

علمی - پژوهشی

طراحی زنجیره تأمین دارو؛ رویکرد یکپارچه

زهرا خوجه^۱، طوبی درویش محمدی^۲، محمد مهاجر تبریزی^{۳*}

۱ و ۲- دانش‌آموخته کارشناسی، ۳- استادیار مهندسی صنایع دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
(دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲، پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱)

چکیده

طراحی زنجیره تأمین از موضوعات مورد توجه شرکت‌های پخش دارویی است، چراکه این شرکت‌ها به دلیل وجود مقررات کشوری و نیز رقابتی متعدد ناچار از گسترش و یا بازطراحی نقاط استقرار شعب خود هستند. در این پژوهش، با رویکردی یکپارچه به موضوع طراحی زنجیره تأمین دارویی برای شرکت‌های پخش پرداخته شده، به نحوی که تمامی سرفصل‌های هزینه‌ای شامل احداث، توزیع و موجودی را به همراه الزامات مربوط به مقررات قانونی موجود را در قالب یک مدل ریاضی ارائه نموده است. به‌طور خاص در این تحقیق، پارامترهای تأثیرگذار بر هزینه موجودی کل شرکت در سطح زنجیره تأمین لحاظ شدند. در ادامه، با توجه به پیچیدگی مدل حاصل از یک رویکرد ترکیبی شامل خوشه‌بندی نقاط و استفاده از الگوریتم فراابتکاری برای حل آن استفاده شد. به‌منظور ارزیابی اثربخشی، مدل بر روی داده‌های شرکت سیناپخش ژن اعمال شد و نهایتاً در چند سناریو به بررسی شیوه بهینه استقرار شعب، سطح بهینه موجودی و نیز برنامه توزیع بهینه پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهند که رویکرد یکپارچه برای طراحی زنجیره منجر به کاهش مجموع هزینه‌های طراحی زنجیره خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: طراحی زنجیره تأمین، شرکت‌های پخش دارو، موجودی، طراحی یکپارچه

۱- مقدمه

سوددهی، (۴) بهره‌مندی درست از سیستم اطلاعات مدیریت، و (۵) بهینه‌سازی هزینه‌ها در کل زنجیره [۳].

اقدام سلامت‌محور نظیر دارو، مواد غذایی و تجهیزات پزشکی به‌واسطه حساسیتی که کاربر نهایی با آن مواجه است دارای حساسیت‌ها و پیچیدگی‌های مضاعفی بوده و به همین دلیل مدیریت این نوع زنجیره تأمین مشمول قواعد و مقررات مشخصی است. در کشور ایران، زنجیره تأمین دارو یکی از حوزه‌هایی است که از سالیان گذشته و در پی تصویب مقررات کشوری دارای ساختار یکپارچه و منسجم بوده است. مبتنی بر این مقررات شرکت‌های پخش سراسری دارو می‌بایست دارای انبار مرکزی و تعداد مشخصی شعب استانی بوده و تأمین‌کنندگان صرفاً از طریق این شرکت‌ها می‌توانند داروی خود را در سطح کشور توزیع کنند. همچنین با هدف حفظ جریان ردیابی دارو، تبادل بین شرکت‌های پخش نیز مجاز نیست.

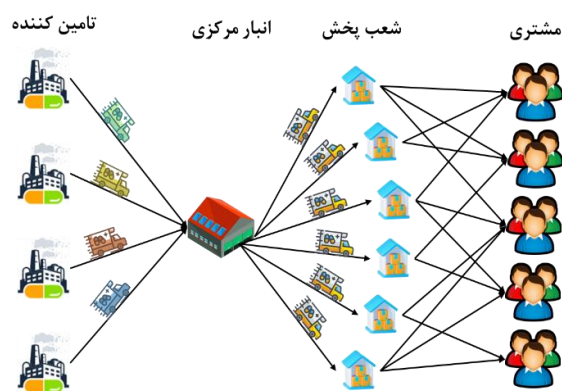
موجود و در دسترس بودن دارو از مفاهیم پایه‌ای در مدیریت زنجیره تأمین این اقلام هستند که اساس بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در این زنجیره بوده و می‌توان آن‌ها را ارکان زنجیره تأمین دارو به حساب آورد. پروت و گونزالس [۴]، سعی کرده‌اند تا چالش‌های اساسی در زنجیره تأمین دارو را از طریق مصاحبه و نظرسنجی با خبرگان این حوزه شناسایی و به ترتیب اهمیت طبقه‌بندی نمایند. مدیریت موجودی‌ها به‌عنوان دومین چالش اساسی در زنجیره تأمین دارو شناسایی شده است. وجود تعداد زیاد اقلام دارویی و نبود

زنجیره تأمین مجموعه‌ای از بازیگران، فرآیندها، اطلاعات و منابع است که مواد اولیه و اجزای سازنده را به محصولات یا خدمات نهایی تبدیل کرده و پس از انتقال بین سطوح مختلف به مشتریان نهایی تحویل می‌دهد. به‌طور خاص، زنجیره تأمین دارو ارتباط بین تأمین‌کنندگان مواد اولیه دارویی را با شرکت‌های تولیدی، شرکت‌های پخش و نهایتاً مشتریان نهایی آن، نظیر داروخانه‌ها و بیمارستان‌ها، برقرار می‌کند [۱].

زنجیره تأمین به تمام فعالیت‌های تبدیل و جریان کالاها از استحصال مواد اولیه تا نقطه نهایی مصرف اشاره دارد. به دلیل وجود تنوع در فعالیت‌ها و لزوم وجود هماهنگی بین اعضای زنجیره، شیوه‌های مدیریت تولید گذشته که یکپارچگی کم‌تری را در فرآیندهایشان داشتند کارایی خود را از دست داده و مدیریت زنجیره تأمین به‌عنوان یک رویکرد یکپارچه برای پاسخگویی به شرایط مختلف و با مدیریت بر سطوح مختلف جریان مواد و اطلاعات جایگزین شده است [۲].

اثربخشی مدیریت زنجیره تأمین به صلاحیت و درستی عملکرد زیر وابسته است. (۱) ساختار شرکای زنجیره تأمین، (۲) پیاده‌سازی ارتباطات مشارکتی، (۳) طراحی زنجیره تأمین برای

شکل (۱) ساختار زنجیره تأمین مورد توجه در این پژوهش که بنا بر طراحی آن است را نشان می‌دهد. هدف یافتن مکان‌های مناسب برای احداث شعب، تعیین میزان موجودی بهینه در هر شعبه و میزان تبادلات بین تسهیلات است.



شکل ۱. زنجیره تأمین دارو برای یک شرکت پخش

۲- بررسی ادبیات

مطالعات مدیریت و طراحی زنجیره تأمین به‌ویژه در رابطه با حوزه دارو به دو دسته پژوهش‌های کیفی و کمی قابل تقسیم‌بندی است. در ادامه به‌طور مختصر به بررسی برخی مقالات مرتبط با این موضوع پرداخته شده است.

اتابکی و محمدی [۵]، با استفاده از سیاست جریمه و پاداش یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای تعیین سطح بازیابی و مکان مراکز جمع‌آوری و بازطراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته را با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی توسعه دادند. تنظیم پارامتر برای مسائل واقعی در نظر گرفته شده است و برای بررسی کیفیت پاسخ الگوریتم به حل با نرم‌افزار گمز پرداخته شده و در سایز متوسط اختلاف ۱۸ درصدی بین مقادیر مشاهده شده است. در این پژوهش اندازه بزرگ‌ترین کلاس تعریف‌شده برای ارزیابی بسیار کوچک‌تر از داده‌های انتخاب شده در این مقاله است.

رضایی نور و همکاران [۶]، مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چهارسطحی چنددوره‌ای دارو با لحاظ فرض فاسدشدنی بودن توسعه دادند که در آن به تصمیم‌گیری یکپارچه مسائل مکان‌یابی مراکز تولید و توزیع دارو، تخصیص بهینه آن‌ها به‌منظور حمل‌ونقل مناسب دارو در بین سطوح و سپس حل مدل با الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است. یکی از فرضیات غیرواقعی که در برخی پژوهش‌ها در نظر گرفته می‌شود، بحث تاریخ انقضا است. اگرچه داروها دارای تاریخ انقضا هستند اما بازه ۲ تا ۳ ساله برای آن‌ها و متناسب بودن عرضه و تقاضا در این حوزه نوعاً این فرض را برای یک مسئله سطح استراتژیک و حتی تاکتیکی به یک فرضیه بی‌کاربرد تبدیل می‌کند، چراکه دارو در این بازه منقضی

اطلاعات دقیق از جمله مواردی است که مدیریت موجودی‌ها در زنجیره تأمین دارو را با چالش روبرو می‌کند.

علاوه بر این، چالش‌های دیگر همچون مدیریت سفارشات، کمبود، تاریخ انقضاء و مدیریت انبارها و حتی کنترل دما هر یک به نحوی با بحث مدیریت موجودی در ارتباط هستند. تعداد اقلام دارویی بسیار زیاد است. چیزی نزدیک به ۳۰۰۰ قلم در برخی شرکت‌های توزیع سراسری. بسیاری از این اقلام غیرقابل جایگزین هستند و وجود آن‌ها در داروخانه‌ها و مخصوصاً بیمارستان‌ها ضروری است. بسیاری از داروها تاریخ انقضاء مشخصی دارند؛ بنابراین نگهداری مقادیر بیش‌ازحد آن‌ها در سیستم ممکن است منجر به ضایعات و از بین رفتن داروها شود. این داروهای تاریخ گذشته نه تنها از لحاظ اقتصادی بلکه از نظر زیست‌محیطی نیز بسیار حائز اهمیت است. مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی اقتضا می‌کند که تا حد امکان از گذشتن تاریخ انقضاء داروها در سیستم جلوگیری شود.

در این مقاله از منظر یک شرکت توزیع‌کننده به موضوع طراحی زنجیره تأمین دارو توجه شده و بحث دسترسی به دارو و هزینه‌های موجودی آن را در کانون توجه قرار می‌دهد. لازم به ذکر است که با توجه به سابقه طولانی نظام‌مند بودن موضوع توزیع دارو برخلاف سایر کالاها در کشور، طراحی زنجیره تأمین دارو صرفاً طبق قوانین و مقررات کشوری قابل پیگیری است. در این پژوهش سعی شده علاوه بر ملاحظات معمول برای طراحی زنجیره تأمین کلیه قوانین مرتبط با فعالیت‌های شرکت‌های پخش دارویی در نظر گرفته شده و اثر آن‌ها بر هزینه‌های طراحی زنجیره شامل احداث، توزیع و به‌ویژه موجودی در نظر گرفته شود.

