Archive of SID.ir

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۴۰۲)
دوره‌ی ۳۹، شماره‌ی ۲، صص. ۱۴۳-۱۵۵، (پژوهشی)

Original Article

مکان‌یابی تسهیلات و طراحی الگوی بهینه توزیع با در نظرگرفتن الزامات قانونی شرکت‌های پخش دارویی

زهرا خوجه (دانش آموخته کارشناسی)
طوبی درویش‌محمدی (دانش آموخته کارشناسی)
محمد مهاجر تبریزی * (استادیار)
گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان

دراین پژوهش، مدل ریاضی عدد صحیح آمیخته‌ای با هدف تعیین مکان قرارگیری انبارهای شعب پخش دارو و با در نظرگرفتن الزامات قانونی توزیع دارو، توسعه داده شده است. در این مدل، علاوه بر ساختار شبکه توزیع، الگوی توزیع بهینه داروهای تحت قرارداد، در سطح شعب شرکت در کل کشور نیز تعیین شده است. با توجه به پیچیدگی و ابعاد بالای مدل در شرایط واقعی، یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر الگوریتم فرابتکاری ژنتیک پیشنهاد شده است. به منظور اعتبارسنجی مدل، مطالعه موردی با استفاده از داده‌های یک شرکت پخش دارو مورد توجه قرارگرفته است. نتایج نشان‌دهنده کاهش قابل توجه مجموع هزینه‌های احداث و توزیع دارو است. به‌طور خاص، نشان داده شد که طراحی بهینه هزینه توزیع دارو برای شرکت تحت بررسی با کاهش ۲۳ درصدی همراه است. به منظور ارزیابی اثربخشی نتایج، نتایج مدل در چند سناریو و در مقایسه با عملکرد کنونی مورد بررسی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: الزامات قانونی شرکت‌های پخش، تعیین برنامه توزیع بهینه، مکان‌یابی تسهیلات.

zahra.khojeh78@gmail.com
toobadm.79@gmail.com
m.mohajertabrizi@gu.ac.ir

۱. مقدمه

زنجیره تأمین، مجموعه‌ای از بازیگران، فرایندها، اطلاعات و منابع است که مواد اولیه و اجزای سازنده را به محصولات یا خدمات نهایی منتقل کرده و به مشتریان تحویل می‌دهد. زنجیره‌تأمین دارو، ارتباط بین تأمین‌کنندگان مواد اولیه را با توزیع‌کنندگان دارو و سپس مشتری نهایی آن برقرار می‌کند.[۱] تصمیمات در زنجیره‌تأمین شامل سه سطح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی است. تصمیمات استراتژیک اثر بلندمدت دارند (حداقل پنج سال) و تعیین‌کننده تصمیم‌ها در سطوح دیگرند. درحالی‌که، تصمیمات تاکتیکی یا میان‌مدت بازه حدود یک ساله را شامل می‌شوند. سطح عملیاتی (کوتاه مدت) نیز مربوط به تصمیمات روزانه، هفتگی یا ماهانه است. به‌عنوان مثال، مکان‌یابی شعب شرکت پخش یک تصمیم راهبردی، تعیین پوشش جغرافیایی هر شعبه یک تصمیم تاکتیکی و مسیربندی سفارشات یک روز تصمیمی در سطح عملیاتی اس به‌عنوان مثال، موقعیت‌یابی شعب شرکت پخش یک تصمیم استراتژیک است، تعیین پوشش جغرافیایی هر شعبه یک تصمیم تاکتیکی و مسیریابی سفارشات یک روز تصمیمی در سطح عملیاتی است.

دارو شامل هر نوع مولکولی است که پس از ورود به بدن، با فعل و انفعال در سطح مولکولی، عمل بدن را تغییر دهد و به مواردی اطلاق می‌شود که جهت تشخیص، درمان، بهبودی، تسکین، پیشگیری از یک بیماری و یا شرایط غیر طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

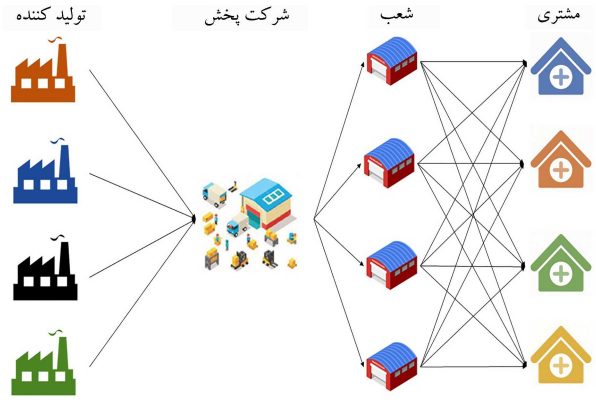
زنجیره‌تأمین دارو از سه بخش اصلی تولید، پخش و عرضه تشکیل شده است. بنابراین، پخش و توزیع دارو به مقدار مناسب و در زمان و مکان مناسب، از مهم‌ترین نکاتی است که هنگام مدیریت این زنجیره می‌بایست در نظرگرفت.[۲] پخش دارو در ایران، یکی از حوزه‌هایی است که از دیرباز و به دلیل وجود الزامات قانونی کشوری، از ساختار منظم و یکپارچه برخوردار بوده است. براساس ماده ۱۵ بخش سوم آیین نامه تأسیس و فعالیت شرکت‌های پخش دارویی، توزیع دارو در کشور از طریق شرکت‌های پخش سراسری و یا استانی که دارای مجوز قانونی از وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی هستند، با رعایت کلیه قوانین، مقررات و دستورالعمل‌های

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۴/۲۸، اصلاحیه ۱۴۰۱/۷/۶، پذیرش ۱۴۰۱/۷/۲۶.

استناد به این مقاله:
خوجه، زهرا، درویش محمدی، طوبی و مهاجر تبریزی، محمد، ۱۴۰۲. مکان‌یابی تسهیلات و طراحی الگوی بهینه توزیع با در نظرگرفتن الزامات قانونی شرکت‌های پخش دارویی. دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۳۹(۲)، صص.۱۴۳-۱۵۵. DOI:10.24200/J65.2022.60485.2306

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۱. شیوه توزیع دارو در سطح کشور.

مربوط به توزیع دارو درکشورکه توسط مراجع ذی‌صلاح تصویب و ابلاغ می‌شود، صورت می‌پذیرد. همچنین، با توجه به بند ۲ تبصره ۲ آیین‌نامه تأسیس و فعالیت شرکت‌های پخش دارویی، ایجاد شعبه در یک‌سوم استان‌های کشور، طبق ضوابط فعالیت شرکت‌های پخش دارویی، الزامی است. در واقع، احداث ۱۰ شعبه با تأیید معاونت‌های غذا و داروی مربوطه، از حداقل الزامات تأسیس شرکت پخش دارویی در سطح کشور است. علاوه بر این، براساس این آیین‌نامه، شرکت‌های پخش تنها با مؤسسات دارویی مجاز مبادرت به انعقاد قرارداد می‌کنند و توزیع محصولات، براساس قراردادهای بسته شده با تأمین‌کنندگان دارویی می‌باشد. به عبارت دیگر، هر شرکت دارویی تنها امکان دریافت دارو از شرکت‌های تأمین‌کننده مجاز و براساس یک قرارداد را دارد. همچنین، تبادل بین شرکت‌های پخش مختلف، با هدف حفظ جریان ردیابی دارو، امکان‌پذیر نیست.

شکل ۱، نمایی از عملکرد یک شرکت پخش و توزیع دارو در سطح کشور را نشان می‌دهد. پس از دریافت دارو از تأمین‌کننده، دارو باید توسط شرکت‌های پخش به داروخانه‌ها و مراکز درمانی برسد. هر شرکت پخش دارای شعبی در سراسرکشور بوده و هر شعبه انبارهایی در نقاط مختلف دارد. به‌طور معمول، در پژوهش‌های موجود فرض بر این است که امکان ارسال دارو از هر تأمین‌کننده به هر شعبه پخش و یا به‌صورت مستقیم به داروخانه‌ها وجود دارد. با این حال، در فضای عملیات واقعی و متناسب با الزامات قانونی، هر تأمین‌کننده تنها در صورت وجود قرارداد با شرکت پخش می‌تواند داروها را به انبار مرکزی شرکت ارسال کند. سپس، دارو از آنجا به شعب شهرستان‌ها هدایت و در نهایت در اختیار داروخانه‌ها قرار می‌گیرد. تبادل دارو بین شعب یک پخش یا با شعب سایر شرکت‌های پخش نیز به جهت رعایت اصل ردیابی دارو امکان‌پذیر نیست.

از تصمیمات راهبردی و با تأثیر بلند مدت بر هر زنجیره تأمین، طراحی شبکه توزیع آن است.[۳] این تصمیم، درگام اول شامل تعیین مکان بهینه تسهیلات موجود در زنجیره است و در مرحله بعدی شامل تعیین میزان و الگوی توزیع اقلام در زنجیره می‌شود. نوعاً اقلام هزینه‌ای اصلی که در این مرحله برای تعیین شبکه بهینه مورد استفاده قرار می‌گیرد، عبارتند از هزینه‌های احداث شعب و هزینه‌های عملیاتی سالیانه. در این پژوهش، مدلی برای تعیین ساختار بهینه برای شبکه توزیع دارویی در مقیاس دنیای واقعی و با رعایت ضوابط و مقررات قانونی ذکر شده و نیز ارائه راه‌حلی متناسب با آن ارائه شده است. به عبارت دیگر، در این پژوهش به سوالات اساسی زیر پاسخ داده شده است:

- زنجیره‌تأمین دارویی هر شرکت پخش چگونه می‌بایست طراحی شود به نحوی که الزامات قانونی موجود اعم از تأسیس حداقل تعداد مشخص شعب برای هر شرکت پخش، وجود قرارداد بین شرکت پخش با شرکت‌های تأمین‌کننده مجاز و الزام دریافت و توزیع دارو صرفاً از مسیر شرکت‌های تأمین‌کننده به پخش و نهایتاً داروخانه، رعایت گردد؟
- برنامه توزیع دارو در شبکه طراحی شده در قسمت قبل و نیز با توجه به این اصل که برای یک داروی ژنریک ممکن است تأمین‌کننده‌های متعددی وجود داشته باشد، به چه شکل خواهد بود؟

همه این موارد می‌بایست در ابعاد واقعی زنجیره و با تعداد داروی واقعی انجام پذیرد.

