نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال هفتم، شماره پانزدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۸، صفحه ۱۹۹-۲۱۷

www.ier.basu.ac.ir

ISSN: 2345-2269

DOI: 10.22084/ier.2020.19597.1875

طراحی یک زنجیره‌تأمین چهار سطحی دارو با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی، اجتماعی و رضایت مناطق

جلال رضایی نور[1*]، مطهره هاشم‌پور[2]، امیرحسین اکبری[3]

۱. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

۳. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۸/۴/۲۱

پذیرش ۱۳۹۸/۱۰/۲۴

کلمات کلیدی:

زنجیره‌تأمین دارو

توسعه پایدار

مسئولیت اجتماعی

الگوریتم ژنتیک

نابرابری اجتماعی

خلاصه

در این مقاله یک مدل جدید برنامه‌ریزی چندهدفه برای طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین چهار سطحی دارو در چند دوره و برای چند محصول فاسدشدنی توسعه داده می‌شود. سطوح زنجیره شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع و خرده‌فروشان است. این مدل به تصمیم‌گیری یکپارچه مسائل مکان‌یابی مراکز تولید و مراکز توزیع دارو، تخصیص بهینه آن‌ها به یکدیگر به‌منظور حمل‌ونقل مناسب داروها در بین سطوح، تعیین مقدار بهینه‌ی تولید و حمل‌ونقل در بین تسهیلات و نیز تعداد بهینه‌ی استخدام و اخراج نیروی کار برای تولید بهینه محصولات دارویی کمک می‌کند. همچنین مراکز تولید و توزیع دارای سطح تکنولوژی مختلف جهت تأسیس هستند. اهداف مسئله شامل کاهش هزینه‌های زنجیره همراه با کاهش اختلاف بیکاری و تأمین دارو در بین مناطق مختلف و افزایش رضایت مناطق مختلف با توجه به اهمیت تأمین هرچه بیشتر دارو است. به‌دلیل NP-hard بودن مسئله و عدم کارایی روش‌های دقیق، یک روش فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله معرفی و عملکرد آن در طیف گسترده‌ای از مسائل نمونه‌ای تک‌هدفه و دوهدفه بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد وجود هدف بیشینه کردن رضایت مناطق و کاهش اختلاف آن بین مناطق مختلف اهمیت بالایی در زنجیره‌تأمین دارو دارد. علاوه بر آن، کاهش اختلاف بیکاری بین مناطق مختلف باعث بهبود سطح اشتغال و وجود تعادل در مسئولیت‌های اجتماعی زنجیره می‌شود. همچنین الگوریتم پیشنهادی قادر است مسائلی با سایز بزرگ را هم به‌صورت تک‌هدفه و هم دوهدفه درزمانی کم و جوابی کارا حل کند.

۱- مقدمه

هدف اصلی طراحی یک زنجیره‌تأمین حفظ اثربخشی زنجیره به‌منظور برآورده کردن تقاضای مصرف‌کنندگان و ماندن در بازار رقابتی و درنهایت کسب سود است. بنابراین تمامی فعالیت‌ها باید به‌منظور کاهش هزینه‌ها، رضایت مصرف‌کننده و افزایش سود به بهترین نحو صورت پذیرد [۱, ۲]. درواقع هر زنجیره‌تأمین شامل بخش‌ها و مراحل گوناگونی است که به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم برای دست‌یابی به هدف با یکدیگر در ارتباط هستند [۲]. امروزه زنجیره‌تأمین دارو که یک محصول حیاتی برای بشر است به یک نگرانی جهانی تبدیل‌شده است. محصولاتی که درگذشته در یک مکان تک‌بعدی با مرزهای محدود ساخته می‌شدند در دنیای کنونی در شبکه‌ی پیچیده‌ای از مراکز، شرکت‌ها و امکانات ساخته می‌شوند. این فعالیت‌ها مربوط به یک منطقه خاص نمی‌شوند بلکه در مقیاس گسترده انجام می‌شوند [۳]. تأمین قابل‌اطمینان محصولات دارویی یکی از مهم‌ترین

* نویسنده مسئول: جلال رضایی نور

تلفن: ۰۲۵-۳۲۱۰۳۳۱۰؛ پست الکترونیکی: j.rezaee@qom.ac.ir

مأموریت‌ها در صنعت داروسازی است. بااین‌حال تولید دارو یک فرایند ساده در هیچ زنجیره‌ای نیست [۴].

صنعت دارو با هزینه‌های بالایی مواجه است که این هزینه‌ها متناسب با بهبود کیفیت محصولات دارویی افزایش می‌یابد [۵]. امروزه هزینه‌های صنعت بهداشت و درمان افزایش‌یافته است. به‌عنوان‌مثال هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی در امریکا در سال ۲۰۱۵ برابر با ۳,۲۴ تریلیون بود و در سال ۲۰۱۸ به ۳,۷۸ تریلیون افزایش یافت [۶]. چالش‌های کلیدی در عملیات تولید دارو بر روی شناسایی ارزش بالقوه‌ی داروها و ارزیابی عملکرد آن‌ها بر سلامت افراد، حمایت از تصمیمات برای ظرفیت جدید تسهیلات و برنامه‌ریزی تولید داروها تمرکز دارد [۷]. برآورده کردن انتظارات مصرف‌کننده و افزایش هزینه‌ها در طول زنجیره، زنجیره‌های تأمین را مجبور به یافتن راهی برای بهبود کارایی می‌کند [۸]. با دسترسی به داروهای مهم و ضروری که یکی از پایه‌های اساسی سازنده در سیستم‌های مراقبت بهداشتی است، معیارهای سیاسی باهدف کاهش رشد هزینه‌ها در درجه‌ی اول در صنعت داروسازی موردبحث قرارگرفته است [۹]. باوجود پیشرفت‌های فراوان در روش‌های تولید، نگهداری و توزیع دارو، بسیاری از شرکت‌های داروسازی همچنان در تلاش برای رفع نیاز بازار به‌طور مؤثر هستند [۵] که این موضوع با برآورده سازی تقاضا و کاهش کمبود که درنتیجه آن تأمین دارو و سلامت جامعه است ارتباط زیادی دارد.

توجه به توسعه‌ی پایدار به‌عنوان یک ضرورت مطلق در جهان کنونی شناخته‌شده است [۱۰]. حرکت به‌سوی پایداری نیازمند بازنگری سیستم‌های تولید، توزیع و مصرف محصولات است [۱۱]. توسعه پایدار به معنای توسعه‌ی اقتصادی، اجتماعی و محیطی همراه با اعمال اصول در تمام مراحل و سطوح زنجیره‌تأمین است. وجود پایداری در زنجیره-تأمین به این موضوع اشاره می‌کند که شرکت‌ها علاوه‌بر مسئولیت در قبال عملکرد اقتصادی، مسئول پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی فعالیت‌های زنجیره خود نیز هستند [۱۲]. توسعه پایدار براساس تعادل بین معیارهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به وجود می‌آید، و از دید ارزش‌افزوده، براساس رضایت سهامداران ایجاد می‌شود [۱۳].

باتوجه به ضروریات مطرح شده در حوزه مورد مطالعه وکمبودهای موجود، در این تحقیق یک زنجیره‌تأمین چهار سطحی، چند دوره‌ای و چند محصولی با فسادپذیری محصولات در نظر گرفته شده است. سطوح در نظرگرفته شده شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و خرده‌فروش است. وسایل نقلیه موردنظر در این مسئله در انواع مختلف می‌باشد که در بین سطوح مختلف محصولات را منتقل می‌کنند. اهداف مسئله شامل کاهش هزینه‌ها (هزینه تأسیس مراکز تولید و توزیع، تولید محصولات، حمل‌ونقل بین سطوح مختلف، نگهداری، کمبود، استخدام و اخراج، جریمه اختلاف در بیکاری و میزان مطلوبیت مناطق مختلف) و افزایش میزان مطلوبیت مناطق معرفی‌شده است. تصمیم‌گیری مکان‌یابی مراکز تولید و توزیع در سطوح مختلف تکنولوژی، تخصیص بهینه سطوح مختلف زنجیره به‌منظور حمل‌ونقل بهینه محصولات در این زنجیره به‌صورت یکپارچه انجام می‌شود. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی برای مسئله توسعه داده‌شده است. جهت حل مسئله در ابعاد بزرگ یک رویکرد فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای مسئله معرفی و کارایی آن در طیف گسترده‌ای از مسائل نمونه‌ای موردبررسی قرارگرفته است.

در ادامه و در بخش ۲ به پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه به‌منظور تعیین مسیر پژوهش پرداخته می‌شود. در بخش ۳ به بیان مسئله و مدل‌سازی پرداخته می‌شود. در بخش ۴ روش حل مسئله و در بخش ۵ آزمایشات عددی جهت بررسی کارایی روش حل بیان می‌شود. در نهایت در بخش ۶ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی حاصل از این تحقیق بیان می‌شود.

۲- مرور ادبیات تحقیق

نقش دارو در سیستم‌های سلامت روزبه‌روز در حال افزایش است. زنجیره‌تأمین دارو بخشی از سیستم سلامت است که اگر به‌درستی به آن توجه نشود مفهوم سلامت در آن جامعه با مشکلات فراوانی روبه‌رو می‌شود. طراحی شبکه‌های زنجیره‌تأمین یک تصمیم استراتژیک است که اثر آن برای چندین سال باقی خواهد ماند. از سوی دیگر، ازآنجاکه احداث و تعطیلی تسهیلات بسیار گران‌قیمت و زمان‌بَر است، ایجاد تغییر در تصمیم‌گیری محل تسهیلات با توجه به نوسان پارامترها در زمان کوتاه غیرممکن است [۱۴]. بوجارسکی[1] و همکاران [۱۵] با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی به برنامه‌ریزی و طراحی یک زنجیره‌تأمین پرداختند. تصمیماتی که در این تحقیق در نظر گرفته شد شامل مکان تسهیلات، انتخاب تکنولوژی مناسب تسهیلات و برنامه‌ریزی تولید-توزیع بود. سوادکوهی و همکاران [۶] یک مدل مکان‌یابی-موجودی را برای یک مسئله داروسازی سه سطحی گسترش دادند. تصمیمات در نظر گرفته‌شده برای این تحقیق شامل مکان‌یابی مراکز تولید-توزیع، جریان‌ها در طول شبکه و موجودی محصول بود. هدف مسئله کمینه کردن هزینه‌ها بوده و از یک روش فازی برای حل استفاده شد. برومند و بهشتی‌نیا [۱۶] به تصمیم‌گیری یکپارچه برای حل مشکلات مربوط به حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی تولید یکپارچه در یک زنجیره‌تأمین دوسطحی شامل تأمین‌کننده و تولیدکننده پرداختند. اهداف در نظر گرفته‌شده در این تحقیق شامل به حداقل رساندن دیرکرد تحویل، هزینه‌ها و بیشینه‌سازی کیفیت تولید بود.

