فصلنامه علمی تخصصی پژوهش‌های کاربردی مهندسی صنایع
سال پنجم، شماره ۲ (پیاپی: ۱۸)، پاییز و زمستان ۱۴۰۲
ISSN: 2645-4394

ارایه یک مدل ریاضی چندهدفه برای یک مساله مکان‌یابی-مسیریابی برای اقلام دارویی با رویکرد تقاضای احتمالی

امین شیخیان[1]، پرستو سادات کربلایی سید میرزا[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸
کد مقاله: ۶۷۹۵۷

چکـیده

تئوری مسئله مکان‌یابی تسهیلات از سال۱۹۶۰ میلادی تا حال حاضر بخش بسیار با اهمیتی از تحقیقات پژوهشگران را به سمت خود معطوف کرده است. در طی این دوره با توجه به نیاز و مشکلات دنیای واقعی، مسائل مکان‌یابی مختلفی مدل سازی شده و برای حل آن_ها از روش-های مختلفی استفاده شده است. ارائه یک مدل مناسب برای استقرار مکان های تولیدی و مسیریابی صحیح وسایل نقلیه هم چنین یک سیستم موجودی مناسب، سبب افزایش کارایی سازمان‌ها خواهد شد. ما در این پژوهش یک مدل ادغامی مکان‌یابی-مسیریابی برای زنجیره تأمین اقلام دارویی ارائه داده‌ایم به طوری که بتوان با ایجاد یک سیاست مناسب موجودی تمامی تقاضاهای خرده فروشان (مشتریان) را پاسخ دهیم و هیچ تقاضایی را از دست ندهیم. بدین منظور یک مدل ریاضی مختلط برای یک زنجیره تامین چهارسطحی که این زنجیره تامین شامل تولیدکننده-ها(کارخانه)، توزیع کننده، عمده فروشان،خرده فروشان می باشد، ارائه داده‌ایم به طوری که سعی کرده‌ایم با ایجاد انبارها در حالی که هزینه‌ها را به کم‌ترین مقدار خود می‌رسانیم، ،هیچ تقاضایی را از دست ندهیم. در این پژوهش تقاضا را به صورت غیر قطعی و احتمالی و به صورت سناریو محور در نظر گرفته‌ایم.

واژگـان کلـیدی: مکان یابی-مسیریابی،زنجیره تامین،تقاضای احتمال

۱- دانشگاه پیام نور تهران شمال (نویسنده مسئول)
۲- دانشگاه پیام نور تهران شمال

۱- مقدمه

از مهم ترین اهداف در طراحی یک زنجیره تأمین می‌توان به حفظ اثربخشی زنجیره برای برآورده کردن تقاضای مصرف کنندگان و ماندن در بازار رقابتی در عصر حاضر و درنهایت کسب حداکثری سود اشاره کرد. بنابراین تمامی فعالیت‌ها در زنجیره باید به منظور کاهش هزینه‌ها، رضایت مصرف کننده و افزایش سود به بهترین نحو صورت پذیرد. درواقع هر زنجیره تأمین که شامل بخش‌ها و مراحل گوناگونی است که به طور مستقیم و یا غیرمستقیم برای دستیابی به هدفی مشترک با یکدیگر در ارتباط هستند[۱]. صنعت دارو با هزینه‌های بالایی مواجه است که این هزینه‌ها متناسب با بهبود کیفیت و اثر بخشی محصولات دارویی افزایش می‌یابد[۵]. چالش‌های کلیدی در عملیات تولید دارو بر روی شناسایی ارزش بالقوه‌ی داروها و حمایت از تصمیمات برای ظرفیت جدید تسهیلات و برنامه ریزی تولید داروها تمرکز دارد[۶]. دو عامل یعنی برآورده کردن انتظارات مصرف کننده و افزایش هزینه‌ها در طول زنجیره، زنجیره را مجبور به یافتن راهی برای بهبود کارایی خود می کند[۲]. با دسترسی به داروهای مهم و ضروری که یکی از پایه‌های اساسی سازنده در سیستم‌های مراقبت بهداشتی است، معیارهای سیاسی با هدف کاهش رشد هزینه‌ها در درجه‌ی اول در صنعت داروسازی موردبحث قرارگرفته است[۱]. مدیریت زنجیره تأمین شامل مدیریت همه سطوح زنجیره از نقطه شروع تارسیدن محصول به دست مشتریان است و تمامی جریان‌های درون شبکه از استخراج مواد تا ارزش نهایی محصولات را در بر می-گیرد .یکی از موضوع‌های مهم وکلیدی در بررسی زنجیره تأمین، مکانیابی تسهیلات شبکه است .مسائل مکان یابی تسهیلات، قراردادن مجموعه‌ای از تسهیلات)منابع (برای به حداقل رساندن هزینه‌های برآورده سازی مجموعه‌ای از تقاضاهای مشتریان با درنظرگرفتن مجموعه ای از محدودیت‌ها است[۱].

۲- اهمیت و ضرورت تحقیق

زنجیره تامین جزو مهمترین مبحث در صنایع و سازمان ها می باشد. ارکان مختلفی در زنجیره تامین وجود دارد که با بررسی و مدیریت کردن آن ها می توان به کاهش هزینه ها که هدف اکثر سازمان ها هستند، برسیم. برنامه ریزی در زنجیره تامین به سه قسمت برنامه ریزی استراتژیک، عملیاتی و تاکتیکی تقسیم بندی میشوند. مسائل مکان یابی برای صنایعی که با مشتری نهایی روبرو هستند، و در سطوح اصلی فعالیت دارند، مانند صنایع محصولات مصرفی از اهمیت زیادی برخوردار است. در چنین صنایعی با توجه به رقابتی بودن بازار، وفاداری مشتری رابطه مستقیمی با قیمت محصول، دسترسی به موقع به محصول و کیفیت محصول نهایی خواهد داشت. به همین علت یکی از نکاتی که تضمین کننده سود خواهد بود، پاسخ گویی به موقع با بهترین کیفیت و کم ترین هزینه به تقاضای مشتریان می باشد[۱]. در سال های اخیر تحقیقات زیادی درحوزه مسائل مکان یابی-مسیریابی شده است، با این وجود هم چنان مسائل بسیاری وجود دارد که از دید محققان دور مانده است یکی از مباحث مهم مدیریت زنجیره تامین در مصرف اقلام دارویی می‌باشد، اقلام دارویی به شدت از اهمیت بالای برخوردار است علت این اهمیت این است که دارو با جان انسان ها سر وکار دارد و نبود دارو و یا کمبود دارو می تواند باعث به خطر افتادن جان انسان‌ها بشود. لذا ارائه یک مدل ریاضی برای مدیریت زنجیره تامین در حوزه مکان یابی و مسیریابی به شدت حائز اهمیت است. هم‌چنین مکان یابی-مسیریابی در یک زنجیره تأمین چند سطحی با در نظر گرفتن تقاضای احتمالی و خرابی احتمالی وسایل حمل نقل نیز از توجه محققان دور مانده است. امروزه محققان بر این باورند که لحاظ نمودن هم زمان مسائل مکان یابی-مسیریابی در یک زنجیره تأمین نقش به سزایی در کاهش هزینه‌های مربوطه دارد[۱].

۳- مرور منابع

قلی پور و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی تحت عنوان "طراحی زنجیره تأمین سبز در مسئله مکان‌یابی-مسیر یابی- موجودی با رویکرد فازی" به طراحی زنجیره تأمین سبز و ایجاد مدل مکان یابی-مسیر یابی-موجودی پرداخته اند. در این پژوهش یک مدل عدد صحیح مختلط دو هدفه مورد بررسی قرار گرفته است. مدل مورد بررسی به مکان یابی مراکز توزیع و مسیر یابی وسایل نقلیه تحت تقاضای فازی می پردازد. در این پژوهش مکان یابی مراکز توزیع، مسیر یابی به صورت VRP با ظرفیت محدود صورت می گیرد. هم چنین تقاضا به صورت غیر قطعی می باشد و از یک راه حل فازی استفاده شده است [۱۱].

کاظمی و همکاران (۱۳۹۸) صورت جدیدی از مسئله مکان یابی-مسیریابی-موجودی را در یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته برای محصولات فاسد شدنی با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی را ارائه می دهند، به نحوی که همزمان مجموع هزینه های سیستم، مجموع حداکثر زمان حمل و نقل و انتشار آلاینده ها در کل شبکه کمینه را کمینه کند[۵].

راناسینگ (۲۰۲۱) در تحقیقی که هدف آن تقویت مدیریت زنجیره تامین دارو، از طریق مداخله بهبود دانش و نگرش‌های مربوط به مدیریت زنجیره تامین دارو در بین دارو سازان ، در بیمارستان آموزشی کلمبو جنوبی بود.