در جدول (۱) برخی از قوانین و ضوابط مهم مربوط به تأسیس و توزیع دارو توسط شرکت‌های پخش آورده مبتنی بر آیین‌نامه تأسیس و فعالیت شرکت‌های پخش دارویی آورده شده است:

جدول ۱. ضوابط فعالیت شرکت‌های پخش دارویی مرتبط با طراحی

شرح قوانین	بند قوانین
معرفی انبار مرکزی	ماده ۴- بند ۲
معرفی ۱۰ شعبه در ۱۰ استان	ماده ۴- بند ۳
عقد قرارداد با تأمین‌کنندگان	ماده ۴- بند ۷
عدم فروش دارو به سایر شرکت‌های پخش	ماده ۹- بند ۴
مکلف به خرید دارو صرفاً از شرکت‌های طرف قرارداد	ماده ۹- بند ۵
ایجاد شعبه در ۱/۳ استان‌های کشور	ماده ۱۰- تبصره ۲
دارو ظرف مدت معین از زمان درخواست اولیه تحویل داروخانه گردد	ماده ۱۰- تبصره ۲ بند ۳
مساحت انبار مرکزی حداقل ۷۰۰ مترمربع	ماده ۱۳- بند ۱
توزیع دارو توسط شرکت‌های پخش سراسری و پخش استانی	ماده ۱۵

با نرم‌افزار گمز حل شده است. آن‌ها ۵ سطح برای زنجیره در نظر گرفتند و تابع هدف از سه بخش هزینه کل، حمل و نگهداری تشکیل شده است. بخش نگهداری با استفاده از روابط تئوری صف مدل‌سازی شده است که باعث واقعی‌تر شدن مدل می‌شود. از نقدهای وارد بر آن‌ها می‌توان به عدم ارزیابی مدل مبتنی بر داده‌های واقعی اشاره کرد. ضمناً در مقاله یاد شده بحثی در مورد احداث در میان نیست.

گودرزبان و همکاران [۱۲]، یک مدل غیرخطی برای تولید، تخصیص، توزیع و موجودی ارائه دادند و برای حل آن دو الگوریتم فراابتکاری جدید ارائه کردند. در زنجیره تأمین یاد شده ظرفیت شرکت پخش و تأمین‌کننده مشخص نیست و صرفاً نحوه توزیع دارو در زنجیره بررسی شده است.

روشن و همکاران [۱۳]، مدل‌سازی مسئله مدیریت بحران در زنجیره تأمین دارویی را در دستور کار خود قرار دادند. مدل فوق دارای سه کارکرد کمینه‌سازی هزینه کل شبکه، تقاضای برآورد نشده و حداکثرسازی رضایت اجتماعی است که در نظر گرفتن رضایت اجتماعی مدل را نزدیک به واقعیت می‌کند. در کل مدل عدم قطعیت تقاضا وجود دارد. مدل بر اساس یک مطالعه موردی ارزیابی شده هرچند که در مفروضات مسئله ظرفیت تأمین‌کنندگان و مراکز توزیع مشخص نیست و ضمناً محدودیت‌های قانونی و حقوقی زنجیره تأمین نظام‌مند لحاظ نشده است. همچنین در محاسبه میزان تقاضا وابستگی آن به معیار جمعیت در نظر گرفته نشده است.

حاجی‌پور و سلیمیان [۱۴]، یک مدل ریاضی مکان‌یابی و موجودی به‌منظور ارائه خدمات بهتر با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های مربوط به مکان‌یابی و موجودی سیستم‌های سلامت‌محور ارائه کرده و از روش‌های دقیق و نیز الگوریتم ژنتیک برای حل ۲۰ مسئله با ساینبدی‌های مختلف استفاده نمودند. در زنجیره توزیع این مدل نیز ظرفیت شرکت پخش و تأمین‌کننده مشخص نبوده و به بحث توزیع در زنجیره پرداخته نشده است.

عابدینی و همکاران [۱۵] به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل حیاتی موفقیت در زنجیره تأمین و توزیع صنعت دارو در کشور در دو فاز کتابخانه‌ای و پیمایشی پرداختند. قوانین حقوقی موجود در زنجیره توزیع محصولات دارویی و تأثیر آن بر عملکرد زنجیره در این مقاله بررسی نشده است.

موسی زاده و صحرایان [۱۶]، یک مدل برنامه‌ریزی خطی دوهدفه برای مسئله طراحی زنجیره تأمین دارویی معرفی کردند. در این مدل می‌توان تصمیمات راهبردی زنجیره تأمین شامل انتخاب و احداث مراکز تولید و توزیع دارویی و تصمیمات تاکتیکی در مورد چگونگی جریان مواد در شبکه را با هدف کمینه‌سازی هزینه کل و کمینه‌سازی بیشینه تقاضای پوشش داده نشده اخذ نمود. مثال

نشده و یا تجدید می‌شود. ضمناً الزامات حقوقی مربوط به قرارداد بین تأمین‌کننده و پخش در این پژوهش رعایت نشده است.

جویبان و همکاران [۷]، مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو را توسعه دادند. در این پژوهش صرفاً مسئله توزیع یک نوع دارو بررسی شده و به موضوع احداث شعب جدید پرداخته نشده است.

نوری و قهرمانی‌نهر [۸]، یک شبکه زنجیره تأمین دارو ۵ سطحی را در شرایط عدم قطعیت تقاضا مدل‌سازی کردند. اهداف مسئله آن‌ها عبارت‌اند از کمینه‌سازی هزینه‌های کل شبکه زنجیره تأمین، کمینه کردن حداکثر تقاضای برآورده نشده و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان در تحویل به‌موقع داروها با لحاظ کردن زمان فسادپذیری دارو، تخفیف کلی در خرید مواد اولیه و مسیریابی بهینه وسایل نقلیه. تقاضا به‌صورت غیرقطعی و با روش فازی دوزنقه‌ای در نظر گرفته شده است. مسئله صرفاً برای یک زنجیره تأمین کوچک بررسی شده و نتایج مدل بر روی یک مطالعه موردی با ابعاد واقعی بررسی نشده است تا ارزیابی دقیقی از کاربردی بودن آن انجام شود. همچنین الزام حقوقی عقد قرارداد بین تأمین‌کننده و پخش و یا تعداد حداقل موردنیاز برای رسمیت شعب پخش در نظر گرفته نشده است.

جنتیان و همکاران [۹]، در پژوهشی به طراحی مدلی نوین برای شبکه توزیع دارو پرداختند. نوآوری این پژوهش توجه به تابع هدف اجتماعی است؛ به‌نحوی که انبارهای محلی در مناطق با درصد بیکاری بیشتر تأسیس شود. در این پژوهش یک مرکز اصلی بالقوه ثابت در تهران در نظر گرفته شده و برای شعب محلی و مراکز مشتریان ۲۰ مرکز ثابت از پیش تعیین شده است. این مدل صرفاً بر روی مثالی با فقط یک دارو و فقط یک شرکت خاص موردارزیابی قرار گرفته است و ضمناً ملاحظات حقوقی نظیر قرارداد بین تأمین‌کننده و شرکت پخش لحاظ نشده است. از منظر طراحی زنجیره نیز باید گفت که در پژوهش یاد شده فقط بحث توزیع در نظر گرفته شده و بحث احداث در میان نیست.

تات و همکاران [۱۰] یک مدل زنجیره تأمین دوسطحی با در نظر گرفتن اقلام دارویی باقی‌مانده توسعه دادند. در این زنجیره تأمین صرفاً یک تأمین‌کننده و یک دارو بررسی شده است و به دنبال کاهش هزینه‌های ضایعات در زنجیره تأمین هستند. تقاضای مراکز به‌صورت احتمالی در نظر گرفته شده و مدل برای مثال شبیه‌سازی شده حل شده است.

مقاله فاطمی و همکاران [۱۱]، یک پژوهش ۵ سطحی برای زنجیره تأمین دارویی است. مهم‌ترین بخش محدودیت‌های اعمال شده، محدودیت ظرفیت تولید و ذخیره‌سازی است. یک مدل غیرخطی برای پوشش شکاف تحقیقات قبلی ارائه شده است و مدل

زیست‌محیطی توسعه دادند. مدل از نوع برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط است. مسئله از نوع دارای محدودیت ظرفیت بوده و هم‌زمان تصمیمات مکان‌یابی و موجودی اتخاذ می‌شود. در این پژوهش مراکز تقاضا ثابت و مکان مراکز احداثی از پیش مشخص شده است. برای حل مسئله از دو رویکرد مجموع وزنی و مجموع حدی استفاده شده است.

در جدول (۲) مقایسه جامعی بین ویژگی‌های پژوهش حاضر با موارد مشابه مرتبط با زنجیره تأمین دارو آمده است:

عددی این مسئله صرفاً برای یک دارو و ۱۰ مشتری اعمال شده که از ابعاد واقعی زنجیره تأمین دارویی کشور دور است.

فخرزاد و قاسمی [۱۷]، یک مدل تصادفی چهارسطحی دومرحله‌ای تصادفی برای تأمین محصولات خونی در شرایط بحران ارائه کردند. به‌منظور اعتبار سنجی مدل صرفاً از تعدادی مثال عددی شبیه‌سازی شده استفاده شده و موردکاوی واقعی صورت نپذیرفته است.