سوسا[2] و همکاران [۱۷] به یک مسئله بهینه‌سازی برای ساختار توزیع محصول یک زنجیره‌تأمین دارو از زمان توزیع مواد اولیه تا تحویل محصول نهایی به‌منظور افزایش سود پرداختند و درنهایت مدل با استفاده از دو الگوریتم ابتکاری و لاگرانژ حل شد. سوسارلا و کریمی[3] [۱۸] تدارکات، تولید، توزیع، هزینه نگهداری محصولات، عمر مواد، دفع و عوامل دیگر را در یک مسئله‌ی چند سطحی باهدف

1. Bojarski

2. Sousa
3. Susarla, Karimi

حداکثرسازی سود در نظر گرفتند و مدل را با استفاده از یک روش ابتکاری حل نمودند. بهشتی‌نیا و قاسمی [۱۹] نیز به یکپارچه‌سازی زمان‌بندی وسایل نقلیه در یک زنجیره‌تأمین به‌منظور مسیریابی وسایل نقلیه برای انتقال مواد اولیه از تأمین‌کنندگان مراکز تولیدی پرداختند. سویسال[۱] و کیمن [۲۰] یک مسئله مسیریابی وسایل حمل‌ونقل به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را مطالعه کردند و آن را با یک الگوریتم شبیه‌سازی حل نمودند. طاهری و بهشتی‌نیا [۲۱] به برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و حمل‌ونقل در یک زنجیره‌تأمین دوسطحی پرداختند. هدف مسئله کمینه کردن مجموع تأخیر و زود کرد سفارشات بود. ازجمله محدودیت‌های در نظر گرفته‌شده در این مقاله می‌توان زمان در دسترس بودن تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه را نام برد. برای حفظ کیفیت غذاهای تازه و یا منجمد و همچنین داروها، باید آن‌ها را با دمای مناسب حمل‌ونقل نمود. به همین دلیل استلینگ ورف[۲] و همکاران [۲۲] مسئله مسیریابی وسایل نقلیه را به‌منظورکاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی کردند. بهشتی‌نیا و همکاران [۲۳] به بررسی یک سیستم حمل‌ونقل در برنامه‌ریزی تولید یک زنجیره‌تأمین دوسطحی باهدف کاهش زمان تحویل پرداختند و برای حل مسئله از یک الگوریتم ژنتیک به نام الگوریتم ژنتیک گروه مرجع[۳] استفاده کردند. کاردوسو[۴] و همکاران [۲۴] یک برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح[۵] برای طراحی و برنامه‌ریزی یک زنجیره‌تأمین دارای جریان معکوس با در نظر گرفتن تولید هم‌زمان و توزیع باوجود عدم قطعیت تقاضا در نظر گرفتند. زهیری[۶] و همکاران [۵] یک مدل ریاضی برای طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین دارویی با دو هدف حداقل‌سازی هزینه و بیشینه میزان تقاضای برآورده نشده پیشنهاد کردند. آن‌ها با استفاده از یک رویکرد دقیق عملکرد مدل را بررسی کردند. ساعدی[۷] و همکاران [۲۵] یک مدل تصادفی برای یافتن سیاست بهینه موجودی برای کمینه کردن میزان کمبود دارو باوجود تقاضای نامشخص پیشنهاد کردند و آن را با روش ابتکاری حل کردند.

تیماجچی[۸] [۲۶] در تحقیق خود به بررسی مسئله موجودی برای مواد دارویی خطرناک با فرض قطعی بودن تقاضا پرداخت و مسئله را با الگوریتم ژنتیک حل نمود. سوسا[۹] و همکاران [۲۷] به مسئله برنامه‌ریزی و تخصیص در یک زنجیره‌تأمین پویای دارو در تمامی مراحل زنجیره پرداختند. آن‌ها هزینه‌های تولید و توزیع را به‌منظور افزایش سود زنجیره بررسی کردند و درنهایت مسئله را با استفاده از دو الگوریتم حل نمودند. ساندارامورسی[۱۰] و همکاران [۲۸] یک مسئله بهینه‌سازی را در شرایط عدم قطعیت برای برنامه‌ریزی ظرفیت در زنجیره‌تأمین دارو توسعه دادند. نعمت‌اللهی و همکاران [۲۹] یک زنجیره‌تأمین دوسطحی (شامل توزیع‌کننده دارو و خرده‌فروش) با عدم قطعیت تقاضا را در نظر گرفتند. آن‌ها نشان دادند که چگونه می‌توان یک زنجیره‌تأمین دارو را با در نظر گرفتن سطح خدمات از طریق یک مدل تصمیم‌گیری هماهنگ کرد. جعفرخان و یعقوبی[۳۰] نیز یک مدل ریاضی برای مسئله تولید محصولات فاسدشدنی در یک زنجیره تأمین دوسطحی ارائه‌کردند.

در دنیای امروز زنجیره‌تأمین پایدار باعث ایجاد قدرت رقابتی و بهبود عملکرد زنجیره می‌شود. در این راستا، در زنجیره‌تأمین پایدار، در نظر گرفتن ابعاد مختلف پایداری که شامل حوزه‌های اقتصادی و اجتماعی است باعث تضمین موفقیت پایدار می‌شود. اهمیت عملیات در زنجیره‌تأمین پایدار باعث شد تا راج[۱۱] و همکاران [۳۱] در مطالعه‌ی خود به مسئله هماهنگی یک زنجیره‌تأمین دوسطحی پایدار با در نظر گرفتن مسئولیت اجتماعی بپردازند. تأمین‌کننده در این مقاله مسئول سبز بودن محیط و خریدار مسئول نیازمندی‌های اجتماعی درنظرگرفته شد. پدهی[۱۲] و همکاران [۳۲] پنج پارامتر مهم را در طراحی و توسعه پایدار شناسایی کردند. این پنج پارامتر شامل طراحی و توسعه پایدار، منبع‌یابی استراتژیک، فناوری کارآمد، بازگشت محصول پایدار و بازیافت بودند که با استفاده از یک رویکرد تصمیم‌گیری مورد ارزیابی قرار گرفتند. دهقانیان و منصور[۳۳] یک شبکه بهبود پایدار را توسعه دادند که در آن تأثیرات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی متوازن می‌گردید. آن‌ها یک مدل بهینه‌سازی در یک مسئله برنامه‌ریزی تولید دو هدفه برای بیشینه کردن منافع و مزایا را توسعه داده و آن را با الگوریتم ژنتیک حل کردند. فهیم‌نیا و جبارزاده[۳۴] رابطه پایداری در سطح طراحی زنجیره‌تأمین را بررسی کردند. آن‌ها یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه توسعه داده که در طراحی یک زنجیره‌تأمین پایدار قابل‌استفاده بود.

ازآنجاکه پایداری در عصر حاضر یک نگرانی عمده برای هر زنجیره‌تأمین است، شرکت‌های تولیدی جهانی باید اهداف چندگانه زنجیره‌تأمین خود، ازجمله پایداری را بهینه کنند. بدین منظور بهینگ[۱۳] و همکاران [۳۵] یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه به‌منظور بررسی میزان پایداری در زنجیره‌تأمین ارائه دادند و روشی دقیق برای بهینه‌سازی پایداری پیشنهاد کردند. کایور[۱۴] و همکاران [۳۶] یک مدل تولید یکپارچه و مستقل پیشنهاد کردند که در آن، پایداری و عدم قطعیت برای یک زنجیره‌تأمین انعطاف‌پذیر در نظر گرفته می‌شد. عدم قطعیت در مدل پیشنهادی شامل عدم قطعیت تقاضای بازار، ظرفیت ماشین‌ها، تأمین‌کننده‌ها و ظرفیت‌های وسیله نقلیه در شرایط انتشار کربن بود. هاتچینز و سوئرلند[۱۵] [۳۷] معیارها و چارچوب‌های اثرات

1. Soysal,Kimen
2. Stellingwerf
3. Reference Group Genetic Algorithm
4. Cardoso
5. Mixed integer liner programming (MILP)
6. Zahiri
7. Zahiri
8. Timajchi
9. Sousa
10. Sandaramoorthy
11. Raj
12. Padhi
13. Bhinge
14. Kaur
15. Hutchins, Sutherland

اجتماعی را برای ارزیابی پایداری اجتماعی زنجیره‌های‌تأمین بررسی کردند و سپس رابطه‌ی بین تصمیم‌گیری تجاری و پایداری اجتماعی را موردبررسی قراردادند. مانی[1] و همکاران [۳۸] مقاله خود را با هدف بررسی مسائل اجتماعی مربوط به تأمین‌کنندگان و شناسایی معیارها و ابعاد مرتبط با پایداری اجتماعی گسترش دادند.

میرزاپور و همکاران [۳۹] یک زنجیره‌تأمین چند هدفه سه سطحی(شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش)، چند دوره‌ای و چند محصولی در شرایط عدم قطعیت را در نظر گرفتند. هدف اول آن‌ها به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره و تابع هدف دوم بیشینه کردن میزان رضایت مشتری در مناطق مختلف بود. آن‌ها از روش برنامه‌ریزی خطی[2] برای حل مدل پیشنهادی خود استفاده کردند. غلامیان و همکاران [۴۰] یک مدل برنامه‌ریزی تولید با اهداف کاهش هزینه‌ها، بهبود رضایت مشتری، به حداقل رساندن نرخ نوسانات نیروی کار و حداکثر کردن ارزش کلی خرید برای بررسی تأثیر معیارهای عملکرد کیفی توسعه دادند. آن‌ها از یک روش فازی برای حل مدل پیشنهادی خود استفاده کردند. در تحقیق آن‌ها برنامه‌ریزی ظرفیت نیروی کار در مدیریت منابع انسانی یک جز حیاتی و ضروری برای مدیریت زنجیره‌تأمین به شمار می‌رفت. سانگ[3] و همکاران [۴۱] یک مسئله برنامه‌ریزی انتقال، استخدام یا اخراج کارکنان در بخش‌های مختلف یک سازمان تحت شرایط تقاضای نیروی کار نامشخص را باهدف به حداقل رساندن هزینه‌ها پیشنهاد کردند و آن را با یک روش تقریبی حل نمودند.

امروزه علاوه‌بر توجه به ابعاد هزینه‌ای و استفاده مناسب از منابع، توجه به حوزه سلامت و پایداری به‌صورت متعادل از اهمیت ویژه‌ای در زنجیره‌تأمین برخوردار است. جهت توزیع عادلانه منابع، محصولات و رشد متوازن در حوزه سلامت و مسئولیت‌های اجتماعی، باید علاوه‌بر کاهش هزینه‌ها و افزایش تأمین دارو، معیارهای اجتماعی و سلامت در بین مناطق مختلف جمعیتی به‌صورت متعادل در نظر گرفته شود که این امر در ادبیات تحقیق مغفول مانده است. در این مقاله مدل پایه مقاله سوادکوهی همکاران [۶] در نظر گرفته‌شده و ضمن توسعه آن، علاوه بر درنظر گرفتن مسائل مکان‌یابی مراکز تولید-توزیع، جریان‌ها در طول شبکه و مسائل هزینه‌ای، معیارهای اجتماعی ازجمله سلامت مناطق مختلف، پایداری و مسئولیت اجتماعی نیز موردبررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، مسائلی در ارتباط با نابرابری‌های اجتماعی و سلامت، کاهش آن‌ها و مطلوبیت سلامت که از مسائل مهم در زمینه رنجیره تامین سلامت است به‌صورت یکپارچه موردبررسی قرار گرفته و نتایج آن گزارش شده است. اهداف مسئله شامل کاهش هزینه‌های زنجیره (هزینه ثابت مراکز تولید و توزیع، متغیر تولید محصولات، حمل‌ونقل بین سطوح مختلف، نگهداری، کمبود، استخدام و اخراج، هزینه اختلاف در بیکاری در بین مناطق و هزینه اختلاف میزان مطلوبیت مناطق مختلف) و افزایش میزان مطلوبیت نقاط جمعیتی متفاوت معرفی‌شده است. یک مدل ریاضی عدد صحیح خطی برای مسئله معرفی و جهت حل در ابعاد بزرگ یک روش حل فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک توسعه داده‌شده است. بررسی معیارهای اجتماعی مانند اشتغال و سلامت با تأمین هرچه بیشتر تقاضا همراه با تصمیمات استراتژیک در زنجیره‌تأمین دارو و در نظر گرفتن کاهش نابرابری اجتماعی ازنظر اختلاف بین سطح بیکاری، تأمین تقاضا و مطلوبیت سلامت در بین مناطق مختلف جهت توسعه پایدار از موارد در نظر گرفته‌شده در این تحقیق هستند.

۳- شرح مسئله و فرمول سازی

در این مقاله، یک زنجیره‌تأمین چهار سطحی، چندهدفه، چند محصولی (اقلام فسادپذیر)، چند دوره‌ای و با چند نوع منطقه جمعیتی متفاوت در نظر گرفته‌شده است. سطوح زنجیره شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان است. تکنولوژی‌های مختلفی جهت راه‌اندازی و شروع به کار تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان وجود دارد و هر تکنولوژی دارای هزینه و ظرفیت متفاوت است. هرکدام از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیع دارای ظرفیت عملیاتی محدود می‌باشند. این ظرفیت در سطح تأمین‌کنندگان مرتبط با تأمین مواد خام در نظر گرفته می‌شود. تولیدکنندگان دارای ظرفیتی محدود برای تولید دارو هستند و ظرفیت نگهداری اقلام دارویی در مراکز توزیع نیز محدود می‌باشد. اهداف مسئله شامل به حداقل رساندن هزینه‌های کل زنجیره و افزایش میزان رضایت مناطق مختلف است.

