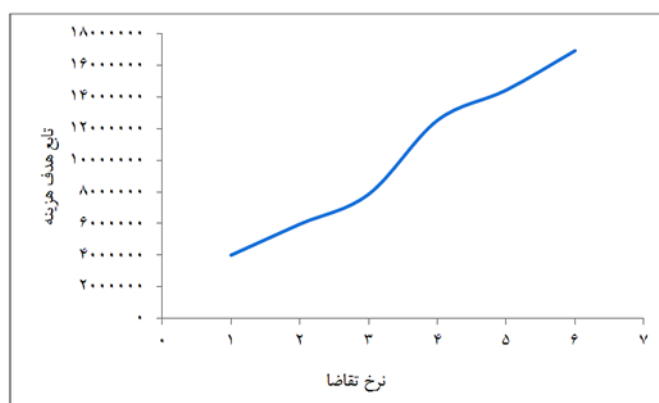
عامل زمان وزن بیشتری را تخصیص داد. لذا نکته مهم در این گونه مسائل برآورد مقدار بهینه برای تابع هدف هزینه است که به زمان بهینه نیز منجر شود. جدول ۲ پیکره‌بندی زنجیره تأمین انتقال خون مورد نظر را به ازای افزایش در هزینه‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به ازای هزینه‌های مختلف، زنجیره تأمین انتقال خون حالت‌های مختلفی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- پیکره‌بندی زنجیره تأمین انتقال خون مورد نظر به ازای افزایش هزینه‌ها

مراکز خون	تسهیلات موقت	تسهیلات ثابت	مجموعه هزینه‌ها به صورت افزایشی
۳ و ۱	۲	۴ و ۳ و ۱	۱
۳ و ۲ و ۱	۱	۴ و ۳ و ۲	۲
۳ و ۲ و ۱		۴ و ۲ و ۱	۳
۳ و ۲ و ۱	۳	۴ و ۲ و ۱	۴
۳ و ۲ و ۱	۴ و ۲ و ۱	۳	۵

۳.۵. تحلیل حساسیت بر روی نرخ تقاضا

در این بخش تغییرات تابع هدف هزینه با توجه به مقادیر مختلف تقاضا و اهدای خون در شکل ۳ مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور برآورده کردن تقاضای در زنجیره تأمین انتقال خون در صورت افزایش نرخ تقاضا، هزینه‌های زنجیره روند صعودی را خواهد داشت. نیاز به احداث مراکز و تسهیلات بیشتر برای پاسخگویی به تقاضا و افزایش حمل و نقل‌ها در سطح زنجیره باعث افزایش هزینه‌های کل خواهد شد.



شکل ۳- تغییرات تابع هدف هزینه با توجه به مقادیر مختلف تقاضا

۶. نتیجه‌گیری

در این تحقیق به ارائه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه طراحی شبکه زنجیره تأمین خون با تمرکز بر مکان‌یابی و تخصیص مراکز مختلف در صورت بروز اختلال پرداخته شد. چندهدفه بودن مدل مربوط به وجود دو تابع هدف هزینه و زمان است که با استفاده از روش محدودیت افسیلون در نرم‌افزار گمز به اجرا درآمده است. به دلیل اهمیت بالای تابع هدف زمان در مسائل زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر از جمله فرآورده‌های خونی، تابع هدف زمان به‌عنوان تابع هدف اصلی در مدل لحاظ شده است و تابع هدف هزینه طبق روش محدودیت افسیلون در محدودیت‌ها در نظر گرفته شده است. همچنین لازم به ذکر است که

با توجه به ماهیت غیرقطعی بودن مسئله به دلیل وجود پارامترهای غیرقطعی اهدا و تقاضای خون، از رویکرد بهینه‌سازی استوار برای مواجهه با عدم قطعیت در سناریوهای مختلف استفاده شده است.