۲. پیشینه‌ی پژوهش

جنتیان و همکاران، در پژوهشی به طراحی مدلی نوین برای شبکه توزیع دارو پرداختند. نوآوری این پژوهش توجه به تابع هدف اجتماعی مدل است به نحوی که انبارهای محلی در مناطق با درصد بیکاری بیشتر تأسیس شود.[۴]

رضایی‌نورو همکاران، مدل برنامه‌ریزی چند هدفه برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین چهارسطحی چند دوره‌ای دارو با لحاظ فرض فاسدشدنی بودن را توسعه دادند که در آن به تصمیم‌گیری یکپارچه مسائل مکان‌یابی مراکز تولید و توزیع دارو و تخصیص بهینه آنها به منظور حمل‌ونقل مناسب دارو در بین سطوح و با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است.[۵]

نوری و قهرمانی، یک شبکه زنجیره‌تأمین دارو پنج سطحی تحت عدم قطعیت را مدل‌سازی کردند. اهداف این مدل عبارتند ازکمینه‌سازی هزینه‌های کل شبکه زنجیره تأمین، کمینه کردن حداکثر تقاضای برآورده نشده و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان در تحویل به موقع داروها با در نظرگرفتن زمان فسادپذیری دارو، تخفیف کلی در خرید مواد اولیه و مسیریابی بهینه وسایل نقلیه.[۶]

عابدینی و همکاران، به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل حیاتی موفقیت در زنجیره‌تأمین و توزیع صنعت دارو در کشور در دو فاز کتابخانه‌ای و پیمایشی پرداختند.[۷]

جویبان و همکاران، مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته را برای مسئله طراحی شبکه زنجیره‌تأمین دارو توسعه داده‌اند. این مدل کمک می‌کند تا تصمیمات استراتژیک متعددی درباره زنجیره از قبیل تأسیس مراکز تولید، توزیع اصلی و محلی دارو همراه با جریان بهینه مواد در طول یک افق برنامه‌ریزی میان مدت به‌عنوان تصمیمات تاکتیکی انجام شود.[۸]

فخرزاد و قاسمی، یک مدل تصادفی چهار سطحی دو مرحله‌ای را برای تأمین محصولات خونی در شرایط بحران ارائه کردند. نویسندگان با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها، مدل مسئله را با استفاده از الگوریتم فراابتکاری حل کرده و در نهایت برای اعتبارسنجی مدل از تعدادی مثال عددی تولید شده استفاده نمودند.[۹]

اتابکی و محمدی، با استفاده از سیاست جریمه و پاداش، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی را برای تعیین سطح بازیابی و مکان مراکز جمع‌آوری و بازطراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته و با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی را توسعه دادند.[۱۰]

رضائی و همکاران، یک مسئله زمان‌بندی تولید و توزیع تک مشتری برای سیستم تولیدی را در یک زنجیره‌تأمین بررسی کردند. هدف مسئله تعیین توالی، پردازش کارها و تعیین دسته‌بندی برای ارسال با در نظرگرفتن مجموع وزنی تاخیرکارها است.[۱۱]

موسی‌زاده و صحراییان، یک مدل برنامه‌ریزی خطی را برای مسئله طراحی زنجیره‌تأمین دارویی معرفی کردند. در این مدل، تصمیمات راهبردی زنجیره‌تأمین شامل انتخاب و احداث مراکز تولید و توزیع دارویی، و تصمیمات تاکتیکی در مورد

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۱. مقایسه مقالات مورد بررسی با پژوهش حاضر.

مقاله	ظرفیت تامین-کننده	ظرفیت شرکت پخش	مطالعه موردی	الزامات قانونی				لحاظ فواصل واقعی نقاط	تعداد دارو	ابعاد و عناصر زنجیره‌تامین	عدم قطعیت تقاضا	هزینه	
				رعایت پوشش ۱/۳ استان‌ها	ارسال توزیع لایه بندی شده	قرارداد شرکت پخش با تامین-کننده	وجود لیست تامین-کنندگان برای هر قلم دارو					احداث	توزیع
جنتیان و همکاران (۱۳۹۸)	×	✓	✓	×	×	×	×	✓	۱ دارو	مرکزتوزیع اصلی(۱) مرکزتوزیع فرعی(۲۰) مشتری(۲۰)	قطعی	×	✓
رضایی نور و همکاران (۱۳۹۸)	✓	✓	×	×	×	×	✓	×	چند دارو	تامین‌کننده(۲۶) تولیدکننده(۱۷) توزیع‌کننده(۲۹) خرده فروش(۴۰)	احتمالی	✓	✓
نوری و قهرمانی نهر (۱۳۹۸)	✓	✓	×	×	×	×	×	×	۲ دارو	تامین‌کننده(۳) تولیدکننده(۳) توزیع‌کننده(۳) خرده فروش(۳) مشتری(۵)	احتمالی	×	✓
جویبان و همکاران (۱۳۹۷)	✓	✓	✓	×	×	×	×	✓	۱ دارو	سایت‌تولید(۸) مراکزتوزیع اصلی(۸) مراکزتوزیع محلی(۳۱) مشتریان(۳۱)	قطعی	✓	✓
فخرزاد و قاسمی (۱۳۹۸)	×	×	×	×	×	×	×	×	۶ محصول	سایت کاندیدا(۲۰) مراکز محلی(۱۶) مراکز منطقه‌ای (۱۵) بیمارستان (۱۳)	احتمالی	✓	✓
اتابکی و محمدی (۱۳۹۷)	×	×	×	×	×	×	×	×	۱ دارو	تولیدکننده(۴۰) مشتری(۲۵۰) مرکزجمع-آوری(۳۰) مرکزقابل تاسیس(۱۵)	فازی	×	✓
کلانتری و پیشوایی (۱۳۹۵)	×	×	×	×	×	×	×	×	۱ دارو	تامین‌کننده(۲) تولیدکننده (۱) مرکز توزیع (۲)	قطعی	×	✓
پژوهش حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	۷۶۵ دارو	تامین‌کننده(۴۹) انبارمرکزی(۱) شعب استانی (۲۰) نقاط تقاضا(۴۲۹)	قطعی	✓	✓

چگونگی جریان مواد در شبکه، با هدف کمینه‌سازی هزینه کل و کمینه‌سازی بیشینه تقاضای پوشش داده نشده، اتخاذ می‌شوند.[۱۲]

جبه‌داری و همکاران، به منظور تسهیل دسترسی بیماران به خدمات دارویی در شهر شیراز، مکان‌یابی بهینه داروخانه‌ها را با هدف توزیع متناسب داروخانه‌ها مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، با روش AHP فازی، مکان بهینه تأسیس داروخانه‌های جدید مورد توجه واقع شده است.[۱۳]

کلانتری و پیشوایی، مدل برنامه‌ریزی اصلی برای زنجیره‌تأمین دارو شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند مرکز توزیع را در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح امکانی چند هدفه شامل کاهش هزینه‌های لجستیک و افزایش سطح رضایت از انتخاب تأمین‌کنندگان، توسعه دادند.[۱۴]

در جدول ۱، پژوهش حاضر با پژوهش‌های صورت گرفته توسط سایر محققین مقایسه شده است. تفاوت این پژوهش با موارد مشابه عبارت است از توجه به الزامات قانونی در طراحی شبکه توزیع دارو. همچنین، اثربخشی مدل در قالب یک مطالعه موردی با داده‌های واقعی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در نهایت، در چند

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

سناریو به تحلیل نتایج مدل مورد بررسی در مقایسه با وضعیت فعلی زنجیره‌تأمین شرکت و اثر الزامات قانونی بر این نتایج پرداخته شده است.

۳. بیان مسئله و ارائه مدل ریاضی

زنجیره‌تأمین چهار سطحی شامل تأمین‌کنندگان دارای قرارداد با یک شرکت پخش، شعبه مرکزی شرکت، شعب استانی آن شرکت و نقاط تقاضا (مراکز عمده جمعیتی) را در نظر بگیرید. مکان شرکت‌های تأمین‌کننده و نقاط تقاضا، میزان تقاضای هر مشتری و داروهای تحت قرارداد بین شرکت پخش با هر تأمین‌کننده از پیش مشخص است. شرکت‌های تأمین‌کننده تنها می‌بایست داروها را برای شعبه مرکزی شرکت پخش ارسال نمایند و شعبه مرکزی باید داروها را از طریق شعب استانی توزیع کند. در اینجا، مسئله یافتن محل استقرار بهینه شعب شرکت پخش و هم‌زمان تعیین شیوه توزیع بهینه دارو بین شعب است به نحوی که هزینه کل زنجیره‌تأمین شامل هزینه احداث مراکز توزیع و هزینه پخش اقلام دارویی در سطح حداقل شود.

یکی از تمایزات اصلی در این پژوهش، اعمال الزامات قانونی از تأسیس تا توزیع دارو توسط شرکت پخش دارویی است. معیار اصلی برای مدلسازی و حل مسئله، در نظر گرفتن جوانب کلی و اصلی آیین‌نامه تأسیس و فعالیت شرکت‌های پخش دارویی است.

۱.۳. فرضیات مدل

فرضیات مدل به شرح زیر است:

-- در نظر گرفتن الزمات قانونی به شرح زیر:

۱. بند ۲ تبصره ۲ آیین‌نامه (ایجاد شعبه در یک‌سوم استان‌های کشور)؛

۲. ماده ۱۵ آیین‌نامه (توزیع دارو درکشور فقط از طریق شرکت‌های پخش سراسری و در شبکه تعریف شده)؛

۳. ماده ۱۶ بند ۳ آیین‌نامه (عقد قرارداد با مؤسسات دارویی مجاز)؛

۴. ماده ۹ بند (۴ عدم فروش دارو به سایر شرکت‌های پخش استانی).

-- با توجه به بند ۳ ماده ۱۶ آیین‌نامه، مکان و تعداد شرکت‌های تأمین‌کننده و نوع داروهایی که هر یک تأمین می‌کنند، مشخص است؛

-- ظرفیت شرکت پخش به ازای هر دارو مشخص است.

- مکان‌های بالقوه برای شعب شرکت پخش دارو مشخص است؛
- میزان تقاضا به‌صورت قطعی مشخص بوده و تابعی از جمعیت نواحی است؛
- مراکز مصرف ثابت و از پیش مشخص است؛
- حمل‌ونقل مبتنی بر حمل زمینی است؛
- در هیچ سطحی کمبود مجاز نیست.

۲.۳. تابع هدف

$$\min z : (\sum_{p\in P}\sum_{s\in S} LSD_s * QSD_{ps} + \sum_{p\in P}\sum_{b\in B} LDB_b * QDB_{pb} + \sum_{p\in P}\sum_{b\in B}\sum_{c\in C} LBC_{lc} * QBC_{pbc}) * TC + \sum_{b\in B} E_b * EC \quad (۱)$$

تابع هدف (رابطه ۱) متشکل از دو بخش هزینه توزیع و هزینه تأسیس شعب است. در بخش هزینه توزیع، مجموع هزینه ارسال داروها از تأمین‌کننده s به انبارمرکزی شرکت پخش به علاوه انبارمرکزی شرکت پخش به شعبه مستقر در سایت کاندیدای b به علاوه مجموع هزینه توزیع از شعبه به نقاط تقاضای c در نظر گرفته شده است. قسمت دوم نیز مجموع هزینه ثابت احداث هر یک از شعب است.