هوا و همکاران (۲۰۱۹) برای تشویق کردن به منظور جمعآوری هرچه بیشتر داروهای با تقاضای کم از یک طرح انگیزشی مبادله ای و تبلیغات استفاده کردند. بر اساس نظریه بازی، این پژوهش به بررسی اثرات این دو راهبرد در یک زنجیره تأمین دو سطحی متشکل از یک تولیدکننده دارو و یک خرده فروش پرداخته است. چهار بازی در نظر گرفته شده است: غیر همکاری، خرده فروش به عنوان رهبر استکلبرگ، تولیدکننده به عنوان رهبر استکلبرگ و بازی متمرکز همکاری در مدل بسیار اهمیت دارد و باعث جمع آوری بیشتر مقدار دارو و سود بیشتر برای کل زنجیره تأمین شده است.

ونگ وچن (۲۰۲۰)در مقاله ای زنجیره تأمین خون در کشور چین را بررسی کردند. نکته مهمی که درنظـر گرفتـه شده است، استفاده از بهینه سازی استوار مبتنی بر توزیع برای اولین بار در زنجیره تأمین خون می‌باشد.

حائزی و همکاران (۲۰۲۰) با تمرکز بر مراکز خون در کل ایران یک مدل چندهدفه ایجاد کرده تااین زنجیره را در شرایط عدم قطعیت مورد بررسی قرار دهند. سه هدف مورد بررسی آنهاهزینه زنجیره تأمین، کـارایی و تـاب آوری بـوده است[۲۲].

نام نویسنده	سال انتشار	مکان یابی	مسیریابی	موجودی	قطعی	نوع تقاضا: احتمالی	نوع تقاضا: فازی	ناوگان حمل ونقل: همگن	ناوگان حمل ونقل: ناهمگن	ظرفیت ناوگان حمل ونقل: محدود	ظرفیت ناوگان حمل ونقل: نامحدود	تابع هدف: MIN	تابع هدف: MAX	تابع هدف: MIN-MIN MAX-MAX MIN-MAX
مولاناودریکوند	۱۳۹۷	×	×			×				×		×		
قلی پور وهمکاران	۱۳۹۹	×	×	×			×		×	×		×		
محبوب نیاوهمکاران	۱۳۹۶	×	×	×		×			×	×		×		
حسینی نسب وصدیقی	۱۳۹۴	×	×	×	×			×		×		×		
طاهروردی ووحدانی	۱۳۹۶	×	×	×	×			×				×		×
سیف برقی وزنگنه	۱۳۹۷	×			×							×		
سیدحسینی و همکاران	۱۳۸۷	×	×	×	×				×	×		×		
طلایی وهمکاران	۱۳۹۴	×	×		×							×		
بهرام پوروهمکاران	۱۳۹۵	×	×							×				×
کردجزی وهمکاران	۱۳۹۶	×	×		×				×					×
طهماسبی وهمکاران	۱۳۹۷				×							×		
کیانی وایوبی	۱۳۹۴	×												×
حسینی درند	۱۳۹۶	×	×	×		×			×	×		×		
عابدین زاده	۱۳۹۵	×	×						×	×				
پژوهش حال حاضر	۱۳۹۹	×	×	×		×			×	×				×

۴- بیان مسئله

در این تحقیق مسئله ی مهم توزیع دارو که جز مسائل کابردی می باشد و در دنیای واقعی با آن سر وکار داریم، در یک زنجیره تامین چهار سطحی مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد. در این تحقیق شرکت تولید کننده محصولات دارویی مد نظر است، که قرار است محصولات خود را در چند کارخانه تولید سپس به مراکز توزیع، از آن جا به انبارها و سپس به دست عمده فروشان و در نهایت به خرده فروشان برساند.این شرکت در صدداتخاذ تصمیماتی در حوزه ایجاد کارخانه‌ها و سیستم حمل و نقل می‌باشد به‌طوریکه بتوان هزینه‌ها را به حداقل خود برساند.

تقاضای خرده فروشان (مشتریان) قطعی نیست، اما براساس داده‌های قبلی می توان تقاضای مشتریان را با چند سناریو برآورد کرد. درآغاز افق زمانی تقاضای احتمالی توسط کارشناسان برآورد می‌شود. براساس تقاضای اعلام شده و فاکتورهای دیگر مانند ظرفیت نگهداری محصولات داخل انبارها، وسایل در دسترس برای حمل ونقل و...، باید مشخص شود که عرضه و تقاضا در هر دوره زمانی به چه صورتی می بایست بهینه گردد. محصولات تولید شده از کارخانه‌ها توسط وسایل نقلیه به مراکز توزیع ارسال می

شوند، ازآنجا به انبارهایی که برای مراکز توزیع در نظر گرفته شده است می‌روند. محصولات پس از ورود به انبارها دپو شده تا هیچ تقاضایی را از دست ندهیم، سپس توسط وسایل نقلیه از انبارها به عمده فروشان و در نهایت به خرده فروشان ارسال می‌شوند. پژوهش مورد بررسی یک مدل عدد صحیح مختلط در یک زنجیره تأمین چند سطحی (۴سطحی) می باشد.

لازم به ذکر است که مبحث مکان یابی، مربوط به مکان یابی کارخانه‌ها، مراکز توزیع، مسائل حمل ونقل ومسیریابی، مربوط به مسیر یابی انتقال محصولات از کارخانه‌ها به مراکز توزیع، از مراکز توزیع به عمده فروشان و از آن‌جا به خرده فروشان (مشتریان) می‌باشد.

شایان به ذکر است که زنجیره تأمین مورد بررسی یک زنجیره ۴سطحی شامل تولیدکننده (کارخانه‌ها)، مراکز توزیع، عمده فروشان، خرده فروشان (مشتریان) می باشد.

مکان یابی: مسائل مکانیابی تسهیلات از دهه۱۹۶۰جایگاه مهمی در ادبیات تحقیق درعملیات پیدا کردند. به طورکلی واژه مکان یابی اشاره به مدل سازی، فرمول بندی و حل مسائلی دارد که می توان آنها را در قرار دادن تسهیلات درفضای موجودبه بهترین نحو تعریف کرد.

مسیریابی: حمل و نقل یکی از مسائل مهم در زمینه فعالیت‌های اقتصادی واجتماعی است. برآورد هزینه‌های توزیع و پشتیبانی در بعضی از صنایع نشان داده است که هزینه‌های توزیع کالا می تواند تا ۷۰ درصد قیمت کالاها را افزایش دهد. ۷۶/۵ درصد حمل و نقل کالاها با وسایل نقلیه انجام می–شود که این امر اهمیت مسائل مسیر یابی و زمان بندی را پر رنگ‌تر می‌کند.

مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه از دورگاه برای محققین حائز اهمیت است: اول آن که مسئله مطرح شده مسئله ای کاربردی است و توفیق در دستیابی به جواب‌های بهتر سبب صرفه جویی اقتصادی می‌شود و دوم آن‌که حل مسئله به خاطر NP-hardبودن، مسئله‌ای چالش برانگیز است. مسئله مسیریابی وسائل نقلیه که یک نام عمومی برای تمامی مسایلی است که در آن‌ها باید مجموعه ای از مسیرها را برای جریانی از وسایل نقلیه ایجاد کرد، تا مجموعه‌ای از خرده فروشان (مشتریان) خدمت‌دهی شوند در حالی که ظرفیت وسایل نقلیه می‌بایست در نظر گرفته شود[۸].

مدل‌های حمل ونقل(مسیریابی): از سال ۱۹۸۰ تلاش‌هایی در جهت رفع کمبودها و کاستی‌های مدل‌های گذشته (سنتی چهار مرحله‌ای، تقاضای رفتاری سفر و مدل‌های پیوسته کاربری زمین و حمل‌ونقل)، یکپارچه سازی مدل‌های کاربری زمین و حمل‌ونقل به وسیله بازشناخت روابط متقابل کاربری زمین و حمل‌ونقل، با استفاده از طیف گسترده‌ای از نظریات) مانند: آنتروپی و تئوری مطلوبیت تصادفی(همراه با روش‌های مدلسازی) چون: مدل‌های داده–ستانده، به طوری ارتباط متقابل فضایی و جز آن صورت گرفته است. طوری که می‌توان گفت مدل‌های یکپارچه کاربری زمین– حمل‌ونقل به عنوان بهترین روش مدلسازی حمل‌ونقل بوده و به طور گسترده‌ای در مطالعات و برنامه‌ریزی‌ها مورد استفاده قرار گیرد[۱۲].

مکان یابی –مسیر یابی: مسائل مکان یابی–مسیریابی از جمله قدیمی ترین مسائل یکپارچه هستند و از اواسط دهه ۱۹۷۰مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این نوع از مسائل به منظور پیدا کردن مکان و تعداد مناسب تسهیلات و نیز مسیر های توزیع توسط وسائل نقلیه تعریف شده اند[۲].

مفروضات مسئله

۱– زنجیره تأمین مورد بررسی یک زنجیره ۴سطحی شامل تولیدکننده(کارخانه ها)، مراکز توزیع، عمده فروشان، خرده فروشان(مشتریان) می باشد.

۲–زنجیره تأمین چند دوره ای و چند محصولی است.

۳–مکان مراکز تولیدی مشخص نیست، باید از بین چند مرکز بالقوه فعال/راه اندازی شوند.

۴–مکان مراکز توزیع مشخص نیست، باید از بین چند مرکز بالقوه فعال/راه اندازی شوند.