۳-۱- مفروضات مدل

۱. کمبود در مسئله مجاز است.
۲. تقاضای خرده‌فروشان به‌صورت قطعی بوده و در ابتدای هر دوره برنامه‌ریزی مشخص است.
۳. تقاضای خرده‌فروش‌ها به‌وسیله کارخانه‌ها و از طریق انبارها برآورده می‌شود.
۴. ظرفیت تسهیلات حمل‌ونقل متفاوت است.
۵. انتقال کارکنان تنها با اخراج آن‌ها در یک تسهیل و استخدام آن‌ها در تسهیل دیگر امکان‌پذیر است.
۶. استخدام، اخراج و انتقال کارکنان در ابتدای دوره انجام می‌شود.
۷. تمام کارکنان دارای عملکرد یکسان هستند.
۸. محصولات حداکثر تا ۲ دوره می‌توانند نگهداری شوند. درصورتی‌که بیش از این زمان در سیستم نگهداری شوند، فاسد شده و از سیستم حذف می‌گردند.
۹. مجموعه‌ای از خرده‌فروشان یک منطقه را تشکیل می‌دهند.
۱۰. خرابی و توقف در مسئله وجود ندارد.

1. Mani
2. Linear programming
3. Song

۳-۲- اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها

توضیحات	نماد ریاضی
اندیس‌ها	
مجموعه تأمین‌کنندگان	a
مجموعه تولیدکنندگان	i
مجموعه مراکز توزیع	j
مجموعه خرده‌فروش‌ها	$k \in g$
مجموعه مناطق مختلف	g
مجموعه مواد خام	b
مجموعه محصولات	p
مجموعه دوره‌های زمانی	t
مجموعه مناطق نیروی کار	m
مجموعه تکنولوژی کارخانه‌های تولیدی	r
مجموعه تکنولوژی مراکز توزیع	n
مجموعه وسایل نقلیه	l
پارامترها	
هزینه ثابت تأسیس کارخانه i با سطح r	Bu_{ir}
هزینه ثابت تأسیس مرکز توزیع j با سطح n	Cu_{jn}
هزینه حمل‌ونقل مواد اولیه b از تأمین‌کننده a به کارخانه i با وسیله l_1 و $l_1 \in l$	Nu_{aibl_1}
هزینه حمل‌ونقل محصول p از کارخانه i به مرکز توزیع j با وسیله l_2 و $l_2 \in l$	Fu_{ijpl_2}
هزینه حمل‌ونقل محصول p از مرکز توزیع j به خرده‌فروش k با وسیله l_3 و $l_3 \in l$	Gu_{jkpl_3}
هزینه نگهداری محصول p در مرکز توزیع j در دوره زمانی t	h_{jpt}
هزینه کمبود محصول p در خرده‌فروش k در دوره t	So_{kpt}
هزینه اخراج نیروی کار منطقه m از کارخانه i در دوره t	Es_{imt}
هزینه استخدام نیروی کار منطقه m در کارخانه i در دوره t	Ok_{imt}
هزینه تولید محصول p در کارخانه i در دوره t	Wf_{ipt}
جریمه اختلاف بیکاری بین دو منطقه m و m′ در دوره t	$CUe_{mm't}$
جریمه اختلاف میزان رضایت بین دو منطقه جمعیتی k و k′ در دوره t	$CHec_{kk't}$
میزان تقاضای خرده‌فروش k برای محصول p در دوره t	D_{kpt}
یک عدد بزرگ	M
ظرفیت مرکز توزیع j با تکنولوژی n برای محصول p	Cd_{jnp}
ظرفیت تولیدکننده i با تکنولوژی r برای تولید محصول p در دوره t	Cm_{irpt}
ظرفیت وسیله نقلیه l برای محصول p	Ch_{lp}
ظرفیت تأمین‌کننده a برای مواد خام b در دوره t	Ef_{abt}
توان تولیدی هر کارگر در دوره t	Qi_t
بودجه در دسترس برای تأسیس تولیدکننده i	Bg_i
بودجه در دسترس برای تأسیس مرکز توزیع j	Bg_j
کل بودجه در دسترس	$Bg_i + Bg_j = BG$
تعداد کل نیروی کار منطقه m	Fi_m
متغیرها	
۱ اگر تولیدکننده i با سطح r تأسیس شود، در غیر این صورت صفر	X_{ir}
۱ اگر مرکز توزیع j با سطح n تأسیس شود، در غیر این صورت صفر	Y_{jn}
۱ اگر تولیدکننده i برای دریافت مواد اولیه b به تأمین‌کننده a تخصیص داده شود، در غیر این صورت صفر	U_{aib}
۱ اگر مرکز توزیع j برای دریافت محصول p به تولیدکننده i تخصیص داده شود، در غیر این صورت صفر	Z_{ijp}
۱ اگر خرده‌فروش k برای دریافت محصول p به مرکز توزیع j تخصیص داده شود، در غیر این صورت صفر	V_{jkp}
تعداد نیروی کار منطقه m که از تولیدکننده i در دوره t اخراج می‌شوند	ho_{imt}
تعداد نیروی کار منطقه mکه در تولیدکننده i در دوره t استخدام می‌شوند	hc_{imt}
موجودی مرکز توزیع j برای محصول p در دوره t	Ik_{jpt}
کمبود خرده‌فروش kبرای محصول p در دوره t	Ii_{kpt}
میزان مواد اولیه b که از تأمین‌کننده a به تولیدکننده i در دوره t با وسیله حمل‌ونقل l_1 حمل می‌شود	N_{aibtl_1}
میزان محصول p که از تولیدکننده i به مرکز توزیع j در دوره t با وسیله حمل‌ونقل l_2 حمل می‌شود	G_{ijptl_2}
میزان محصول p که از مرکز توزیع j به خرده‌فروش k در دوره t با وسیله حمل‌ونقل l_3 حمل می‌شود	Oi_{jkptl_3}
تعداد محصول p که در تولیدکننده i در دوره t تولید می‌شود	C_{ipt}
تعداد نیروی کار منطقه m که در دوره t مشغول به کار هستند	W_{mt}
میزان رضایت منطقه g در دوره t	Q_{gt}
تعداد نیروی کار موردنیاز تولیدکننده i در دوره t	ht_{it}
اختلاف بیکاری بین دو منطقه m و m′ در دوره t	$UE_{mm't}$
اختلاف میزان رضایت بین دو منطقه جمعیتی k و k′ در دوره t	$HEc_{kk't}$

۳-۳- مدل ریاضی

$$Min\ TC = \sum_i \sum_r Bu_{ir} * X_{ir} + \sum_j \sum_n Cu_{jn} * Y_{jn} + \sum_i \sum_p \sum_t Wf_{ipt} * C_{ipt}$$
$$+ \sum_a \sum_i \sum_b \sum_t \sum_{l_1} Nu_{aib} * N_{aibtl_1}$$
$$+ \sum_i \sum_j \sum_{l_2} \sum_p \sum_t Fu_{ijpl_2} * G_{ijptl_2}$$
$$+ \sum_j \sum_k \sum_p \sum_t \sum_{l_3} Gu_{jkpl_3} * Oi_{jkptl_3}$$
$$+ \sum_j \sum_p \sum_t h_{jpt} * Ik_{jpt} + \sum_k \sum_p \sum_t So_{kpt} * Ii_{kpt} \quad (۱)$$
$$+ \sum_i \sum_m \sum_t Es_{imt} * ho_{imt} + \sum_i \sum_m \sum_t Ok_{imt} * hc_{imt}$$
$$+ \sum_m \sum_{m'} \sum_t CUe_{mm't} * UE_{mm't}$$
$$+ \sum_k \sum_{k'} \sum_t CHec_{kk't} * HEc_{kk't}$$

$$Max\ HS = \sum_{G,t} Q_{Gt} \quad (۲)$$

S.T

$$\sum_r X_{ir} \le 1 \qquad \forall i \quad (۳)$$

$$\sum_i \sum_r X_{ir} * Bu_{ir} \le Bg_i \quad (۴)$$

$$\sum_n Y_{jn} \le 1 \qquad \forall j \quad (۵)$$

$$\sum_j \sum_n Y_{jn} * Cu_{jn} \le Bg_j \quad (۶)$$

$$U_{aib} \le \sum_r X_{ir} \qquad \forall a,i,b \quad (۷)$$

$$V_{jkp} \le \sum_n Y_{jn} \qquad \forall j,k,p \quad (۸)$$

$$Z_{ijp} \le \sum_r X_{ir} + \sum_n Y_{jn} - 1 \qquad \forall i,j,p \quad (۹)$$

$$C_{ipt} \le Mm * \sum_r X_{ir} \qquad \forall i,p,t \quad (۱۰)$$

$$N_{aibtl_1} \le Mm * U_{aib} \qquad \forall a,i,b,t,l_1 \quad (۱۱)$$

$$G_{ijptl_2} \le Mm * Z_{ijp} \qquad \forall i,j,p,t,l_2 \quad (۱۲)$$

$$Oi_{jkptl_3} \le Mm * V_{jkp} \qquad \forall j,k,p,t,l_3 \quad (۱۳)$$

$$\sum_i \sum_{l_1} N_{aibtl_1} \le Ef_{abt} \qquad \forall a,b,t \quad (۱۴)$$

$$\sum_j \sum_{l_2} G_{ijptl_2} \le \sum_r X_{ir} * Cm_{irpt} \qquad \forall i,p,t \quad (۱۵)$$

$$\sum_k \sum_{l_3} Oi_{jkptl_3} \le Cd_{jnp} \qquad \forall j,p,t,n \quad (۱۶)$$

$$\sum_i \sum_{l_2} G_{ijptl_2} + Ik_{jp(t-1)} - \sum_k \sum_{l_3} Oi_{jkptl_3} \le \sum_n Y_{jn} * Cd_{jnp} \qquad \forall j,p,t \qquad (۱۷)$$

$$C_{ipt} \le Cm_{irpt} \qquad \forall i,p,t,r \qquad (۱۸)$$

$$\sum_b N_{aibtl_1} \le \sum_p Ch_{l_1 p} \qquad \forall a,i,t,l_1 \in l_{ai} \qquad (۱۹)$$

$$\sum_p G_{ijptl_2} \le \sum_p Ch_{l_2 p} \qquad \forall i,j,t,l_2 \in l_{ij} \qquad (۲۰)$$

$$\sum_p Oi_{jkptl_3} \le \sum_p Ch_{l_3 p} \qquad \forall j,k,t,l_3 \in l_{jk} \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{l_2} \sum_j G_{ijptl_2} \le C_{ipt} \qquad \forall i,p,t \qquad (۲۲)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_p \sum_{l2} G_{ijptl2} \le \sum_a \sum_i \sum_b \sum_{l1} N_{aibtl1} \qquad \forall t \qquad (۲۳)$$

$$\sum_k \sum_{l3} Oi_{jkptl3} \le \sum_i \sum_{l2} G_{ijptl2} + Ik_{jp(t-1)} \qquad \forall j,p,t \qquad (۲۴)$$

$$\sum_i \sum_{l_2} G_{ijptl_2} - \sum_k \sum_{l_3} Oi_{jkptl_3} + Ik_{jp(t-1)} = Ik_{jpt} \qquad \forall j,p,t \qquad (۲۵)$$

$$\sum_j \sum_{l_2} G_{ijptl_2} \le \sum_a \sum_{l_1} N_{aibtl_1} \qquad \forall t,i,b,p \qquad (۲۶)$$

$$D_{kpt} \le \sum_j \sum_{l_3} Oi_{jkptl3} + Ii_{kpt} \qquad \forall k,p,t \qquad (۲۷)$$

$$W_{mt} \le Fi_m \qquad \forall m,t \qquad (۲۸)$$

$$\sum_i hc_{imt} - \sum_i ho_{imt} + W_{m(t-1)} \le W_{mt} \qquad \forall ,m,t \qquad (۲۹)$$

$$ht_{it} = \frac{\sum_p C_{ipt}}{Qi_t} \qquad \forall i,t \qquad (۳۰)$$

$$ht_{it} \le \sum_m hc_{im(t-1)} + \sum_m hc_{imt} - \sum_m ho_{imt} \qquad \forall i,t \qquad (۳۱)$$

$$Q_{gt} = \sum_{k \in G_g} \sum_p \frac{\sum_j \sum_{l_3} Oi_{jkptl_3}}{D_{kpt}} \qquad \forall G,t \qquad (۳۲)$$

$$\sum_i C_{ipt} + \sum_j Ik_{jp(t-1)} \le \sum_k \sum_{t'=t}^{t+3} D_{kpt'} \qquad \forall p,t \qquad (۳۳)$$

$$UE_{mm't} \ge \left(\frac{Fi_m - W_{mt}}{Fi_m}\right) - \left(\frac{Fi_{m'} - W_{m't}}{Fi_{m'}}\right) \qquad \forall m,m',t \qquad (۳۴)$$

$$UE_{mm't} \ge \left(\frac{Fi_{m'} - W_{m't}}{Fi_{m'}}\right) - \left(\frac{Fi_m - W_{mt}}{Fi_m}\right) \qquad \forall m,m',t \qquad (۳۵)$$

$$HEc_{kk't} \ge Q_{gt} - Q_{g't} \qquad \forall g,g',t \qquad (۳۶)$$

$$HEc_{kk't} \ge Q_{g't} - Q_{gt} \qquad \forall g,g',t \qquad (۳۷)$$

$$X_{ir}, Y_{jn}, U_{aib}, Z_{ijp}, V_{jkp} \in \{0,1\} \qquad (۳۸)$$

$$ho_{imt}, hc_{imt}, Ik_{jpt}, Ii_{kpt}, N_{aibtl_1}, G_{ijptl_2}, Oi_{jkptl_3}, C_{ipt}, W_{mt}, Q_{gt}, ht_{it}, UE_{mm't}, HEc_{kk't} \ge 0 \qquad (۳۹)$$

تابع هدف اول هزینه‌های کل زنجیره (شامل هزینه تأسیس مراکز تولید و توزیع، تولید، حمل‌ونقل بین سطوح مختلف، نگهداری، کمبود، استخدام و اخراج، جریمه اختلاف در بیکاری و میزان رضایت مناطق مختلف) را کمینه می‌کند.

