

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

زهرا خوجه (دانش آموخته کارشناسی)

طوبی درویش‌محمدی (دانش آموخته کارشناسی)

محمد مهاجر تبریزی * (استادیار)

گروه «مهندسی صنایع، دانشکده فنی هندسی گرگان، دانشگاه گلستان

مهمنگی صنایع و مدیریت شرتف، (زمینه ۱۴۰۲) دوری ۱۳۳، شماره ۳، صص. ۱۳۱-۱۳۸، (پژوهشی)

در این پژوهش، مدل ریاضی عدد صحیح آمیخته‌ای با هدف تعیین مکان قرارگیری انبارهای شعب پخش دارو و با در نظر گرفتن الزامات قانونی توزیع دارو، توسعه داده شده است. در این مدل، علاوه بر ساختار شبکه توزیع الگوی توزیع بهینه داروهای تحت قرارداد، در سطح شبکه کشور نیز تعیین شده است. با توجه به پیچیدگی و ابعاد بالایی مدل در شرایط واقعی، یک رویکرد تکیه‌بی مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری ذهنیک پیشنهاد شده است. به منظور اعتبارسنجی مدل، مطالعه موردی با استفاده از داده‌های یک شرکت پخش دارو موردن توجه قرار گرفته است. نتایج نشان‌دهنده کاهش قابل توجه مجموع هزینه‌های احداث و توزیع دارو است. به طور 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 کوئنی مورد بررسی قرار گرفته است.

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

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

۱. مقدمه

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.

زنگیره‌تأمین 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 زنگیره می‌باشد در نظر گرفت.^[۱] 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 آین 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

زنگیره 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. زنگیره تأمین دارو، ارتباط بین تأمین‌کنندگان مواد اولیه را با توزیع کنندگان دارو و سپس مشتری نهایی آن برقرار می‌کند.^[۱] تصمیمات در زنگیره تأمین شامل سه سطح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی است. تصمیمات استراتژیک اثر بلندمدت دارند (حداقل پنج سال) و تعیین‌کننده تصمیم‌ها در سطح 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. به عنوان مثال، مکان‌یابی شعب شرکت پخش یک تصمیم تاکتیکی و مسیربندی سفارشات تعیین پوشش جغرافیایی هر شعبه یک تصمیم تاکتیکی و مسیربندی سفارشات یک روز تصمیمی در سطح عملیاتی اس به عنوان مثال، موقعیت‌یابی شعب شرکت پخش یک تصمیم استراتژیک است، تعیین پوشش جغرافیایی هر شعبه شرکت پخش یک تصمیم استراتژیک است، تعیین پوشش جغرافیایی هر شعبه

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۲۸/۱/۱۴۰۱، اصلاحیه ۷/۱۴۰۱، پذیرش ۲۶/۷/۱۴۰۱.

استناد به این مقاله:

خوجه، زهرا، درویش محمدی، طوبی و مهاجر تبریزی، محمد، ۱۴۰۲. مکان‌یابی تسهیلات و طراحی الگوی بهینه توزیع با در نظر گرفتن الزامات قانونی شرکت‌های پخش دارویی. دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۱۴۰۲/۶/۱۷، صص. ۱۴۲-۱۵۵. DOI:10.24200/J65.2022.60485.2306.

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 گذیرد.

۲. پیشنهای پژوهش

جستیان و همکاران، در پژوهشی به طراحی مدلی نوبن برای شبکه توزیع دارو پرداختند. نوآوری این پژوهش توجه به نابع هدف اجتماعی مدل است به نحوی که انبارهای محلی در مناطق با درصد بیکاری بیشتر تأسیس شود.^[۱]

رضایی نورو و همکاران، مدل برنامه‌ریزی چند هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی چند دوره‌ای دارو بالحظ فرض فاسدشدنی بودن را توسعه دادند که در آن به تصمیم‌گیری یکپارچه مسائل مکان‌یابی مرکز تولید و توزیع دارو و تخصیص بهینه آنها به منظور حمل و نقل مناسب دارو در بین سطوح و با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است.^[۵]

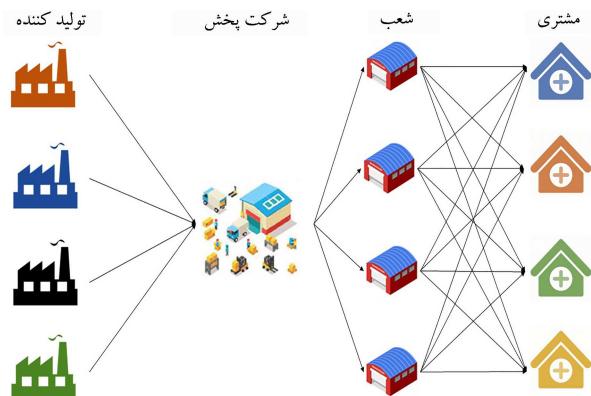
نوری و قهرمانی، یک شبکه زنجیره تأمین دارو پنج سطحی تحت عدم قطعیت را مدل سازی کردند. اهداف این مدل عبارتند از کمینه سازی هزینه‌های کل شبکه زنجیره تأمین، کمینه کردن حداکثر تقاضای برآورده نشده و بیشینه سازی قابلیت اطمینان در تحويل به موقع داروها با در نظر گرفتن زمان فسادپذیری دارو، تخفیف کلی در خرید مواد اولیه و مسیر یابی بهینه و سایل نقلیه.^[۶]

عبدالینی و همکاران، به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل حیاتی موفقیت در زنجیره تأمین و توزیع صنعت دارو در کشور در دو فاز کتابخانه‌ای و پیمایشی پرداختند.^[۷]

جویان و همکاران، مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته را برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو توسعه داده‌اند. این مدل کمک می‌کند تا تصمیمات استراتژیک متعددی درباره زنجیره از قبیل تأسیس مرکز تولید، توزیع اصلی و محلی دارو همراه با جریان بهینه مواد در طول یک افق برنامه‌ریزی میان مدت به عنوان 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. نویسنده‌گان با هدف کمینه سازی هزینه‌ها، مدل مسئله را با استفاده از الگوریتم فراابتکاری حل کرده و در نهایت برای اعضا رسانی مدل از تعدادی مثال عددی تولید شده استفاده نمودند.^[۹]

atabکی و محمدی، با استفاده از سیاست جریمه و پاداش، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی را برای تعیین سطح بازیابی و مکان مرکز جمع‌آوری و بازطراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته و با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی را توسعه دادند.^[۱۰] رضائی و همکاران، یک مسئله مثال عددی تولید و توزیع تک مشتری برای سیستم تولیدی را در یک زنجیره تأمین بررسی کردند. هدف مسئله تعیین توالی، پردازش کارها و تعیین دسته‌بندی برای ارسال با در نظر گرفتن مجموع وزنی تاخیر کارها است.^[۱۱] موسی‌زاده و صحراییان، یک مدل برنامه‌ریزی خطی را برای مسئله طراحی زنجیره تأمین دارویی معرفی کردند. در این مدل، تصمیمات راهبردی زنجیره تأمین شامل انتخاب و احداث مرکز تولید و توزیع دارویی، و تصمیمات تاکتیکی در مورد



شکل ۱. شیوه توزیع دارو در سطح کشور.