۵– مکان عمده فروشان مشخص نیست، باید از بین چند مرکز بالقوه فعال/راه اندازی شوند.

۶–مکان خرده فروشان مشخص است.

۷–ناوگان حمل و نقل ناهمگن است، احتمال خرابی وسایل نقلیه به صورت احتمالی وجود دارد.

۸–تعداد وسایل نقلیه و ظرفیت آن ها محدود است.

۹–ظرفیت تولید، محدود است.

۱۰–هر مرکز توزیع حداکثر به یک مرکز تولید تخصیص می یابد.

۱۱– هر مرکز عمده فروش حداکثر به یک مرکز توزیع تخصیص می یابد.

۱۲–زمان در دسترس محدود است.

۱۳–تعداد ماشین های حمل و نقل در دسترس مشخص است.

۱۴–سه سطح مسیریابی از مراکز تولید به مراکز توزیع، از مراکز توزیع به عمده فروش، از مراکز عمده فروش به خرده فروش در نظر گرفته شده است.

۱۵–تقاضا به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده است.

تابع هدف

مدل ریاضی پیشنهادی با هدف تعیین همزمان مکان های بهینه و جریان های حمل ونقل در کل سیستم انجام می شود. همچنین در پی کمینه کردن هزینه ها است.

مدل سازی

در این قسمت به ارائه مدل می پردازیم.

مجموعه ها و اندیس‌ها	
F={1،2،3،.....،f،.....F}	مجموعه کارخانه ها
S={1،2،3،.....،s،.....،S}	مجموعه مراکز توزیع
D={1،2،3،.....،d،.....،D}	مجموعه مراکزعمده فروشان
W={1،2،3،.....،w،.....،W}	مجموعه مراکز خرده فروش
V={1،2،3،.....،v،.....،V}	مجموعه وسائل نقلیه
T={1،2،3،.....،t،.....،T}	مجموعه دوره ها

پارامتر ها وداده های مسئله	
$Cost_f$	هزینه تاسیس/راه اندازی مراکز کارخانه f
$CCost_s$	هزینه تاسیس/راه اندازی مراکز توزیعs
$ACost_d$	هزینه تاسیس/راه اندازی مراکز عمده فروشانd
$BCost_{st}$	هزینه نگهداری هر واحد محصول در مرکز توزیع s در دوره t
$HCost_{dt}$	هزینه نگهداری هر واحد محصول در مرکز d در دوره t
$CCap_{dt}$	ظرفیت نگهداری مرکز عمده فروش d در دورهt
$ACap_{st}$	ظرفیت نگهداری مرکز توزیع s در دورهt
$TCost_{fst}$	هزینه حمل هر واحد محصول از مراکز تولید f به مراکز توزیع s در دوره t
$ICost_{sdt}$	هزینه حمل هر واحد محصول از مراکز s توزیع به مراکز عمده فروش d در دوره t
$WCost_{dwt}$	هزینه حمل هر واحد محصول از مراکز عمده فروشان d به مراکز خرده فروشان w فروش در دوره t
$Vcost_v^{veh}$	هزینه خرابی وسیله نقلیه v
$d1_{fsvt}$	مدت زمان خرابی وسیله نقلیه v از مرکز تولید f به مرکز توزیع s در دوره t
$d2_{sdvt}$	مدت زمان خرابی وسیله نقلیهv از مرکز توزیع s به عمده فروش d در دوره t
$d3_{dwvt}$	مدت زمان خرابی وسیله نقلیه v ازمرکز عمده فروش d به خرده فروشw در دورهt
$Hcap_v^{veh}$	ظرفیت حمل وسیله نقلیه v
c_{fuel}	هزینه هر واحد مصرف سوخت
u_v	میزان مصرف سوخت به ازای هر واحد فاصله توسط وسیله نقلیهv
$ddis_{fs}$	فاصله بین مرکز تولید f و توزیعs
$edis_{sd}$	فاصله بین مرکز توزیع و عمده فروش
$zdis_{dw}$	فاصله بین عمده فروش d وخرده فروشw
big_M	عددی بسیار بزرگ
p_v	احتمال خرابی وسیله نقلیه v
$N1max^f$	حداکثر مراکز تولیدی f که در مکان های بالقوه می توان تاسیس کرد
$Nmax^s$	حداکثر مراکز توزیع s که در مکان های بالقوه می توان تاسیس کرد
$Nmax^d$	حداکثر مراکز فروش d که در مکان های بالقوه می توان تاسیس کرد
$time1_{fsvt}$	زمان حمل وسیله نقلیه v از کارخانه fبه مراکزsدردورهt
$time2_{sdvt}$	زمان حمل وسیله نقلیه v ازمرکزتوزیعsبه عمده فروشیdدردورهt
$time3_{dwvt}$	زمان حمل وسیله نقلیه v از اعمده dبه خرده فروشw (مشتری)دردورهt

متغیر ها/خروجی های مسئله	
Q_{ft}	مقدار محصول تولید شده در کارخانه f در دوره t
QQ_{st}	مقدار محصول نگهداری شده در مرکز توزیع s در دوره t
QA_{dt}	مقدار محصول نگهداری شده در مرکز عمده فروش d در دوره t
QB_{fst}	مقدار کالای از کارخانه f به مرکز توزیع s در دوره t می رود.
QC_{sdt}	مقدار کالای از مرکز توزیع s به مرکز عمده فروش d در دوره t می رود.
QD_{dwt}	مقدار کالای از مرکز عمده فروش d به مرکز خرده فروش w در دوره tمی رود.
$Q1_{fsvt}$	مقدار کالای از کارخانه f به مرکز توزیع s توسط وسیله نقلیه v در دوره t می رود.
$Q2_{sdvt}$	مقدار کالای از مرکز توزیع s توسط وسیله نقلیه v به مرکز عمده فروش d در دوره t می رود.
$Q3_{dwvt}$	مقدار کالای از مرکز عمده فروش d توسط وسیله نقلیه v به مرکز خرده فروش w در دوره t می رود.
$y1_f$	اگر مرکز تولید f تاسیس/راه اندازی شود برابر۱، در غیر این صورت ۰ است.
yA_s	اگر مرکز توزیع s تاسیس/راه اندازی شود برابر۱، در غیر این صورت ۰ است.
yB_d	اگر مرکز عمده فروش d تاسیس/راه اندازی شود برابر ۱، در غیر این صورت ۰ است.
$y2_w$	اگر مرکز خرده فروش W تاسیس/راه اندازی شود برابر ۱، در غیر این صورت ۰ است.
x_{fst}	اگر وسیله نقلیه از مرکز تولید f به مرکز توزیع s در دوره t حرکت کند ۱، در غیر این صورت ۰ است.
xw_{sdt}	اگر وسیله نقلیه از مرکز توزیع s به مرکز عمده فروشی d در دوره t حرکت کند ۱، در غیر این صورت ۰ است.
xz_{dwt}	اگر وسیله نقلیه از عمده فروشی d به خرده فروش w در دوره t حرکت کند ۱، در غیر این صورت ۰ است.
xx_{fsvt}	اگر وسیله نقلیه v از مرکز تولید f به مرکز توزیع s در دوره t حرکت کند ۱، در غیر این صورت ۰ است.
xo_{sdvt}	اگر وسیله نقلیه v از مرکز توزیع s به مرکز عمده فروش d در دوره tحرکت کند ۱ ، در غیر این صورت ۰ است.
xu_{dwvt}	اگر وسیله نقلیه v ازعمده فروش d به خرده فروش w در دوره t حرکت کند ۱ ، در غیر این صورت ۰ است.
yt_{fsvt}	اگر وسیله نقلیه v از مرکز تولید f به مرکز توزیع s در دوره t تخصیص یابد ۱، در غیر این صورت ۰ است.
ye_{sdvt}	اگروسیله نقلیه v از مرکز توزیع s به مرکز عمده فروش d در دوره t تخصیص۱، در غیر این صورت ۰ است.
yf_{dwvt}	اگر وسیله نقلیه v از عمده فروش d به مرکز خرده فروش w در دوره tتخصیص یابد ۱، در غیر این صورت ۰ است.