ملک‌پور و سیف برقی [۱۸] مدلی برای شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته مکان‌یابی - موجودی را با در نظر گرفتن عوامل

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های پژوهش حاضر با موارد مرتبط در زنجیره تأمین دارو

مقاله	قرارداد شرکت پخش با تأمین‌کننده	وجود لیست تأمین‌کنندگان برای هر قلم دارو	ظرفیت - تأمین‌کننده	ظرفیت شرکت پخش	مطالعه موردی	رعایت سایر الزامات قانونی توزیع	در نظر گرفتن فواصل بر اساس نقشه	تعداد دارو	ابعاد و عناصر زنجیره تأمین	عدم قطعیت تقاضا	وابستگی تقاضا به جمعیت	احداثیات	توزیع	موجودی
رضایی نور و همکاران (۱۳۹۸)	*	✓	✓	✓	*	*	*	بیش از یک دارو	تأمین‌کننده (۲۶) تولیدکننده (۱۷) توزیع‌کننده (۲۹) خرده‌فروش (۴۰)	احتمالی	*	✓	✓	*
نادیپولوی و همکاران (۱۳۹۷)	*	*	✓	✓	✓	*	✓	۱ دارو	سایت تولید (۸) مراکز توزیع اصلی (۸) مراکز توزیع محلی (۳۱) مشتریان (۳۱)	قطعی	*	✓	✓	*
نوری و قهرمانی نهر (۱۳۹۸)	*	*	✓	✓	*	*	*	۲ دارو	تأمین‌کننده (۳) تولیدکننده (۳) توزیع‌کننده (۳) خرده‌فروش (۳) مشتری (۵)	احتمالی	*	✓	*	*
جنتیان و همکاران (۱۳۹۸)	*	*	*	✓	✓	✓	✓	۱ دارو	مرکز توزیع اصلی (۱) مرکز توزیع فرعی (۲۰) مشتری (۲۰)	قطعی	*	✓	*	*
تات و همکاران (۱۳۹۹)	*	*	*	*	*	*	*	۱ دارو	تأمین‌کننده (۱) داروخانه (۱)	احتمالی	*	✓	✓	✓

ادامه جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های پژوهش حاضر با موارد مرتبط در زنجیره تأمین دارو

✓	✓	*	*	احتمالی	تولیدکننده (۳) مراکز توزیع اصلی (۲۴) مراکز توزیع محلی (۴) مشتری (۶)	۱ دارو	*	*	*	*	✓	*	*	فاطمی و همکاران (۱۴۰۰)
✓	✓	*	*	احتمالی	تولید کنندگان (۱۶) انبار (۲۴) مشتری (۱۸) نوع وسیله نقلیه (۳۰)	۱۸۰ دارو	*	*	*	*	*	✓	*	گودرزیان و همکاران (۱۴۰۰)
✓	✓	*	*	احتمالی	تولیدکننده اصلی (۱) مکان شرکت-های تأمین کننده (۳) نقاط تقاضا (۲۵) انبار (۹)	۱۰ دارو	*	*	✓	*	*	*	*	روشن و همکاران (۱۳۹۸)
✓	*	✓	*	احتمالی	تأمین کننده (۲۰) انبار (۵۰) مرکز درمانی (۳۰) منطقه حادثه دیده (۵۰)	۸۰۰ دارو	*	*	*	*	*	*	*	حاجی پور و سلیمان (۱۴۰۰)
✓	✓	✓	✓	احتمالی	تأمین کننده (۶۲) انبار (۱) مرکز شعب استانی (۲۷) نقاط تقاضا (۴۲۹)	۶۹۹ دارو	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	پژوهش حاضر

۳- بیان مسئله و ارائه مدل ریاضی

- مراکز مصرف ثابت و از پیش مشخص است.
- هزینه نگهداری تمامی محصولات برابر است.
- هزینه سفارش دهی تمامی محصولات برابر است.
- سیاست سفارش دهی از نوع نقطه سفارش است.
- انحراف استاندارد پارامترهای غیرقطعی (نظیر مدت زمان تحویل) درصد مشخصی از میانگین آن است.
- تنها شیوه حمل، مد حمل زمینی است.

همان‌طور که در قبل اشاره شد هدف این پژوهش یافتن مکان‌های مناسب برای احداث شعب، تعیین میزان موجودی بهینه در هر شعبه و میزان ارسال بین تسهیلات (تأمین کنندگان به انبار مرکزی پخش، انبار مرکزی به شعب و از آنجا به نقاط تقاضا) است. برای نوشتن مدل مسئله ابتدا فرضیات حاکم بر فضای مسئله بازبینی می‌شود:

نمادگذاری

مجموعه‌ها

P : مجموعه داروها (با اندیس p)

S_p : مجموعه تأمین کنندگانی که داروی p را برای شرکت پخش ارسال خواهند کرد (با اندیس s)

۳-۱- مفروضات مدل

مفروضات مدل به شرح زیر است:

- مکان‌های بالقوه برای شعب شرکت پخش دارو مشخص است.
- میزان تقاضا به صورت غیرقطعی مشخص بوده اما میانگین آن تابعی از جمعیت نواحی است.

$STDL_p$: انحراف استاندارد مدت‌زمان تحویل در این رده

B : تعداد شعب مرکز پخش

K : تعداد تأمین‌کنندگان

\mathcal{E} : هزینه ارسال هر واحد کالا

Q_p : میزان سفارش دارو p

SS_p : ذخیره اطمینان دارو p

متغیرهای تصمیم

qsd_s^p : مقدار ارسال داروی p از تأمین‌کننده‌ی S به انبار مرکزی شرکت پخش

qdl_l^p : مقدار ارسال داروی p از انبار مرکزی شرکت پخش به مکان کاندیدای l

qlc_{lc}^p : مقدار ارسال داروی p از شعبه شرکت پخش مستقر در مکان کاندیدای l به مشتری c

O_l : متغیر صفر و یک مربوط به تأسیس شعبه در مکان l برای شرکت پخش

پیش از بیان مدل ریاضی، نحوه محاسبه اجزای تابع هدف شرح داده می‌شود.

۲-۳- هزینه احداث

برای تعیین میزان هزینه احداث انبار، متوسط مساحت انبار موردنیاز مبتنی بر ماده ۱۳ بند (۲) ضوابط تأسیس شرکت‌های پخش ۱۰۰۰ متر مربع در نظر گرفته شد. ضمناً هزینه احداث هزینه چنین انباری بر مبنای قیمت‌های سال ۱۳۹۶ و بر مبنای نظر کارشناسان به‌طور متوسط ۵۱۵ میلیون ریال در سال برآورد گردید.

۳-۳- هزینه توزیع

حاصل ضرب فاصله دو تسهیل و میزان داروی ارسالی ضرب‌در هزینه ارسال هر واحد بین آن‌ها با عنوان هزینه توزیع معرفی شده است.

L : مجموعه مکان‌های کاندیدا برای احداث شعب (با اندیس l)

C : مجموعه مشتریان (با اندیس c)

پارامترها

$DistSD_s$: فاصله تأمین‌کننده S تا انبار مرکزی شرکت پخش

$DistDL_l$: فاصله انبار مرکزی شرکت پخش تا مکان کاندیدای l

$DistLC_{lc}$: فاصله مکان کاندیدای l تا مشتری c

$CapS_{ps}$: ظرفیت عرضه‌ی تأمین‌کننده‌ی S برای داروی p

$CapD_p$: ظرفیت پخش شرکت پخش برای داروی p

$DemC_{pc}$: تقاضای مشتری c برای داروی p

$t_{sd}_s^p$: پارامتر صفر و یک مربوط به قرارداد تأمین‌کننده‌ی S با شرکت پخش برای داروی p

f_l : هزینه ثابت احداث شعبه در شهر l

A_p : هزینه هر بار سفارش‌دهی داروی p

h : هزینه نگهداری هر واحد دارو در هر دوره

Z_α : ضریب اطمینان

ns : نرخ سرعت (کیلومتر بر ساعت)

t_s : مدت تحویل از زمان ثبت سفارش

δ : ضریب میانگین (ضریبی که نسبت انحراف استاندارد با میانگین را نشان می‌دهد)

Lsd_s : مدت‌زمان تحویل بین تأمین‌کننده S تا انبار مرکزی شرکت پخش در نرخ سرعت

Ldl_l : مدت‌زمان تحویل بین انبار مرکزی شرکت پخش تا مکان کاندیدای l در نرخ سرعت

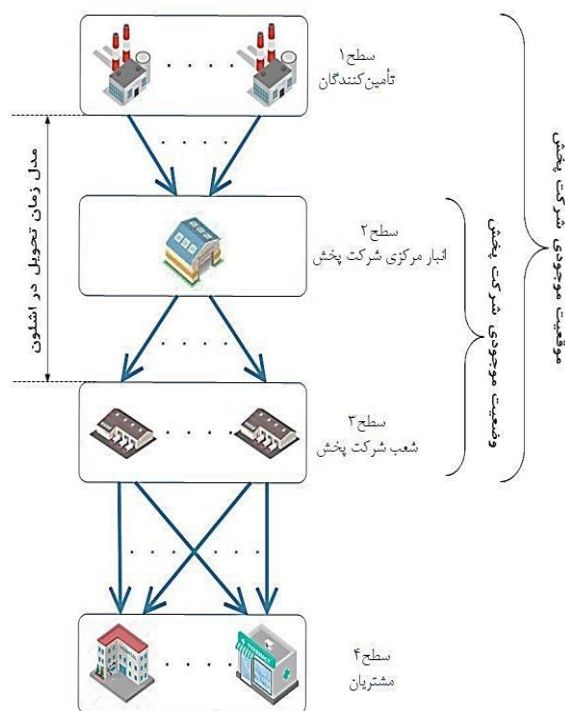
AVG_p : میانگین تقاضای سالانه شعب برای داروی p

STD_p : انحراف استاندارد تقاضای سالانه شعب برای داروی p

$AVGL_p$: میانگین مدت‌زمان تحویل در رده

۴-۳- هزینه موجودی

همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده، وضعیت موجودی (موجودی در دست) شرکت پخش شامل موجودی انبار مرکزی بعلاوه تمام موجودی پایین‌دستی یعنی انبار شعب و سفارشات در راه شعب است (وضعیت موجودی رده). درحالی‌که موقعیت موجودی شرکت پخش علاوه بر موجودی در دست، شامل موجودی در راه یعنی سفارشات در راه انبار مرکزی نیز می‌باشد (موقعیت موجودی رده).



شکل (۲). رده‌بندی در سطوح زنجیره تأمین

در این رویکرد، خط‌مشی موجودی شرکت پخش، موقعیت موجودی تسهیلات پایین‌دستی را کنترل می‌کند. هرگاه موقعیت موجودی شرکت (طبق تعریفی که پیش‌تر بیان شد) کمتر از نقطه سفارش مجدد R باشد، به‌اندازه مقدار سفارش Q سفارش داده می‌شود. مدت‌زمان تحویل نیز، به‌صورت مدت‌زمان تحویل بین شعب و انبار مرکزی به‌اضافه مدت‌زمان تحویل بین انبار مرکزی و تأمین‌کننده تعریف می‌شود (L^e) [۱۹].

$$R = L^e * AVG + z_{\alpha} * STD * \sqrt{L^e} \quad (3)$$

۴-۳-۱- هزینه نگهداری

برای محاسبه هزینه نگهداری لازم است متوسط موجودی محاسبه شود. در حالت عدم قطعیت متوسط موجودی شامل ذخیره اطمینان نیز هست که برای به دست آوردن آن لازم است ابتدا تقاضا و مدت‌زمان تحویل را بدانیم. از آنجاکه برای هر دارو تأمین‌کنندگان مختلفی وجود دارد و قرار است بین شعب مختلف

در کنترل موجودی تک‌مرحله‌ای^۱، هر زمان که موقعیت موجودی در یک شعبه به زیر نقطه سفارش مجدد R برسد، به‌اندازه Q واحد سفارش داده می‌شوند. در این حالت، مدت‌زمان تحویل عبارت است از زمانی که شعبه یک سفارش را ثبت می‌کند تا زمان دریافت سفارش. به‌طور مشابه، یک نقطه سفارش مجدد R و یک مقدار سفارش Q بر توزیع‌کننده محاسبه می‌شود [۱۹]. رابطه (۲)، یک رابطه کلی برای نقطه سفارش مجدد است (پارامترهای به‌کاررفته در این رابطه به‌صورت کلی بوده و در داخل مدل، بسته به زیر مسائل مرتبط، تغییرات لازم اعمال می‌گردد).