مربوط به توزیع دارو در کشور که توسط مراجع ذی صلاح تصویب و ابلاغ می‌شود، صورت می‌پذیرد. همچنین، با توجه به بند ۲ تبصره ۲ آینه نامه تأسیس و فعالیت شرکت‌های پخش دارویی، ایجاد شعبه در یک سوم 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 آینه نامه، 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 ریدیابی 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 تأمین‌کنندگان، دارو باید توسط شرکت‌های پخش به داروخانه‌ها و مرکز درمانی برسد. هر شرکت پخش دارای شعبی در سراسر کشور بوده و هر شعبه انبارهایی در نقاط مختلف دارد. بهطور معمول، در پژوهش‌های موجود فرض برای این است که امکان ارسال دارو از هر تأمین‌کننده به هر شعبه پخش و یا به صورت 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 شبکه شهرستان‌ها هدایت و در نهایت در اختیار داروخانه‌ها قرار می‌گیرد. تبادل دارو بین شعب یک پخش یا با شبکه سایر شرکت‌های پخش نیز به جهت اصل ریدیابی دارو امکان‌پذیر نیست.

از تصمیمات راهبردی و با تأثیر بلند مدت بر هر زنجیره تأمین، طراحی شبکه توزیع آن است.^[۲] این تصمیم، در گام اول شامل تعیین میزان والگوی توزیع اقلام در زنجیره در زنجیره است و در مرحله بعدی شامل تعیین میزان والگوی 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 شبکه 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 راه حلی متناسب با آن ارائه شده است. به عبارت دیگر، در این پژوهش به سوالات اساسی زیر پاسخ داده شده است:

- زنجیره تأمین دارویی هر شرکت پخش چگونه می‌بایست طراحی شود به نحوی که الزامات قانونی موجود اعم از تأسیس حداقل تعداد مشخص شبکه برای هر

جدول ۱. مقایسه مقالات مورد بررسی با پژوهش حاضر.

هزینه		عدم قطعیت تقاضا	ابعاد و عناصر زنجیره‌تأمین	تعداد دارو	لحاظ فواصل واقعی نقاط	الزامات قانونی				مطالعه موردي	ظرفیت شرکت پخش	ظرفیت تأمین-کننده	مقاله
توزيع	احداث					وجود لیست تامین-کنندگان برای هر قلم دارو	قرارداد شرکت پخش با تامین-کننده	ارسال توزیع لایه بندی شده استان‌ها	رعایت پوشش ۱/۳				
✓	✗	قطعی	مرکز توزیع اصلی (۱) مرکز توزیع فرعی (۲۰) مشتری (۲۰)	۱ دارو	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	جنتیان و همکاران (۱۳۹۸)
✓	✓	احتمالی	(۲۶) تامین-کننده (۱۷) تولید-کننده (۲۹) توزیع-کننده خرد فروش (۴۰)	چند دارو	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	رضایی نور و همکاران (۱۳۹۸)
✓	✗	احتمالی	(۳) تامین-کننده (۳) تولید-کننده (۳) توزیع-کننده (۳) خرد فروش (۳) مشتری (۵)	۲ دارو	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	نوری و قهرمانی نهر (۱۳۹۸)
✓	✓	قطعی	(۸) سایت تولید مرکز توزیع اصلی (۸) مرکز توزیع محلی (۳۱) مشتریان (۳۱)	۱ دارو	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	جویان و همکاران (۱۳۹۷)
✓	✓	احتمالی	(۲۰) سایت کاندیدا (۱۶) مرکز محلی (۱۵) مرکز منطقه‌ای (۱۳) بیمارستان	۶ محصول	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	فرخزاد و قاسمی (۱۳۹۸)
✓	✗	فازی	(۴۰) تولید-کننده (۲۵۰) مشتری مرکز جمع آوری (۳۰) مرکز قابل تأسیس (۱۵)	۱ دارو	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	اتابکی و محمدی (۱۳۹۷)
✓	✗	قطعی	(۲) تامین-کننده (۱) تولید-کننده (۲) مرکز توزیع	۱ دارو	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	کلانتری و پیشوایی (۱۳۹۵)
✓	✓	قطعی	(۴۹) تامین-کننده (۱) اتبار مرکزی (۲۰) شبکه استانی نقاط تقاضا (۴۲۹)	۷۶۵ دارو	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	پژوهش حاضر

تأمین-کننده، یک تولید-کننده و چند مرکز توزیع را در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح امکانی چند هدف شامل کاهش هزینه‌های لجستیک و افزایش سطح رضایت از انتخاب تأمین-کنندگان، توسعه دادند.^[۱۲] 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 موردي با داده‌های واقعی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در نهایت، در چند

چگونگی جریان مواد در شبکه، با هدف کمینه‌سازی هزینه کل و کمینه‌سازی بیشینه تقاضای پوشش داده نشده، اتخاذ می‌شوند.^[۱۲] در شهر شیراز، مکان‌یابی بهینه داروخانه‌ها را با هدف توزیع مناسب داروخانه‌ها در شرکت رسانی قرار دادند. در این پژوهش، با روش AHP فازی، مکان بهینه تأسیس داروخانه‌های جدید مورد توجه واقع شده است.^[۱۲] کلانتری و پیشوایی، مدل برنامه‌ریزی اصلی برای زنجیره‌تأمین دارو شامل چند

$$+ \sum_{p \in P} \sum_{b \in B} \sum_{c \in C} LBC_{lc} * QBC_{pbc}) * TC \\ + \sum_{b \in B} E_b * EC \quad (1)$$