Minimize cost: =Location cost +Hold cost

Location cost ($f1_1$) =$\sum_d ACost_d\, yB_d+\sum_f Cost_f yA_s+\sum_s CCost_s\, y1_f$	(۱-۳)
Hold cost f(1_2) =$\sum_{dt} QA_{dt}HCost_{dt}+\sum_{st} QQ_{st}Cost_{st}$	(۲-۳)
حال ما (۱-۳) و (۲-۳) را جمع میکنیم که نتیجه ی جمع هزینه های ما برابر میشود با: ***F1***= ($f1_1$)+ f(1_2) =$\sum_d ACost_d\, yB_d+\sum_f Cost_f yA_s+\sum_s CCost_s\, y1_f+\sum_{dt} QA_{dt}HCost_{dt}+\sum_{st} QQ_{st}Cost_{st}$	
F2= Minimize= ($\sum_{fsvt} xx_{fsvt}time_{fsvt}+\sum_{sdvt} xo_{sdvt}time_{sdvt}+\sum_{dwvt} xu_{dwvt}time_{dwvt}$)	(۳-۳)
Subject to	
$QB_{fst} \le big_M x_{fst}\ \ \forall s.f.t$	(۴-۳)
$QC_{sdt} \le big_M xw_{sdt}\ \ \forall s.d.t.$	(۵-۳)
$QD_{dwt} \le big_M xz_{dwt}\ \ \forall w.d.t$	(۶-۳)
$\sum_{fs} QB_{fst} \le big_M yA_s\ \ \forall t$	(۷-۳)
$\sum_{sd} QC_{sdt} \le big_M yB_d\ \ \forall t$	(۸-۳)
$\sum_{dw} QD_{dwt} \le big_M y_w\ \ \forall t$	(۹-۳)
$yt_{fsvt} \le yA_s\ \ \forall s.f.v.t$	(۱۰-۳)
$ye_{sdvt} \le yB_d\ \ \forall s.d.v.t$	(۱۱-۳)
$yf_{dwvt} \le y2_w\ \ \forall w.d.v.t$	(۱۲-۳)

$Hcap_v^{veh} \sum_f x_{fsvt} \leq \sum_f Q1_{fsvt} \quad \forall s،v،t$	(۱۳-۳)
$Hcap_v^{veh} \sum_s xo_{sdvt} \leq \sum_s Q2_{sdvt} \quad \forall d،v،t$	(۱۴-۳)
$Hcap_v^{veh} \sum_d xu_{dwvt} \leq \sum_d Q3_{dwvt} \quad \forall w،v،t$	(۱۵-۳)
$QQ_{st} + QB_{fst} \leq ACap_{st} \quad \forall f،s،t$	(۱۶-۳)
$QA_{dt} + QC_{sdt} \leq CCap_{dt} \quad \forall d،s،t$	(۱۷-۳)
$\sum_f Q1_{fsvt} \sum_f xx_{fsvt} \leq big_M \quad \forall s،t,\mathrm{v}$	(۱۸-۳)
$\sum_s Q2_{sdvt} \sum_s xo_{sdvt} \leq big_M \quad \forall d,t,\mathrm{v}$	(۱۹-۳)
$\sum_d Q3_{dwvt} \sum_d xu_{dwvt} \leq big_M \quad \forall w,t,\mathrm{v}$	(۲۰-۳)
$\sum_d yB_d \leq N3max^d$	(۲۱-۳)
$\sum_s yA_s \leq N2max^s$	(۲۲-۳)
$\sum_f y_f \leq N1max^f$	(۲۳-۳)
$yB_d،yA_s،y_f،x_{fst}،xw_{sdt}،xz_{dwt}،x_{fsvt}،xo_{sdvt}،xu_{dwvt}،yt_{fsvt}،ye_{sdvt}،yf_{dwvt} \in \{0،1\}$ $QQ_{st}،Q_{ft}،QA_{dt}،QB_{fst}،QC_{sdt}،QD_{dw} \geq 0$	(۲۴-۳)

رابطه(۳-۱) هزینه های مکان یابی سه بخش را که قرار است مکان یابی شود و جزو تصمیمات بلند مدت است را بیان می کند، به این صورت که اگر واحد مربوطه تاسیس و راه اندازی شود یک هزینه ای قطعا خواهد داشت که می بایست این هزینه در متغیر صفر و یک که در واقع تاسیس شدن و یا تاسیس نشدن را بیان دارد می بایست ضرب شود. رابطه(۳-۲) هزینه نگهداری هر واحد محصول را به صورت کمینه بهینه می‌کند. هزینه‌های نگهداری به میزان حجم مواد قابل نگهداری بستگی دارد. رابطه (۳-۳) مربوط به کمینه کردن،بیشترین زمان‌های تحویل محصولات را نشان می‌دهد، رابطه (۳-۴) تا (۳-۶) بیان دارد برای انتقال محصولات حتما یک وسیله باید حرکت کند در صورتی که وسیله‌ای حرکت نکند انتقال محصولات بین مسیرها امکان نخواهد داشت. رابطه (۳-۷) تا (۳-۹) بیان می کند که برای انتقال محصولات همچنین باید مرکز مورد نظر تاسیس و اره‌اندازی شود.رابطه (۳-۱۰) تا (۳-۱۲) تخصیص به هر مرکز را بیان می کند. رابطه (۳-۱۳) تا (۳-۱۵) ظرفیت وسیله نقلیه در انتقال محصولات را بیان می کند. هر وسیله ای ظرفیت محدود برای آن در نظر گرفته شده است که این محدودیت همان را نشان می‌دهد. رابطه (۳-۱۶) ظرفیت مرکز توزیع را برای نگهداری محصولات بیان می کند که میزان انتقال محصولات می‌بایست از ظرفیت مرکز مورد نظر کم‌تر باشد. رابطه (۳-۱۷) ظرفیت مراکز عمده فروشی را بیان می کند. رابطه (۳-۱۸) تا (۳-۲۰) محدودیت‌های مربوط به تبع هدف دوم را نشان می‌دهد،رابطه (۳-۲۱)تا(۳-۲۳) محدودیت مربوط به حداکثر انتخاب مراکز را نشان می دهد. رابطه (۳-۲۴) متغیر تصمیم را بیان می کنند که متغیرهای تصمیم برخی به صورت پیوسته مثبت و برخی به صورت عدد صحیح می‌باشد.

روش حل دقیق

مدل مورد بررسی با نرم افزار GAMS در بعد کوچک حل می شود. و از آن جایی که مدل جزو مسائل NP-hard می‌باشد و در ابعاد بزرگ توسط نرم افزار گمز کارایی خود را از دست می‌دهد و زمان حل را در نرم افزار گمز بالا می‌برد لذا مدل را در حالت های بزرگ توسط الگوریتم ژنتیک حل خواهیم کرد.

الگوریتم ژنتیک

یکی از الگوریتم های تکاملی الگوریتم ژنتیک می باشد که یک الگوریتم بهینه سازی غیر جبری است و برای توابعی مناسب می باشد که بهینه سازی آن ها با روش های جبری مشکل باشد.

ساختار عمومی الگوریتم ژنتیکی

الگوریتم ژنتیک که گونه ای از الگوریتم تکاملی محسوب می‌شود، اولین مدل توسعه یافته بر مبانی شبیه سازی سیستم‌های ژنتیکی است

هر فرد از این جمعیت را یک کروموزوم[1] می‌نامند که نشان دهنده یک راه‌حل مسئله است. کروموزوم، رشته ای از نشانه هاست که از طریق تکرارهای متوالی نمو[2] می‌کنند که به آن‌ها نسل[3] می‌گویند. در هر نسل، کروموزوم‌ها از طریق اندازه گیری تطابق ارزیابی[4] می‌شوند. به منظور تولید نسل بعد، کروموزوم‌های جدید که به آن‌ها فرزند[5] گفته می‌شوند از دو طریق تولید می شوند[۵].

۱-ادغام دو کروموزوم از نسل فعلی با استفاده از عملگر تقاطع[6]

۲-تغییر یک کروموزوم از طریق عملگر جهش[7]

عملگر تقاطع

عملگر تقاطع، اصلی ترین عملگر در الگوریتم های ژنتیکی محسوب می شود که بر روی دو کروموزوم در هر زمان انجام می شود. ساده ترین روش تقاطع، انتخاب یک نقطه تقاطع تصادفی است، به طوری که قسمت سمت چپ نقطه تقاطع یک والد به سمت راست، نقطه تقاطع والد دیگر متصل می شود. کارایی این روش با نمایش رشته دودویی بالا می باشد. کارایی الگوریتم های ژنتیکی، وابستگی زیادی به کارایی عملگر تقاطع استفاده شده در آن ها دارد. عملگر تقاطع به صورت زیر عمل می کند. ابتدا یک نقطه تقاطع به صورت تصادفی انتخاب می شود و قسمت سمت راست نقطه تقاطع در والد اول با نقطه سمت راست با والد دوم تعویض می شود. فرض کنید، دو کروموزوم به صورت زیر باشند و نقطه تقاطع را مرز بین نقطه روشن و تیره درنظر بگیریم.

V_1=10111101111011011010111
V_2=10111100111011100000111

فرزندان حاصل از اعمال عملگر تقاطع به صورت زیر می باشد.

V'_1=10111101111011011000111
V'_2=10111100111011100101011

عملگر جهش

عملگر جهش یک عملگر ثانویه است که مسئول تزریق اطلاعات جدید به جمعیت با نرخ پایین می‌باشد و در کروموزوم‌های مختلف تغییرات تصادفی تولید می‌کند. نقش اصلی عملگر جهش شناسایی نقاطی از فضاست که امکان جستجو آن‌ها کم میباشد و احتمال به دام افتادن الگوریتم را در جواب بهینه محلی کاهش می‌دهد. درالگوریتم‌های ژنتیکی عملگر جهش نقش تعیین کننده ای ایفا می کند. این نقش‌ها مانند جا نشین کردن ژن‌های گمشده در جمعیت به وسیله عملگر انتخاب و یا تولید ژن‌های حضور نیافته در جمعیت اولیه می‌باشند. عملگر جهش یک یا چند ژن را بر اساس نرخ جهش تغییر می‌دهد. فرض کنید ژن دهم کروموزوم زیر برای عملگر جهش انتخاب شده است. چون ژن دهم این کروموزوم برابر صفر است، به مقدار یک تغییر پیدا می کند و حاصل عملیات به صورت زیر خواهد بود.