۳.۳. محدودیت

$$\sum_{s\in S} QSD_{ps} = \sum_{b\in B} QDB_{pb} \quad \forall p \in P \quad (۲)$$

$$QDB_{pb} = \sum_{c\in C} QBC_{pbc} \quad \forall p \in P, b \in B \quad (۳)$$

$$\sum_{b\in B} QBC_{pbc} = Dem_{pc} \quad \forall p \in P, c \in C \quad (۴)$$

$$QSD_{ps} \le CapS_{ps} \quad \forall p \in P, s \in S \quad (۵)$$

$$QSD_{ps} \le Ctr_{ps} \quad \forall p \in P, s \in S \quad (۶)$$

$$\sum_{b\in B} QDB_{pb} \le CapD_p \quad \forall p \in P \quad (۷)$$

$$QDB_{pb} \le CapD_P * E_B \quad \forall p \in P, b \in B \quad (۸)$$

$$\sum_{b} E_b = a \quad \forall b \in B \quad (۹)$$

$$\forall p, s, b, c \;\; QSD_{ps}, QDB_{pb}, QBC_{pbc} \ge ۰$$
$$E_b \in \{۰, ۱\} \quad (۱۰)$$

رابطه ۲ تضمین می‌کند میزان داروی ورودی به شرکت پخش برابر میزان خروجی از شرکت باشد (تعادل میان تأمین‌کننده و شعب شرکت پخش به ازای هر دارو برقرار باشد. دقت شود که در اینجا دو دسته محدودیت بالقوه دیگر نیز وجود دارد که عبارتند از تعادل میان تأمین‌کننده و انبار مرکزی و انبار مرکزی با شعب. با این وجود، به راحتی قابل حذف بودن آنها اثبات می‌شود. چراکه کافیست مجموع مقادیر خروجی از شعب، برابر مجموع مقادیر خروجی از انبار مرکزی در نظر گرفته شود). رابطه ۳ تضمینی بر میزان خروجی داروها از شعبه احداثی به مشتریان است (تعادل میان شعب و مشتریان). رابطه ۴ مربوط به برآورده کردن تقاضای مراکز تقاضا است. رابطه ۵ بیان می‌کند میزان داروی ورودی از هر تأمین‌کننده به انبار مرکزی شرکت پخش، بیش از ظرفیت عرضه شرکت تأمین‌کننده نباشد. رابطه ۶ برای درنظر گرفتن محدودیت و الزام موجود در قانون برای تأمین فراورده‌ها از تأمین‌کنندگان دارای قرارداد است و تضمین می‌کند داروی هر شرکت پخش فقط توسط تأمین‌کنندگانی که با شرکت قرارداد دارند و صاحب امتیاز آن دارو هستند، تأمین شود. رابطه ۷ تضمین می‌کند که کل داروی خروجی از انبار مرکزی شرکت پخش به شعب تأسیس شده بیش از ظرفیت انبار مرکزی نباشد. رابطه ۸ بیان می‌کند که ارسال دارو از شرکت پخش (انبار مرکزی) به یک سایت کاندیدا زمانی میسر است که در آن سایت شعبه‌ای برای آن شرکت پخش احداث شده باشد. رابطه ۹ ایجاب می‌کند که ۱۰ شهر به‌عنوان نقاط کاندیدا از میان شهرهای مختلف انتخاب گردد. این محدودیت در حقیقت مبتنی بر

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

الزام قانونی احداث ده شعبه لحاظ شده است. رابطه ۱۰ محدودیت علامت انواع متغیر تصمیم است.

۴. روش حل

مدل به دست آمده، برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط مبتنی برکمینه‌سازی هزینه‌ها است. به دلیل پیچیدگی بالای مدل (NP-hard)، از روش فرااِبتکاری الگوریتم ژنتیک مختص حل مسئله مکان‌یابی توزیع استفاده شده است. دو نکته، الگوریتم ژنتیک استفاده شده در این مسئله را از حالت پایه آن متمایز می‌سازد. نکته اول اینکه با توجه به وابسته بودن همه محدودیت‌ها به پارامتر p یعنی داروی ژنریک (به‌جز رابطه ۹) می‌توان مسئله را مبتنی بر این پارامتر به تعداد کل داروها β به زیر مسائل کوچک‌تر شکست. البته با توجه به بالا بودن ابعاد زیر مسائل حاصل، برای حل آنها نیز از الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شده است. با این وجود، از آنجا که هدف اولیه مسئله طراحی زنجیره‌تأمین داروی بهینه برای شرکت پخش دلخواه است، باید در فرایند بهینه‌سازی ترکیبیاتی فوق، تعداد حالات زیادی برای مکان استقرار شعب در نظر گرفته شود که خود امری زمان‌بر است. از طرفی، به ازای هر ساختار استقرار شعب می‌بایست یک مسئله توزیع بزرگ که شامل حل β زیر مسئله است حل شود و اشاره شد که هر زیرمسئله خود علی‌رغم بکارگیری الگوریتم‌های فرا ابتکاری دارای زمان حل زیادی است. به همین دلیل، از یک الگوریتم ژنتیک نیز برای کاهش زمان یافتن ساختار توزیع بهینه استفاده شد. بدین ترتیب می‌توان گفت که در راه حل این مسئله از یک الگوریتم ژنتیک تودرتو بهره گرفته شده است. در شکل ۲ مراحل حل مسئله که متشکل از دو مرحله است، نشان داده شده است. هر دو مرحله نیز مبتنی بر الگوریتم ژنتیک است. ابتدا الگوریتم ژنتیک بیرونی، محل استقرار شعب را تعیین می‌کند و آن را به‌عنوان ورودی به الگوریتم ژنتیک داخلی ارسال می‌کند. الگوریتم ژنتیک داخلی هزینه توزیع بهینه را با حل β زیرمسئله تعیین و به‌عنوان خروجی به الگوریتم بیرونی برمی‌گرداند. تابع هدف الگوریتم بیرونی عبارت است از مجموع هزینه‌های تأسیس و توزیع. این زنجیره با توجه به پارامترهای تنظیم شده در الگوریتم تا تکرار مشخصی ادامه پیدا کرده تا مجموع هزینه تأسیس و توزیع را کاهش دهد.

رابطه ۹ از نوع محدودیت سخت در مدل مسائل بهینه‌سازی محسوب می‌شود. دلیل استفاده از این محدودیت، فعال‌سازی ۱۰۰ درصدی شعب تأسیسی در مسئله مورد نظر است. برای پیاده‌سازی این محدودیت در محیط حل از رویکرد مواجهه با محدودیت مساوی در مدل مسائل کوله پشتی استفاده شده است. برای تعیین ظرفیت هر شعبه تأسیسی، یک بردار از ظرفیت‌های شعب باید به گونه‌ای تعیین گردد که ظرفیت مجموع شعب برابر با ظرفیت شعبه مرکزی شرکت پخش دارویی به ازای داروی ارسالی باشد:

$$\sum_{b=1}^{B} E_b = a$$

هدف: تولید E_b است به نحوی که محدودیت بالا برقرار باشد.

$$\widetilde{E_b} \in [0, 1] \rightarrow random$$

$$(\sum_{b=1}^{B} \widetilde{E_b} = 1) * a \rightarrow \sum_{b=1}^{B} a\widetilde{E_b} = a$$

$$\left.\begin{array}{l} E_b = a\widetilde{E_b} \\ \widetilde{E_b} = \frac{\widetilde{E_b}}{\sum_{b=1} \widetilde{E_b}} \end{array}\right\} \rightarrow \sum_{b=1}^{B} E_b = a$$

۱.۴. عملگر تقاطع الگوریتم بیرونی

عملگر تقاطع به کار برده شده در این پژوهش با ادغام دو بردار والد، به دو بردار فرزند می‌رسد. این عملگر، مجموع عناصر بردارهای ورودی را حفظ می‌کند. بردارهای ورودی این عملگرها در این پژوهش، بردارهای صفر و یک هستند. بنابراین، حفظ مجموع عناصر، معادل حفظ تعداد یک‌ها است. یعنی تعداد شهرهایی که در آن برای هر شرکت پخش شعبه‌ای تأسیس می‌شود. دلیل استفاده از عملگر تقاطع، متفاوت تنک بودن بردار مکان‌های بالقوه است که باعث می‌شود در صورت استفاده از عملگرهای عادی این مشکل ایجاد شود که در تقاطع و جهش، بردار جدیدی ایجاد نشود.

در این روش که مخصوص بردارهای صفر و یک است، تعدادی از عناصر بین دو بردار جابه‌جا می‌شود به قسمی که تعداد یک‌ها حفظ شود. به این صورت که دو لیست با نام‌های L^{up} و L^{down} تهیه می‌کند. این دو لیست شامل شماره عناصری است که در آن تفاوت‌هایی بین والدین وجود دارد. لیست L^{up} شامل موقعیت‌هایی (شماره عناصری) است که در آن موقعیت والد اول عدد یک و والد دوم صفر است و لیست L^{down} شامل شماره عناصری است که در آن والد اول صفر و والد دوم یک است. فرایند ایجاد فرزندان از آن لیست‌ها استفاده کرده و پس از انتخاب تصادفی موقعیت، از لیست L^{up}، عنصر موجود در آن موقعیت را بین فرزندان جابه‌جا می‌کند. به ازای هر جابه‌جایی از روی لیست L^{up}، یک جابه‌جایی نیز باید از لیست L^{down} انجام شود تا تعداد یک‌ها ثابت بماند.