در مدیریت موجودی زنجیره تأمین مهم است که تعامل تسهیلات مختلف و تأثیر این تعامل بر روی سیاست موجودی، در نظر گرفته شود. جهت هماهنگی تسهیلات مرتبط در زنجیره تأمین و جلوگیری از نگهداری موجودی اضافی یا مواجهه با کمبود در کل زنجیره، رویکردهای مختلفی ممکن است مورد استفاده قرار گیرند. در رویکرد مدنظر این مقاله، به‌جای آنکه تک‌تک تسهیلات تنها به تقاضای خود توجه کنند، تقاضای آخرین سطح از زنجیره مدنظر قرار می‌گیرد. همچنین موجودی سطوح پایین‌تر هر سطح، به‌عنوان موجودی همان سطح حساب می‌شود. ضمناً مدت‌زمان تحویل تا زمان رسیدن سفارش به آخرین سطح زنجیره خواهد بود. در اینجا مفهوم جدیدی با نام رده تعریف می‌شود. سیمچی لوی و همکاران [۱۹]، مفروضات زیر را جهت تعریف خط‌مشی موجودی رده بیان کرده‌اند:

۱. تصمیمات موجودی توسط تنها یک تصمیم‌گیرنده اتخاذ می‌شود که هدفش به حداقل رساندن کل هزینه سیستم است.
۲. تصمیم‌گیرنده به اطلاعات موجودی هر یک از خرده‌فروشان و انبار دسترسی دارد.

در این مقاله فرض می‌شود برای یک شرکت پخش، میزان موجودی در سطح انبار مرکزی و شعب قابل کنترل است و تأمین‌کنندگان و خرده‌فروشان موجودیت‌های جداگانه‌ای هستند که هزینه‌های موجودی آن‌ها بر عهده‌ی شرکت پخش نیست. لذا سیستم مورد بحث در اینجا کل تسهیلات پایین‌دستی زنجیره نیست بلکه سیستم توزیع یعنی انبار مرکزی شرکت پخش و شعبش است.

^۱ Single-stage inventory control

(۱۱) به دست می‌آیند. همچنین متوسط موجودی هر دارو در هر دوره برابر رابطه (۱۲) است:

$$Q_p = \sqrt{\frac{\gamma(AVG_p)A_p}{h}} \quad (10)$$

$$SS_p = z_\alpha \sqrt{AVGL_p * STD_p^\gamma + AVG_p^\gamma * STDL_p^\gamma} \quad (11)$$

$$I_p = \frac{Q_p}{\gamma} + SS_p \quad (12)$$

حال می‌توان متوسط هزینه نگهداری سالانه را از رابطه (۱۳) به دست آورد. در این رابطه h هزینه نگهداری هر واحد دارو در یک دوره است:

$$\sum_{p \in P} h \left(\frac{Q_p}{\gamma} + SS_p \right) \quad (13)$$

۳-۴-۲- هزینه سفارش‌دهی

هزینه سفارش‌دهی سالانه داروی p برابر است با هزینه هر بار سفارش‌دهی آن دارو (A_p) در تعداد دفعات سفارش‌دهی آن (n_p) (رابطه (۱۴)). تعداد دفعات سفارش‌دهی دارو نیز از تقسیم تقاضای سالانه بر میزان هر بار سفارش به دست می‌آید (رابطه (۱۵)). بدیهی است در مدل چندمحصولی برای محاسبه هزینه کل سفارش‌دهی سالانه، هزینه سفارش‌دهی سالانه برای داروهای مختلف باهم جمع می‌شود. بنابراین هزینه سفارش‌دهی سالانه به شکل رابطه (۱۶) خواهد بود [۱۹].

$$A_p * n_p \quad (14)$$

$$n_p = \left(\frac{AVG_p}{Q_p} \right) \quad (15)$$

$$A = \sum_{p \in P} A_p \left(\frac{AVG_p}{Q_p} \right) \quad (16)$$

۳-۵- تابع هدف

تابع هدف مسئله کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ها شامل هزینه ثابت احداث شعب، هزینه توزیع و هزینه‌های موجودی (شامل هزینه نگهداری و هزینه سفارش‌دهی) است.

تابع هدف: هزینه احداث + هزینه توزیع + (هزینه موجودی +

هزینه سفارش‌دهی)

توزیع شوند از میانگین و واریانس تقاضا و مدت‌زمان تحویل استفاده می‌شود که میانگین و واریانس تقاضای سالانه هر دارو از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$AVG_p = \frac{\sum_{l \in L} qdl_l^p}{B} = \frac{\sum_{c \in C} DemC_{pc}}{B} \quad (17)$$

$$STD_p = \delta * AVG_p \quad (18)$$

مدت‌زمان تحویل^۱ بسته به فاصله‌ی دو مکان، متفاوت است. در این مقاله مبتنی بر (سیمچی لوی) [۱۹]، مدت‌زمان تحویل را برای کل رده در نظر گرفته می‌شود.

مدت‌زمان تحویل در دو سطح (بین تأمین‌کنندگان و انبار مرکزی و بین انبار مرکزی و شعب) مستقل از هم است، بنابراین میانگین و واریانس رده از مجموع میانگین و واریانس دو سطح به دست می‌آید. رابطه (۸) میانگین مدت‌زمان تحویل در رده را نشان می‌دهد که مجموع میانگین مدت‌زمان تحویل بین تأمین‌کنندگان و انبار مرکزی (رابطه (۶)) و میانگین مدت‌زمان تحویل بین انبار مرکزی و شعب مرکز پخش (رابطه (۷)) است. رابطه (۹) نیز انحراف استاندارد مدت‌زمان تحویل در این رده را نشان می‌دهد:

$$AVGLS_p = \frac{\sum_{s \in S_p} Lsd_s}{S} \quad (19)$$

$$AVGLD = \frac{\sum_{l \in L, O_l=1} Ldl_l}{B} \quad (20)$$

$$AVGL_p = AVGLS_p + AVGLD \quad (21)$$

$$STDL_p = \sqrt{\frac{\sum_{s \in S_p} (Lsd_s - AVGLS_p)^\gamma}{S - 1}} \quad (22)$$

$$+ \sqrt{\frac{\sum_{l \in L} (Ldl_l - AVGLD)^\gamma}{B - 1}} \quad (23)$$

با داشتن روابط فوق میزان هر بار سفارش برای هر دارو (Q_p) و مقدار ذخیره اطمینان آن (SS_p) قابل محاسبه است. این دو متغیر با توجه به سیاست مرور دائم به ترتیب از روابط (۱۰) و

^۱ Lead time

$$qdl_l^p = \sum_{c \in C} qlc_{lc}^p \quad \forall p \in P, l \in L \quad (24)$$

$$\sum_{l \in L} qlc_{lc}^p \geq DemC_{pc} \quad \forall p \in P, c \in C \quad (25)$$

$$O_l = \begin{cases} 1 & \text{اگر در مکان } l \text{ شعبه‌ای برای شرکت پخش احداث شود} \\ 0 & \forall l \in L \text{ در غیر این صورت} \end{cases} \quad (26)$$

$$qsd_s^p, qdl_l^p, qlc_{lc}^p \geq 0 \quad \forall p \in P, s \in S_p, l \in L, c \in C \quad (27)$$

رابطه (۱۸) تضمین می‌کند که برای هر شرکت پخش دقیقاً ۹ شعبه در مکان‌های مختلف (شهرهای مختلف) احداث شود. با احتساب شعبه مرکزی که مکانش مشخص است، هر شرکت پخش ۱۰ شعبه خواهد داشت. رابطه (۱۹) و (۲۰) محدودیت ظرفیت تسهیلات است و تضمین می‌کند که خروجی هر دارو از هر تسهیل بیشتر از ظرفیت آن تسهیل برای آن دارو نباشد. رابطه (۲۱) ارسال دارو از تأمین‌کننده هر دارو به هر شرکت پخش را منوط به وجود قرارداد با آن شرکت پخش می‌کند و در صورت وجود قرارداد، حداکثر به اندازه ظرفیت پخش خود می‌تواند ارسال کند. طبق رابطه (۲۲) ارسال دارو از هر شرکت پخش (انبار مرکزی) به یک سایت کاندیدا زمانی میسر است که در آن سایت شعبه‌ای برای آن شرکت پخش احداث شده باشد. رابطه (۲۳) و (۲۴) محدودیت‌های تعادل هستند؛ یعنی خروجی هر تسهیل واسطه برابر با ورودی آن است. در نهایت محدودیت (۲۵) تضمین می‌کند که تقاضای هر مشتری تأمین شود. محدودیت‌های (۲۶) و (۲۷) نیز محدودیت علامت هستند.