V_1=101011101010
V'_1=101011101110

نرخ جهش نیز به عنوان یکی از پارامترهای موثر بر جمعیت در نظر گرفته می‌شود. اگر این نسبت خیلی کم باشد، ژن‌های زیادی که ممکن است مفید باشند، هیچ گاه تولید نمی‌شوند و اگر خیلی زیاد باشد، آشفتگی زیادی در جمعیت تولید می‌شود و فرزندان شباهت کمی با والدین خود خواهند داشت و الگوریتم قابلیت آموزش از گذشته جستجو را از دست می‌دهد.

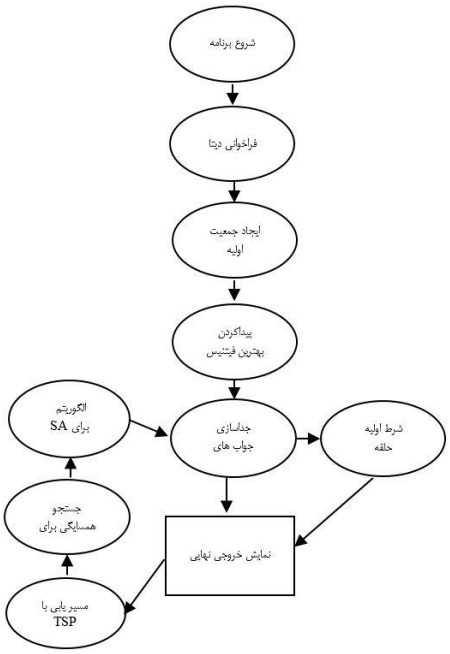
الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

همان گونه که قبل‌تر نیز اشاره شد مسئله در ابعاد بزرگ توسط الگوریتم ژنتیک صورت پذیرفت. چارت الگوریتم پیشنهادی مطابق الگوریتم زیر است.

1-Chromosome
2- Evolve
3- Generation
4 -Fitness
5-Offspring
9- Crossover
7-Mutation

روش استوار سازی

مالوی و همکاران[13] چارچوبی برای بهینه سازی استوار ارائه کردند که شامل دو تعریف مهم "جواب استوار" و "مدل استوار" است. به اینصورت که؛ زمانی یک جواب برای مدل بهینه سازی، جوابی استوار نامیده می‌شود، که آن جواب تحت همه سناریوها " نزدیک" به بهینه باقی بماند. و هم‌چنین زمانی یک مدل، مدلی استوار است که تحت همه سناریوها قریباً" موجه باشد. این بهینه سازی مرتبط با مسائلی است که جنس داده های آن از نوع سناریو باشد (مقادیر داده های مسأله توسط مجموعه ای از سناریوها توصیف می‌شود). مدل LP بهینه سازی به صورت زیر است:



شکل۳-۲ فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

رابطه(۳-۲۳) $\mathrm{Min\ z = c^T x + d^T y}$

Subject to

رابطه(۳-۲۴) $\mathrm{Ax=b}$

X بیانگر متغیرهای تصمیم پارامترهای قطعی و y نشان دهنده متغیرهای تصمیم بخش کنترل[1] است. مدل LP شامل دو نوع محدودیت میباشد؛ محدودیت های ساختاری [2] که ضرایب آن ثابت(ضرایبی مطمئن) و محدودیت های کنترل [3] که ضرایب این محدودیت ها در برگیرنده حالت غیر قطعی هستند. همچنین مجموعه ای محدود از سناریوها $\varphi = \{1و2و ... ... و S\}$برای پارامترهای غیر قطعی مدل فرض می کنیم و متناسب با هر سناریو $s\epsilon\varphi$ مجموعه ی $\{d_s،B_s،C_s،e_s\}$به عنوان تحقق عملکرد هر سناریو تعریف شده است.ازطرفی P_sاحتمال رخداد هر سناریورا نشان می دهدکه $\sum P_s = 1$می باشد. صورت کلی مدل بهینه سازی استوار مالوی و همکاران به شرح ذیل است.

رابطه(۳-۲۵) $\mathrm{Minimize}\ \sigma\left(x،y_1،y_2،\dots y_s\right) + \omega \sum \rho(\delta_1،\dots.،\delta_s)$

Subject to

رابطه(۳-۲۸)

رابطه (۳-۲۷) $B_s x + C_s y_s + Z_s = e_{e'} \quad for\ all$

رابطه (۳-۲۹) $x،y_s \geq 0$

در مدل استوار فوق، مجموعه { y_s.....y1,y2,y3} ، مجموعهای از متغیرهای کنترل برای هر سناریو $s\epsilon\varphi$ است همچنین $\{\delta_1،\delta_2،\dots ... ،\delta_s\}$ مجموعه‌ای از بردارهای خطا است که مقدار ناموجهی[4] مجاز در محدودیت های کنترل تحت سناریوی s را اندازه گیری می کند. با توجه به سناریوهای چندگانه، تابع هدف $C = c^T x + d^T$ متغیری است تصادفی که مقدار C_s = $\mathrm{c^T x + d_s^T y_s}$ را با احتمال P_sمی گیرد. مبادله بین استواری جواب و استواری مدل به کمک مفهوم تصمیم گیری چند معیاره[5] انجام می شود. در حقیقت مدل بهینه سازی استوار فوق قادر است میزان این مبادله را بسنجد . عبارت σ_0 به صورت عبارتی

1 -control variables
2 -Structural constraints
3 -control constrains
4- infeasibility
5- Multiple criteria decision making

غیرخطی لحاظ می شود. در حقیقت این مدل استوار مبتنی بر سناریو کاربردی از مدل برنامه ریزی غیرخطی احتمالی[1] است[13,11].

عبارت دوم در تابع هدف یعنی $\{\delta_1،\delta_2،\dots\dots،\delta_s\}$) یک تابع جریمه موجه بودن است که به منظور جریمه کردن نقض و تخطی از محدودیت های کنترل با توجه به برخی از سناریوها مد نظر قرار می گیرد. به کمک وزن ω توازن و مبادله بین استواری جواب(که توسط (σ_0) سنجیده می شود) و استواری مدل(که توسط (ρ_0) سنجیده می شود) می‌تواند تحت فرآیند تصمیم گیری چند معیاره مدل شوند. برای نمونه اگر =ω۰ باشد، تابع هدف عبارت σ_0 را حداقل می کند وجواب ممکن است غیر موجه شود.در حالی که اگر بهω مقدار نسبتاً بزرگی تخصیص یابد هزینه بیشتری را به دنبال خواهد داشت[۱۱]. عبارت $\sigma(x.y_1.\dots.y_s)$شامل مقدار میانگین σ_0 به علاوه مقدار ثابت λضرب ئر واریانس آن است:

$$\sigma\ (x.y_1.\dots.y_s) = \sum_{s\epsilon S} P_s C_s' + \lambda \sum_{s\epsilon S} p_s\{C_s' - \sum_{s\epsilon S} P_s C_s'\}^2 \qquad \text{رابطه(۳-۳۰)}$$

از آنجائیکه عبارت فوق شامل بخشی است که دارای توان دوم است و شکلی کوادراتیک در مدلسازی می باشد، عبارت فوق را به صورت زیر که توسط یو و لی [۱۲] فرموله بندی شده است تبدیل نمودند:

$$\sigma\ (x.y_1.\dots.y_s) = \sum_{s\epsilon S} P_s C_s' + \lambda \sum_{s\epsilon S} P_s |C_s' - \sum_{s\epsilon S} P_s C_s'| \qquad \text{رابطه (۳-۳۱)}$$

اما این تابع هدف هنوز هم غیرخطی است ولی با رویکرد یو ولی [۱۲] قابل تبدیل به تابع خطی با اضافه کردن دو متغیر انحراف غیرمنفی می‌باشد.

$$Min\ z = \sum_{s\epsilon S} P_s C_s' + \lambda \sum_{s\epsilon S} P_s[(C_s' - \sum_{s\epsilon S} P_s C_s') + 2\theta_s] \qquad \text{رابطه (۳-۳۲)}$$

s.t

$$C_s' - \sum_{s\epsilon S} P_s C_s' + \theta_s \geq 0 \qquad \text{رابطه(۳-۳۳)}$$

$$\theta_s \geq 0 \qquad \text{رابطه(۳-۳۴)}$$

جهت رویارویی با عدم قطعیت پارامترها با مجموعه ای از سناریوهای ممکن و تبدیل مدل قطعی به استوار از رویکرد بهینه-سازی استوار استفاده می شود.