تابع هدف دوم میزان رضایت مناطق مختلف را بیشینه می‌کند.

محدودیت‌های (۳) و (۵) هم‌جنس هستند و نشان می‌دهند که هر کارخانه یا مرکز توزیع حداکثر با یک تکنولوژی احداث می‌گردند. محدودیت‌های (۴) و (۶) هم‌جنس بوده و مرتبط با بودجه می‌باشند. محدودیت‌های (۷) تا (۹) چگونگی تخصیص سطوح مختلف زنجیره به یکدیگر را بیان می‌کند. محدودیت(۱۰) بیان‌کننده تولید محصولات دارویی در صورت تأسیس مراکز تولید است. محدودیت‌های (۱۱) تا (۱۳) نشان می‌دهند که محصولات در صورتی می‌توانند بین سطوح انتقال یابند که سطوح زنجیره به یکدیگر تخصیص داده‌شده باشند. محدودیت‌های (۱۴) تا (۱۸) مرتبط با ظرفیت تأمین‌کننده، تولیدکننده و مراکز توزیع هستند. روابط (۱۹) تا (۲۱) محدودیت‌های ظرفیتی وسایل نقلیه را نشان می‌دهند. محدودیت (۲۲) مبین وابستگی میزان حمل‌ونقل به ظرفیت تولید کارخانه می‌باشد. محدودیت‌های (۲۳) و (۲۴) بیان‌کننده مقدار انتقال محصولات در هر سطح بوده و این اطمینان را می‌دهد محصولاتی که هر سطح دریافت می‌کند کوچک‌تر مساوی با مقدار محصول انتقالی در سطح قبلی است. نامعادله (۲۵) بالانس موجودی در مراکز توزیع را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۶) نشان می‌دهد محصولاتی که از هر تولیدکننده به‌تمامی مراکز توزیع ارسال می‌شود کمتر از مواد اولیه‌ای است که از مجموع تأمین‌کنندگان به هر تولیدکننده ارسال می‌شود. محدودیت (۲۷) نشان می‌دهد که مجموع محصولاتی که خرده‌فروشان دریافت می‌کنند و کمبود از تقاضا بیشتر است. رابطه (۲۸) و (۲۹) بالانس تعداد نیروی مشغول به کار از هر منطقه را بیان می‌کند. محدودیت (۳۰) و (۳۱) در رابطه با نیروی کار موردنیاز برای هر مرکز تولید است. محدودیت (۳۲) در رابطه با میزان رضایت مناطق مختلف است. محدودیت (۳۳) از فاسدشدن محصولات جلوگیری می‌کند. محدودیت (۳۴) و (۳۵) اختلاف بیکاری بین دو منطقه مختلف را بیان می‌کنند. محدودیت‌های (۳۶) و (۳۷) اختلاف رضایت بین مناطق مختلف را نشان می‌دهند. محدودیت (۳۸) و (۳۹) نوع متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

۴- روش حل

با توجه به ماهیت NP-hard بودن طراحی شبکه زنجیره‌تأمین[۴۲]، عدم کارایی روش‌های دقیق جهت حل مسئله در ابعاد بزرگ و افزایش زمان حل به‌صورت نمایی در این ابعاد مسئله، در این بخش یک روش فراابتکاری برای دستیابی به راه‌حلی کارا جهت طراحی شبکه زنجیره-تأمین به‌منظور آزمایش در اندازه‌های بزرگ پیشنهادشده است.

الگوریتم ژنتیک، به‌عنوان یکی از روش‌های تصادفی بهینه‌سازی، توسط جان هالند[1] [۴۳] ابداع شده است. بعدها این روش با تلاش گلدبرگ[2] [۴۴] توسعه‌یافته و امروزه به‌واسطه قابلیت‌هایش، جایگاه مناسبی در میان دیگر روش‌ها دارد. الگوریتم ژنتیک یکی از انواع الگوریتم‌های تکاملی است که از علم زیست‌شناسی مثل وراثت، جهش و ترکیب الهام گرفته‌شده است. در الگوریتم ژنتیک ابتدا به‌صورت تصادفی و یا الگوریتمیک، چندین جواب برای مسئله تولید می‌کنیم این مجموعه جواب را جمعیت اولیه می‌نامیم.

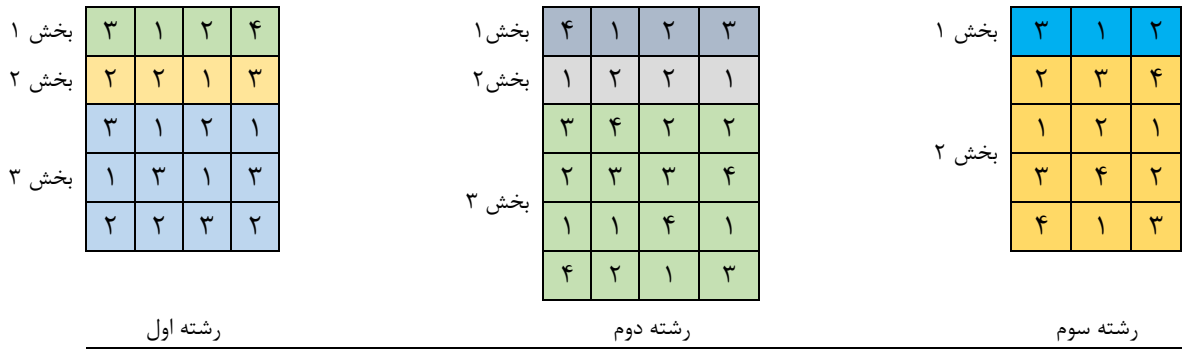
هر جواب را یک کروموزوم می‌نامیم. سپس با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک و پس از انتخاب کروموزوم‌های بهتر، کروموزوم‌ها را باهم ترکیب کرده و جهشی در آن‌ها ایجاد می‌کنیم. درنهایت نیز جمعیت فعلی را با جمعیت جدیدی که از ترکیب و جهش در کروموزوم‌ها حاصل می‌شود، ترکیب می‌کنیم. این فرایند تا زمان برقراری شرایط توقف ادامه می‌یابد.

۴-۱- نحوه تولید جواب اولیه

برای تولید جواب اولیه از یک روش ابتکاری استفاده‌شده است. (تعداد جواب اولیه برابر با ۱۰۰ است). برای تولید جواب اولیه، ابتدا برای هر مرکز تولید که دارای چندین فناوری مختلف جهت تأسیس است، میانگین هزینه و ظرفیت تمام فناوری‌ها را محاسبه می‌کنیم. سپس یک چیدمان صعودی برحسب هزینه تولید هر محصول، از تعداد کل مراکز تولید به دست آورده و در رشته‌ای به نام A به‌صورت زیر ذخیره می‌کنیم. این رشته هزینه میانگین تولید محصولات با هر مرکز تولید را نشان می‌دهد.

1. Holland

2. Goldberg



شکل (۱): نمایش کروموزوم مسئله

$$A_i = (\sum_r Bu_{ir} / R) / (\sum_r \sum_p \sum_t Cm_{irpt} / T * R) \qquad (۳۹)$$

سپس با توجه به مشخص بودن مقدار تقاضا، میانگین تعداد محصولی که در هر دوره باید تولید شود را در نظر می‌گیریم. با توجه به مشخص بودن مقدار تولید، شروع به تأسیس مراکز تولید می‌کنیم. در این حالت برای هر مرکز تولید که باید تأسیس شود، یک فناوری به‌صورت تصادفی انتخاب می‌کنیم. تعداد کل مراکزی که تأسیس می‌شود باید بتواند مقدار موردنیاز در هر دوره را تولید کند. لذا تا زمانی‌که مجموع ظرفیت مراکز تأسیس‌شده، کمتر از مقدار میانگین تقاضا در هر دوره باشد، مراکز را تأسیس می‌کنیم. محدودیت بودجه تأسیس مراکز نیز در این حالت در نظر گرفته می‌شود. این عمل منجر به تولید یک جواب اولیه برای مکان‌یابی و تأسیس مراکز تولید می‌گردد. ۴۹ جواب دیگر با تعویض تصادفی در ماتریس A و انجام رویه فوق حاصل می‌شود.

۵۰ جواب دیگر جهت تأسیس مراکز تولید نیز به‌صورت تصادفی به دست می‌آید. در این حالت رشته‌ای با عنوان B در نظر می‌گیریم که در آن شماره تمام مراکز تولید قرار داده‌شده است. سپس به ترتیب از اولین عدد رشته شروع به تأسیس مراکز می‌کنیم. در این حالت برای هر مرکز، یک فناوری به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود. تعداد مراکز تولیدی در این حالت نیز مانند حالت قبل وابسته به میانگین تقاضا در هر دوره است.

جهت تأسیس مراکز توزیع نیز مانند حالت قبل، برای هر مکان بالقوه، ظرفیت و هزینه میانگین تمام فناوری‌ها را در نظر می‌گیریم و سپس آن‌ها را برحسب هزینه و به‌صورت صعودی چیدمان کرده و در رشته‌ای بانام C به‌صورت زیر ذخیره می‌کنیم. این رشته هزینه میانگین نگهداری محصولات در هر مرکز تولید را نشان می‌دهد.

$$C_j = (\sum_n Cu_{jn} / N) / (\sum_n \sum_p CD_{jnp} / N) \qquad (۴۰)$$

سپس با توجه به میانگین تقاضا در هر دوره، انحراف میانگین از مقدار واقعی مجموع تقاضا در هر دوره را به دست می‌آوریم.

انحراف مثبت در این حالت به معنی آن است که مقدار موردنیاز تولیدی در آن دوره، نمی‌تواند به‌وسیله توان تولیدی پاسخ داده شود، لذا باید در دوره‌های قبل تولید شود که این امر مستلزم نگهداری است.

در این حالت بیشترین مقدار محصولی که باید نگهداری شود را در نظر گرفته و آن تعداد مرکز توزیع را تأسیس می‌کنیم که مجموع ظرفیت نگهداری آن‌ها از تعداد محصولی که باید نگهداری شود بیشتر باشد. محدودیت بودجه تأسیس مراکز نیز در این حالت در نظر گرفته می‌شود. برای تأسیس مراکز توزیع در هر مکان، یک فناوری را به‌صورت تصادف انتخاب می‌کنیم. این عمل منجر به یک جواب اولیه برای تأسیس مراکز توزیع می‌گردد. ۴۹ جواب دیگر با تعویض تصادفی در رشته C و انجام رویه فوق حاصل می‌شود.

۵۰ جواب دیگر جهت تأسیس مراکز توزیع نیز به‌صورت تصادفی به دست می‌آید. در این حالت رشته‌ای با عنوان D در نظر می‌گیریم که در آن شماره تمام مراکز توزیع قرار داده‌شده است. سپس به ترتیب از اولین عدد رشته شروع به تأسیس مراکز می‌کنیم. در این حالت برای هر مرکز، یک فناوری به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود. تعداد مراکز تولیدی در این حالت نیز مانند حالت قبل وابسته به بیشترین تعداد محصولی است که باید نگهداری شود.