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 انبار مرکزی شرکت پخش به علاوه انبار مرکزی 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

$$\sum_{s \in S} QSD_{ps} = \sum_{b \in B} QDB_{pb} \quad \forall p \in P \quad (2)$$

$$QDB_{pb} = \sum_{c \in C} QBC_{pbc} \quad \forall p \in P, b \in B \quad (3)$$

$$\sum_{b \in B} QBC_{pbc} = Dem_{pc} \quad \forall p \in P, c \in C \quad (4)$$

$$QSD_{ps} \leq CapS_{ps} \quad \forall p \in P, s \in S \quad (5)$$

$$QSD_{ps} \leq Ctr_{ps} \quad \forall p \in P, s \in S \quad (6)$$

$$\sum_{b \in B} QDB_{pb} \leq CapD_p \quad \forall p \in P \quad (7)$$

$$QDB_{pb} \leq CapD_p * E_B \quad \forall p \in P, b \in B \quad (8)$$

$$\sum_{b \in B} E_b = a \quad \forall b \in B \quad (9)$$

$$\forall p, s, b, c \quad QSD_{ps}, QDB_{pb}, QBC_{pbc} \geq 0 \quad (10)$$

$$E_b \in \{0, 1\}$$

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. وقت شود که در اینجا دوسته 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 احتمالی به مشتریان است (تعادل میان شعب و مشتریان). رابطه ۴ مربوط به برآورده کردن نقاط 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 فلوردها از تأمین‌کنندگان دارای قرارداد است و تضمین می‌کند داروی هر شرکت پخش فقط توسط تأمین‌کنندگان 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 ایجاد می‌کند که ۱۰ شهر به عنوان نقاط کاندیدا از میان شهرهای مختلف انتخاب گردد. این محدودیت در حقیقت مبتنی بر

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

۳. بیان مسئله و ارائه مدل ریاضی

زنジره تأمین چهار سطوحی شامل تأمین‌کنندگان دارای قرارداد با یک شرکت پخش، شعبه مرکزی شرکت، شعب استانی آن شرکت و نقاط تقاضا (مراکز عمده جمعیتی) را در نظر گیرید. 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 می‌باشند 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 زنجیره تأمین شامل هزینه احداث مراکز توزیع و هزینه پخش اقلام دارویی در سطح حداقل شود.

یکی از تایرات 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 آینه‌نامه 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 آینه‌نامه (ایجاد شعبه در یک‌سوم استان‌های کشور):

۲. ماده ۱۵ آینه‌نامه (توزیع دارو در کشور فقط از طریق شرکت‌های پخش سراسری در شبکه تعریف شده):

۳. ماده ۱۶ بند ۳ آینه‌نامه (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 آینه‌نامه، 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 به صورت قطعی مشخص بوده و تابعی از جمعیت نواحی است:

• مراکز مصرف ثابت و از پیش مشخص است:

• حمل و نقل مبتنی بر حمل زمینی است:

• در هیچ سطحی کمیود مجاز نیست.

۲.۳. تابع هدف

$$\min z : (\sum_{p \in P} \sum_{s \in S} LSD_s * QSD_{ps} \\ + \sum_{p \in P} \sum_{b \in B} LDB_b * QDB_{pb}$$

١٤. عملگر تقاطع الگوريتم بيرونی

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. بنابرین، 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 نتیج 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 شود.

در این روش که مخصوص بردارهای صفر و یک است، تعدادی از عناصر دو بردار جایه‌جا می‌شود به قسمی که تعداد یک‌ها حفظ شود. به این صورت دو لیست با نام‌های L^{down} و L^{up} تهیه می‌کنند. این دو لیست شامل شماره عناصری است که در آن تقاضه‌هایی 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 جایه‌جا می‌کنند. به ازای هر جایه‌جایی از روی لیست L^{up} ، یک جایه‌جایی بیزیار باشد از لیست L^{down} انجام شود تا تعداد یک‌ها ثابت بماند.

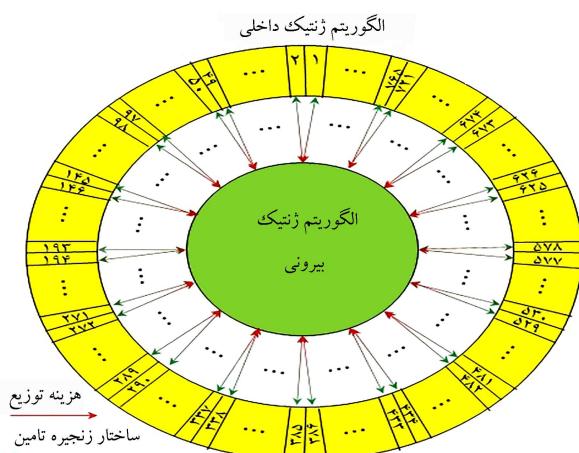
اپراتور حفظ‌کننده، تعداد وظیفه خود را با این فرض انجام می‌دهد که تعداد بیت‌های برابر با یک در هر کروموزوم در جمیعت اولیه یکسان است. تعداد عناصر در L^{up} و در L^{down} یکسان است که نتیجه مستقیم این فرض است.^[۱۵] شکل ۳

$$L^{up} = \{ \varphi \mid \varphi \}$$

$$L^{down} = \{ \texttt{w_10} \}$$

$L_{length} = 5$

کیزنش تصادفی بیت‌هایی که قرار است چایه‌جا شوند از دو لیست فوق:



شکل ۲. ساختار کلی الگوریتم زنگیک تو در توابرای حل مسئله مکانیابی و توزیع هم زمان.