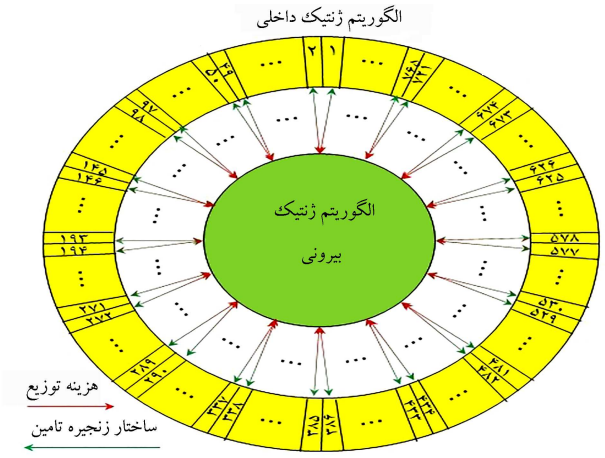
اپراتور حفظ‌کننده، تعداد وظیفه خود را با این فرض انجام می‌دهد که تعداد بیت‌های برابر با یک در هر کروموزوم در جمعیت اولیه یکسان است. تعداد عناصر در L^{up} و در L^{down} یکسان است که نتیجه مستقیم این فرض است.[۱۵] شکل ۳ نمونه والد و فرزند عملگر تقاطع الگوریتم داخلی است. در ادامه مراحل کار می‌آید: استخراج لیست L^{up} و L^{down}:

$$L^{up} = \{۴, ۶\}$$

$$L^{down} = \{۳, ۱۰\}$$

$$L_length = ۲$$

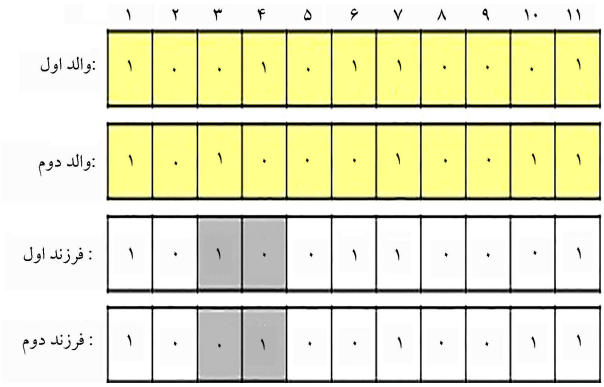
گزینش تصادفی بیت‌هایی که قرار است جابه‌جا شوند از دو لیست فوق:



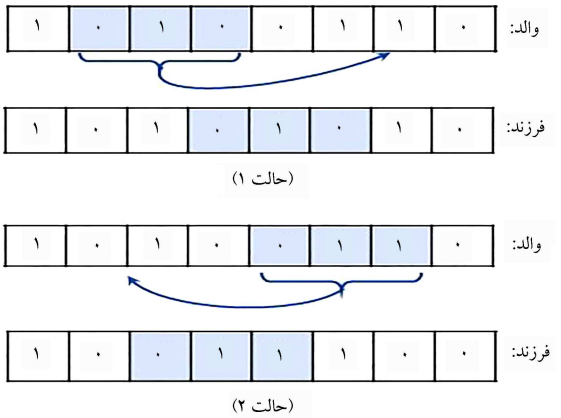
شکل ۲. ساختار کلی الگوریتم ژنتیک تو در تو برای حل مسئله مکان‌یابی و توزیع همزمان.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۳. عملگر تقاطع الگوریتم بیرونی.



شکل ۴. عملگر جهش الگوریتم بیرونی.

$for\ j = ۱\ to\ L_length$

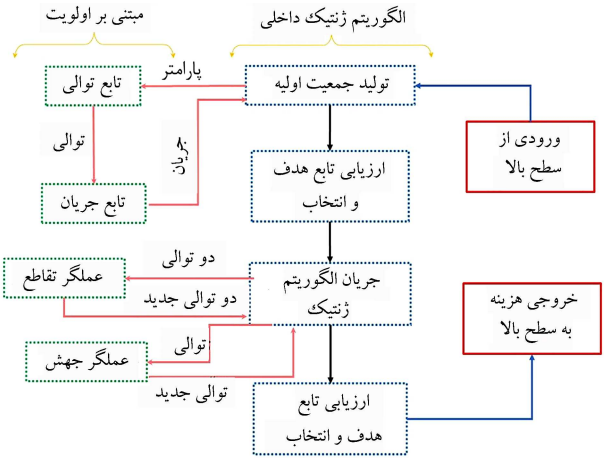
$if\ \text{rand} \prec ۰/۵$

فرض می‌شود به ازای اولین عضو، عدد تصادفی تولید شده کمتر از ۰/۵ باشد. حال، باید عناصر چهارم (اولین عضو از لیست L^{up}) دو فرزند جابه‌جا شوند. همچنین، عناصر سوم (اولین عضو از لیست L^{down}) آن دو و این کار به تعداد اعضای دو لیست فوق که برابر با L_lenght است، تکرار می‌شود.

۲.۴. عملگر جهش بیرونی

عملگرهای جهش به جای ادغام دو بردار، تنها روی یک بردار تغییرات ایجاد می‌کنند. عملگرهای جهش به کار برده شده در این پژوهش نیز مجموع عناصر بردار را حفظ می‌کنند. بردار ورودی در این تحقیق یک بردار صفر و یک است. بنابراین، در حقیقت تعداد عناصر یک بردار ورودی ثابت می‌ماند. هر جهشی که انتخاب شود، می‌تواند به تعداد دلخواه m بار تکرار شود. شکل ۴ عملگر جهش الگوریتم بیرونی در این نوع جهش به‌طور تصادفی یک زیررشته از توالی انتخاب می‌شود[۱۶] پس از حذف آن، در محلی تصادفی وارد می‌شود. این نوع جهش مانند انتقال و درج است با این تفاوت که به جای انتقال یک عنصر، یک رشته از عناصر (یک زیر بردار) به بعد از عنصر دیگر منتقل می‌شود. همانند روش انتقال و درج دو حالت پیش می‌آید.[۱۷]

تفاوت دوم در روش حل این مسئله، مربوط به ساختار ویژه زیرمسائل است. همان‌طورکه در مدل مشخص است، در اینجا محدودیت‌هایی از نوع تعادلی وجود دارد که نوعا در مسائل زنجیره‌تأمین و شبکه حاضر هستند. معمولا در مسائلی که



شکل ۵. فلوچارت الگوریتم ژنتیک داخلی (سطح ۲).

با الگوریتم‌های فراابتکاری حل می‌شوند، از تابع هدف افزوده یعنی شامل جمله جریمه برای اطمینان از اعمال محدودیت‌ها استفاده می‌شود.[۱۸] ما این روش برای محدودیت‌های نرم از نوع نامساوی مناسب بوده و نوعاً برای محدویت‌های از نوع سخت (یعنی تساوی) با تسامح آن را به نامساوی تبدیل می‌کنند. در مسائل زنجیره تأمین، برقراری شرایط تعادلی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و قابل چشم‌پوشی نیست. به همین دلیل، از روش رمزنگاری مبتنی بر اولویت برای کدنویسی جمعیت‌ها استفاده می‌شود. در شکل ۵ ساختار الگوریتم داخلی بر مبنای الگوریتم ژنتیک با استفاده از رمزنگاری مبتنی بر اولویت نشان داده شده است. جمعیت اولیه با توجه به مبادی و مقاصد و ساختاربندی کروموزوم تشکیل شده است. در ادامه، الگوریتم با استفاده از دو عملگر تقاطع و جهش با تغییر در ساختار کروموزوم و تشکیل کروموزوم جدید سعی در بهبود مسئله دارد. سه راه متداول برای رمزنگاری عبارتند از:

۱. رمزنگاری مبتنی برکمان؛

۲. رمزنگاری مبتنی برگره؛

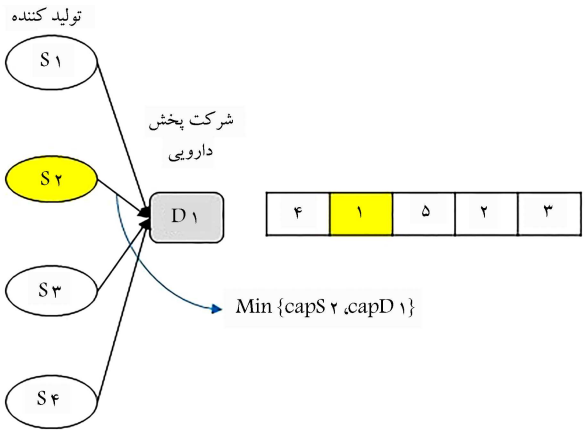
۳. رمزنگاری مبتنی برکمان وگره.[۱۹]

در این پژوهش از روش سوم در ژنتیک داخلی برای توزیع بهینه استفاده شده است.

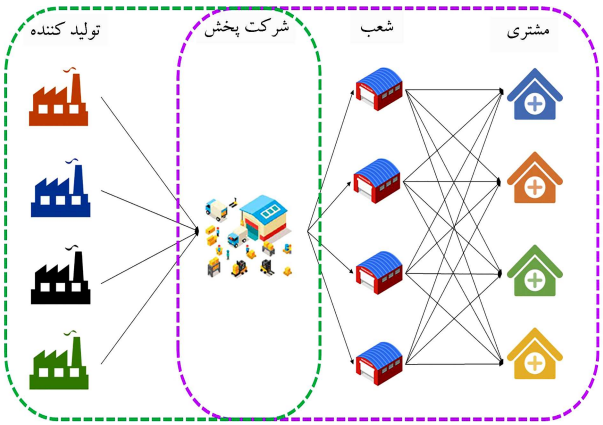
باباویسی و همکاران، از ساختار کروموزوم‌ها به روش رمزنگاری مبتنی برکمان وگره برای بهینه‌سازی مسئله زنجیره‌تأمین حلقه بسته چند محصولی استفاده کردند. براساس این روش، اگر تعداد مبداًها $|S|$ و تعداد مقاصدها $|D|$ تعریف شوند، بعد ماتریس پیشنهادی برای الگوریتم ژنتیک برابر با $|D|.|S|$ و طول کروموزم $|D|+|S|$ خواهد بود. هرکروموزوم تعدادی ژن دارد. مقادیر هر ژن عددی تصادفی بین ۱ تا $|D|+|S|$ خواهد بود. در داخل یک ژن، یک عدد به‌صورت تصادفی ذخیره شده است که این عدد نمایانگر اولویت آن سلول در ردیف مربوطه است.[۶] شکل ۶، نمایشی است از نحوه توزیع کالا بین مبادی و مقاصد که برای انتخاب هر مبدا و مقصد، ژنی که بیشترین اولویت را دارد انتخاب می‌شود. براساس مبدا یا مقصد انتخابی و ماتریس هزینه، برای سطح مورد بررسی توزیع بین نقاط صورت می‌پذیرد. در روش مبتنی بر اولویت جریان، کالا بین دو گره براساس حداقل ظرفیت دو گره تعیین شده و توزیع می‌گردد. با پایان ظرفیت هرگره، عدد اولویت آن برابر عدد صفر می‌شود. این روند تا جایی ادامه می‌یابد تا اولویت تمامی ژن‌های کروموزوم صفر شوند.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۶. نحوه تخصیص در روش رمزنگاری مبتنی بر اولویت.