ارتباط مراکز تولید با تأمین‌کنندگان، مراکز توزیع با تولیدکنندگان و خرده‌فروش‌ها با توزیع‌کنندگان نیز به‌صورت تصادفی به دست می‌آید. در این حالت برای هر تولیدکننده/توزیع‌کننده /خرده‌فروش، یک توالی تصادفی از تمام حالت‌هایی که با سطح قبلی خود می‌تواند ارتباط داشته باشد، محاسبه می‌شود. سپس با توجه به ظرفیت و مقدار موردنیاز خود شروع به دریافت مواد اولیه و محصولات می‌کند. مقدار محصولی که تولیدکننده دریافت می‌کند، برابر با حداکثر مقدار مواد اولیه موردنیاز و ظرفیت تأمین‌کننده است. توزیع‌کننده نیز به‌اندازه حداکثر نیاز خود و توان تولیدی تولیدکننده محصولات را دریافت می‌کند. خرده‌فروش نیز به‌اندازه حداکثر تقاضای خود و توان توزیع‌کننده محصولات را دریافت می‌کند.

۴-۲- نمایش کروموزوم

در الگوریتم ژنتیک، هر کروموزوم نشان‌دهنده یک نقطه در فضای جستجو و یک راه‌حل ممکن برای مسئله موردنظر است. برای نمایش کروموزوم از سه رشته استفاده‌شده است که رشته اول تأسیس مراکز تولید و ارتباط آن‌ها با مجموعه تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد. رشته دوم تأسیس مراکز توزیع و ارتباط آن‌ها با مجموعه تولیدکنندگان را نشان می‌دهد و رشته سوم ارتباط خرده‌فروش‌ها را با مراکز توزیع نشان

می‌دهد. رشته اول شامل سه بخش است که بخش اول به ترتیب تأسیس مراکز تولید، بخش دوم فناوری مورداستفاده در تأسیس و بخش سوم رشته ارتباط آن مرکز با مجموعه تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد. طول بخش اول برابر با تعداد بالقوه مراکز تولید بوده و بخش دوم نیز مانند بخش اول و بخش سوم یک ماتریس است که سطرهای آن برابر با تعداد کل تأمین‌کنندگان و ستون‌های آن برابر با بخش اول است. رشته دوم نیز مشابه با رشته اول است و شامل سه بخش است که در شکل مشخص است. رشته سوم دارای ۲ بخش است، بخش اول شامل خرده‌فروش‌ها و بخش دوم نیز یک ماتریس است که ارتباط خرده‌فروش‌ها با مراکز توزیع را نشان می‌دهد.

برای مثال فرض کنید که مسئله‌ای با ۳ تأمین‌کننده، ۴ مکان بالقوه برای مراکز تولید که هرکدام دارای ۳ تکنولوژی هستند، ۴ مرکز بالقوه برای مراکز توزیع که هرکدام دارای ۲ تکنولوژی هستند و درنهایت ۳ خرده‌فروش مفروض است. شکل ۱در بالا ، کروموزوم را نشان می‌دهد.

۴-۳- تابع برازندگی

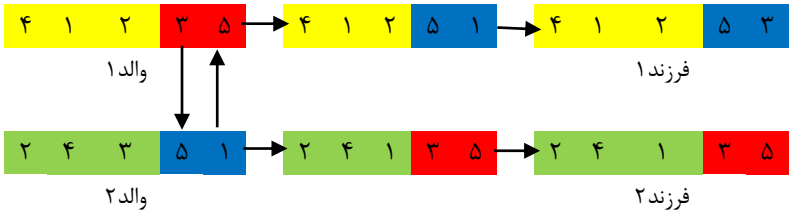
به‌منظور حل هر مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک، ابتدا باید یک تابع برازندگی برای آن مسئله تعریف شود. برای هر کروموزوم، این تابع عددی را بازمی‌گرداند که نشان‌دهنده شایستگی یا توانایی منحصربه‌فردی آن کروموزوم است. برای هر کروموزوم تابع برازندگی مساوی با مجموع هزینه‌های ثابت تأسیس مراکز تولید، مراکز توزیع، تولید، حمل‌ونقل بین سطوح مختلف، نگهداری و کمبود، استخدام و اخراج کارکنان، اختلاف سطح بیکاری بین مناطق مختلف و اختلاف رضایت در بین مناطق مختلف است. نحوه محاسبه تابع برازندگی به‌صورت گفته‌شده در ادامه مقاله است.

روش اول: حداکثر تولید برحسب تقاضا

ابتدا با استفاده از رشته اول کروموزوم، مراکز تولیدی که باید تأسیس شوند و ارتباط آن‌ها با تأمین‌کننده مشخص می‌شود. در این حالت با توجه به میانگین تقاضا در هر دوره، شروع به تأسیس تولیدکنندگان طبق بخش اول در رشته اول می‌کنیم. در این حالت مجموع ظرفیت تولیدکنندگانی که تأسیس می‌شوند باید بیشتر از میانگین تقاضا در هر دوره و کمتر از بودجه در دسترس برای تأسیس باشد. سپس با استفاده از بخش سوم در رشته اول، ارتباط هر تولیدکننده با تأمین‌کننده را مشخص می‌کنیم. برای تخصیص وسایل نقلیه بین سطوح تأمین‌کننده و تولیدکننده، با توجه به مشخص بودن ظرفیت و هزینه حمل‌ونقل وسایل، با تقسیم هزینه‌بر ظرفیت وسایل، هزینه ارسال یک محصول با هر وسیله را مشخص می‌کنیم و وسیله‌ای را انتخاب می‌کنیم که کمترین هزینه را داشته باشد و آن را به تأمین‌کننده و تولیدکننده تخصیص می‌دهیم. مقدار محصولی که بین هر تأمین‌کننده و تولیدکننده ارسال می‌شود برابر با کمینه مقدار موردنیاز تولیدکننده، ظرفیت تأمین‌کننده و ظرفیت وسیله نقلیه است.

با استفاده از رشته دوم کروموزوم، مراکز توزیع که باید تأسیس شوند و ارتباط آن‌ها با مراکز تولید، مشخص می‌شود. در این حالت ابتدا انحراف مقدار تقاضای هر دوره از مقدار میانگین تقاضا را محاسبه می‌کنیم. انحراف مثبت نشان‌دهنده محصولی است که باید نگهداری شود و در دوره‌های بعدی ارسال شود. با توجه به این انحراف مثبت، ظرفیت نگهداری مجموع توزیع‌کنندگانی که باید تأسیس شوند، باید بیشتر از مقدار موردنیاز برای نگهداری باشد. درنتیجه توزیع‌کنندگانی که باید تأسیس شوند، مشخص می‌شوند. محدودیت بودجه تأسیس نیز در این حالت در نظر گرفته می‌شود. جهت محاسبه مقدار نگهداری محصولات، برای هر دوره پنجره‌های برابر بازمان فاسدشدن محصولات در نظر می‌گیریم. برای مثال اگر زمان فاسدشدن یک محصول ۳ دوره باشد، تا ۳ دوره قبل می‌تواند تولید شود. درنتیجه اگر در یک دوره کمبود به وجود آمد در پنجره زمانی مربوط به خود می‌تواند تولید اضافه داشته باشد. سپس با استفاده از بخش سوم در رشته دوم، نیز توزیع‌کنندگان به تولیدکنندگان تخصیص داده می‌شوند. در این حالت نیز مانند حالت قبل، جهت تخصیص وسایل نقلیه، ابتدا برای هر وسیله و بین هر سطح، هزینه انتقال هر محصول محاسبه می‌شود و سپس وسیله نقلیه با کمترین هزینه تخصیص داده می‌شود.

با استفاده از رشته سوم کروموزوم، ارتباط خرده‌فروش‌ها با مراکز تأسیس مشخص می‌شود. نکته مهم در این حالت، کمبود مسئله است. اگر مجموع محصولاتی که ارسال می‌شوند کمتر از مقدار مجموع تقاضا باشد، با توجه به هدف مسئله برای کاهش اختلاف میزان رضایت مناطق مختلف، ابتدا درصدی از تقاضا که می‌تواند تأمین شود را محاسبه کرده و برای هر منطقه طبق این درصد، تقاضای آن‌ها را تأمین می‌کنیم. تخصیص وسایل نقلیه نیز در این حالت، مانند حالات قبل است.



شکل (۲): نمایش عمل تقاطع

روش دوم: تولید با امکان کمبود اختیاری

در این حالت تصمیم‌گیری در مورد سطوح مراکز توزیع و خرده‌فروش‌ها و تخصیص آن‌ها به یکدیگر مانند حالات قبل است. تفاوت این حالت باحالت قبل در تعداد تأسیس مراکز تولید است. ابتدا با توجه به میانگین تقاضا در هر دوره، شروع به تأسیس تولیدکنندگان طبق بخش اول در رشته اول می‌کنیم. در این حالت مجموع ظرفیت

تولیدکنندگانی که تأسیس می‌شوند برخلاف حالت قبل که بیشتر از میانگین تقاضا در هر دوره بود، مراکز تولید کمتری را تأسیس می‌کنیم و امکان کمبود را برای مسئله مجاز می‌کنیم. دیگر حالات این روش مانند حالت قبل است.

در انتها نیز هرکدام از دو روش پیشنهادی جهت محاسبه تابع هدف که مقدار بهتری داشت به‌عنوان جواب در نظر گرفته می‌شود.

۴-۴- مکانیزم انتخاب

مکانیزم انتخاب در نظر گرفته‌شده چرخه رولت است. در این روش کروموزوم‌هایی که عدد برازش (تناسب) بیشتری داشته باشند، انتخاب می‌شوند. درواقع به نسبت عدد برازش برای هر جواب یک احتمال تجمعی نسبت می‌دهیم و با این احتمال است که شانس انتخاب هر جواب تعیین می‌شود.

۴-۵- ساختار تقاطع

به‌وسیله چرخ رولت تعداد مشخصی کروموزوم انتخاب می‌شود. برای انجام عملیات تقاطع، در این مسئله از روش تقاطع نقطه‌ای استفاده شده است. ۳ نوع تقاطع مختلف برای مسئله در نظر گرفته‌شده است.

تقاطع ۱: در این حالت عملیات تقاطع روی بخش اول، دوم و سوم رشته اول کروموزوم انجام می‌شود. برای بخش اول و دوم رشته اول به‌صورت جداگانه یک نقطه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود و سپس عملیات تقاطع انجام می‌شود. پس از اعمال تقاطع برای آن‌که مکان و تکنولوژی تکراری نداشته باشیم، مکان و تکنولوژی یک‌بار دیگر به‌صورت تصادفی در انتهای کروموزوم چیده می‌شوند و درنهایت موارد تکراری حذف می‌شوند. شکل ۲ عملیات تقاطع روی دو والد را نشان می‌دهد.

برای انجام عمل تقاطع در بخش سوم رشته اول، یک سطر از تأمین‌کنندگان را به‌تصادف انتخاب می‌کنیم و عمل تقاطع را برای آن انجام می‌دهیم. در این حالت تأمین‌کنندگان تکراری را مانند حالت قبل برای هر تولیدکننده حذف می‌کنیم.

تقاطع ۲: در این حالت عملیات تقاطع روی بخش اول، دوم و سوم رشته دوم کروموزوم انجام می‌شود. برای بخش اول و دوم رشته دوم به‌صورت جداگانه یک نقطه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود و سپس عملیات تقاطع انجام می‌شود. پس از اعمال تقاطع برای آن‌که مکان و تکنولوژی تکراری نداشته باشیم، مکان و تکنولوژی یک‌بار دیگر به‌صورت تصادفی در انتهای کروموزوم چیده می‌شوند و سپس موارد تکراری حذف می‌شوند.

برای انجام عمل تقاطع در بخش سوم رشته دوم، یک سطر از تأمین‌کنندگان را به‌تصادف انتخاب می‌کنیم و عمل تقاطع را برای آن انجام می‌دهیم. در این حالت اعداد تکراری را مانند حالت قبل برای هر تأمین‌کننده حذف می‌کنیم.