۴- روش حل

مدل مسئله از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته بوده و ترکیبی است از مسئله مکان‌یابی تسهیلات با محدودیت ظرفیت و مسئله بهینه‌سازی توزیع و نیز مسئله کنترل موجودی؛ بنابراین، مسئله پژوهش حاضر قابل کاهش به مسئله مکان‌یابی با محدودیت ظرفیت است. پیش‌تر دیویس و ری [۲۰]، ثابت کرده‌اند که مسئله مکان‌یابی تسهیلات با محدودیت ظرفیت از نوع Np -complete است، بنابراین مسئله موردبررسی در این پژوهش نیز دارای پیچیدگی از نوع Np -hard است. برای حل مسئله به کمک الگوریتم‌های فراابتکاری از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. ساختار مسئله این پژوهش دارای ویژگی‌هایی است که در حل آن کمک‌کننده است. با توجه به وابسته بودن همه محدودیت‌ها به اندیس p (به جز رابطه (۱۸))، می‌توان مبتنی بر این اندیس و به تعداد کل داروها (۶۹۹ دارو)، مسئله را به زیرمسائل کوچک‌تر

$$\begin{aligned} Minz = & \sum_{l \in L} f_l O_l \\ & + (\varepsilon * (\sum_{p \in P} \sum_{s \in S_p} DistSD_s * qsd_s^p \\ & + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} DistLC_{lc} * qlc_{lc}^p \\ & + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{c \in C} DistLC_{lc} * qlc_{lc}^p)) \\ & + \sum_{p \in P} h \left(\frac{\sqrt{\tau(AVG_p)A_p}}{h} \right) \\ & + z_\alpha \sqrt{AVGL_p * STD_p^\tau + AVG_p^\tau * STDL_p^\tau} \\ & + \sum_{p \in P} A_p \left(\frac{AVG_p}{Q_p} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

رابطه (۱۷) تابع هدف مسئله موردبررسی است. هدف یافتن مکان‌های مناسب برای احداث شعب، تعیین میزان موجودی بهینه در هر شعبه و میزان ارسال بین تسهیلات است. قسمت اول تابع هدف به دنبال کمینه کردن مجموع هزینه ثابت احداث شعب، قسمت دوم حداقل کردن تراز ارسال و قسمت سوم آن به دنبال حداقل کردن هزینه‌های موجودی (شامل هزینه نگهداری و هزینه سفارش‌دهی) است.

۳-۶- محدودیت‌ها

$$\sum_{l \in L, l \neq \text{central branchity}} O_l = 10 \quad (18)$$

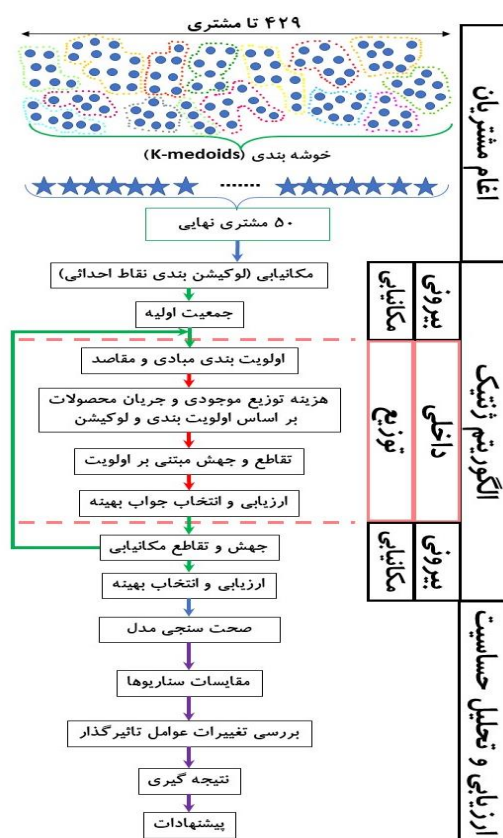
$$qsd_s^p \leq CapS_{ps} \quad \forall p \in P, s \in S_p \quad (19)$$

$$\sum_{l \in L} qdl_l^p \leq CapD_p \quad \forall p \in P \quad (20)$$

$$qsd_s^p \leq CapS_{ps} * tsd_s^p \quad \forall p \in P, s \in S_p \quad (21)$$

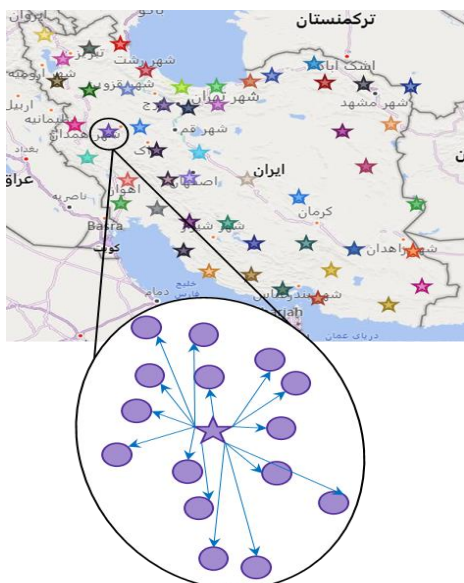
$$qdl_l^p \leq CapD_p * O_l \quad \forall p \in P, l \in L \quad (22)$$

$$\sum_{s \in S_p} qsd_s^p = \sum_{l \in L} qdl_l^p \quad \forall p \in P \quad (23)$$



شکل ۳. مراحل حل مسئله

شکل (۴) نقاط تقاضای ادغامی است (۵۰ مرکز) و هر مرکز خوشه‌بندی تعدادی از کل نقاط تقاضا را پوشش می‌دهد که نحوه دسته‌بندی طبق الگوریتم خوشه‌بندی انتخاب شده است و برای یک دسته خوشه‌بندی مرکز و نقاط تحت پوشش خوشه مشخص شده است.



شکل (۴). مراکز خوشه‌بندی نقاط تقاضا

تجزیه کرد. برای انجام این فرایند تجزیه می‌بایست ابتدا مکان استقرار شعب پخش را با توجه به الزام قانونی ۹ شعبه تعیین کرد و بدیهی است که ساختار زنجیره تأمین حاصل بر هزینه‌های توزیع و موجودی اثرگذار است. از طرفی تعداد حالات ممکن برای مسئله استقرار عملاً بسیار زیاد بوده (2⁴²⁹ حالت استقرار برای هر انبار داریم چراکه تعداد شهرهای موجود در مطالعه موردی بالغ بر ۴۲۹ شهر است) و عملاً بسیار زیاد است. به همین علت ابتدا به کمک یک الگوریتم فراابتکاری بالادستی، مکان استقرار شعب را مشخص می‌کنیم که برای ارزیابی تابع هدف می‌بایست همه زیرمسائل حاصل در مرحله قبل حل شده و هزینه‌های توزیع و موجودی مرتبط به آن محاسبه شود. در این الگوریتم برای حفظ تعداد شعب احداثی نیاز به استفاده از عملگر تقاطعی است که ضمن حفظ تعداد مراکز احداثی باعث بهبود و تغییر در انتخاب‌ها گردد چراکه در مرحله تقاطع و یا جهش این امکان وجود دارد که تعداد مراکز احداثی کمتر یا بیشتر از ۹ مورد شود. از طرفی به دلیل بزرگ بودن ساختار ژنی مسئله (بردار تنکی شامل ۴۲۹ عنصر که همه به‌جز ۹ مورد آن صفر هستند) در صورت استفاده از عملگرهای معمول برای تقاطع این احتمال وجود دارد که اساساً بردار جدیدی ایجاد نشود. به همین دلیل در این مقاله از مجموعه روش‌های موجود در ادبیات [۲۱] برای تولید فرزندان جدید که هم باعث ایجاد تغییر در ژن‌ها در هر مرحله شود و درعین حال تعداد یک‌ها را حفظ کند استفاده شده است. معضل بعدی در مورد حل زیرمسائل است. هر زیرمسئله عبارت است از حل یک مسئله توزیع بین شرکت‌های تأمین‌کننده انبار مرکزی پخش، شعب پخش و مراکز ۴۲۹ گانه تقاضا (به تعداد شهرهای کشور)؛ که به‌خودی‌خود مسئله بزرگی است. برای حل این مشکل در گام اول از ادغام نقاط تقاضا استفاده شد. ادغام داده‌هایی چون تقاضا برای حل مسائل در ابعاد بزرگ تأثیری در حد ۱٪ بر تغییر جواب بهینه دارد [۲۱]، بدین منظور از الگوریتم خوشه‌بندی p -میان بر مبنای معیار فاصله، از نوع اقلیدسی استفاده شد، چراکه در این الگوریتم مراکز تعیین شده از میان خود مجموعه نقاط اصلی ورودی الگوریتم انتخاب می‌شود [۲۳].

در شکل (۳)، مراحل حل مسئله که متشکل از سه مرحله است، نشان داده شده است. در مرحله اول مراکز تقاضا خوشه‌بندی و ادغام می‌شوند. در مرحله دوم مکان بهینه شعب به کمک الگوریتم ژنتیک بیرونی تعیین می‌شود و در مرحله سوم که به‌نوعی در داخل مرحله دوم است به حل زیرمسائل توزیع با فرض معلوم بودن نقاط استقرار شعب و آن‌هم به کمک الگوریتم ژنتیک داخلی پرداخته می‌شود. الگوریتم ژنتیک داخلی هزینه توزیع بهینه را به‌عنوان خروجی به الگوریتم بیرونی برمی‌گرداند. تابع هدف الگوریتم بیرونی عبارت است از: مجموع هزینه‌های احداث شعب، هزینه توزیع و هزینه موجودی.

۵- نتایج مدل پیشنهادی

۵-۱- مطالعه موردی (شرکت سیناپخش ژن)

شرکت توزیع سیناپخش ژن یک شرکت تجاری، خدماتی است که با هدف توزیع انواع داروهای انسانی، تجهیزات پزشکی، آرایشی، بهداشتی و توزیع و فروش به سراسر کشور فعالیت خود را آغاز نموده است. پوشش دارویی شرکت سیناپخش ژن در سراسر ایران از طریق ۲۰ مرکز و ۱۱ مرکز فروش صورت می‌گیرد. سبد کالایی شرکت بیش از ۱۴۹۷ قلم می‌باشد که شامل داروهای استراتژیک، محصولات بیمارستانی، بیوتکنولوژی و غیره است (<https://www.cinnadco.com>). بر اساس آمارنامه دارویی این شرکت در رتبه نوزدهم شرکت‌های برتر پخش دارویی از منظر فروش ریالی با سهم بازار ۱/۴۹ درصدی و با رقم فروش کل ۵,۴۵۵,۹۵۰,۶۶۲,۰۸۰ ریال و جزو دوازده شرکت برتر از منظر فروش عددی با سهم بازار ۲/۹۰ درصدی و فروش عددی ۵۷۶,۷۹۷,۲۷۰ دارو است. در سال ۱۳۹۶ این شرکت ۶۹۹ نوع دارو که توسط ۶۲ شرکت تأمین‌کننده در اختیار قرار گرفته است را به نواحی تحت پوشش خود توزیع می‌نماید.