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

۴. روش حل

مدل به دست آمده، برنامه ریزی عدد صحیح مخلوط مبتنی بر کمینه‌سازی هزینه‌ها است. به دلیل پچیدگی بالای مدل (NP-hard)، از روش فراابتکاری 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 β رتیریت (به جز 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 نیاز از الگوریتم زنتیک بهره گرفته شده است. با این وجود، از انجا که هدف اولیه مسئله طراحی زنجیره‌تامین داروی بهینه برای شرکت پخش دلخواه است، باید در فرآیند بهینه‌سازی ترکیباتی فوق، تعداد حالات زیادی برای مکان استقرار شعب در نظر گرفته شود که خود امری زمان بر است. از طرفی، به ازای هر ساختار استقرار شعب می‌باشد که 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 زنتیک نیز برای کاهش زمان یافتن ساختار توزیع بهینه استفاده شد. بدین ترتیب می‌توان گفت که در راه حل این مسئله از یک الگوریتم زنتیک تودرتو بهره گرفته شده است. در شکل ۲ مراحل حل مسئله که مشتمل از دو مرحله است، نشان داده شده است. هر دو مرحله نیز مبتنی بر الگوریتم زنتیک است. ابتدا الگوریتم زنتیک بیرونی، محل استقرار شعب را تعیین می‌کند و آن را به عنوان ورودی به الگوریتم زنتیک داخلی ارسال می‌کند. الگوریتم زنتیک داخلی هزینه توزیع بهینه را با حل β زیرمسئله تعیین و به عنوان 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 تاکرار مشخصی ادامه پیدا کرده تا مجموع هزینه تأسیس و توزیع را کاهش دهد. رابطه ۹ از نوع محدودیت ساخت 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

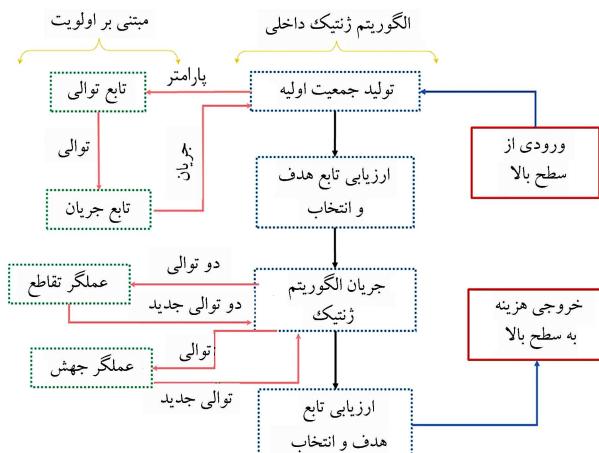
$$\sum_{b=1}^B E_b = a$$

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

$\widehat{E}_b \in [\circ, \backslash] \rightarrow random$

$$(\sum^B \widetilde{E_b} = \mathbb{1}) * a \rightarrow \sum^B a\widetilde{E_b} = a$$

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



شكل ٥. فلوچارت الگوريتم زنديك داخلي (سطح ٢).

با الگوریتم‌های فرالبتکاری 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 محدودیت‌های 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 چشم پوشی نیست. به همین دلیل، از روش رمزنگاری مبتنی بر اولویت برای کدنویسی جمعیت‌ها استفاده می‌شود. در شکل ۵ ساختار الگوریتم داخلی بر مبنای الگوریتم زتیک با استفاده از رمزنگاری مبتنی بر اولویت نشان داده شده است. جمعیت اولیه با توجه به مبادی و مقاصد و ساختاریندی کروموزوم تشکیل شده است. در ادامه، الگوریتم با استفاده از دو عملگر تقطیع و جهش با تغییر در ساختار کروموزوم و تشکیل کروموزوم جدید سعی در بهبود مسئله دارد. سه راه متدائل برای رمزنگاری عبارتند از:

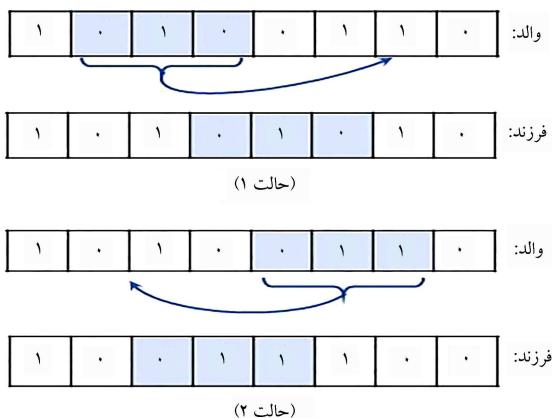
۱. رمزنگاری مبتنی بر کمان:
 ۲. رمزنگاری مبتنی بر گره:

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

باباویسی و همکاران، از ساختار کروموزوم‌ها به روش رمنگاری مبتنی بر کمان و گره برای بهینه‌سازی مسئله زنجیره‌تأمين حلقه بسته چند محصولی استفاده کردند. براساس این روش، اگر تعداد مبدأها $|S|$ و تعداد مقاصدها $|D|$ تعریف شوند، بعد ماتریس پیشنهادی برای الگوریتم ژنتیک برای با $|D|$ و طول کروموزم $|S| + |D|$ می‌شود. هر کروموزوم تعدادی ژن دارد. مقداری هر ژن عددی تصادفی بین ۱ تا $|S| + |D|$ خواهد بود. در داخل یک ژن، یک عدد به صورت تصادفی ذخیره شده است که این عدد نمایانگ اولویت آن سلول در ردیف مربوطه است.^[۶] شکل ۶، نمایشی است از نحوه توزیع کالا بین مبادی و مقاصد که برای انتخاب هر مبدأ و مقصد، ژنی که بیشترین اولویت را دارد انتخاب می‌شود. براساس مبدأ 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 هر گره، عدد اولویت آن برای عدد صفر می‌شود. این روند تا جایی ادامه می‌یابد تا اولویت تمامی ژن‌های کروموزم صفر شوند.

	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١
بوالد اول	١	.	.	١	.	١	١	.	.	.	١
بوالد دوم	١	.	١	.	.	.	١	.	.	١	١
فرزند اول	١	.	١	.	.	١	١	.	.	.	١
فرزند دوم	١	.	.	١	.	.	١	.	.	١	١

شكل ٣. عملگر تقاطع الگوريتم بيروني.



شكل ٤. عملگر جهش الگوریتم بیرونی.