صورت کلی مدل بهینه سازی استوار

با توجه به توضیحاتی که در مورد مدلسازی استوار به روش پیشنهادی مالوی و همکاران ارائه شد، در این قسمت به مدلسازی مساله پرداخته می شود.

$$MIN\ Z=\sum P_s\Big(c_{fuel}[\sum_{fsvt} u_v xx_{fsvt} dis_{fs} + \sum_{sdvt} u_v xo_{sdvt} dis_{sd} + \sum_{dwvt} u_v xu_{dwvt} dis_{dw}) + +\lambda \sum p_s\Big(\sum P_s\Big(c_{fuel}[\sum_{fsvt} u_v xx_{fsvt} dis_{fs} + \sum_{sdvt} u_v xo_{sdvt} dis_{sd} + \sum_{dwvt} u_v xu_{dwvt} dis_{dw}\Big)\Big) - \sum \acute{p}_s (c_{fuel}[\sum_{fsvt} u_v xx_{fsvt} dis_{fs} + \sum_{sdvt} u_v xo_{sdvt} dis_{sd} + \sum_{dwvt} u_v xu_{dwvt} dis_{dw}] + 2\theta_s) + \omega \sum_i \sum_j \sum_s P_S \delta_{ijs}$$

$$c_{fuel}[\sum_{fsvt} u_v xx_{fsvt} dis_{fs} + \sum_{sdvt} u_v xo_{sdvt} dis_{sd} + \sum_{dwvt} u_v xu_{dwvt} dis_{dw}] - \sum p_s\ (c_{fuel}[\sum_{fsvt} u_v xx_{fsvt} dis_{fs} + \sum_{sdvt} u_v xo_{sdvt} dis_{sd} + \sum_{dwvt} u_v xu_{dwvt} dis_{dw}] - \theta_s \geq 0$$

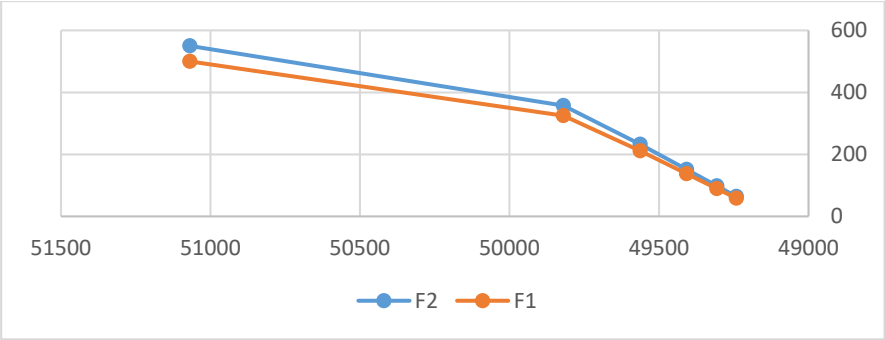
بررسی تحلیل حساسیت مدل

در این قسمت به تحلیل حساسیت مدل می پردازیم. به دلیل بزرگ بودن مدل و زیاد بودن پارامترها سعی شده است تا تعدادی از پارامترها تحلیل شوند و روند کار به این صورت می باشد که در نرم افزار GAMS و با استفاده از حلقه Loop مقادیر پارامترها را در بعد کوچک و در ۵ تکرار[2] مورد بررسی قرار می دهیم. ابتدا پارامتر $cost_f^{fac}$ را به ازای دو مقدار f که در نرم افزار حل شده است را در کاهش ۳۵ درصدی تغییر داده می شوند تا میزان حساسیت مسأله نسبت به آن ها بررسی شود.

جدول (٤-۲۲) مقادیر تابع هدف با تغییر هزینه های مکان یابی کارخانه ها

F1	F2	Z
500	550	51068.71
325	357.5	49819.21
211.25	232.375	49562.34
137.3125	151.0438	49407.07
89.25313	98.17844	49306.14
58.01453	63.81598	49240.54

1- stochastic non-linear programming model
2- Iteration



شکل(٤-٥)نمودار تحلیل حساسیت هزینه‌های مکان یابی کارخانه‌ها

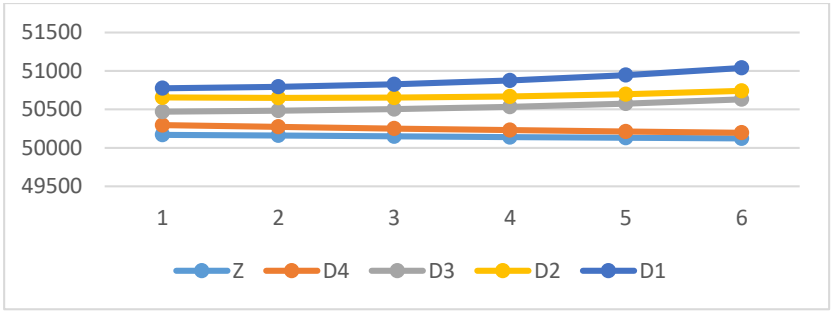
نمودار فوق تحلیل حساسیت تابع هدف اول یعنی هزینه‌ها را نشان می‌دهد.پارامتر مربوط به هزینه‌ها را به مقدار ثابتی کاهش می‌دهیم تا تغییرات تابع هدف اول یعنی هزینه‌های مکان یابی،نگهداری وحمل ونقل را بررسی کنیم.با توجه به این که خود تابع هدف اول ازجنس هزینه است و می‌بایست با کاهش هزینه‌ها قطعا هزینه کل نیز کاهش یابد لذا همان طور که مشاهده می‌شود با کاهش هزینه ها،تابع هدف اول یعنی مجموع هزینه‌ها نیز کاهش می‌یابد که این کاملا صحیح ومنطقی است.

بقیه پارامترها را نیز در ۵ تکرار و مطابق روش قبلی تحلیل می‌کنیم.حالا برای مراکز توزیع درهر تکرارمقدار D1، D3 رابه میزان ۲۰ درصد افزایش و D2، D4 را به میزان ۱۰درصد کاهش می‌دهیم.

جدول (٤-٢٣) مقادیر تابع هدف با تغییرهزینه‌های مکان یابی مراکز توزیع

D1	D2	D3	D4	Z
120	185	175	125	50168.71
144	166.5	210	112.5	50161.21
172.8	149.85	252	101.25	50149.96
207.36	134.865	302.4	91.125	50139.84
248.832	121.3785	362.88	82.0125	50130.73
298.5984	109.2407	435.456	73.81125	50122.52

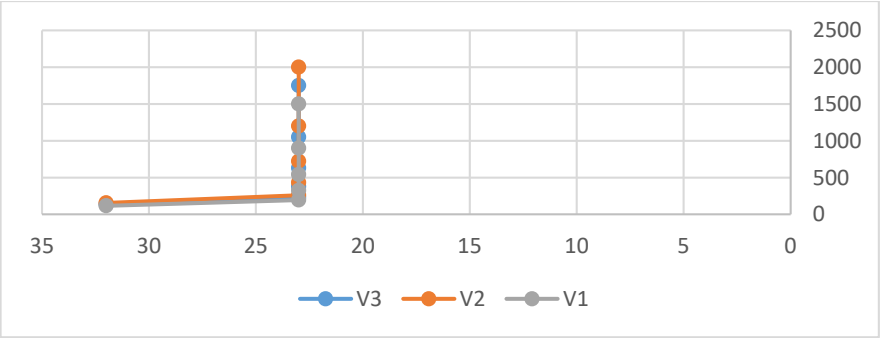
در این قسمت نیز هزینه‌های مربوط به مکان یابی برای مراکز توزیع را به صورت قبل به یک نسبت دلخواه کاهش می-دهیم.همان طور که از نمودار مشخص است تغییر هزینه‌های مکان یابی روی تابع هدف تاثیر گذار است،تغییر پارامتر ورودی هزینه های مکان یابی با تابع هدف ۱رابطه مستقیم دارد.



شکل(٤-٦) نمودار تحلیل حساسیت هزینه های مکان یابی مراکز توزیع

جدول ٤-٢٤مقادیر تابع هدف Z1 با تغییر ظرفیت وسیله نقلیه

V1	V2	V3	Z
1500	2000	1750	50168.71
900	1200	1050	50168.71
540	720	630	50168.71
324	432	378	50168.71
194.4	259.2	226.8	50168.71
116.64	155.52	136.08	50168.85



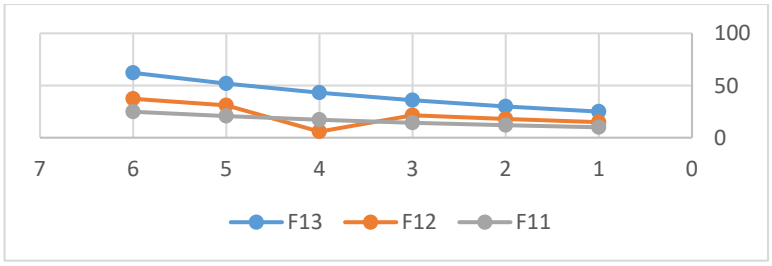
شکل٤-٩نمودار روند تغییر تابع هدف Z1 با تغییر ظرفیت وسیله نقلیه

با تغییر ظرفیت وسیله نقلیه،همان طور که ازنمودارها مشخص است تغییر چندانی در تابع هدف ۱ ندارد.به این معنی که اگر ظرفیت وسیله نقلیه را از۵۰۰واحدبه۱۰۰۰واحد افزایش دهیم ویا مقدارآن را کاهش دهیم در تابع هدف ۱ یعنی هزینه‌ها تاثیری به سزایی ندارد.یعنی پارامترورودی ظرفیت وسیله نقلیه تاثیری در مقدارتابع هدف ۱ ندارد. در جدول زیر پارامترهای هزینه‌های تولید برای کارخانه ۱و۲ برای سه محصول به میزان ۲۰ درصد در هر حلقه افزایش یافته است و تغییرات آن روی تابع هدف هزینه در نمودارهای آن نشان داده شده است.