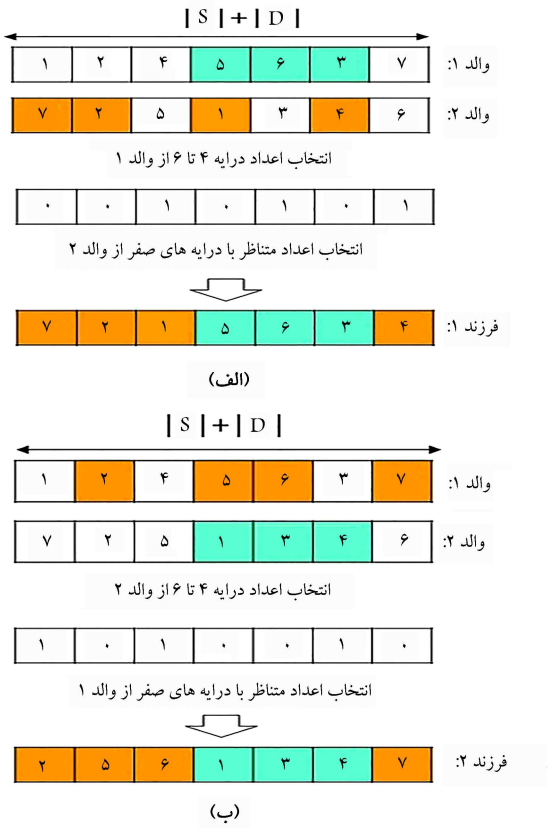


شکل ۷. مرحله بندی زنجیره‌تأمین جهت استفاده از رمزنگاری مبتنی بر اولویت.

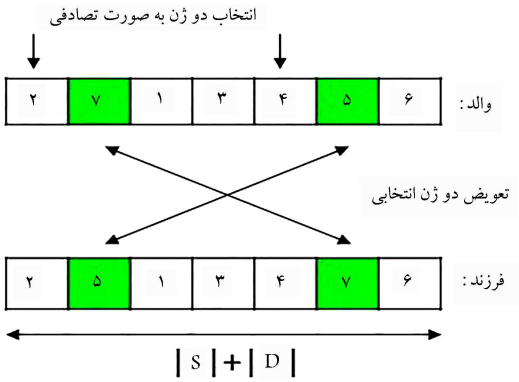
جهت پیاده نمودن روش مبتنی بر اولویت در مسائل زنجیره تأمین، نیاز به تعیین مرحله‌ها است. هر مرحله دو لایه را به یکدیگر متصل می‌کند. شکل ۷ مربوط به مرحله‌بندی زنجیره‌تأمین مسئله مورد بررسی است. مطابق شکل، مرحله اول مربوط به تعیین شیوه توزیع داروها بین تأمین‌کنندگان و انبار مرکزی شرکت پخش دارویی و مرحله دوم مربوط به تعیین توزیع بین شعب شرکت پخش و مشتریان است. از آنجا که ارتباطات انبار مرکزی شرکت پخش با شعب، نوعی ارتباط داخلی است، عملاً مرحله دوم شامل هر سه لایه انبار مرکزی، شعب و مشتریان است.

۳.۴. عملگر تقاطع الگوریتم داخلی

برای حل مسئله داخلی، با توجه به ماهیت روش رمزنگاری مبتنی بر اولویت، برای جلوگیری از ایجاد اعداد تکراری در کروموزوم، در هر دو عملگر جهش و تقاطع به گونه‌ای عمل می‌شود که از ایجاد اعداد تکراری و یکسان در یک کروموزم جلوگیری گردد. مطابق شکل ۸، ابتدا دو عدد به‌صورت تصادفی 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 والدها ایجاد می‌شود. عدد یک نشان‌دهنده اعداد مشترک بین دو والد با توجه به جایگاه اعداد در والد یک و عدد صفر نشان‌دهنده اعدادی که در قسمت انتخاب شده از والد یک وجود ندارد، می‌باشند. طبق 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



شکل ۸. عملگر تقاطع در روش مبتنی بر اولویت.



شکل ۹. عملگر جهش در روش مبتنی بر اولویت.

همین صورت و با جابه‌جایی والدها صورت می‌گیرد. هدف از اینکار، جلوگیری از ایجاد اعداد تکراری به‌عنوان اولویت در کروموزوم‌های فرزندان است.

شکل ۹ عملگر جهش به کاربرده شده در الگوریتم مبتنی بر اولویت است که با انتخاب دو ژن از کروموزوم‌های ایجاد شده و با تعویض ژن‌ها کروموزوم جدید شکل می‌گیرد.

۵. نتایج مدل پیشنهادی

۱.۵. شرکت پخش الیت دارو

برای ارزیابی مدل پیشنهادی، از مطالعه موردی با داده واقعی استفاده شده است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

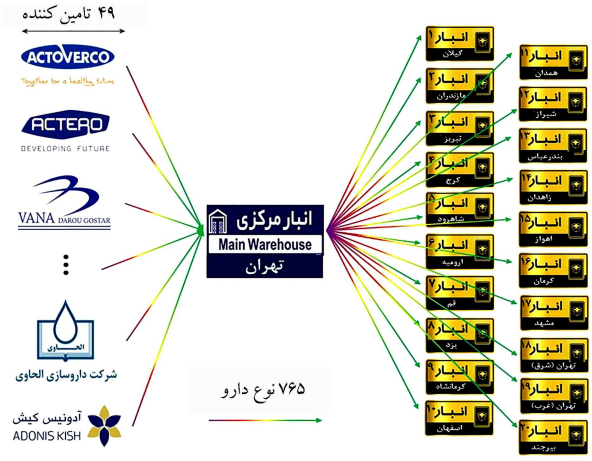
مطالعه موردی در این پژوهش، شرکت پخش سراسری دارویی الیت دارو است. شرکت الیت دارو، محصولات و مکمل‌های دارویی شرکت‌های تولیدی و وارداتی را توزیع می‌نماید. براساس اطلاعات ارائه شده شرکت، چشم‌انداز شرکت، اولین انتخاب در صنعت دارویی است و با ۶۰۴ پرسنل مشغول به فعالیت تا دستیابی به اهداف تعیین شده است. بر همین اساس، با توجه به هدف پیش رو، نحوه توزیع و نواحی تحت پوشش از اهمیت خاصی برخوردار است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، براساس آمارنامه دارویی مربوط به سال ۱۳۹۶ ایران است که حاوی اطلاعاتی از نوع دارو، تأمین‌کنندگان دارو، برندهای دارویی، میزان فروش عددی و ریالی هر یک از شرکت‌های تولیدکننده و پخش، نوع فعالیت هر شرکت و رتبه‌بندی شرکت‌های پخش است.

شرکت الیت دارو دارای ۲۰ مرکز توزیع و یک انبار مرکزی در کشور بوده و براساس آمارنامه دارویی، در رتبه پنج شرکت‌های برتر پخش دارویی از منظر فروش ریالی با سهم بازار ۳/۴۳ درصدی و با رقم فروش کل ۱۳۳۰۶۷۹۳۷۹ ریال و جزو ۱۰ شرکت برتر از منظر فروش عددی با سهم بازار ۳/۴۴ درصدی و فروش عددی ۶۴۷۹۱۴۶۵۷۷۴۵۹ دارو است. در سال ۱۳۹۶، این شرکت ۷۶۵ نوع دارو که توسط ۴۹ شرکت تأمین‌کننده در اختیار قرار گرفته است را به نواحی تحت پوشش خود توزیع نموده است.

اطلاعات کلیه شهرهای کشور شامل ۴۲۹ نقطه، با نام و جمعیت آنها از سایت رسمی مرکز آمار ایران با توجه آخرین سرشماری انجام شده در سال ۱۳۹۵، به‌دست آمده است و این داده‌ها ملاک تعیین مراکز و حجم تقاضای آنها است. در این پژوهش، پارامتر مسافت بین نقاط مختلف بر مبنای فاصله زمینی و مستخرج از نقشه bing است. برای محاسبه هزینه توزیع به ازای هر واحد دارو در هر کیلومتر، براساس مشورت‌های صورت گرفته مشخص شد که هزینه توزیع تقریبا برابر با ۳ درصد از فروش کل شرکت است و با توجه به رقم فروش الیت دارو، به رقم ۰/۰۰۵ به ازای هر واحد دارو در هر کیلومتر می‌رسیم. اطلاعات مرتبط با شعب فعلی و انبار مرکزی الیت دارو نظیر تعداد و محل قرارگیری شعب نیز از تارنمای شرکت بدست آمده‌اند. شکل ۱۰ اطلاعات شعب فعال و تأمین‌کنندگان داروهای توزیعی شرکت را نشان می‌دهد.

۲.۵. خوشه‌بندی

در تحقیقات نشان داده شده است که ادغام داده‌ها نظیر نقاط تقاضا برای حل



شکل ۱۰. شعب و تأمین‌کنندگان شرکت پخش دارویی الیت دارو.

مسائل واقعی، تأثیر اندکی بر پاسخ بهینه (در حد یک درصد) دارد.[۳] همان‌طورکه در بخش قبل ذکر شد، هر یک از زیر مسائل بدست آمده در مدل، خود به تنهایی یک مسئله بزرگ است. برای مثال در مورد شرکت پخش الیت (که بزرگترین شرکت پخش نیز نیست) با زنجیره تأمینی شامل ۷۶۵ نوع محصول، ۴۹ تأمین کننده، ۴۲۹ نقطه بالقوه برای استقرار شعب و همین‌طور مشتریان مواجه هستیم که یافتن جواب برای یک زیر مسئله را دشوار می‌کند. بدین منظور، برای بهبود سرعت حل و کاهش ابعاد مسئله برای بخش مشتریان، از خوشه‌بندی استفاده شده است تا زمان حل زیرمسائل (که در این مورد ۷۶۵ زیر مسئله وجود دارد) کاهش یابد. همچنین، برای خوشه‌بندی نقاط تقاضا، از الگوریتم p ـ میانه استفاده شده است. در این الگوریتم، مراکز تعیین شده از میان خود مجموعه نقاط اصلی ورودی الگوریتم است.[۲۱] نکته دیگر در رابطه با الگوریتم‌های خوشه‌بندی، انتخاب نوع روش اندازه‌گیری فاصله برای محاسبه عدم شباهت داده‌هاست که در ادامه ضمن معرفی معیاری برای ارزیابی کیفیت خوشه‌بندی، نوع فاصله مناسب برای داده‌ها مورد کنکاش قرار گرفته است.