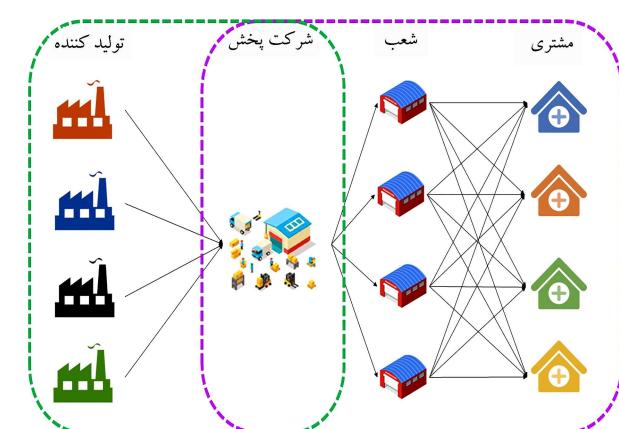
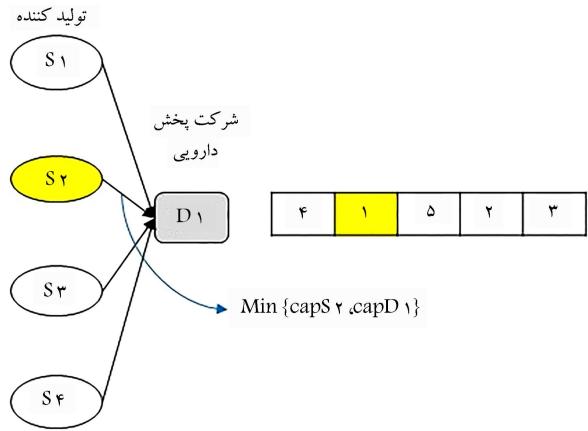
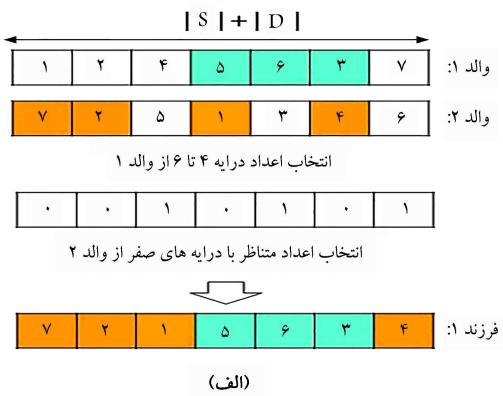
for $j = 1$ to L_length

if rand $\prec \circ / \emptyset$

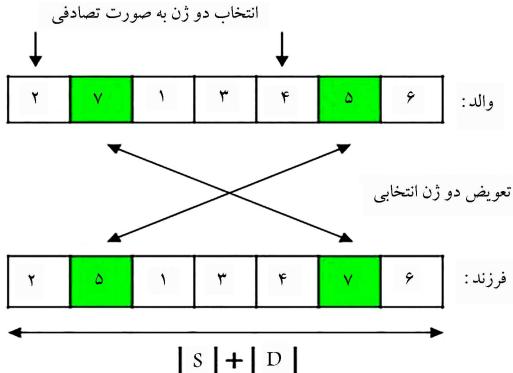
فرض می شود به ازای اولین عضو، عدد تصادفی تولید شده کمتر از ۵٪ باشد. حال، باید عناصر چهارم (اولین عضو از لیست L^{up}) دو فرزند جابه جا شوند. همچنین، عناصر سوم (اولین عضو از لیست L^{down}) آن دو و این کار به تعداد اعضا در لیست فوق که برابر با L_length است، تکرار می شود.

۲۰۴ . 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 ورویدی در این تحقیق یک بردار صفر و یک است. بنابراین، در حقیقت تعداد عناصر یک بردار ورویدی ثابت می‌ماند. هر جهشی که انتخاب شود، می‌تواند به تعداد m بار تکرار شود. شکل ۴ عملگر جهش الگوریتم بیرونی در این نوع جهش به طور تصادفی یک زیرشته 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 زیربردار) به بعد از عنصر دیگر منتقل می‌شود. همانند روش انتقال و درج دو حالت پیش می‌آید.^[۱۷]



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 زنجیره تأمین 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، علاوه بر این هر سه لایه انبار مرکزی، شعب و مشتریان است.



همین صورت و با جایه‌جایی والدها صورت می‌گیرد. هدف از اینکار جلوگیری از ایجاد اعداد تکراری به عنوان 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

۱.۰. شرکت پخش الیت دارو

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 کروموزوم جلوگیری گردد. مطابق شکل ۸، ابتدا دو عدد به صورت 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، می‌باشد. 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

مسائل واقعی، تأثیر اندکی بر پاسخ بهینه (در حد یک درصد) دارد.^[۱۲] همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، هر یک از زیر مسائل بسته‌ترین آمده در مدل، خود به تهایی 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 تامین 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 خوشبندی استفاده شده است تا زمان حل زیر مسائل (که در این مورد ۷۶۵ زیر مسئله وجود دارد) کاهش یابد. همچنین، برای خوشبندی نقاط تقاضا، از الگوریتم p -میانه استفاده شده است. در این الگوریتم، مراکز تعیین شده از میان خود مجموعه نقاط اصلی و رویدی الگوریتم است.^[۱۳] نکته دیگر در رابطه با الگوریتم‌های خوشبندی، انتخاب نوع روش اندازه‌گیری فاصله برای محاسبه عدم شباهت داده‌هاست که در ادامه ضمن معرفی معیاری برای ارزیابی کیفیت خوشبندی، نوع فاصله مناسب برای داده‌ها مورد کنکاش قرار گرفته است.

۱۲.۵. معیار نیم‌رخ

برای تعیین بهترین نوع فاصله مورد استفاده در الگوریتم خوشبندی، از معیار نیم‌رخ که روشی برای ارزیابی کیفیت خوشبندی داده‌ها است، استفاده شده است. این معیار، ساختاری ترکیبی از انسجام داخلی خوشبندی و تفکیک پذیری بین خوشبندی است. برای محاسبه این معیار به ازای هر داده، میزان فاصله آن با نقاط خوشبندی (رابطه ۱۱) را با (i) و میانگین فاصله با نقاط سایر خوشبندی (رابطه ۱۲) را با (i) نشان می‌دهند:

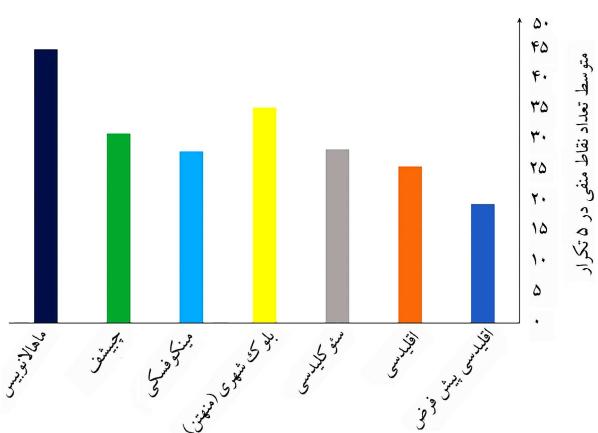
$$a(i) = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} d(x_i, x_k) \quad (11)$$

$$b(i) = \min \frac{1}{n_j} \sum_{x_j \in \text{other clusters}} (d(x_i, x_j)) \quad (12)$$