۵-۲- تنظیم پارامتر به روش تاگوچی

به‌منظور تعیین کاراترین سطوح هر پارامتر با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶، تعداد ۲۷ آزمایش تعیین و انجام شده است. ابتدا شاخص‌های انتخابی با روش RPD (رابطه ۲۸) بی‌مقیاس می‌شود. در این پژوهش به دلیل بالا بودن زمان حل، وزن شاخص زمان دو برابر شاخص هزینه در نظر گرفته شده است. پس از انجام تنظیمات، خروجی نرم‌افزار مطابق شکل (۶) است. با توجه به شکل، فاکتور تعداد تکرار در سطح ۲ و جمعیت اصلی، درصد تقاطع و جهش در سطح ۱ و فاکتور بتا در سطح ۳ تنظیم می‌گردد.

$$RPD = \frac{\text{بهترین جواب} - \text{جواب}}{\text{بهترین جواب}} \times 100 \quad (28)$$

برای تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک در لایه درونی ساختار توزیع بهینه، ۵ پارامتر با ۳ سطح مطابق جدول (۶) انتخاب شده است.

جدول (۶). پارامترها و سطوح منتخب در تنظیم پارامتر

پارامتر	سطح		
	A	B	C
تعداد تکرار	۸	۱۰	۱۲
جمعیت اصلی	۸	۱۲	۱۶
درصد تقاطع	۰/۳	۰/۶	۰/۹
درصد جهش	۰/۳	۰/۶	۰/۹
بتا	۶	۸	۱۰

در زمان حل زیرمسائل با الگوریتم ژنتیک نیز می‌بایست برای لحاظ کردن محدودیت‌های تعادل از رمزنگاری مبتنی بر اولویت استفاده کنید [۲۴]. در این شیوه رمزنگاری، در هر دو عملگر جهش و تقاطع به‌گونه‌ای عمل می‌شود که از ایجاد اعداد تکراری و یکسان در کروموزوم جلوگیری شود. بدین منظور ابتدا به‌صورت تصادفی دو عدد تولید شده و اعداد بین کوچک‌ترین شماره تولید شده تا بزرگ‌ترین شماره از والد یک انتخاب شده و یک بردار صفر و یک از قسمت انتخاب شده والد یک و والد دو به طول والدا ایجاد می‌شود. عدد یک نشان‌دهنده اعداد مشترک بین دو والد با توجه به جایگاه اعداد در والد یک و عدد صفر برای اعدادی که در قسمت انتخاب شده از والد یک وجود ندارد. در بردار تولید شده اعداد متناظر با درایه صفر از والد دو انتخاب شده و در جاهای خالی فرزند ایجاد شده قرار می‌گیرد. برای فرزند دو نیز به همین روال با جابجایی والدا صورت می‌گیرد. برای عملگر جهش مسئله بیرونی از روش انتقال و درج [۲۵] استفاده شده تا بتوان تعداد یک‌های موجود در کروموزوم که نشان‌دهنده تعداد شعب در دست احداث است را حفظ نماید و در سطح داخلی از عملگر جهش تعویض ژن‌ها استفاده می‌کنیم تا ترتیب اولویت‌ها درست بوده و از ایجاد ترتیب تکراری در کروموزوم پیشگیری شود. جدول (۳)، ساختار کروموزوم مسئله تشریح داده شده است و در جداول (۴) و (۵) به ترتیب دلایل و نوع تقاطع و جهش استفاده شده در زیر مسائل شرح داده شده است.

جدول (۳). ساختار کروموزوم مسئله

مسئله بیرونی	مسئله داخلی	ساختار کروموزوم
گسسته	گسسته	
صفر و یک	اعداد ۱ تا طول کروموزوم	
احداث و عدم احداث با صفر و یک	اولویت‌بندی بر اساس اعداد	

جدول (۴). عملگر تقاطع انتخابی

نوع عملگر انتخابی	الزامات عملگر تقاطع	مسئله داخلی
عملگر تقاطع مبتنی بر اولویت	رعایت اولویت و عدم ایجاد عدد تکراری در کروموزوم	مسئله بیرونی
حفظ شمارش (CPC)	حفظ تعداد یک‌های کروموزوم	

جدول (۵). عملگر جهش انتخابی

نوع عملگر انتخابی	الزامات عملگر جهش	الگوریتم ژنتیک
تعویض	رعایت اولویت و عدم ایجاد عدد تکراری در کروموزوم	مسئله داخلی
انتقال و درج	حفظ تعداد یک‌های کروموزوم	مسئله بیرونی

در جدول (۸) مقایسه هزینه‌های موردبررسی در این پژوهش برای سناریوهای پنج‌گانه و به تفکیک عناوین هزینه‌ای آمده است. ضمناً در کلیه حالات، هزینه‌ها با وضع موجود مقایسه شده است؛ همچنین در جدول (۹) مقایسه بین سناریوها به تفکیک عناوین موجود در محاسبه هزینه موجودی آمده است. شکل (۷) نمودار میزان تغییرات هر بخش از هزینه نسبت به وضع موجود است.

جدول (۸). تغییرات هزینه کل سناریوهای مختلف نسبت به وضع

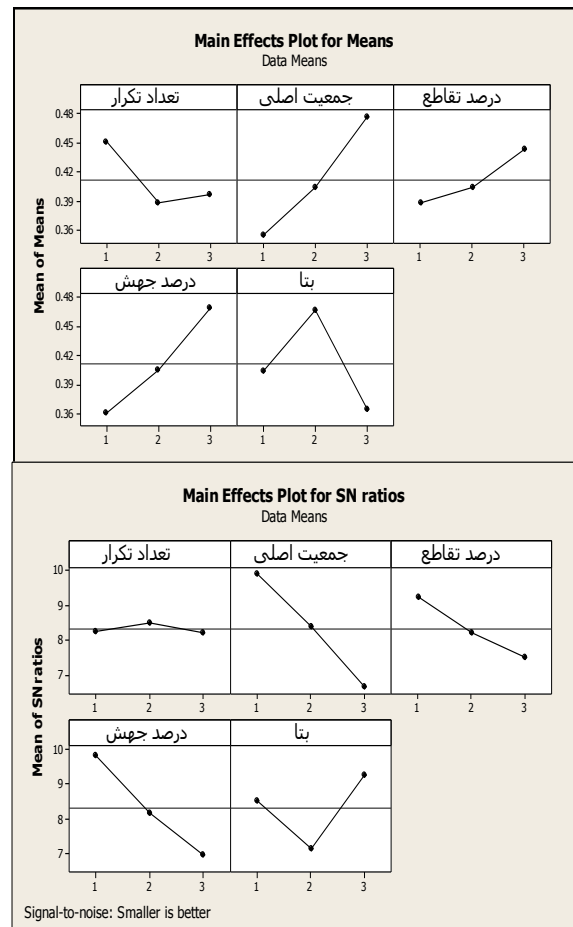
موجود (میلیارد ریال)

هزینه	وضع موجود	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
توزیع	2.7	▲%29.3	▲%28.6	▲%28.5	▲%1.4
احداث	13.9	▼%63	▼%63	▼%63	▼%74.1
موجودی	82.1	▲%0.2	▲%0.2	▲%0.2	▲%0.2
کل	99	▼%7.9	▼%8	▼%8	▼%10.3

جدول (۹). مقایسه هزینه موجودی در سناریوهای مختلف با وضع

موجود (میلیارد ریال)

هزینه	وضع موجود	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
سفارش‌دهی	54.6	%0	%0	%0	%0
نگهداری	27.5	▲%0.5	▲%0.5	▲%0.5	▲%0.5
حداکثر موجودی	1.8	▲%1.2	▲%1.1	▲%1.2	▲%1.2
حداقل موجودی	0.1	%0	%0	%0	%0
متوسط موجودی	0.1	▲%0.2	▲%0.2	▲%0.2	▲%0.2
کل هزینه موجودی	82.1	▲%0.2	▲%0.2	▲%0.2	▲%0.2



شکل ۶. نتایج تنظیم پارامتر با سطوح تعیین شده

۶- نتایج

در این پژوهش سعی شده است با معیارهای متفاوتی به موضوع طراحی زنجیره تأمین پرداخته شود. در جدول (۷) هر یک از حالات مقایسه با سناریوبندی مربوطه مشخص شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، نقطه تفاوت این سناریوها در اعمال یا عدم اعمال الزام قانونی ۱۰ شعبه و نیز نقاط بالقوه احداث شعب است.

جدول (۷). شرح و نوع سناریوهای انتخابی

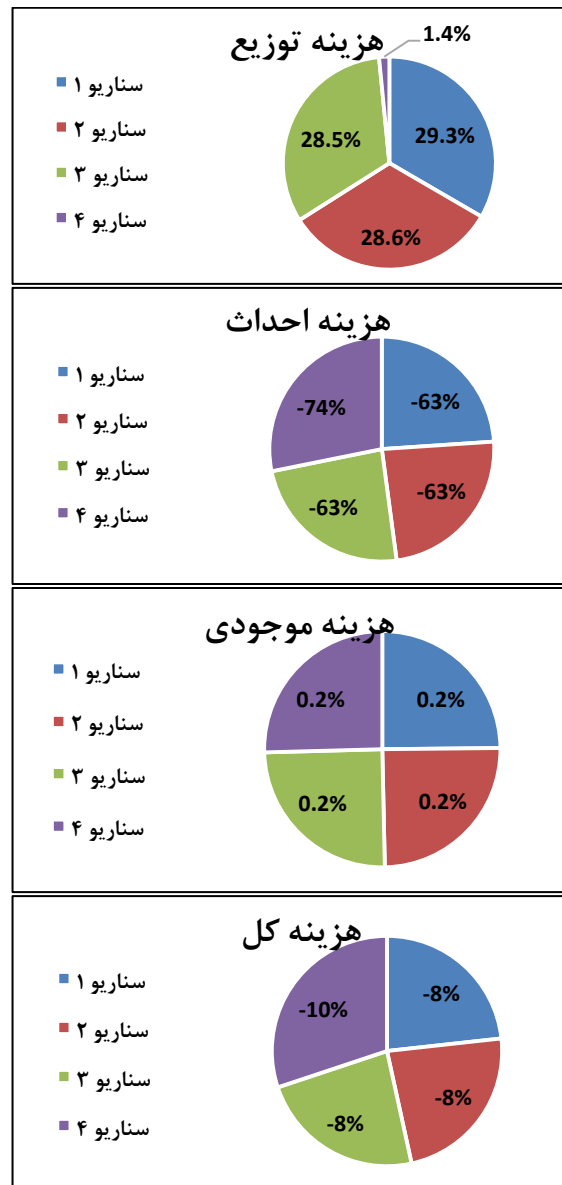
شماره سناریو	شرح سناریو	محدودیت احداث به ۱۰ شعبه	نقاط بالقوه احداث شعبه
۱	انتخاب شعب از بین ۴۲۹ نقطه بالقوه برای تأسیس با اعمال سقف احداث	دارد	همه ۴۲۹ شهر
۲	انتخاب شعب از بین شعب فعال موجود شرکت	دارد	شعب فعلی شرکت پخش
۳	انتخاب شعب از بین مراکز خوشه‌بندی	دارد	۵۰ مرکز خوشه‌بندی
۴	انتخاب شعب از بین ۴۲۹ نقطه بالقوه برای تأسیس بدون اعمال سقف احداث	ندارد	همه ۴۲۹ شهر

۷- تحلیل حساسیت

با توجه به نتایج به دست آمده به بررسی و تجزیه و تحلیل هزینه-های هر یک از سناریوها نسبت به وضع موجود پرداخته می شود. هزینه کل شامل مجموع هزینه احداث، توزیع و موجودی است. به طور کلی هزینه کل تمامی سناریوها نسبت به وضع موجود با کاهش همراه است و بیشترین کاهش هزینه متعلق به سناریو ۴ است. این بدان معناست که اعمال الزام قانونی برای زنجیره این شرکت موجب افزایش هزینه‌ها تا ۱۰ درصد است. البته بدیهی است که الزام قانونی برای حفظ سطح دسترسی مصرف کنندگان نهایی لحاظ شده است.