۱.۲.۵. معیار نیم‌رخ

برای تعیین بهترین نوع فاصله مورد استفاده در الگوریتم خوشه‌بندی، از معیار نیم‌رخ که روشی برای ارزیابی کیفیت خوشه‌بندی داده‌ها است، استفاده شده است. این معیار، شاخصی ترکیبی از انسجام داخلی خوشه‌ها و تفکیک‌پذیری بین خوشه‌ها است. برای محاسبه این معیار به ازای هر داده، میزان فاصله آن با نقاط خوشه خود (رابطه ۱۱) را با $a(i)$ و میانگین فاصله با نقاط سایر خوشه‌ها (رابطه ۱۲) را با $b(i)$ نشان می‌دهند:

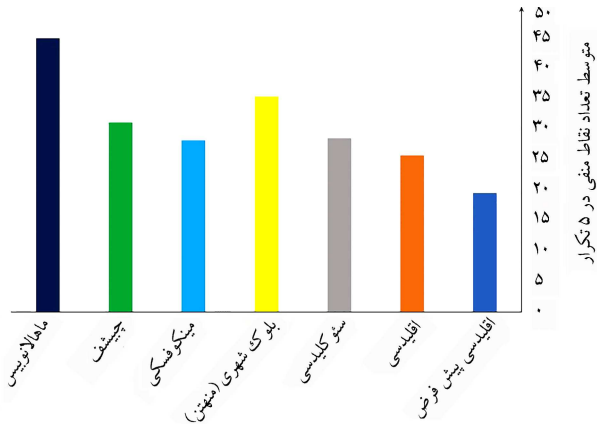
$$a(i) = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} d(x_i, x_k) \qquad (۱۱)$$

$$b(i) = \min \frac{1}{n_j} \sum_{x_i \in otherclusters} (d(x_i, x_j)) \qquad (۱۲)$$

در نهایت، معیار نیم‌رخ به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(b(i), a(i))} \qquad (۱۳)$$

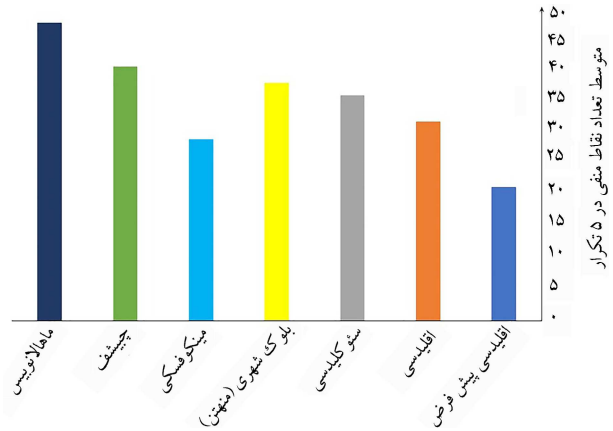
بدیهی است که یک ملاحظه مهم در این معیار، انتخاب روش محاسبه فاصله است. شکل ۱۱ و ۱۲ به ترتیب نمودار عملکرد الگوریتم خوشه‌بندی برای روش‌های مختلف انتخاب فاصله برای تعداد مراکز خوشه‌بندی ۴۰ و ۵۰ است. با مقایسه پارامتر



شکل ۱۱. مقایسه پارامتر فاصله برای خوشه بندی با ۴۰ مرکز با معیار نیم‌رخ.

Archive of SID.ir

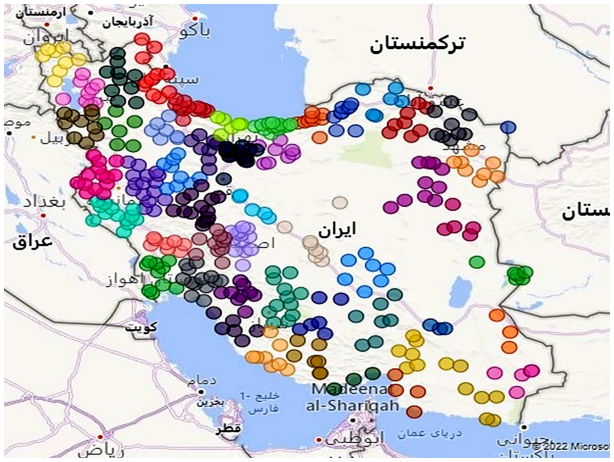
Archive of SID.ir



شکل ۱۲. مقایسه پارامتر فاصله برای خوشه بندی با ۵۰ مرکز با معیار نیم‌رخ.

جدول ۲. تحلیل واریانس بر مبنای فاکتور نیم‌رخ برای تعداد خوشه‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰.

گروه	میانگین	تعداد خوشه
B	۱۲/۳	۳۰
A	۲۰/۶	۴۰
A	۲۱/۴۶۷	۵۰
A	۲۱/۱۶۷	۶۰



شکل ۱۳. خوشه بندی داده‌ها با نرم افزار متلب.

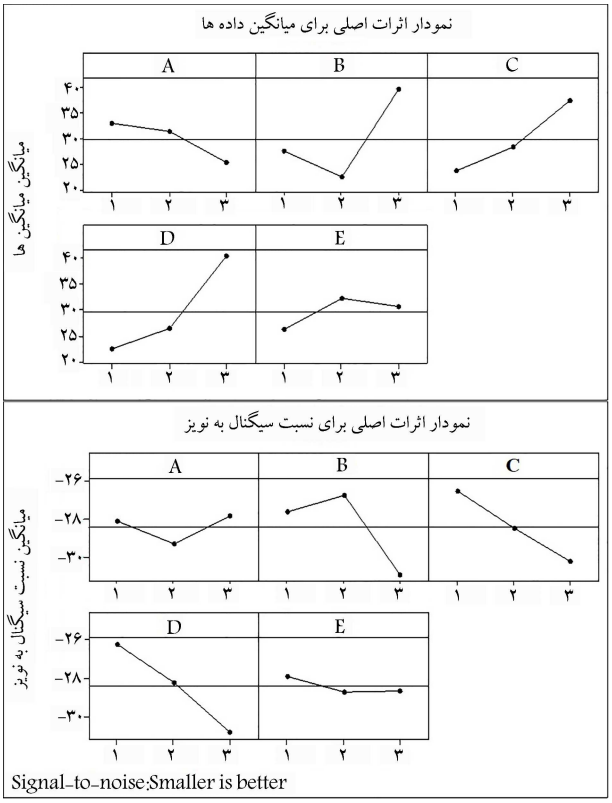
فاصله برای هر دو دسته ۴۰ و ۵۰ تایی، بهترین عملکرد، الگوریتم خوشه‌بندی برای پارامتر فاصله نیم‌رخ است.

از بین تعداد خوشه‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰، با توجه به معیار نیم‌رخ، آزمون آماری ANOVA مورد استفاده قرارگرفت. براساس نتایج حاصل شده (جدول ۲)، هیچ تفاوت معناداری بین تعداد دسته‌های ۴۰، ۵۰ و ۶۰ وجود ندارد و با توجه به تفاوت معنادار در دسته بندی خوشه ۳۰ و علی‌رغم زمان حل بهتر، به دلیل کم بودن دقت در خوشه‌بندی، این تعداد دسته از دور انتخاب حذف می‌شود. بر این اساس، تعداد دسته ۵۰ تایی با توجه به زمان حل مناسب و کیفیت قابل قبول انتخاب شد.

شکل ۱۳، نتیجه نهایی خوشه‌بندی و مراکز هر دسته با الگوریتم p ـ میانه است. محور افقی طول و محور عمودی عرض جغرافیایی نقاط را نشان می‌دهد و نقاط دایره‌ای مراکز تقاضا و نقاط مربعی شکل، مراکز انتخابی خوشه‌ها هستند. بدین ترتیب، تعداد مراکز مشتریان در زنجیره‌تأمین از ۴۲۹ به ۵۰ مرکز می‌رسد.

جدول ۳. پارامترها و سطوح تعیین شده برای تنظیم پارامتر.

پارامتر		سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
تعداد تکرار حلقه اصلی الگوریتم	A	۶	۸	۱۰
جمعیت اصلی	B	۱۰	۱۲	۱۴
درصد تقاطع	C	۰/۴	۰/۶	۰/۸
درصد جهش	D	۰/۴	۰/۶	۰/۸
beta	E	۵	۷	۱۰



شکل ۱۴. نتایج تنظیم پارامترها به روش تاگوچی با نرم افزار مینی‌تب ۱۶.

۳.۵. تنظیم پارامتر

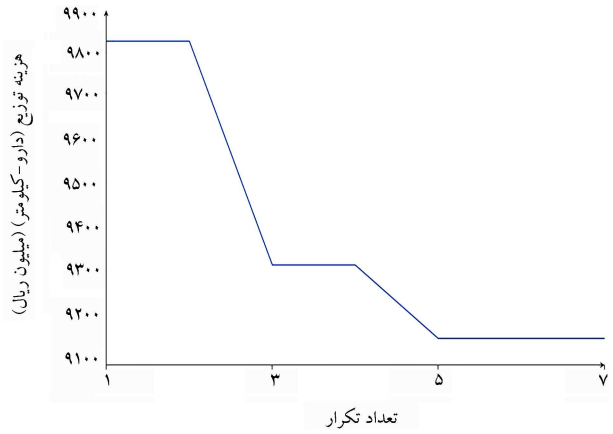
برای تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک در لایه درونی ساختار توزیع بهینه، ۵ پارامتر با ۳ سطح مطابق جدول ۳ انتخاب شده است.

به منظور تعیین کاراترین سطوح هر پارامتر به روش تاگوچی، با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶، تعداد ۲۷ آزمایش تعیین و انجام شده است. به منظور اعمال روش تاگوچی، ابتدا شاخص‌های مورد انتخاب با شاخص RPD (رابطه ۱۴) بی‌مقیاس شده و با استفاده از میانگین وزنی برای هر شاخص در نظر گرفته 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 نرم افزار مطابق شکل ۱۴ است. با توجه به شکل، تمامی فاکتورها بهتر است در سطح یک تنظیم شوند.

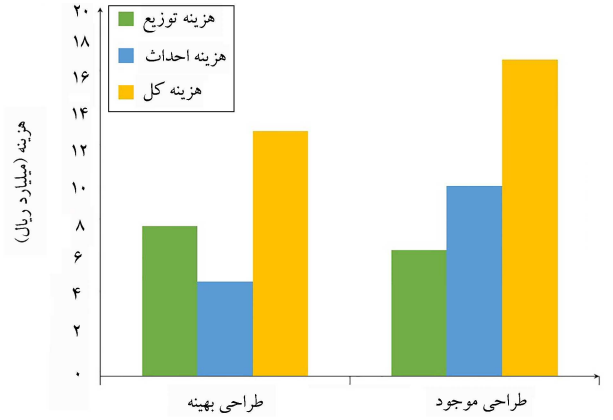
$$RPD = \frac{\text{بهترین جواب} - \text{جواب}}{\text{بهترین جواب}} \times ۱۰۰ \qquad (۱۴)$$

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۱۵. عملکرد الگوریتم هزینه توزیع.