تقاطع ۳: در این حالت عملیات تقاطع روی بخش اول و دوم رشته سوم کروموزوم انجام می‌شود. برای بخش اول رشته سوم یک نقطه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود و سپس عملیات تقاطع انجام می‌شود.

۳	۴	۲	۱
۲	۱	۲	۳
۱	۱	۲	۳
۳	۳	۱	۱
۲	۱	۲	۲

۲.کروموزوم بعد از جهش

۳	۱	۲	۴
۲	۲	۱	۳
۳	۱	۲	۱
۱	۳	۱	۳
۲	۲	۳	۲

۱.کروموزوم قبل از جهش

شکل (۳): نمایش عمل جهش

برای انجام عمل تقاطع در بخش دوم رشته سوم، یک سطر از خرده-فروش‌ها را به‌تصادف انتخاب می‌کنیم و عمل تقاطع را برای آن انجام می‌دهیم. در این حالت خرده‌فروش‌های تکراری را مانند حالت قبل برای هر توزیع‌کننده حذف می‌کنیم.

۴-۶- ساختار جهش

استفاده از عملگر جهش از بهینگی زودرس و افتادن در بهینه محلی جلوگیری می‌کند. برای جهش از روش تعویض تصادفی استفاده شده است. در این حالت مانند حالت قبل، سه جهش متفاوت برای مسئله داریم. جهش اول برای رشته اول کروموزوم است. در این حالت بخش اول و دوم و سوم آن را به‌صورت هم‌زمان تغییر می‌دهیم. در این حالت برای هر بخش از رشته اول، دو نقطه به‌صورت تصادفی انتخاب کرده و سپس آن‌ها را با یکدیگر تعویض می‌نماییم. در این حالت از تولید حالات تکراری در بخش سوم رشته اول پرهیز می‌کنیم و عدد تکراری را مانند حالت توضیح داده‌شده در عمل تقاطع حذف می‌کنیم. جهش دوم برای رشته دوم کروموزوم است و مانند رشته اول انجام می‌شود. اعداد تکراری در بخش سوم کروموزوم دوم نیز مانند حالت قبل حذف می‌شوند. جهش سوم برای رشته سوم کروموزوم است و بر روی بخش اول و دوم رشته سوم کروموزوم انجام می‌شود. همچنین عدد تکراری در بخش دوم رشته سوم نیز مانند حالات قبل حذف می‌شوند. شکل۳ انجام عمل جهش را توضیح می‌دهد. فرض کنید که ۳ تأمین‌کننده، ۴ نقطه بالقوه برای تأسیس تولیدکنندگان و ۳ توزیع‌کننده داریم. در این حالت بخش اول کروموزوم به شرح شکل ۳ است.

۴-۷- تولید مجدد

در هر تکرار جواب‌های جدیدی که از طریق عملگرهای ژنتیک تولیدشده‌اند با جواب‌های اولیه ترکیب‌شده و به‌اندازه جمعیت اولیه بهترین جواب‌ها نگه‌داشته می‌شوند.

۴-۸- شرط توقف الگوریتم

شرط توقف الگوریتم ترکیبی از تعداد تکرار و همگرا شدن الگوریتم است. بیشینه تعداد تکرار ۴۰۰ است. از تکرار ۱ تا ۱۰۰ عملیات تقاطع انجام می‌شود. درواقع هرکدام از این دو شرط که زودتر برقرار شود الگوریتم متوقف می‌شود، و جهش فقط بر روی رشته اول اعمال می‌شود. از تکرار ۱۰۰ تا ۲۰۰ الگوریتم تنها تقاطع و جهش بر روی رشته دوم کروموزوم زده می‌شود و از تکرار ۲۰۰ تا ۳۰۰ الگوریتم، تنها تقاطع و جهش بر روی رشته سوم کروموزوم زده می‌شود. در تکرارهای ۳۰۰ تا ۴۰۰ نیز تقاطع و جهش برای تمام رشته‌ها اعمال می‌شود. برای همگرا شدن، اگر ۱۰۰ عدد از بهترین جواب‌های به‌دست‌آمده توسط الگوریتم مشابه باشند و هیچ بهبودی در ۱۰۰ تکرار متوالی حاصل نشود، الگوریتم متوقف می‌شود.

۵- آزمایشات عددی

در این بخش ابتدا شیوه تولید مسائل نمونه‌ای ذکر و در ادامه نتایج به‌دست‌آمده از حل مسائل نمونه‌ای توسط الگوریتم ابتکاری تشریح شده‌اند. محاسبات با استفاده از نرم‌افزار متلب و CPLEX در یک کامپیوتر Core i5 با 4GB RAM انجام‌شده است.

۵-۱-تولید داده‌ها

برای تولید مسائل نمونه‌ای در این مقاله از مقالات دویکا[1] و همکاران [۴۵] و همچنین حسن‌زاده[2] و ژانگ [۴۶] استفاده‌شده است. تعداد تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع، خرده‌فروشان، تکنولوژی تولید، هزینه تأسیس کارخانه تولیدی، هزینه تأسیس مرکز توزیع و هزینه حمل‌ونقل بین سطوح از این مقالات استخراج‌شده است. مسائل نمونه‌ای در سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ می‌باشند. در اندازه کوچک تعداد تأمین‌کنندگان یک عدد تصادفی در بازه (۳،۹)، تولیدکنندگان عدد تصادفی در بازه (۲،۴)، مراکز توزیع در بازه (۳،۹) و خرده‌فروشان در بازه (۴،۱۳) می‌باشند. در اندازه متوسط نیز تعداد تأمین‌کنندگان یک عدد تصادفی در بازه (۹،۱۸)، تعداد تولیدکنندگان در بازه (۶،۱۰)، تعداد مراکز توزیع در بازه (۱۰،۱۴) و خرده‌فروشان در بازه (۱۵،۲۴) می‌باشند. در سایز بزرگ تعداد تأمین‌کنندگان به‌صورت تصادفی در بازه (۲۲،۳۷)، تعداد تولیدکنندگان در بازه (۱۲،۲۱)، تعداد مراکز توزیع در بازه (۱۶،۳۶) و درنهایت تعداد خرده‌فروشان در بازه (۲۸،۴۶) هستند. در هراندازه ۱۰ مسئله نمونه با نرم‌افزار CPLEX و الگوریتم پیشنهادی ران گرفته شده و نتایج آن مورد تحلیل قرارگرفته است.

۵-۲- نتایج محاسباتی تحلیل تک‌هدفه

مدل پیشنهادی با استفاده از روش مجموع وزنی نرمال به یک مدل تک هدفه تبدیل‌شده است. در این حالت تابع هدف مدل به‌صورت زیر است.

$$\min D = W * \frac{TC}{TC^{\max}} + (1-W) * \frac{HS^{\max} - HS}{HS^{\max}} \qquad (۴۱)$$

در معادله ۴۱، $TC^{\max}$ برابر با مقدار تابع هدف اول مسئله در حالت بیشینه‌سازی است. $HS^{\max}$ برابر با بیشترین رضایت موجود در سیستم است که برابر با $g*t$ بوده و به معنای رضایت کامل تمام مناطق در تمام دوره‌ها است.

با توجه به اهمیت مسائل حوزه سلامت، وزن هرکدام از اهداف مساوی در نظر گرفته شده است. در جداول زیر، a تعداد تأمین‌کنندگان، i تعداد تولیدکنندگان، j تعداد مراکز توزیع و k تعداد خرده‌فروشان است.

"ف.ب.۱" به معنای اختلاف جواب الگوریتم و روش CPLEX در هدف اول، "ف.ب.۲" به معنای اختلاف جواب الگوریتم و روش CPLEX در هدف دوم و "ف.ب.کل" به معنای اختلاف الگوریتم پیشنهادی از روش CPLEX در هدف نهایی است. "ه. ت. ه" در جدول به معنای هزینه در مدل تک هدفه می‌باشد. " ر. م. م" نیز به معنای میزان رضایت مناطق مختلف و "ت. ا. ت. ه" به معنای کاهش تعداد اخراج در مدل دوهدفه نسبت به تک هدفه است.

در جدول ۱ قابل مشاهده است که باوجود هدف دوم در مسئله میزان رضایت در بیشتر مناطق ۱۰۰ درصد است درحالی‌که در مسئله تک‌هدفه باهدف کاهش هزینه‌ها، این عدد در حالت میانگین برابر با ۲۴ درصد است که این حالت در سیستم‌های دارویی با توجه به اهمیت تأمین دارو، امری حیاتی است. در این حالت مسئله به‌صورت میانگین هزینه‌ای نزدیک به ۲،۷ درصد را بیشتر پذیرفته تا این امکان فراهم شود که سطح رضایت مناطق افزایش پیدا کند. به‌صورت میانگین سیستم جهت افزایش ۱ درصدی در میزان رضایت مشتریان باید ۱،۲۳ میلیون واحد پولی هزینه کند که این نشان از اهمیت تابع هدف دوم در مسئله دارد. علاوه بر این، تعداد استخدام و اخراج نیز ۳۴ درصد نسبت به حالت تک‌هدفه کاهش‌یافته است که باعث ثبات اجتماعی بیشتر در سیستم تولیدی است. این امر به علت کاهش اختلاف بیکاری بین مناطق مختلف در سیستم است. میانگین انحراف الگوریتم پیشنهادی از جواب دقیق برای هدف اول و دوم و هدف کل به‌ترتیب برابر با ۲،۵ و ۱ و ۳،۴ درصد است. همچنین میانگین زمان حل از روش CPLEX ۴،۱۲ ثانیه و میانگین زمان حل الگوریتم ۱۰،۴ ثانیه است.

جدول شماره ۲، نتایج مسئله برای مسائلی با ابعاد متوسط را نشان می‌دهد. در این جدول روش CPLEX فقط قادر به حل ۵ مسئله در محدودیت زمانی ۳۶۰۰ ثانیه بوده درحالی‌که الگوریتم پیشنهادی تمام

1. Devika

2. Hasanzadeh, Zhang

مسائل نمونه‌ای را درزمانی برابر با ۳۵,۶۶ ثانیه حل کرده است. در این جدول مسئله شماره ۱ نتوانسته در محدودیت زمانی خود به جواب برسد.

جدول (۱): نتایج مدل و الگوریتم پیشنهادی در اندازه کوچک

مثال	a	i	j	k	Cplex				الگوریتم پیشنهادی				ف.ب.۱	ف.ب.۲	ف.ب.ک	مسئله تک هدفه هزینه		
					هدف۱*	هدف۲	هدف کل	زمان حل	هدف۱	هدف۲	هدف کل	زمان حل				ه.ت.ه**	ر.م.م	ت.ا.ت.ه
۱	۳	۲	۳	۴	۰,۴۲۸	۱۰۰	۳	۱,۵۹	۰,۴۳۱	۹۸	۳,۰۹	۷,۳۶	۰,۷	۲	۲,۹	۰,۰۵۳	۶	۰
۲	۳	۲	۴	۶	۰,۰۲۷۱	۱۰۰	۳,۶	۱,۸۶	۰,۰۳۱	۱۰۰	۳,۷۳	۸,۱	۱۲,۹	۰	۳,۵	۰,۲۷	۱۰,۰۵	۰
۳	۵	۲	۷	۹	۰,۰۶۹	۹۹	۴,۲	۲,۴۸	۰,۰۷۳	۹۶	۴,۳۱	۸,۸	۵,۵	۳,۱	۲,۶	۰۰۶۱	۱۳,۷۹	۹۸
۴	۸	۴	۸	۱۲	۱۶۰,۱	۱۰۰	۵	۲,۱۳	۱۶۰,۳۵	۱۰۰	۵,۰۶	۱۰,۳	۰,۲	۰	۱,۲	۰,۶۵	۱۲,۱۲	۰
۵	۷	۳	۹	۱۲	۰,۱۴۶	۱۰۰	۵,۶	۴,۱۸	۰,۱۵۱	۹۵	۵,۹۳	۱۰,۳۶	۳,۳	۵,۳	۵,۶	۲,۱۴	۳۱,۴۶	۳,۱
۶	۹	۴	۸	۱۳	۰,۲۲۵	۱۰۰	۴,۳	۱۱,۷۸	۰,۲۲۹	۱۰۰	۴,۳۶	۱۱,۰۱	۱,۷	۰	۱,۴	۲,۱۴	۳۱,۴۶	۴۴
۷	۴	۲	۶	۹	۸,۷۳۶	۱۰۰	۲۹,۲	۲,۴۹	۸,۸۲۱	۱۰۰	۳۰,۳۶	۱۱,۲۳	۱	۰	۳,۸	۱,۴۸	۲۲,۹۴	۱۰۰
۸	۴	۳	۸	۱۰	۸,۳۶۶	۱۰۰	۲۲,۲	۲,۹۹	۸,۳۹۶	۱۰۰	۲۳,۱۴	۱۱,۹۴	۰,۴	۰	۴,۱	۱,۷۲	۲۸,۱۲	۱۰۰
۹	۶	۳	۶	۹	۱۸,۰۹	۱۰۰	۳۱,۳	۳,۶۱	۱۸,۱۳	۱۰۰	۳۲,۹۶	۱۲,۰۱	۰,۲	۰	۵	۲,۲۳	۲۴,۴۱	۰
۱۰	۷	۴	۷	۱۱	۴۱,۲	۱۰۰	۳۱,۲	۸,۰۷	۴۱,۲۹	۱۰۰	۳۲,۵۶	۱۲,۹۳	۰,۲	۰	۴,۲	۴,۵۹	۵۸,۴۴	۰

* با مقیاس صد هزار می‌باشند. ** با مقیاس هزار است.