در نهایت، معیار نیم‌رخ به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(b(i), a(i))} \quad (13)$$

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



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

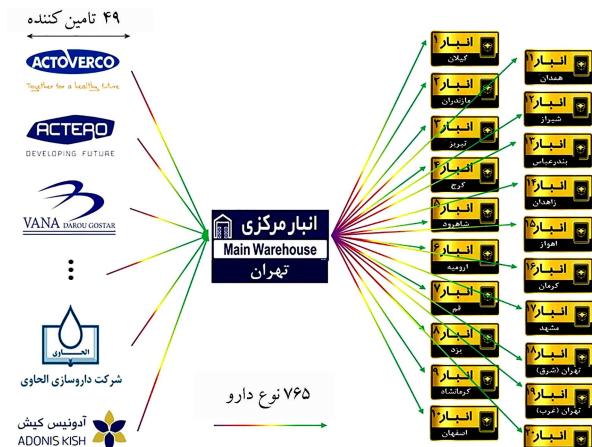
مطالعه موردي در این پژوهش، شرکت پخش سراسری دارویی الیت دارو است. شرکت الیت دارو، محصولات و مکمل‌های دارویی شرکت‌های تولیدی و وارداتی را توزیع می‌نماید. براساس اطلاعات ارائه شده شرکت، چشم‌انداز شرکت، اولین انتخاب در صنعت دارویی است و با ۶۰۴ پرسنل مشغول به فعالیت تا دستیابی به اهداف تعیین شده است بر همین اساس، با توجه به هدف پیش رو نحوه توزیع و نواحی تحت پوشش از اهمیت خاصی برخودار 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 ۲۰ مرکز توزیع و یک انبار مرکزی در کشور بوده و براساس آمارنامه دارویی، در رتبه پنجم 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 تامین‌کننده 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، بدست 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 تقریباً 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 شبکه و انبار مرکزی الیت دارو نظری تعداد و محل قرارگیری شعب نیز از تاریخی شرکت بدست آمده‌اند. شکل ۱۰ اطلاعات شعب فعلی و تأمین‌کنندگان داروهای توزیعی شرکت را نشان می‌دهد.

۲.۵. خوشبندی

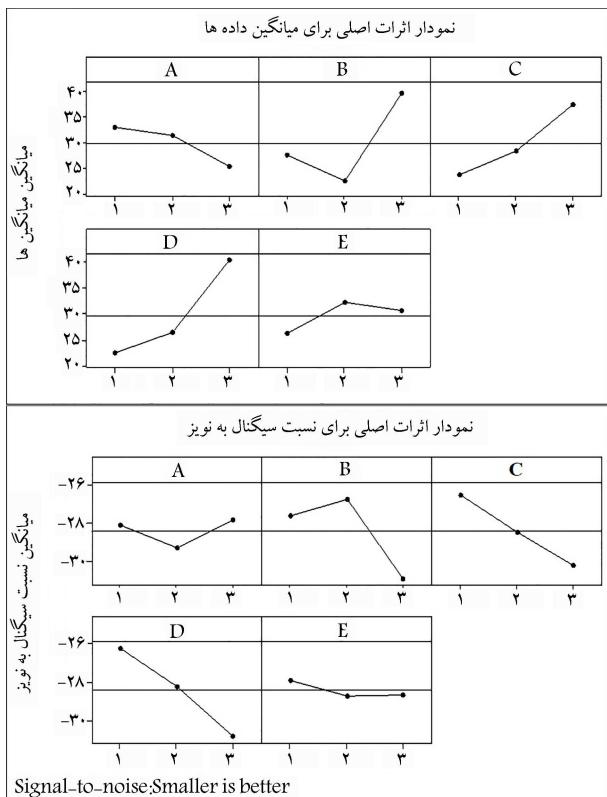
در تحقیقات نشان داده شده است که ادغام داده‌ها نظری نقاط تقاضا برای حل



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

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

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



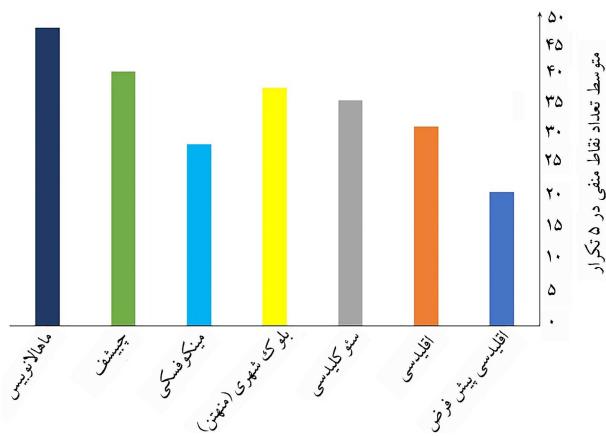
شکل ۱۴. نتایج تنظیم پارامترها به روش تاگوچی با نرم افزار مینی تب ۱۶.

٣.٥. تنظیم یارامتر

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

به منظور تعیین کارترین سطوح هر پارامتر به روش ناگوچی، با استفاده از نرم افزار مینی تب ۱۶، تعداد ۲۷ آزمایش تعیین و انجام شده است. به منظور اعمال روش ناگوچی، ابتدا شاخص های مورد انتخاب با شاخص RPD (راپته ۴) بی مقیاس شده و با استفاده از میانگین وزنی برای هر شاخص در نظر گرفته می شود. 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.

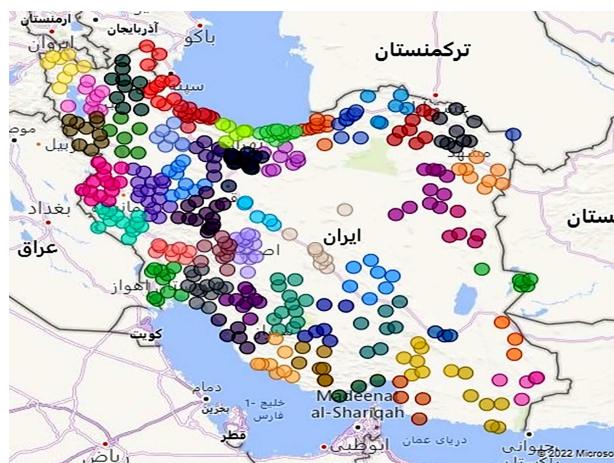
$$RPD = \frac{\text{بهترین جواب} - \text{جواب}}{\text{بهترین جواب}} \times 100 \quad (14)$$



شکل ۱۲. مقایسه پارامتر فاصله برای خوش بندی با 5° مرکز با معیار نیم رخ.