شکل ۱۶. مقایسه هزینه‌ها در دو حالت موجود و بهینه.

۴.۵. کارایی الگوریتم

الگوریتم ژنتیک دوسطحی با کدینگ مبتنی بر اولویت در محیط نرم افزار متلب نسخه R۲۰۲۰b بر روی رایانه دارای پردازنده Core i۵ با حافظه ۶ گیگابایتی پیاده‌سازی شد. شکل ۱۵، روند همگرایی الگوریتم را برای تابع هدف هزینه نشان می‌دهد.

۵.۵. نتایج

در ادامه، نتایج نهایی و محل استقرار بهینه شعب شرکت پخش الیت دارو و نیز هزینه‌های توزیع محتمل آن براساس داده‌های موجود و مبتنی بر مدل پیشنهادی ارائه شده است. برای بررسی اعتبار مدل، نتایج حاصل با نتایج و هزینه‌های اماکن فعلی استقرار شعب این شرکت مقایسه شده است. برای بررسی هزینه‌ها در وضع موجود و بهینه، یک بررسی کلی از هزینه‌های احداث، هزینه‌های توزیع و سرجمع هزینه‌ها صورت گرفته است. برای به‌دست آوردن هزینه استقرار و توزیع وضع موجود، با توجه به خوشه‌بندی انجام شده، از نرم افزار گمز استفاده شده است. شکل ۱۶، مقایسه‌ای از هزینه توزیع، هزینه استقرار و هزینه کل در حالت بهینه و وضع موجود نشان داده شده است. واضح است که در وضع موجود، هزینه توزیع کمتر از حالت بهینه است. بیشتر بودن تعداد شعب در وضع کنونی موجب شده تا به ازای به قیمت افزایش هزینه ثابت، هزینه متغیر کاهش یابد.

شکل ۱۷ مربوط به مقایسه شعب احداثی در وضع موجود و بهینه است.



شکل ۱۷. مکان شعب در وضع موجود و بهینه.

جدول ۴. درصد تغییرات هزینه‌ها در دو حالت وضع موجود و بهینه (میلیارد ریال).

هزینه	وضع موجود	وضع بهینه	درصد تغییرات
کل	۱۷/۱۶	۱۳/۳۰	٪۲۳ ∨
احداث	۱۰/۳۱	۵/۱۵	٪۵۰ ∨
توزیع	۶/۸۵	۸/۱۴	٪۱۹ ∧



شکل ۱۸. مکان شعب وضع موجود در مقایسه با سناریوی ۱.

نقاط نارنجی رنگ، مراکز فعال در طراحی موجود است و نقاط سبز رنگ، نقاط احداثی شعب در طراحی بهینه است. جدول ۴ نشانگر هزینه‌ها در وضع موجود و بهینه و درصد تغییرات دو حالت است. به‌طورکل می‌توان نتیجه گرفت الگوریتم در کاهش هزینه‌های کل به طور قابل توجهی عمل کرده و در مجموع موجب کاهش ۲۳ درصدی هزینه‌ها نسبت به وضع موجود شده است.

در ادامه، با توجه به طراحی بهینه پیشنهادی، به مقایسه وضع توزیع بهینه با دو حالت دیگرکه درسه سناریو مختلف به مختصرتشریح شده است، پرداخته شده است.

۱.۵.۵. سناریو ۱

در این سناریو به مقایسه حالت بهینه قبلی که در آن شعب تأسیسی از ۴۲۹ شهر موجود کشور قابل انتخاب هستند با حالتی که انتخاب شعب از بین شعب موجود شرکت قابل انجام است، پرداخته شده است. در شکل ۱۸، نقاط طراحی موجود و حالت انتخاب شعب از شعبات وضع موجود آمده است. جدول ۵ میزان تغییرات هزینه توزیع را در این دو سناریو را نشان می‌دهد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۵. درصد تغییرات هزینه توزیع سناریو (۱ میلیارد ریال).

انتخاب شعب		درصد
شعب موجود	آزاد	تغییرات
۸/۸۶	۸/۱۴	٪۷ ∧



شکل ۱۹. مقایسه مکان شعب تأسیسی از بین مراکز خوشه با طراحی موجود.

جدول ۶. درصد تغییرات هزینه توزیع سناریو ۲ (میلیارد ریال).

انتخاب شعب		درصد
مراکز خوشه	آزاد	تغییرات
۹/۷۳	۸/۱۴	٪۲۰ ∧

جدول ۷. درصد تغییرات هزینه توزیع سناریو ۳ (میلیارد ریال).

انتخاب شعب		درصد
بدون مدودیت	آزاد	تغییرات
۵/۸	۸/۱۴	٪۲۹ ∨

۲.۵.۵. سناریو ۲

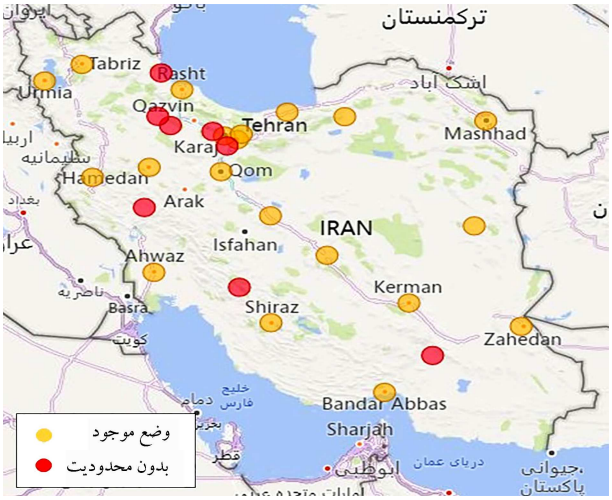
در این بخش به مقایسه طراحی بهینه با حالتی که شعب احداثی از میان مراکز خوشه‌بندی انتخاب شوند، پرداخته شده است. شکل ۱۹ مکان شعب احداثی از مراکز خوشه و وضع موجود به ترتیب با دو رنگ صورتی و نارنجی نشان داده شده است. جدول ۶ مقایسه هزینه و درصد تغییرات هزینه توزیع طراحی بهینه با حالتی که شعب تأسیسی از بین مراکز خوشه باشد را نشان داده است.

۳.۵.۵. سناریو ۳

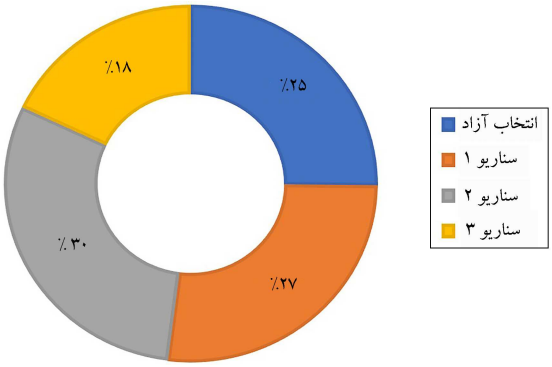
در این سناریو با حذف محدودیت مساوی (رابطه ۹) و با قرار دادن حداکثر سقف احداث شعبه، به مقایسه آن با حالت موجود پرداخته شده است. شکل ۲۰ نقاط فعال احداثی شعب در سناریو ۳ در مقایسه با طراحی موجود را نشان می‌دهد. در این سناریو، از ۱۰ شعبه تأسیسی تنها هشت عدد فعال شده و ارسال دارو به مراکز خوشه‌بندی دارند. جدول ۷ درصد تغییرات هزینه توزیع در این سناریو را نشان می‌دهد.

شکل ۲۱ نمودار مقایسه‌ای بین سه سناریو مطرح شده است.

جدول ۸ مزایای بهره‌مندی از سناریوهای مختلف و میزان تغییرات هزینه توزیع در مقایسه با حالت آزاد است و مقایسه‌ای بین حالت‌های مختلف با حالت آزاد انجام شده است و فاصله درصدی از مجموع کل ۱۰۰ درصد در نظرگرفته شده است.



شکل ۲۰. مکان شعب تأسیسی بدون محدودیت با طراحی موجود.



شکل ۲۱. نمودار مقایسه هزینه توزیع سناریوهای مختلف.

جدول ۸. مزایا و مقایسه هزینه توزیع سناریوها.

سناریو	مزیت جانبی	تغییرات نسبت به حالت آزاد
آزاد	در عین رعایت الزامات قانونی از کمترین هزینه برخوردار است.	-
۱	یک برنامه بهینه برای شرکت پخش دارویی برای غیرفعال کردن برخی شعب ناکارآمد موجود ارائه می‌دهد.	٪۲ افزایش
۲	با انتخاب شعب از مراکز خوشه دسترسی به نیروی کار افزایش می‌یابد. زیرا مراکز خوشه همان مراکز جمعیتی است.	٪۵ افزایش
۳	بدون در نظرگرفتن الزامات قانونی از کمترین هزینه توزیع برخوردار است.	٪۷ کاهش

Archive of SID.ir

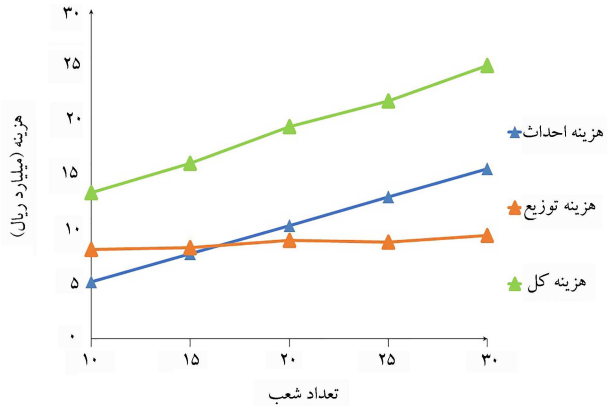
Archive of SID.ir

۶. تحلیل حساسیت

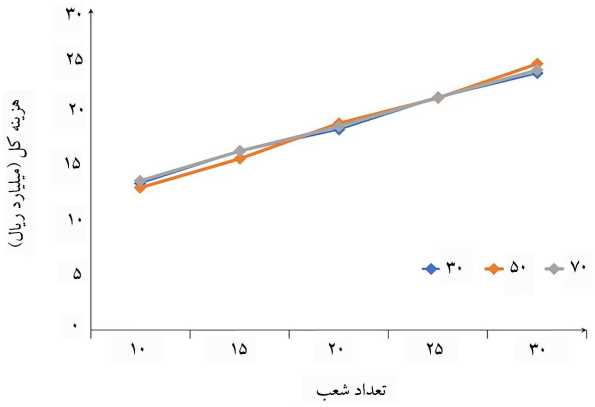
شکل ۲۲ هزینه‌های توزیع، تأسیس و کل برای تعداد شعب مختلف با خوشه‌بندی ۵۰ تایی است. با توجه به روند مقایسات هزینه‌ای بین تعداد شعب، بهترین تعداد شعب از منظر هزینه‌ها شعب ۱۰ تایی برای این شرکت الیت داروست.