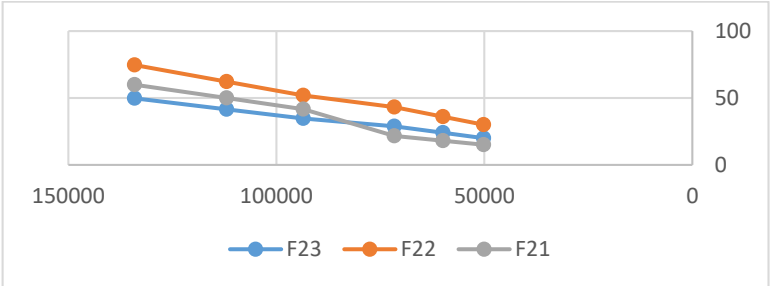
جدول٤-٢٥روندتغییرتابع هدف Z1 با تغییر هزینه تولید

F11	F12	F13	F21	F22	F23	Z1
10	15	25	15	30	20	50168.71
12	18	30	18	36	24	59931.21
14.4	21.6	36	21.6	43.2	28.8	71646.21
17.28	5.92	43.2	41.6	51.84	34.65	93528.13
20.736	31.104	51.84	49.92	62.208	41.472	111954.4
24.8832	37.324	62.208	59.904	74.64	49.76	134069.1

در نمودار زیر هزینه‌های تولید را افزایش میدهیم.با افزایش هزینه‌های تولید برای کارخانه‌های تاسیس شده ۱و۲ وافزایش پارامترورودی همان طور که مشخص است میزان تابع هدف افزایش می‌یابد.باتوجه به تحلیل‌های صورت گرفته تمامی مواردی که از جنس هزینه‌ها هستند با افزایش و یاکاهش آن ها تابع هدف ۱ که مربوط به هزینه‌ها است نسبت به تغییر پارامتر ورودی واکنش نشان داده و خود نیز تغییر میکند.این تغییر به صورت رابطه مستقیم می‌باشد.



شکل٤-١١ روند تغییر تابع هدف Z1 با تغییر هزینه تولید برای کارخانه ۱



شکل٤-١٢روند تغییر تابع هدف Z1 با تغییر هزینه تولید برای کارخانه ۲

دراین قسمت تابع هدف مسئله را بعد از استوار سازی بررسی و نتایج را نشان می دهیم

جدول(٤-٢٦) مقدار بهینه مراکز و هزینه ها بعد از بهینه سازی استوار

متغیر های تصمیم	نمونه۱	نمونه۲	نمونه۳	نمونه۴	نمونه۵	نمونه۵	نمونه۶	نمونه۷	نمونه۸	نمونه۹
Location F	۳۲	۵۶	۶۹	۶۵	۱۹	۱۳	۱۱	۸۰	۳۸	۲۸
Location D	۱۲	۷۰	۵۶	۳۵	۲۵	۶۳	۲۲	۷۰	۲۰	۴۴
Location S	۷۰	۷۲	۴۴	۳۴	۳۲	۴۱	۴۸	۳۲	۳۲	۸۶
Cost_Transportation	۳۲۹ ۸۵۱ ۷۸	۱۹۲ ۳۶۶ ۴۲	۳۲۵ ۴۲۸ ۹۱	۴۶۷ ۸۳۴ ۱۴	۱۵۳ ۰۲۴ ۰۱	۵۴۱ ۷۲۰ ۶۳	۲۲۲ ۰۸۵ ۷۵	۳۶۲ ۸۳۹ ۱۴	۳۸۹ ۳۴۳ ۰۴	۱۹۴ ۲۳۴ ۶۱
factory_cost	۷۶۸ ۴۰۲ ۳۹۰ ۰۹۶ ۵۲۳	۷۶۱ ۷۵۹ ۵۵۴ ۳۴۴ ۳۳۱	۳۸۵ ۲۲۹ ۵۱۶ ۷۳۲ ۵۴۹	۲۴۱ ۷۸۶ ۱۵۷ ۶۲۲ ۸۳۴	۸۶۸ ۶۳۲ ۶۲۲ ۶۵۰ ۶۰,۰	۴۶۹ ۱۵۴ ۳۳۲ ۸۲۳ ۴۷۰	۸۴۶ ۰۴۳ ۲۰۱ ۶۵۷ ۶۲۷	۱۲۱ ۳۵۶ ۹۳۵ ۲۱۸ ۸۵۲	۷۸۵ ۲۲۰ ۲۸۰ ۰۱۳ ۰۹۲	۶۸۷ ۵۶۶ ۳۶۵ ۸۵۸ ۹۵۰
production	۳۸۲ ۱۳	۳۶۶ ۴۲۲	۴۳۶ ۹۳۴	۴۶۳ ۶۳۶	۱۰۳ ۵۲۹	۳۲۶ ۰۵	۲۵۳ ۴۸۷	۳۶۴ ۸۰۸	۳۱۲ ۳۵۷	۶۴۵ ۳۳۴

با توجه به مقادیر به دست امده بعد از استوار سازی می توان نتیجه گرفت که، همانطور که در جدول مشخص است مقدار λ به ازای هر تابع هدفی که ارائه شده است نشان دهنده این است که مقادیر هزینه ها بهتر شده است لذا که با افزایش این ضریب با درنظر گرفتن ثابت بودن احتمال سناریو، مدل آن دسته از استراتژی هایی را که از نظر هزینه کرد حداقل را بر می گزینند . به بیان دیگر هرچه این ضریب بیشتر باشد، تصمیم گیرنده ریسک گریز تر است که بر مقدار مورد انتظار هزینه ها، بیفزاید.

نتیجه گیری

ارائه یک مدل مناسب برای استقرار مکان های تولیدی و مسیر یابی صحیح وسایل نقلیه هم چنین یک سیستم موجودی مناسب، سبب افزایش کارایی سازمان ها خواهد شد. امروزه زنجیره تأمین یکی از مهم ترین مباحث درکاهش هزینه ها و افزایش کارایی و بهره وری در سازمان ها به حساب می آید. مسئله مکان یابی–مسیر یابی از جمله مسائل پرکاربرد در مبحث زنجیره تأمین می باشد. انتخاب مسیر مناسب به طوریکه که کوتاه ترین مسیر برای حمل و نقل انتخاب گردد و هم چنین انتخاب بهترین موقعیت مکانی برای تاسیس و راه اندازی تسهیلات می تواند باعث افزایش توان رقابتی سازمان ها شود. دراین پژوهش یک مدل مکان یابی–مسیر یابی برای یک مسئله زنجیره تأمین چهار سطحی که شامل تولید کننده، توزیع کننده، عمده فروش و خرده فروش(مشتری) ارائه داده شده است. تقاضا معمولا مهم ترین مسئله می باشد و برای نزدیک کردن مبحث به دنیای واقعی تقاضا به صورت غیر قطعی و احتمالی در نظر گرفته شده است. در این پژوهش تقاضا به صورت غیر قطعی و به صورت سناریو محور در نظر گرفته شده است. هدف مدل ذکر شده در این پروژه کمینه سازی هزینه های اقتصادی می باشد. از آن جایی که مدل در دسته مسائل NP-hard می باشد برای حل آن در ابعاد کوچک از نرم افزار GAMS استفاده شده است و در ابعاد بزرگ از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک استفاده شده است. در مدل ۳ جز باید مکان یابی شوند و بهترین مکان آن ها انتخاب شود که در الگوریتم ژنتیک بهترین مکان ها بهینه شده است و همچنین می بایست بهترین مسیر ها در سه قسمت بهینه شود که این کار توسط الگوریتم ژنتیک انجام شده است. طبق نمودارها و جداول بیان شده در فصل های قبل مقادیر بهینه متغیر های تصمیم اعم از مقدار موجودی در انبارها، میزان کالای حمل شده در هر دوره، مقدار کالایی که در هر دوره می بایست دفع شود و... مشخص شده است و همچنین مسیر بهینه برای حمل و نقل و مکان های بهینه برای مراکز مشخص شده است.

پیشنهادها برای تحقیقات بعدی

درخصوص تحقیقاتی که می تواند با توجه به این مطالعه انجام شود می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱- ارائه الگوریتم ابتکاری و فرا ابتکاری دیگر برای حل مدل.

۲- انتخاب تأمین کننده مناسب از طریق روش های مختلف از جمله روش فازی و ...

منابع

[۱] باقری صمغ آبادی،شقایق.بخشی نیا،پیمان.مخاطب رفیعی،فریماه."مدل سازی وحل مدل یک زنجیره تامین سه سطحی با در نظر گرفتن هزینه حمل و نقل".پنجمین کنفرانس ملی و سومین کنفرانس بین المللی لجستیک و زنجیره تامین.