سناریو ۲ دارای این پیام است که در صورتی که شرکت مایل باشد تعداد شعب خود را به حداقل‌های الزام قانونی کاهش دهد، کدام شعب کاندیدای غیرفعال سازی خواهند بود. در این مورد نیز باید توجه شود که لحاظ کردن محصولات غیر دارویی شرکت و نیز ملاحظات اجتماعی می تواند به افزایش دقت نتایج این سناریو کمک کند. برای مثال یکی از اهداف جانبی این مسئله می تواند بهبود وضعیت اشتغال در منطقه احداث شعبه باشد. در صورتی که شرکت پخش مایل باشد با توجه به این موضوع به طراحی شعب خود بپردازد می تواند از نتایج سناریو ۳ استفاده کند، چراکه در این سناریو مراکز بالقوه احداث همان مراکز خوشه‌ها هستند. می دانیم که مراکز خوشه‌ها عملاً مراکز جمعیتی بوده و بنابراین می تواند تأثیر بهتری بر وجهه عملکرد اجتماعی شرکت از منظر ایجاد اشتغال داشته باشد. ضمناً دسترسی به نیروی کار ماهر و متخصص نظیر مسئولین فنی در این مراکز جمعیتی به مراتب آسان تر است، موضوعی که کمتر به آن توجه می شود. سناریو ۱ نیز دارای دقیق ترین برآورد از منظر هزینه توزیع و موجودی است. هزینه توزیع هر یک از سناریوها نسبت به وضع موجود بیشتر است که دلیل این امر کاهش تعداد شعب نسبت به وضع موجود است. در ضمن سقف زمانی محدود در نظر گرفته شده برای حل مدل نیز یکی از دلایل این افزایش هزینه‌ای می تواند باشد (مدل‌ها در بازه زمانی کمتر از ۸ ساعت به اجرا گذاشته شدند و این زمان می تواند افزایش یابد).

هزینه احداث با توجه به متوسط مترائز انبار و تعداد انبار احداثی برای هر ۴ سناریو به طور قابل توجهی کمتر از وضع موجود است. هزینه موجودی نیز با اختلاف بسیار ناچیز برای سناریوها نسبت به وضع موجود زیاد شده است و بیشترین هزینه موجودی متعلق به سناریو ۴ است که با توجه به کمتر بودن تعداد شعب در این حالت امری بدیهی است (چراکه فاصله‌ها افزایش می یابد و در نتیجه می باید موجودی بیشتری نگهداری شود). به طور کلی سناریو ۴ عملکرد خیلی بهتری نسبت به سایر



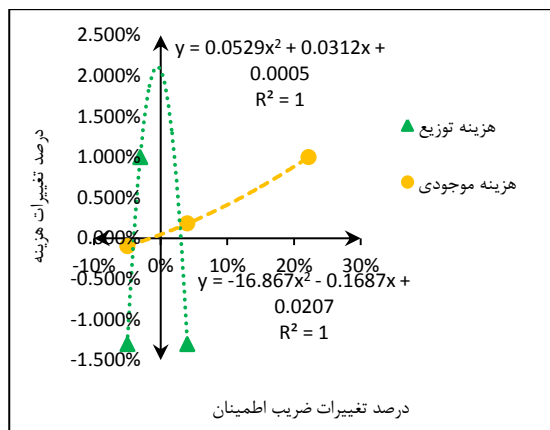
شکل (۷). نمودار درصد تغییرات هزینه‌ها

در شکل (۸) نیز محل احداث شعب با توجه به سناریوهای مختلف مشخص شده است:



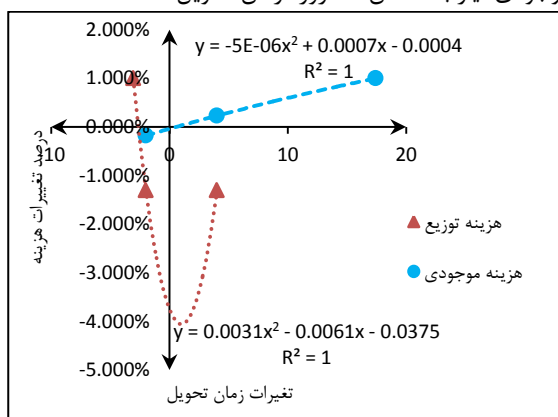
شکل (۸). مکان احداثی سناریوهای مختلف

شکل (۱۱) روند تغییرات هزینه توزیع و موجودی بر اثر تغییرات ضریب اطمینان را نشان می‌دهد. بر اثر افزایش میزان ضریب اطمینان هزینه موجودی روند صعودی دارد و افزایش می‌یابد که امری بدیهی است. با این وجود هزینه توزیع یک روند منحنی را از خود نشان داده است. با توجه به این روندها برای کاهش یک درصدی هزینه موجودی کاهش ۵۲ درصدی ضریب اطمینان مورد نیاز است.



شکل (۱۱). تأثیر تغییرات ضریب اطمینان بر هزینه

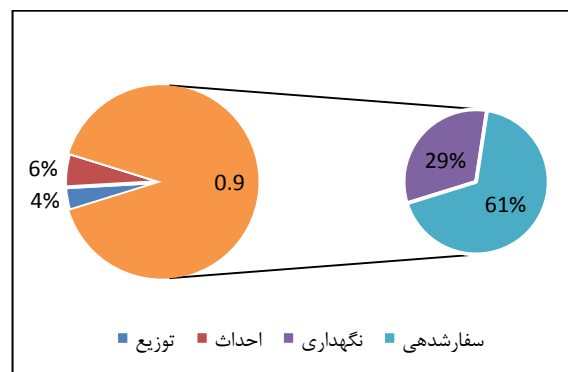
شکل (۱۲) نشانگر درصد تغییرات هزینه توزیع و موجودی بر اثر تغییرات زمان تحویل محصول است. هزینه موجودی یک روند صعودی بر اثر افزایش مدت زمان تحویل دارد. در رابطه با هزینه توزیع بسته به عملکرد و بازه‌های تغییرات شاهد یک روند افزایش و یا کاهش هستیم. برای کاهش ۱ درصدی در هزینه توزیع نیاز به کاهش ۲ روز زمان تحویل و برای کاهش ۱ درصدی هزینه موجودی نیاز به کاهش ۱۱ روزه زمان تحویل است.



شکل (۱۲). تأثیر تغییرات مدت زمان تحویل بر هزینه موجودی

شکل (۱۳) نشانگر میزان تغییرات هزینه میثنی بر تغییرات متوسط سرعت است. هزینه توزیع یک روند صعودی بر اثر افزایش متوسط سرعت دارد ولی هزینه موجودی در اثر افزایش متوسط سرعت رفتاری تقریباً ثابت دارد. برای کاهش ۱ درصدی هزینه توزیع نیاز به افزایش ۸ درصدی متوسط سرعت است.

سناریوها دارد. شکل (۹) سهم درصدی هر بخش از هزینه‌ها نسبت به هزینه کل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است هزینه موجودی بخش عمده‌ای از هزینه کل را شامل می‌شود و کاهش آن می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش هزینه کل داشته باشد. کاهش ۱ درصدی در هزینه موجودی با کاهش ۰/۹ درصدی هزینه کل همراه است.

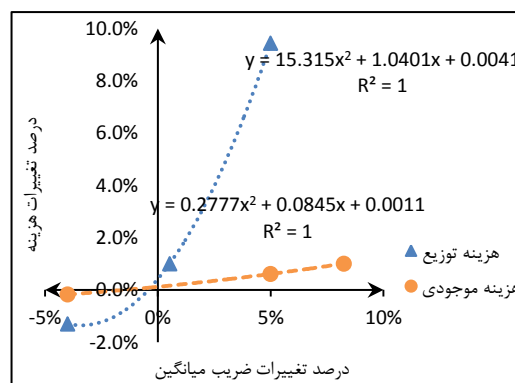


شکل ۹. سهم درصدی هر بخش هزینه نسبت به هزینه کل

در این بخش به بررسی عوامل تأثیرگذار بر هزینه‌ها پرداخته شده است. عوامل مورد بررسی به ترتیب به شرح زیر است:

- ۱- δ (ضریب میانگین)
- ۲- α (ضریب اطمینان موجودی)
- ۳- مدت زمان تحویل
- ۴- سرعت متوسط

شکل (۱۰) روند تغییرات هزینه موجودی و توزیع با لحاظ تغییرات ضریب میانگین را نشان می‌دهد. با توجه به میزان تغییرات ضریب میانگین تغییرات هزینه توزیع و موجودی روند افزایشی بر اثر افزایش درصد تغییرات ضریب میانگین دارد. میزان تأثیرگذاری ضریب میانگین بر هزینه توزیع بیشتر از میزان تأثیر در هزینه موجودی می‌باشد. با توجه به روند مشاهده شده می‌توان انتظار داشت که با کاهش ۳ درصدی در ضریب میانگین ۱ درصد هزینه توزیع کاهش می‌یابد و با کاهش ۲۲ درصدی، ۱ درصد از هزینه موجودی کاسته می‌شود.