شکل ۲۳ نمایشگر هزینه کل برای خوشه‌بندی‌های مختلف با در نظرگرفتن تعداد شعب مختلف است. با توجه به روند نمودار، تفاوت قابل توجهی بین تعداد خوشه‌بندی با تغییر تعداد شعب در هزینه‌ها وجود ندارد (بدیهی است که با افزایش تعداد خوشه‌بندی به نقاط و توزیع واقعی نزدیکتر می‌شویم). این نمودار مجدداً تأییدی بر متفاوت نبودن هزینه‌ها با تغییر در سطح خوشه‌بندی است.

جدول ۹ متوسط تغییرات هزینه به ازای افزایش ۵ تایی تعداد مراکز خوشه‌بندی



شکل ۲۲. مقایسه هزینه‌ها برای تعداد شعب مختلف.



شکل ۲۳. مقایسه هزینه کل خوشه‌بندی‌ها برای تعداد شعب مختلف.

جدول ۹. متوسط تغییرات هزینه تعداد شعب به ازای تغییرات خوشه‌بندی.

شعب	متوسط درصد تغییرات به ازای افزایش ۲۰ تا خوشه
۱۰	٪۴ ∧
۱۵	٪۴ ∧
۲۰	٪۲ ∨
۲۵	٪۰ =
۳۰	٪۳ ∨

در تعداد شعب مختلف است. حداقل تغییرات در این جدول، کاهش سه درصدی هزینه و حداکثر تغییرات افزایش چهار درصدی است. با در نظرگرفتن تغییرات به طور متوسط، تغییرات کل برابر ۰/۷۶ درصد بوده که با نتایج تحقیقات انجام شده در رابطه با خوشه‌بندی و تأثیر یک درصدی آن بر هزینه‌ها مطابقت دارد.[۳]

۷. نتیجه و جمع‌بندی

در این پژوهش، یک مدل ریاضی برای تعیین مکان‌های تأسیس شعب شرکت‌های پخش و نیز برنامه پخش دارو با اعمال شرایط قانونی ارائه شد. ساختار مدل را ابتدا به یک مسئله اصلی و چندین زیرمسئله تجزیه کرده و سپس به کمک الگوریتم ژنتیک دو مرحله‌ای به حل آن پرداخته شده است. مرحله اول، مسئله اصلی و مرحله دوم زیرمسئله‌ها را حل می‌کند. از رمزنگاری مبتنی بر اولویت در سطح دوم برای مهار محدودیت‌های تعادلی استفاده شد. همچنین، از روش خوشه‌بندی برای ادغام مشتریان و کاهش ابعاد مسئله استفاده شد. نتایج به‌دست آمده برای شرکت پخش الیت دارو حکایت از کاهش ۲۳ درصدی هزینه زنجیره در ساختار بهینه نسبت به وضع موجود دارد. همچنین، مشخص شد که اعمال شرایط قانونی دارای یک هزینه هفت درصدی نسبت به حالتی است که با چنین محدودیتی مواجه نمی‌شویم. البته، نکته حائز اهمیت دیگر در اینجا، توجه به این موضوع است که با کاهش تعداد شعب سطح و سرعت دسترسی به شعب پخش کاهش خواهد یافت. تحلیل حساسیت مدل روی تعداد مراکز خوشه‌ها نشان داد که تغییرات هزینه‌ای برای تعداد خوشه‌های مختلف ناچیز است (کمتر از یک درصد). پیشنهاد می‌شود هزینه موجودی نیز در بررسی‌های بعدی مورد توجه قرارگیرد. برای ادامه روند کاری می‌توان یک تابع هدف با عنوان هزینه دسترسی بر مدل اضافه کرد، به نحوی که میزان دسترسی شعب را به مراکز تقاضا حداقل کند. همچنین، با توجه به سناریو ۲ که مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان این سناریو را نیز به‌عنوان مورد توسعه‌ای جدید با در نظرگرفتن تابع هدف بیشینه‌سازی درصد اشتغال به‌عنوان یک معیار ارزیابی اجتماعی مدل لحاظ کرد.

نمادها

- **مجموعه‌ها**

P: مجموعه‌ی داروها $p = ۱, \ldots, P$؛

S: مجموعه تأمین‌کننده‌ها $s = ۱, \ldots, S$؛

C: مجموعه نقاط مصرف $c = ۱, \ldots, C$؛

B: مکان‌های کاندیدا برای احداث شعب استانی $b = ۱, \ldots, B$.

- **پارامترها**

LSD_s: پارامترها فاصله تأمین‌کننده s تا انبارمرکزی شرکت پخش؛

LDB_b: فاصله انبار مرکزی شرکت پخش تا شعبه پخش مستقر در سایت کاندیدای b؛

LBC_{bc}: فاصله شعبه پخش مستقر در در سایت کاندیدای b تا مرکز مصرفی c؛

Dem_{pc}: تقاضای مرکز مصرف c از داروی p؛

$CapS_{ps}$: ظرفیت عرضه تأمین‌کننده s از داروی p؛

$CapD_p$: ظرفیت انبار مرکزی شرکت پخش از داروی p؛

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Ctr_{ps}: سقف قرارداد شرکت پخش با تأمین‌کننده s داروی p؛

TC: هزینه حمل و نقل هر واحد دارو ـ کیلومتر؛

EC: هزینه ثابت احداث و استقرار انبار پخش؛

a: تعداد شعب احداثی.

- **متغیر تصمیم**

QSD_{ps}: مقدار داروی ارسالی p از تأمین‌کننده s به انبار مرکزی؛

QDB_{pb}: مقدار داروی ارسالی p از انبار مرکزی شرکت پخش به سایت کاندیدای b ؛

QBC: مقدار داروی ارسالی p از سایت کاندیدای b به مرکز تقاضای c؛

E_b: متغیر صفر و یک مربوط به تأسیس شعبه در سایت کاندیدای b.

منابع (References)

1. Jafarnejad, A. and Mahmodi, M., 2015. *Sustainable Supply Chain*, Tehran. Nashre Ketab Mehraban, [In Persian].
2. Ahmadi, A., Mousazadeh, M., Torabi, S.A. and Pishvaee, M.S., 2018. Or applications in pharmaceutical supply chain management. Operations Research Applications In Health Care Management, pp.461-491.
3. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. and Shankar, R., 2008. Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies and case studies. *Tata McGraw-Hill Education*, https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00165.x.
4. Janatyan, N., Zandieh, M., Alem Tabriz, A. and Rabieh, M., 2019. Optimizing sustainable pharmaceutical distribution network model with evolutionary multi-objective algorithms (case study: Darupakhsh company). *Production and Operations Management*, *10*(1), pp.133-153. [In Persian]. https://doi.org/10.22108/JPOM.2019.110116.1123.
5. Rezaeenour, J., Hashempoor, M. and Akbari, A.H., 2020. 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. [In Persian]. https://doi.org/10.22084/IER.2020.19597.1875.
6. Nory, F. and Ghahremani Nahr, J., 2019. 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. [In Persian]. https://doi.org/ 10.22075/JME.2019.13798.1358.
7. Abedini, A., Irani, H.R. and Yazdani, H.R., 2019. Identify and prioritize the critical success factors in pharmaceutical supply chain and distribution using the DEMETEL technique. *Payavard Salamat*, *13*(1), pp.45-59. [In Persian].
8. Jouyban, F., Yousefi, M. and Neyshaboori, E., 2018. Presenting a bi objective stochastic pharmaceutical supply chain model considering time and cost. *Journal of industrial Management*, *13*(44), pp.15-28. [In Persian].
9. Fakhrzad, M.B. and Ghasemi, E., 2019. 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. [In Persian]. https://doi.org/10.24200/J65.2019.7024.1681.
10. Atabaki, M. and Mohammadi, M., 2018. 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*(1.1), pp.95-111. [In Persian]. https://doi.org/10.24200/J65.2018.5547.
11. Razaei, S.R., Hejazi, S.R. and Rasti Barzoki, M., 2018. An ant colony optimization for an integrated production and distribution scheduling model in supply chains: Minimizing toral weighted tardiness and delivery cost. *Journal of Production and Operations Management*, *8*, pp.61-82. [In Persian].
12. Musazadeh, A. and Sahraeian, R., 2017. Modeling and design of bi-objective drug supply chain network. *10th International Conference of Iran Operations Research Association Babolsar Iran*, [In Persian].
13. Jabbedari, M.M., Karami, J. and Sarkargar Ardekani, A., 2016. The location analysis of the local pharmacies by the multi criteria decision-making AHP-Fuzzy method (case study IRAN-SHIRAZ). *Journal of Fasa University of Medical Sciences*, *6*(1), pp.19-26. [In Persian].
14. Kalantari, M. and Pishvaee, M.S., 2016. A robust possibilistic programming approach to drug supply chain master planning. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, *4*(7), pp.49-67. [In Persian]. https://doi.org/10.22084/IER.2016.1568.
15. Umbarkar, A.J. and Sheth, P.D., 2015. Crossover operators in genetic algorithms: A review. *ICTACT Journal on Soft Computing*, *06*(01), pp.1083-1092. https://doi.org/10.21917/ijsc.2015.0150.
16. Rasti Barzoki, M. and Raeisi, S., 2016. Comparison of the effect of various types of genetic algorithm operators on the total amount of tardiness in low shop problem. *Engineering Management and Soft Computing*, *2*(2), pp.49-65. [In Persian]. https://doi.org/10.22091/JEMSC.2017.877.
17. Liu, C., 2014. Multi- robot task allocation for inspection problems with cooperative tasks using hybrid genetic algorithms. *Kassel University press GmbH*, *4*.
18. Deb, K., 2001. *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. (1st ed). John Wiley & Sons.
19. Gen, M. and Cheng, R., 1996. *Genetic Algorithms and Manufacturing Systems Design*. John Wiley & Sons, Inc.
20. Babaveisi, V., Paydar, M.M. and Safaei, A.S., 2018. Optimizing a multi-product closed-loop supply chain using NSGA-II, MOSA, and MOPSO meta-heuristic algorithms. *Journal of Industrial Engineering International*, *14*(2), pp.305-326. https://doi.org/10.1007/s40092-017-0217-7.
21. Han, J., Kamber, M. and Pei, J., 2012. *Data Mining: Concepts and Techniques*, third edition (3rded.). Morgan Kaufmann Publishers.

Archive of SID.ir