در این مثال انحراف کل الگوریتم پیشنهادی ۱۱ درصد بهتر از روش CPLEX است که نشان از کارآمدی الگوریتم پیشنهادی دارد. در این جدول میانگین میزان رضایت مناطق مختلف در الگوریتم پیشنهادی برابر با ۹۵,۴ درصد است درحالی‌که درروش CPLEX برابر با ۹۴ و در مسئله تک هدفه برابر با ۷۴ درصد است. هزینه‌ها در حالت دوهدفه به‌صورت میانگین ۶۶ درصد بیشتر از حالت تک هدفه است که نشان از این دارد جهت افزایش ۱ درصدی در میزان رضایت و تأمین دارو باید ۷,۸۸۷۵ میلیون واحد پولی هزینه شود.

در جدول شماره ۲ از ۵ مثالی که به جواب رسیده است تنها در مثال شماره ۲ تمام تقاضا برآورده نشده است درحالی‌که در مسئله تک‌هدفه هیچ مثالی وجود ندارد که در آن تمام تقاضا برآورده شود. این اختلاف نشان از اهمیت رضایت مشتریان در مسئله دارد. در این جدول میانگین اختلاف هدف نهایی الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش CPLEX، ۱,۵ درصد می‌باشد. میانگین زمان حل روش CPLEX، ۲۱۷۱,۶۳ ثانیه است.

جدول شماره ۳ مسائلی با اندازه بزرگ را بررسی می‌کند. با توجه به اینکه روش CPLEX قادر نیست مسائل را در محدودیت زمانی ۳۶۰۰ ثانیه حل کند، از یک الگوریتم ژنتیک عادی استفاده‌شده است. در این الگوریتم ژنتیک جواب اولیه کاملا به‌صورت تصادفی محاسبه می‌شود. تابع برازندگی فقط با روش اول در نظر گرفته‌شده و اعمال تقاطع و جهش به‌صورت تصادفی بر روی کروموزوم‌ها انجام می‌شوند. همچنین مسئله تک‌هدفه با الگوریتم پیشنهادی حل‌شده است. در این جدول، میزان بهبود الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم ژنتیک در هدف اول، هدف دوم و هدف نهایی مسئله به‌صورت میانگین برابر با ۳,۲۸ و ۳,۱ و ۳,۸۹ است که نشان از کارآمدی آن دارد.

۵-۳- بررسی تغییرات هدف نهایی مسئله با مقدار W

در نمودار شماره ۱، میزان تغییر تابع هدف نهایی مسئله متناسب با تغییرات مقدار وزن تابع هدف مسئله برای ۴ مثال به‌صورت نمونه آورده شده است. در این نمودار قابل مشاهده است که در تمام حالات با افزایش مقدارw، میزان هدف نهایی مسئله نیز کاهش‌یافته است. این کاهش، بیشتر در هدف اول مشهود است. زیرا هرچه وزن تابع هدف هزینه در مسئله بیشتر شود، تأثیر هزینه‌ها در مسئله افزایش‌یافته و درنتیجه مقدار هزینه‌ها کاهش پیدا می‌کند.

جدول (۲): نتایج مدل و الگوریتم پیشنهادی در اندازه متوسط

مثال	a	i	j	k	Cplex			الگوریتم پیشنهادی							مسئله تک هدفه هزینه		
					هدف۱*	هدف۲	هدف کل	زمان حل	هدف۱	هدف۲	هدف کل	زمان حل	ف.ب۱	ف.ب.۲	ف.ب.ک	ه. ت. ه	ر.م.م	ت. ا. ت. ه
۱	۱۰	۶	۱۰	۱۶	۹۴۱,۹	۱۰۰	۳,۶	۳۶۰۰	۹۳۹,۲۶	۱۰۰	۳,۲	۲۸,۰۹	۰,۱	۴,۲	۱۴,۳	N/A	N/A	N/A
۲	۱۱	۸	۱۲	۱۵	۲۶,۴۶	۷۲	۳۹,۸	۱۷,۰۳	۱۱۰۱,۳	۸۰,۳	۶,۱	۲۷,۱۹	۰,۹	۳,۷	۱۸	۲۳	۴۱	۶۴
۳	۱۲	۶	۱۲	۲۰	۱,۳۷	۱۰۰	۱۳,۵	۹,۵	۱,۴۶	۹۷	۱۴,۹	۳۰,۶۵	۶,۲	۳,۱	۹,۴	۰,۳۱	۷۹	۰
۴	۱۴	۸	۱۲	۲۰	N/A	N/A	N/A	۳۶۰۰	۱۲,۳۶	۹۶	۱۳,۵	۳۶,۶	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
۵	۱۶	۹	۱۳	۲۲	N/A	N/A	N/A	۳۶۰۰	۲۱,۶۲	۸۹	۱۲,۴	۳۶,۳۴	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
۶	۱۸	۱۰	۱۴	۲۴	N/A	N/A	N/A	۳۶۰۰	۳۲,۶۵	۹۶,۴	۱۴,۶	۳۸,۳۴	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
۷	۹	۵	۱۰	۱۵	۳۵,۹۸	۱۰۰	۳۱,۶	۸,۶	۳۶,۶۹	۹۹	۳۳,۶	۳۶,۶	۱,۹	۱	۶	۵,۱	۸۵,۶۲	۰,۴۳
۸	۱۱	۶	۱۳	۱۶	۱۰۷,۶۱	۱۰۰	۳۷,۴	۸۱,۲	۱۰۸,۳۶	۱۰۰	۳۸,۹	۳۹,۵۳	۰,۷	۰	۳,۹	۱۲	۹۴,۳۵	۰
۹	۱۳	۷	۱۴	۲۱	N/A	N/A	N/A	۳۶۰۰	۱۱۳,۶۳	۱۰۰	۳۲,۶	۴۲,۸۶	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
۱۰	۱۱	۶	۱۲	۱۷	N/A	N/A	N/A	۳۶۰۰	۹۶,۸۵	۹۶,۵	۳۱,۷۵	۴۰,۴۳	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

جدول (۳): نتایج مدل و الگوریتم پیشنهادی در اندازه بزرگ

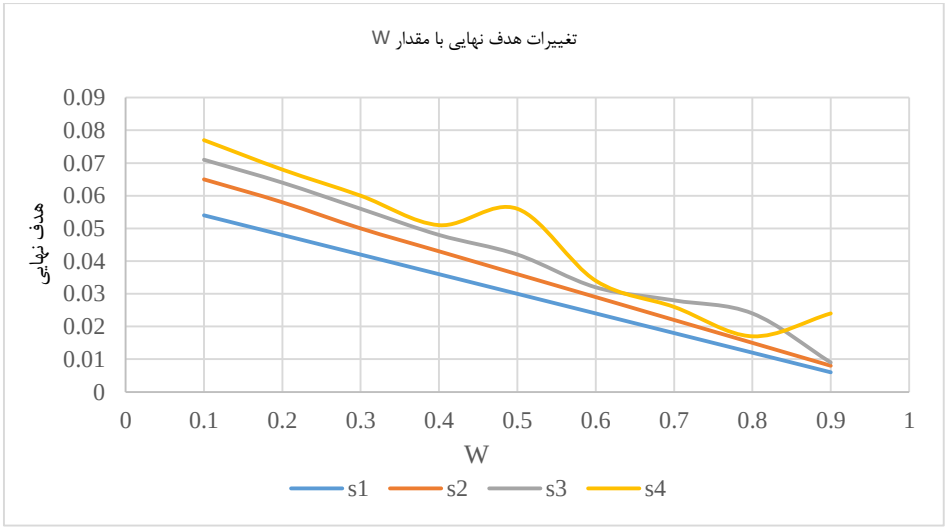
مثال	a	i	j	k	الگوریتم ژنتیک			الگوریتم پیشنهادی							مسئله تک هدفه هزینه		
					هدف۱	هدف۲	هدف کل	زمان حل	هدف۱	هدف۲	هدف کل	زمان حل	ف.ب۱	ف.ب.۲	ف.ب.ک	ه. ت. ه	ر.م.م	ت. ا. ت. ه
۱	۲۲	۱۲	۱۶	۲۸	۲۱,۶۷	۹۸	۵,۹	۱۰۲,۱	۲۰,۶۴	۱۰۰	۵,۱	۱۲۳,۱	۴,۸	۲	۱۳,۶	۱۹,۸۱	۵۸	۳
۲	۲۷	۱۳	۲۰	۳۲	۱۳,۱۷	۹۵	۷,۰۱	۱۰۱,۹	۱۲,۹۱	۱۰۰	۶,۷۲	۱۲۵,۱	۲	۵	۴,۱	۱۲,۳۹	۶۲	۴,۷
۳	۳۰	۱۷	۲۶	۳۶	۲۴,۵۵	۹۴,۳۷	۱۳,۱۱	۱۲۱,۷	۲۳,۳۸	۹۶,۳	۱۲,۳۶	۱۴۶,۶	۴,۸	۲	۵,۷	۲۲,۶۸	۶۰	۳۱
۴	۳۵	۲۱	۳۲	۴۱	۱۸,۲۹	۹۲,۴۱	۱۶,۱۲	۱۳۳,۲	۱۸,۱۱	۹۴,۳	۱۵,۶	۱۵۱,۴	۱	۲	۳,۲	۱۷,۵۷	۵۸	۱۶
۵	۳۷	۲۴	۳۶	۴۶	۱۲,۳	۸۵,۰۳	۱۰,۸۹	۱۳۶,۹	۱۱,۷۱	۸۹,۵	۱۰,۶۹	۱۶۷	۴,۸	۵	۱,۸	۱۱,۲۴	۶۶	۱۲
۶	۳۳	۱۹	۳۰	۴۰	۲۹,۸۶	۹۶	۱۵,۶	۱۵۹,۸	۲۹,۵۶	۱۰۰	۱۵,۳	۱۸۸	۱	۴	۱,۹	۲۸,۳۸	۶۱	۲۵
۷	۳۰	۱۷	۲۷	۳۶	۱۸,۷۶	۹۹	۳۶,۷۸	۱۳۶,۴	۱۷,۸۷	۱۰۰	۳۵,۶	۱۵۱,۶	۴,۷	۱	۳,۲	۱۷,۳۳	۷۱	۱۶
۸	۲۶	۱۵	۲۷	۳۸	۲۱,۹۹	۸۲,۹۴	۳۹,۳۵	۱۵۱,۱	۲۱,۳۵	۸۷,۳	۳۸,۹	۱۶۹,۷	۲,۹	۵	۱,۱	۲۰,۵	۶۲	۶,۳
۹	۲۳	۱۹	۲۵	۳۶	۲۲,۳۱	۸۵,۸۲	۳۳,۰۱	۱۴۱,۱۲	۲۱,۴۵	۸۹,۴	۳۲,۶	۱۷۶,۳	۳,۹	۴	۱,۲	۲۰,۸۱	۷۰	۹,۸
۱۰	۲۶	۱۷	۲۹	۴۰	۲۴,۳۵	۹۹	۶,۰۹	۱۰۹,۳	۲۳,۶۴	۱۰۰	۵,۹	۱۲۷,۱	۲,۹	۱	۳,۱	۲۲,۹۳	۷۱	۰,۳