در این مطالعه ارتباط عرضی بین بیمارستان‌ها در نظر گرفته شده است که این امر در افزایش قدرت تأمین تقاضا و مقابله با کمبود در بیمارستان‌ها تأثیر به سزایی دارد؛ به این صورت که در صورت عدم توانایی یک بیمارستان در پاسخگویی به تقاضا در یک دوره زمانی، مقدار مورد نیاز از فرآورده‌های خونی از سایر بیمارستان‌هایی که با بیمارستان مورد نظر ارتباط دارند تأمین می‌گردد. این امر باعث می‌شود تا در مدت زمان کمتر و حتی با هزینه کمتری تقاضای بیمارستان مورد نظر پاسخ داده شود و از بروز هزینه‌های سنگین وقوع کمبود جلوگیری شود. با توجه به اینکه بحث خرابی و دسترس‌پذیری مسیر در زمان بروز اختلال بسیار مهم است و نیز با توجه به ماهیت عدم قطعیت در مسئله مذکور وجود اختلال در زنجیره تأمین انتقال خون نیز در این مطالعه در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که می‌دانیم با توجه به فسادپذیر بودن خون و اهمیت شدید تأمین تقاضای مورد نیاز فرآورده‌های خونی، وقوع اختلال یکی از عواملی است که باید برای آن برنامه‌ریزی‌های لازم صورت گیرد؛ زیرا در صورت وقوع اختلال در هر یک از مراکز یا مسیرها توانایی تأمین تقاضا در نقاط مختلف کاهش می‌یابد. در نهایت اعتبار مدل پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفت. چگونگی مکان‌یابی و تخصیص مراکز و تسهیلات مختلف در سناریوهای مختلف یا به عبارتی نحوه پیکربندی زنجیره تأمین خون مورد نظر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر هزینه‌های مختلف زنجیره بر مقدار بهینه توابع هدف و انتخاب تسهیلات نیز نشان داده شد. از جمله پیشنهادهایی برای مطالعات آتی در حوزه زنجیره تأمین انتقال خون می‌توان به استفاده از سایر رویکردهای مقابله با عدم قطعیت به جای رویکرد استوار استفاده کرد. تمرکز بیشتر مقابله با کمبود و پاسخگویی به همه تقاضاها با توجه به هزینه‌های سنگین وقوع کمبود به عنوان ایده کاربردی مطرح است؛ همچنین ترکیب مسائل مختلف مانند موجودی و مسیریابی می‌تواند به ارائه مدل‌های جامع در زنجیره تأمین انتقال خون مطرح باشد.

مراجع

1. زنده‌دل، محمد؛ بزرگی امیری، علی؛ عمرانی، هاشم، ۱۳۹۳. ارائه مدل مکان‌یابی پایگاه‌های اهدای خون با در نظر گرفتن اختلال محل استقرار، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، ۳۳-۳۴.
2. Arvan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Abdollahi, M. (2015). Designing a bi-objective and multi-product supply chain network for the supply of blood. *Uncertain Supply Chain Management*, 3(1), 57-68.
3. Alfonso, Edgar, et al. "Modeling and simulation of blood collection systems." *Health Care Management Science* 15.1 (2012): 63-78.
4. Cetin, Eyup, and L. Sinem Sarul. "A blood bank location model: A multiobjective approach." *European Journal of Pure and Applied Mathematics* 2.1 (2009): 112-124.
5. Daskin, M. S., Coullard, C. R., & Shen, Z. J. M. (2002). An inventory-location model: Formulation, solution algorithm and computational results. *Annals of Operations Research*, 110(1-4), 83-106.
6. Fahimnia, B., Jabbarzadeh, A., Ghavamifar, A., & Bell, M. (2015). Supply chain design for efficient and effective blood supply in disasters. *International Journal of Production Economics*.
7. Hemmelmayr, Vera, et al. "Vendor managed inventory for environments with stochastic product usage." *European Journal of Operational Research* 202.3 (2010): 686-695.
8. Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, 225-244.
9. Jacobs, D. A., Silan, M. N., & Clemson, B. A. (1996). "An analysis of alternative locations and service areas of American Red Cross blood facilities". *Interfaces*, 26(3), 40-50.

10. Kendall, Kenneth E., and Sang M. Lee. "Formulating blood rotation policies with multiple objectives." *Management Science* 26.11 (1980): 1145-1157.
11. Nagurney, A., Masoumi, A. H. & Yu, M. (2012). Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization. *Computational Management Science*, 9, 205-231.
12. Nahmias, S. (1982). "Perishable inventory theory: a review." *Oper Res.* Vol. 30, No. 4, PP. 680-708. Or, I. & Pierskalla, W. P. (1979). A transportation location-allocation model for regional blood banking. *AIIE transactions*, 11, 86-95.
13. Pierskalla, W. (2005). Supply chain management of blood banks. *Operations Research and Health Care*, 103-145.
14. Sha, Y., & Huang, J. (2012). The multi-period location-allocation problem of engineering emergency blood supply systems. *Safety and Emergency and System Engineering*. 5, 21-28.
15. Şahin, Güvenç, Haldun Süral, and Sedef Meral. "Locational analysis for regionalization of Turkish RedCrescent blood services." *Computers & Operations Research* 34.3 (2007): 692-704.
16. Van Zyl, G. J. J. (1964). *Inventory control for perishable commodities*. publisher not identified.
17. Zahiri, B., Mousazadeh, M., & Bozorgi-Amiri, A. (2014). A Robust Stochastic Programming Approach for Blood Collection and Distribution Network Design. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 3(2), 1.
18. Zhou, Deming, Lawrence C. Leung, and William P. Pierskalla. "Inventory management of platelets in hospitals: optimal inventory policy for perishable products with regular and optional expedited replenishments." *Manufacturing & Service Operations Management* 13.4 (2011): 420-438.

پروژه‌های کاربردی در مهندسی صنایع

Arien.ir

نشانی: کرج، بلوار امام خمینی (باغستان)، بین
خیابان پنجم و ششم، روبروی مجموعه ورزشی
انقلاب، پلاک ۷۳۵، ساختمان پرند، واحد ۱



۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴ ۸۷



۰۲۶ ۳۴ ۴۳ ۶۹ ۵۹

۰۲۱ ۴۳ ۸۵ ۷۱ ۲۴