جدول ۲. تحلیل واریانس بر مبنای فاکتور نیم رخ برای تعداد خوش‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰.

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



شکل ۱۳. خوشبندی داده‌ها با نرم افزار متلب.

فاصله برای هر دو دسته ۴۰ و ۵۰ تایی، بهترین عملکرد، الگوریتم خوشبندی برای پارامتر فاصله نیم رخ است.

از بین تعداد خوشبهای ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰، با توجه به معیار نیمرخ، آزمون آماری ANOVA مورد استفاده قرار گرفت. 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 دسته‌بندی خوشة ۳۰ و علی‌رغم زمان حل بهتر، به دلیل کم بودن دقیقت در خوشبندی، این تعداد دسته از دوراننتخاب حذف می‌شود. بر این اساس، تعداد دسته ۵ تایی با توجه به زمان حل مناسب و کیفیت قابل قبول انتخاب شد.

شکل ۱۳، نتیجه نهایی خوشبندی و مراکز هر دو دسته با الگوریتم p - 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 خوشها هستند. نتیجه، ترتیب تعداد مراکز، مشتبه باز در زنجیره‌های متصمن از ۴۲۹ به ۵۰ مراکز می‌رسد.



شکل ۱۷. مکان شعب در وضع موجود و پیشنهادی.

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

	هزینه	وضع موجود	وضع پیشنهادی	درصد تغییرات
کل	۱۷/۱۶	۱۳/۰	۱۷/۲۳	٪ ۲۳
احداث	۱۰/۳۱	۵/۱۵	۵/۵۰	٪ ۵۰
توزيع	۶/۸۵	۸/۱۴	۸/۱۹	٪ ۱۹



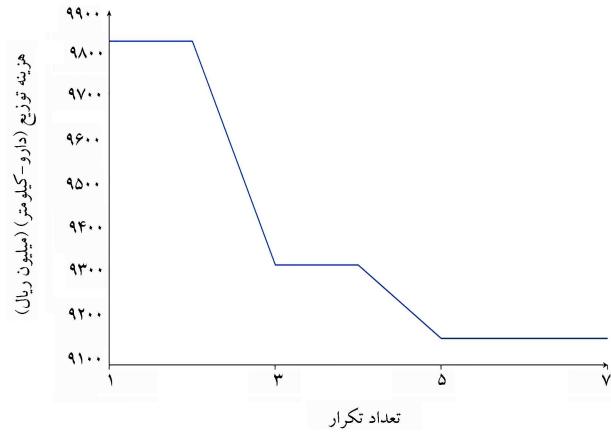
شکل ۱۸. مکان شعب وضع موجود در مقایسه با سناریوی ۱.

نقاط نارنجی رنگ، مراکز فعال در طراحی موجود است و نقاط سبز رنگ، نقاط احتمالی شعب در طراحی پیشنهادی است. جدول ۴ نشانگر هزینه‌ها در وضع موجود و پیشنهادی و درصد تغییرات دو حالت است. به طور کل 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.

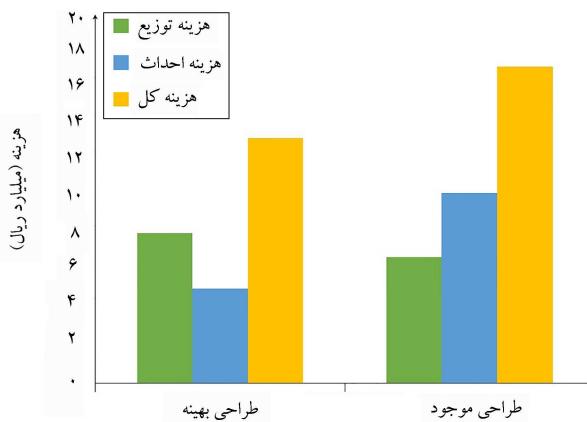
در ادامه، با توجه به طراحی پیشنهادی، به مقایسه وضع توزیع پیشنهادی در سه سناریو مختلف به مختصر تشریح شده است، پرداخته شده است.

۱.۵. سناریو ۱

در این سناریو به مقایسه حالت پیشنهادی که در آن شعب تأسیسی از ۴۲۹ شهر موجود کشور قبل 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.



شکل ۱۵. عملکرد الگوریتم هزینه توزیع.



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

۴.۵. کارایی الگوریتم

الگوریتم ریتیک دوسردهی با کدینگ مبتنی بر اولویت در محیط نرم افزار متلب نسخه R2020b بر روی رایانه دارای پردازنده Core i5 با حافظه ۶ گیگابایتی پیاده‌سازی شد. شکل ۱۵، روند همگرایی الگوریتم را برای تابع هدف هزینه نشان می‌دهد.

۵. نتایج

در ادامه، نتایج نهایی و محل استقرار پیشنهادی 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 پیشنهادی، یک بررسی کلی از هزینه‌های احداث، هزینه‌های توزیع و سرجمع هزینه‌ها صورت گرفته است. برای به دست آوردن هزینه استقرار و توزیع وضع موجود، با توجه به خوشبندی انجام شده، از نرم افزار گمز استفاده شده است. شکل ۱۶ مقایسه ای از هزینه توزیع، هزینه استقرار و هزینه کل در حالت پیشنهادی و وضع موجود نشان داده شده است. واضح است که در وضع موجود، هزینه توزیع کمتر از حالت پیشنهادی است. بیشتر بودن تعداد شعب در وضع کنونی موجب شده تا به ارزای به قیمت افزایش هزینه نباشد، هزینه متغیر کاهش یابد.

شکل ۱۷ مربوط به مقایسه شعب احتمالی در وضع موجود و پیشنهادی 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.

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

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

انتخاب شعب	درصد	شعب موجود
آزاد	۸٪	۸/۱۴



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

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

انتخاب شعب	درصد	مراکز خوش
آزاد	۸٪	۸/۱۴

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

انتخاب شعب	درصد	بدون محدودیت
آزاد	۷٪	۸/۱۴

۲.۰.۵ سناریو ۲

در این بخش به مقایسه طراحی بهینه با حالتی که شعب احتمالی از میان مراکز خوبه‌بندی انتخاب شوند، پرداخته شده است. شکل ۱۹ مکان شعب احتمالی از مراکز خوش 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 خوش باشد را نشان داده است.