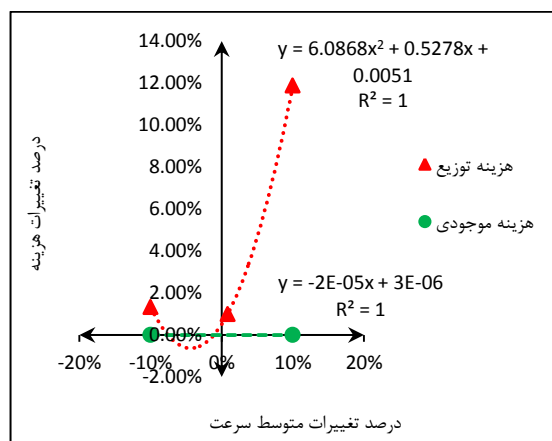


شکل (۱۰). تأثیر تغییرات ضریب میانگین بر هزینه

۱ درصدی هزینه توزیع نیز می‌باید ۸ درصد متوسط سرعت انتقال افزایش یابد.

با توجه به نتایج و کاهش هزینه‌ها، مدیریت می‌تواند مبتنی بر شرایط از یکی از سناریوهای چهارگانه استفاده کند و یا با انجام مطالعات جامع‌تر نسبت به کاهش زمان تحویل و یا افزایش سرعت ناوگان به‌منظور کاهش هزینه توزیع و موجودی اقدام نماید.

در تحقیقات آتی می‌توان مواردی نظیر وجود انواع عدم قطعیت در تقاضا و یا ظرفیت شرکت‌های تأمین‌کننده و پخش را مورد بررسی قرار داد.



شکل (۱۳). تأثیر تغییرات متوسط سرعت بر هزینه موجودی

۹- مراجع

- [1] A. Jafarnejad, and M. Mahmodi, "Sustainable supply chain," Tehran, nashre kitab mehraban, 2015.
- [2] M. R. Sadeghi Moghadam, M. Momeni, and S. Nalchigar, "Material flow modeling in supply chain management with genetic algorithm approach," *Industrial Management Journal*, 1(2), 2009. (In Persian)
- [3] M. Vajdi, "Supply chain management process," *Iranian Journal of Supply Chain Management*, 11(27), pp. 45-50, 2009. (In Persian)
- [4] N. Privett and D. Gonsalves, "The top ten global health supply chain issues," *Perspectives from the field, Operations Research for Health Care*, 3(4), pp. 226-230, 2014.
- [5] M. S. Atabaki and M. Mohamadi, "A Priority-Based Differential Evolution Algorithm For Redesigning A Closed-Loop Supply Chain Using Robust Fuzzy Optimization," *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, 34(1.1), pp. 95-111, 2018. (In Persian)
- [6] J. Rezaeenour, M. Hashempoor, and A. H. Akbari, "A four-echelon supply chain considering economic, social and regions satisfaction goals," *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, 7(15), pp. 199-217, 2020. (In Persian)
- [7] F. Jouyban, M. Yousefi, and E. Neyshaboori, "Presenting a bi objective stochastic pharmaceutical supply chain model considering time and cost," *Journal of industrial Management*, 13(44), pp. 15-28, 2018. (In Persian)
- [8] F. Nory, and J. Ghahremani Nahr, "Robust-possibilistic optimization method at design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty and discount on purchase the raw material," *Journal of Modeling in Engineering*, 17(58), pp. 249-266, 2019. (In Persian)
- [9] N. Janatyan, M. Zandieh, A. Alem Tabriz, and M. Rabieh, "Optimizing Sustainable Pharmaceutical Distribution Network Model with Evolutionary Multi-objective Algorithms (Case Study: Darupakhsh Company)," *Journal of Production and Operations Management*, 10(1), pp. 133-153, 2019. (In Persian)
- [10] R. Tat, J. Heydari, and M. Rabbani, "A mathematical model for pharmaceutical supply chain coordination: Reselling medicines in an alternative market," *Journal of cleaner production*, 268, 121897, 2020.

۸- نتیجه و جمع‌بندی

در این مقاله یک مدل جامع برای طراحی یکپارچه زنجیره تأمین شرکت‌های پخش دارویی با لحاظ کردن الزامات قانونی و سرفصل‌های جاری هزینه‌ای اعم از احداث شعب، توزیع و موجودی کالا ارائه شد. برای حل مدل نیز از روش الگوریتم ژنتیک به همراه خوشه‌بندی استفاده شد. به‌منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک از روش تاگوجی بهره گرفته شد. در نهایت مدل بر روی داده‌های شرکت سیناپخش ژن اجرا و نتایج در قالب چهار سناریو با وضع موجود زنجیره تأمین شرکت مقایسه شد. مجموع هزینه، شامل هزینه احداث، توزیع و موجودی در تمامی سناریوها نسبت به وضع موجود با کاهش همراه است (۸ تا ۱۰ درصد) و بیشترین کاهش هزینه متعلق به سناریو ۴ است. در همه سناریوها با صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه در هزینه احداث شعب مواجهیم (از ۶۳ تا ۷۴ درصد کاهش). به دلیل کاهش تعداد شعب نسبت به وضع موجود هزینه توزیع در همه سناریوها با افزایش حدود ۲۹ درصدی همراه است. ضمناً هزینه موجودی نیز در همه سناریوها با افزایش اندک ۰/۲ درصدی نسبت به شرایط فعلی همراه است.

هزینه موجودی ۹۰ درصد از هزینه کل را شامل می‌شود و کاهش آن می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش هزینه کل داشته باشد. کاهش ۱ درصدی در هزینه موجودی با کاهش ۰/۹ درصدی هزینه کل همراه است. از این میان بیش از ۶۰ درصد هزینه موجودی مربوط به هزینه سفارش‌دهی و در حدود ۳۰ درصد آن مربوط به هزینه نگهداری است.

تحلیل حساسیت نتایج بر روی پارامترها نشان داد که با کاهش ۳ درصدی در ضریب میانگین ۱ درصد هزینه توزیع کاهش می‌یابد و با کاهش ۲۲ درصدی آن، ۱ درصد از هزینه موجودی کاسته می‌شود. کاهش ۱ درصدی در هزینه توزیع نیازمند کاهش ۲ روز زمان تحویل و کاهش ۱ درصدی هزینه موجودی نیازمند کاهش ۱۱ روزه زمان تحویل است. برای کاهش

- [18] M. Seifbarghy, abd S. Malekpour Kolbadinejhad, "Development of a closed loop supply chain network considering environmental factors and location-inventory decisions under uncertainty". Iranian Journal of Supply Chain Management, 22(67), pp. 4-22. 2020. (In Persian)
- [19] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky, and E. Simchi-Levi, "Designing and Managing the Supply Chain, Strategies, and Case Studies," McGraw-Hill Education, Fourth Edition, 2021.
- [20] P. S. Davis, and T. L. Ray, "A branch-bound algorithm for the capacitated facilities location problem," Naval Research Logistics Quarterly, 16(3), pp. 331-344, 1969.
- [21] A. J. Umbarkar, and P. D. Sheth, "Crossover operators in genetic algorithms: a review," ICTACT Journal on Soft Computing, 6(1), pp. 1083-1092, 2015.
- [22] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky, E. Simchi-Levi, and R. Shankar, "Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies," Tata McGraw-Hill Education, 2008.
- [23] J. Han, M. Kamber, and J. Pei, "Data mining: Concepts and techniques," third edition (3rded.), Morgan Kaufmann Publishers, 2021.
- [24] M. Gen, F. Altiparmak, and L. Lin, "A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding," OR spectrum, 28(3), pp. 337-354, 2006.
- [25] L. Eskandari, A. Jafarian, P. Rahimloo, and D. Baleanu, "A modified and enhanced ant colony optimization algorithm for traveling salesman problem," In Mathematical methods in engineering, pp. 257-265, Springer, Cham 2019.
- [11] M. S. Fatemi, A. Ghodratnama, and R. Tavakkoli-Moghaddam, "A multi-functional tri-objective mathematical model for the pharmaceutical supply chain considering congestion of drugs in factories," Research in Transportation Economics, 92, 101094, 2022.
- [12] .F. Goodarzian, H. Hosseini-Nasab, J. Muñuzuri, and M. B. Fakhrazad, "A multi-objective pharmaceutical supply chain network based on a robust fuzzy model: A comparison of meta-heuristics," Applied soft computing, 92, 106331, 2020.
- [13] M. Roshan, R. Tavakkoli-Moghaddam, and Y. Rahimi, "A two-stage approach to agile pharmaceutical supply chain management with product substitutability in crises," Computers & Chemical Engineering, 127, pp. 200-217, 2019.
- [14] V. Hajipour, and S. Salimian, "Design and Optimization of Healthcare Location-inventory Problem in the Relief Supply Chains," Journal of Industrial Management Studies, 16(63), pp. 193-229, 2021. (In Persian).
- [15] A. Abedini, H.R. Irani, and H.R. Yazdani, " Identify and prioritize the critical success factors in pharmaceutical supply chain and distribution using the DEMATEL Technique," Journal of Payavard Salamat, 13(1), pp. 45-59, 2019. (In Persian)
- [16] A. Musazadeh, and R. Sahraeian, "Modeling and design of bi-objective drug supply chain network," 10th International Conference of Iran Operations Research Association, Babolsar, Iran, 2017. (In Persian)
- [17] M.B. Fakhrazad, and E. Ghasemi, " A Four-Echelon two-stage stochastic model for blood products supply in disasters," Sharif Journal of Industrial of Engineering & Management, 35(1.1), pp. 57-69, 2019. (In Persian)

Pharmaceutical Supply Chain Network Design: an Integrated Approach

Zahra Khojeh, Tooba Darvishmohammadi, Mohammad Mohajertabrizi*

*Assistant professor of industrial engineering, Gorgan faculty of engineering, Golestan University, Iran

(Received: 02/05/2022; Accepted: 01/01/2023)

Abstract

Designing supply chain networks is one of the concerns of pharmaceutical distribution companies, since these companies are forced to expand or redesign their branch locations due to national regulations or fierce competition. In this research, using an integrated approach, the issue of pharmaceutical supply chain design for distribution companies has been addressed in such a way that all costs including opening new branches, distribution of goods and inventory along with the requirements related to existing legal regulations have been presented in the form of a mathematical model. Specifically, in this research, the parameters affecting inventory cost of the entire company at the level of the supply chain were considered. Further, due to the complexity of the resulting model, a hybrid approach including clustering of demand points and meta-heuristic algorithms was used to solve it. In order to evaluate effectiveness, the model was applied to the data of Sina Pakhsh Gen Company. Finally, in several scenarios, optimal location of new branches, optimal level of inventory, and optimal distribution plan were investigated. Results show that an integrated approach to supply chain design will lead to reduction in total costs.

Keywords: Supply Chain Network Design, Pharmaceutical Distribution Companies, Inventory Costs, Integrated Approach

*Corresponding Author E-mail: m.mohajertabrizi@gu.ac.ir