[۲] طلعتی،سعید.جوادیان،نیکبخش.حسنی،مرتضی."ارائه یک مدل جدید مکان یابی-موجودی و حمل نقل در یک شبکه زنجیره تامین سه سطحی".سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع.

[۳] سیف برقی،مهدی.زنگنه،شیما."مدل بهینه سازی مکان یابی-تخصیص تسهیلات قابل اطمینان تحت ریسک اختلال در تسهیل".فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی.تابستان ۱۳۹۷: ۱۹۸-۱۷۳.

[۴] دریکوند،حدیث.حاجی مولانا،سیدمحمد."مدلی دو هدفه جهت مکان یابی تسهیلات در زنجیره تامین سبز". فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی.زمستان ۱۳۹۷: ۲۶۳-۲۳۵.

[۵] مرتضوی،سین دخت.سیف برقی،مهدی."مدل سازی دو هدفه مسئله مکان یابی تخصیص در یک زنجیره تامین سبز با در نظر گرفتن سیستم حمل نقل و انتشار گاز co_2. چشم انداز مدیریت صنعتی .بهار ۱۳۹۷: ۱۸۵-۱۶۳.

[۶] طلایی،محمد.فرهنگ مقدم،بابک.پیشوایی،میر سامان.بزرگی امیری،علی."ارائه یک مدل مکان یابی دو هدفه برای طراحی شبکه تامین حلقه بسته سبز.۱۳۹۴.

[۷] کرد جزی،سپیده.بابایی تیر کلایی،عرفان.مهدوی،ایرج."ارائه یک مدل چند هدفه برای حل مسئله مکان یابی پایا در طراحی شبکه زنجیره تامین سبز".مطالعات مهندسی صنایع ومدیریت تولید.بهار۱۳۹۶:شماره۱.

[۸] محبوب نیا،میثم.دبیری،نورالدین.بزرگی امیری،علی."ارئه مدل جدید مکان یابی-مسیریابی-موجودی سبز تحت عدم قطعیت".نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولیدی.تابستان ۱۳۹۶:۱۱۵-۹۹.

[۹] طهماسبی،حمزه امین.راهب،مائده.جعفریه،سحر."ارائه و حل یک مدل بهینه سازی سبزدرزنجیره تامین حلقه بسته با هدف افزایش سود و کاهش مشکلات زیست محیطی با در نظر گرفتن دوره ضمانت محصول".مجله تحقیق در عملیات و کاربرد های آن.پاییز۱۳۹۷: ۴۴-۲۷.

[۱۰] یزدی،آرمیتا."ارائه یک مدل ریاضی سه هدفه برای مسئله حداکثرپوشش مجموعه مکان یابی-تخصیص در زنجیره تامین سه سطحی".پایان نامه کارشناسی ارشددر رشته مهندسی صنایع،دانشگاه الزهرا،مهرماه ۱۳۹۲.

[۱۱] حاجیان،سیما.افشار کاظمی،محمد علی.سیدحسینی،سید محمد.طلوعی اشلقی،عباس."ارائه مدل چند هدفه برای مسئله مکان یابی-مسیر یابی-موجودی در شبکه زنجیره تامین حلقه سبز بسته چند دوره ای و چند محصولی برای کالاهای فاسد شدنی".فصلنامه مدیریت صنعتی،۱۳۹۸،دوره۱۱شماره ۱، ۱۱۰-۸۳.

[۱۲]بشیری،حسینی،حسین نژاد."طراحی سیستم های صنعتی".۱۳۸۸.انتشارات دانشگاه شاهد.

[۱۳]باباپیری،محسن."مکان یابی-مسیریابی زنجیره تامین سبزبا رویکرد تقاضای احتمالی".۱۳۹۹.

[۱۴]حق شناس،مینا."برنامه ریزی زنجیره تامین خدمات برای بیماران مبتلا به سرطان در ایران".۱۳۹۹.

[15] li F ، liu T،Zhang H ،Cao R، DIing W. Distribution center Location for green supply chain. IBM China Research Laboratory.

[16] Wei-hua L ،Xue-cai X،Zheng-Xu R and Yan P.(2011). An emergency order allocation model based on multi-provider in two-echelon logistics service supply chain.

[17] Govindan K، Jafarian A،Khodaverdi R،Devika K.(2012).Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food.ELSEVIER.

[18] Slabinac M. Approaches to Distribution centres location problem and it is role in Green supply chain management.

[19] Abdallah T،Diabat A، Simchi D.(2011).A carbon sensitive supply chain network problem with Green procurement.IEEE.

[20] Vidal C،Goetschalckx M.(2001).A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation.ELSEVIER،109،134-158.

[21] Sim S،Jung H.(2013).Green Investment Cost Optimization Model in the Supply Chain .American journal of operations Research،(3)،454-462.

[22] Zhalechian M،Tavakkoli-Moghaddam R،Zahiri B،Mohammadi M.(2016).Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty.ELSEVIER،TRANSPORTATION RESEARCH PART E،89،182-214.
[23] Melo T، Nickel S ، Saldanha da Gama F.(2017).Facility Location and supplychain Management-A Comprehensive review.ITWM،NR،130.
[24] H.Khoo H،A.Spedding T،Bainbridge I،M.R.Taplin D.(2001).Creating a Green Supply Chain.
[25] Elhedhli S، Merrick R. (2012).Green Supply Chain network design to reduce carbon emissions.ELSEVIRE،TRANSPORTATION RESEARCH PART D،(17)،370-379.
[26] Zanjirani Farahani R، Hekmatfar M(2009).FACILITY LOCATION،
[27] Li F، Fasano J، Tan H. Location problems for supply chain.
[28] Pilevaril N، Seyed Hosseini S.M، Jassbi J .(2008).Fuzzy logic supply chain Agility Assessment Methodology.IEEE.
[29] Seyed-Hosseini S-M، Khalili Damghani K.(2013).Fuzzy containers allocation problem in maritime terminal.JIEM،2(2)،323-336.
[30] Yadegari M، Tavakkoli R- Moghaddam، Ahmadi G.(2018).Closed-loop supply chain Inventory-location problem with Spare parts in a Multi-Model Repair Condition .IJE،31(2)،346-356.
[31] Yazdian A ،Shahanaghi K.(2011).A multi-objective possibilistic programming approach for locating distribution centers and allocating Customers demands in supply chains.IJIE،(2)،193-202.
[32] Saidi-Mehrabad M، Aazami Adel، Goli A.(2017). A Location-allocation model in the multi-level supply chain with multi-objective evolutionary approach. JISE،10(3)،140-160.
[33] Torabzadeh Khorasani S، Almasifard M. (2018). The development of a green supply chain dual-objective facility by considering different levels of uncertainty.
[34] Helberg M-N.(2013). Location-Allocation Optimization Of Supply chain Distribution Network;A Case Study.
[35] Masudin I. (2019).Location-Allocation problems in the perspective of supply chain: Approaches and Applications. JTI، 20(1)، 1-11.
[36] Chauhan S، Frayret J-M، Lebel L.(2009).Multi-Commodity Supply network planning in the forest supply chain.ELSEVIER،EJOR،196،688-696.
[37] Ghasemi S. (2019).The Location Allocation problem of after Disaster Blood Supply chain . iiiec.
[38] - Niknamfar, A. H. (2015). Multi-objective production-distribution planning based on vendor-managed inventory strategy in a supply chain. Industrial Management & Data Systems, 115(6), 1086-1112.
[39]- Mohammed, A., & Wang, Q. (2017). The fuzzy multi-objective distribution planner for a green meat supply chain. International Journal of Production Economics, 184, 47-58.
[40]- Mokhtari, H., & Hasani, A. (2017). A multi-objective model for cleaner production-transportation planning in manufacturing plants via fuzzy goal programming. Journal of Manufacturing Systems, 44, 230-242.
[41]- Shojaei-Barjouei, A,. Tavakkoli-Moghaddam, R,. (2017). Solving A New Bi-Objective Open Shop Scheduling Problem with Machin Availability and Transportation Time by Two Multi-Objective Meta-Heuristic Algorithms, International Journal of Industrial Engineering & Production Management September 2017, Volume 28, Number 3, Pp 357-374.
[42]- kuria Njuguna, J., & Ismael, N. (2017). EFFECTS OF BULLWHIP ON SUPPLY CHAIN PERFORMANCE IN MANUFACTURING SECTOR IN KENYA, A CASE OF COOPER K BRANDS LIMITED. International Journal of Supply Chain Management, 2(2), 76-91.
[43]- Badhotiya, G. K., Soni, G., & Mittal, M. L. (2018). An analysis of mathematical models for multi-site production and distribution planning. International Journal of Intelligent Enterprise, 5(4), 309-332.
[44]- Badhotiya, G. K., Soni, G., & Mittal, M. L. (2018). Multi-site integrated production and distribution planning: a multi-objective approach. International Journal of Product Development, 22(6), 488-501.
[45]- Nourifar, R., Mahdavi, I., Mahdavi-Amiri, N., & Paydar, M. M. (2018). Optimizing decentralized production–distribution planning problem in a multi-period supply chain network under uncertainty. Journal of Industrial Engineering International, 14(2), 367-3