۳.۰.۵ سناریو ۳

در این سناریو با حذف محدودیت مساوی (رابطه ۹) و با قرار دادن حداقل سقف احداث شعب، به مقایسه آن با حالت موجود پرداخته شده است. شکل ۲۰ نقاط افال احتمالی 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 خوبه‌بندی 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 نظر گرفته شده است.

۶. تحلیل حساسیت

در تعداد شعب مختلف است. حداقل تغییرات در این جدول، کاهش سه درصدی هزینه و حداقل تغییرات افزایش چهار درصدی است. با در نظر گرفتن تغییرات به طور متوسط، تغییرات کل برابر $76/0$ درصد بوده که با نتایج تحقیقات انجام شده در رابطه با خوشبندی و تأثیر یک درصدی آن بر هزینه‌ها مطابقت دارد.^[۲]

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 خوشبندی برای ادغام مشتریان و کاهش ابعاد مسئله استفاده شد. نتایج به دست آمده برای شرکت پخش الیت دارو حکایت از کاهش 23 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 شبکه پخش کاهش خواهد یافت. تحلیل حساسیت مدل روی تعداد مراکز خوشبندی نشان داد که تغییرات هزینه‌ای برای تعداد خوشبندی مختلف ناچیز است (کمتر از یک درصد). پیشنهاد می‌شود هزینه موجودی نیز در بررسی‌های بعدی مورد توجه قرار گیرد. برای ادامه روند کاری می‌توان یک تابع هدف با عنوان هزینه دسترسی بر مدل اضافه کرد، به نحوی که میزان دسترسی شبکه را به مراکز تقاضا حداقل کند. همچنین، با توجه به سناریو 2 که مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان این سناریو را نیز به عنوان مورد توسعه‌ای جدید با در نظر گرفتن تابع هدف پیشنهادی سازی درصد اشتغال به عنوان یک معیار ارزیابی اجتماعی مدل لحاظ کرد.

نماهای

• مجموعه‌ها

P : مجموعه‌ی داروها $p = 1, \dots, P$

S : مجموعه‌ی تأمین‌کننده‌ها $s = 1, \dots, S$

C : مجموعه نقاط مصرف $c = 1, \dots, C$

B : مکان‌های کاندیدا برای احداث شبکه استانی $b = 1, \dots, B$

• پارامترها

LSD_s : پارامترها فاصله تأمین‌کننده s تا انبار مرکزی 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 ؛

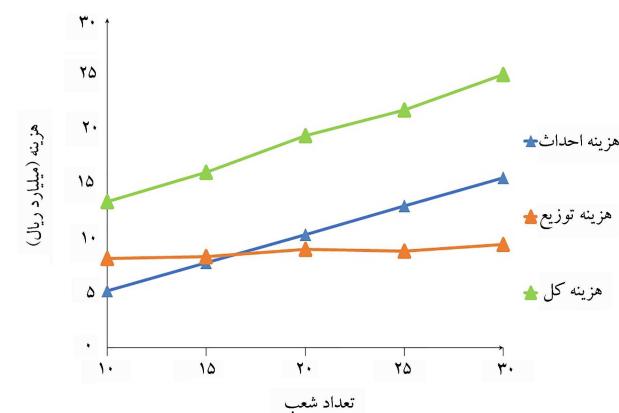
$CapS_{ps}$: ظرفیت عرضه تأمین‌کننده s از داروی p ؛

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

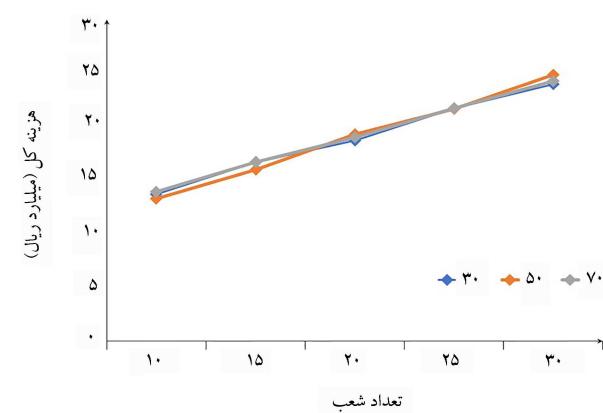
شکل 22 هزینه‌های توزیع، تأسیس و کل برای تعداد شعب مختلف با خوشبندی 50 تایی است. با توجه به روند مقایسه هزینه‌ای بین تعداد شبکه، بهترین تعداد شبکه از منظر هزینه‌ها شبکه کل برای خوشبندی‌های مختلف با در نظر گرفتن

تعداد شبکه مختلف است. با توجه به روند نمودار، تفاوت قبل توجهی بین تعداد خوشبندی با تغییر تعداد شبکه در هزینه‌ها وجود ندارد (بدینهای است که با افزایش تعداد خوشبندی به نقاط توزیع واقعی نزدیکتر می‌شویم). این نمودار مجدد تأییدی بر متفاوتی نبودن هزینه‌ها با تغییر در سطح خوشبندی است.

جدول 9 متوسط تغییرات هزینه به ازای افزایش 5 تایی تعداد مراکز خوشبندی



شکل 22 . مقایسه هزینه‌ها برای تعداد شبکه مختلف.



شکل 23 . مقایسه هزینه کل خوشبندی‌ها برای تعداد شبکه مختلف.

جدول 9 . متوسط تغییرات هزینه تعداد شبکه به ازای تغییرات خوشبندی.

متغیرهای تغییرات به ازای افزایش 50 تا خوشبندی شبکه

۱۰	~٪۴
۱۵	~٪۴
۲۰	~٪۲
۲۵	=٪۰
۳۰	~٪۳

• 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 .

Ctr_{ps} : سقف قرارداد شرکت پخش با تأمین‌کننده s داروی p ؛
 TC : هزینه حمل و نقل هر واحد دارو - کیلومتر؛
 EC : هزینه ثابت احداث و استقرار انبار پخش؛
 a : تعداد شعب احداثی.

منابع (References)

1. Jafarnejad, A. and Mahmodi, M., 2015. *Sustainable Supply Chain*, Tehran. Nashre Ketab Mehraban, [In Persian].
2. Ahmadi, A., Mousazadeh, M., Toraibi, S.A. and Pishvae, 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-pessimistic 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 DEME-TEL 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 total 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 Pishvae, 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.