۵-۴- نتایج محاسباتی تحلیل دوهدفه

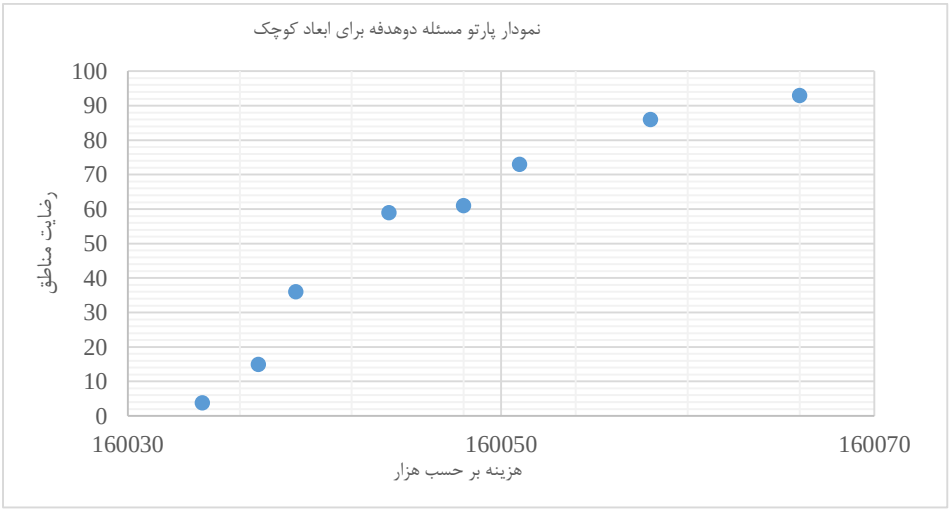
در نمودار۲ مسئله به‌صورت دوهدفه مورد تحلیل قرارگرفته است. در این حالت از روش الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی تسلط یافته[1] با مرتب‌سازی نامغلوب برای حل مسئله بهره گرفته‌شده است. در این حالت دو نمونه مسئله جهت بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک دوهدفه در سایز کوچک و متوسط بررسی شده و نتایج آن گزارش‌شده است. در نمودار شماره۲، مسئله نمونه‌ای شماره ۴ از سایز کوچک به‌صورت دو هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک دوهدفه موردبررسی قرارگرفته است. در این حالت شاهد نقاطی هستیم که هیچ‌کدام بر یکدیگر غلبه نمی‌کنند و همچنین از فاصله و پراکندگی کمی با یکدیگر برخوردار هستند که تعداد انتخاب‌های تصمیم‌گیرنده در مورد مسئله را افزایش می‌دهد. در نمودار پارتو هرچه تعداد نقاط به‌دست‌آمده بیشتر باشد، تصمیم‌گیرنده از انتخاب‌های بیشتری برخوردار است.

همچنین در نمودار شماره ۳، مسئله شماره ۲ از سایز متوسط به‌صورت دوهدفه موردبررسی قرارگرفته است. در این نمودار قابل مشاهده است جواب‌هایی که مسئله به دست آورده دارای پراکندگی کمی هستند. در این حالت تصمیم‌گیرنده می‌تواند انتخاب‌های متعددی جهت اعمال بهترین نقطه داشته باشد.

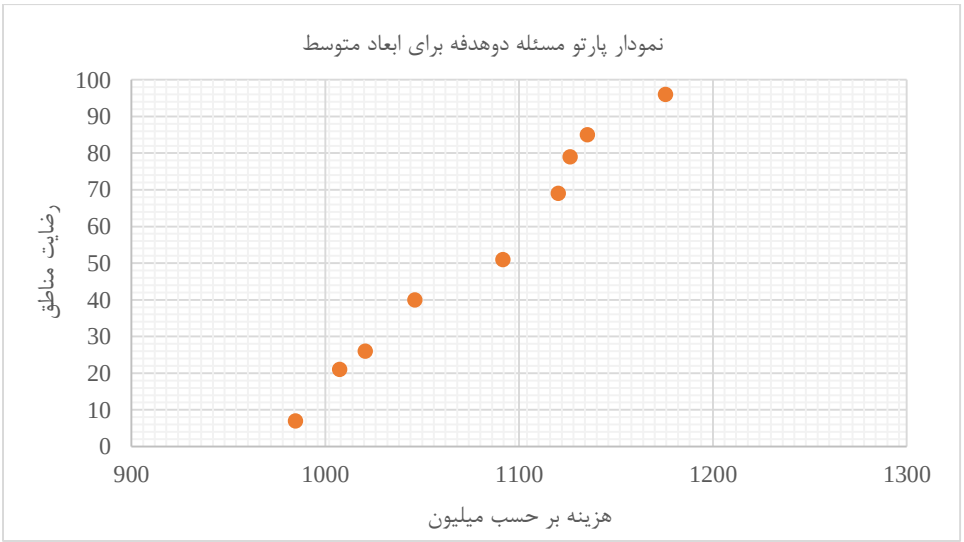
1. Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II



نمودار (۱): بررسی تغییرات مسئله با تغییرات وزن تابع اهداف



نمودار (۲): بررسی مسئله در حالت دوهدفه برای ابعاد کوچک



نمودار ۳: بررسی مسئله در حالت دوهدفه برای ابعاد متوسط

۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله یک زنجیره‌تأمین چهار سطحی شامل سطوح تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و خرده‌فروش با اهداف کاهش هزینه‌های زنجیره، اختلاف میزان رضایت و اختلاف بیکاری بین مناطق مختلف و افزایش میزان رضایت معرفی شد. بررسی موارد ذکر شده جهت توسعه پایدار و کاهش نابرابری در بین مناطق مختلف از جنبه‌های جدید بودن

این مقاله به شمار می‌رود. بررسی معیارهای اجتماعی مانند اشتغال، بیکاری و تأمین مناسب محصولات، همراه با تصمیمات استراتژیک در زنجیره‌تأمین دارو از مسائل مهم موردبررسی در این مقاله بود. بررسی هدف رضایت در مناطق مختلف باعث می‌شود که با اعمال هزینه به زنجیره، سطح سلامت اجتماعی و توازن در مسئله بهبود یابد. در این حالت به‌صورت میانگین باید ۷٫۱ میلیون واحد پولی هزینه شود تا بتوان ۱ درصد بر تأمین بیشتر دارو افزود که نشان از اهمیت هدف دوم در مسئله دارد. همچنین بررسی اختلاف بیکاری و اختلاف رضایت مناطق مختلف در مسئله باعث توازن در مسئولیت‌های اجتماعی و کاهش نابرابری اجتماعی در مسئله می‌شود. در این مقاله برای مسئله یک مدل ریاضی دوهدفه خطی مختلط عدد صحیح ارائه شد که با استفاده از روش مجموع وزنی نرمال به یک مدل تک هدفه تبدیل گردید و یک روش ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای اندازه‌های مختلف توسعه داده شد. الگوریتم ارائه‌شده قادر است مسائلی با اندازه بزرگ را در زمان مناسبی حل کند. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که مسئله دوهدفه با افزایش هزینه‌ها باعث بهبود سلامت اجتماعی و توازن در آن می‌شود که نشان از اهمیت تابع هدف معرفی‌شده برای مسئله دارد. زنجیره معرفی‌شده می‌تواند به‌طور هم‌زمان برای مسائلی که با تصمیمات اقتصادی، اجتماعی و حوزه سلامت روبه‌رو هستند کاربرد داشته باشد و به تصمیم‌گیری مدیران در این زمینه کمک شایانی کند که ممکن است نیازمند مطالعه با اهداف بیشتر و مفروضات واقعی‌تر باشد. در تحقیقات آتی نیز می‌توان ویژگی‌هایی مانند اختلال در زنجیره‌تأمین را موردبررسی قرارداد. همچنین می‌توان زنجیره‌تأمین بازگشتی و بازیافت مواد دارویی را در مسئله بررسی کرد. می‌توان از اهداف مختلفی مانند مسائل زیست‌محیطی در مسئله بهره برد. همچنین جهت نزدیک‌تر کردن مسئله به واقعیت می‌توان مسئله را در حالت عدم قطعیت برخی از پارامترها مانند تقاضا بررسی کرد و یا ویژگی‌های بیشتری در بخش حمل‌ونقل مانند مسیریابی موردمطالعه قرار گیرد.

مراجع

[1] Sabouhi, F., Pishvaee, M. S. and Jabalameli, M. S. (2018). "Resilient supply chain design under operational and disruption risks considering quantity discount: A case study of pharmaceutical supply chain", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 126: 657-672.

[2] Jafar Nejad, H.A., Safari, A. Azar, S.A. Ebrahimi (2015). "Manage supply chain orders based on traditional costing approach and cost based on activity and compare them", *IQBQ*, 2015.

[3] Meijboom, B., Obel, B. (2007). "Tactical coordination in a multi-location and multi-stage operations structure: A model and a pharmaceutical company case", *Omega*, vol. 35, no. 3: 258-273.

[4] Eberle, L. G., Sugiyama, H. and Schmidt, R. (2014). "Improving lead time of pharmaceutical production processes using Monte Carlo simulation", *Computers & chemical engineering*, vol. 68: 255-263.

[5] Zahiri, B., Jula, P. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). "Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products", *Information Sciences*, vol. 423: 257-283.

[6] Savadkoohi, E., Mousazadeh, M. and Torabi, S. A. (2018). "A possibilistic location-inventory model for multi-period perishable pharmaceutical supply chain network design", *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 138: 490-505.

[7] Hansen, K. R. N. and Grunow M. (2015). "Planning operations before market launch for balancing time-to-market and risks in pharmaceutical supply chains", *International Journal of Production Economics*, vol. 161: 129-139.

[8] Jabbarzadeh, A., Haughton, M. and Pourmehdi, F. (2018). "A robust optimization model for efficient and green supply chain planning with postponement strategy", *International Journal of Production Economics*, vol. 214: 266-283.

[9] Settanni, E., Harrington, T. S. and Srai, J. S. (2017). "Pharmaceutical supply chain models: A synthesis from a systems view of operations research", *Operations Research Perspectives*, vol. 4: 74-95.

[10] Safarzadeh, S. and Rasti-Barzoki, M. (2019). "A game theoretic approach for assessing residential energy-efficiency program considering rebound, consumer behavior, and government policies", *Applied Energy*, vol. 233: 44-61.

[11] Mele, F. D., Kostin, A. M., Guillén-Gosálbez, G. and Jiménez, L. (2011). "Multiobjective model for more sustainable fuel supply chains. A case study of the sugar cane industry in Argentina", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 50, no. 9: 4939-4958.

[12] Rashidi, K. and Saen, R. F. (2018). "Incorporating dynamic concept into gradual efficiency: Improving suppliers in sustainable supplier development", *Journal of Cleaner Production*, vol. 202: 226-243.

[13] Rusnac, C.-M., Baboli, A., Moyaux, T. and Botta-Genoulaz, V. (2012). "Downstream pharmaceutical supply chain reorganization by considering the sustainable development criteria", *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, no. 6: 528-533.

supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty", *European Journal of Operational Research*, vol. 226, no. 3: 436-451.

[25] Saedi, S., Kundakcioglu, O. E. and Henry, A. C. (2016). "Mitigating the impact of drug shortages for a healthcare facility: an inventory management approach", *European Journal of Operational Research*, vol. 251, no. 1: 107-123.

[26] Timajchi, A., Al-e-Hashem, S. M. M. and Rekik, Y. (2018). "Inventory routing problem for hazardous and deteriorating items in the presence of accident risk with transshipment option", *International Journal of Production Economics*. vol. 209: 302-315

[27] Sousa, R. T., Liu, S. L., Papageorgiou, G. and Shah, N. (2011). "Global supply chain planning for pharmaceuticals", *chemical engineering research and design*, vol. 89, no. 11: 2396-2409.

[28] Sundaramoorthy, A., Li, X., Evans, J. M. and Barton, P. I. (2012). "Capacity planning for continuous pharmaceutical manufacturing facilities", in *Computer Aided Chemical Engineering*, vol. 31: Elsevier, 1135-1139.

[29] Nematollahi, M. Hosseini-Motlagh, S.-M., Ignatius, Goh, J. M. and Nia, M. S. (2018). "Coordinating a socially responsible pharmaceutical supply chain under periodic review replenishment policies", *Journal of Cleaner Production*, vol. 172: 2876-2891.

[30] Fatemeh Jafarkhan, S. Y. (2015). "A Robust Mathematical Model and Heuristic Solution Algorithm for Integrated Production-Routing-Inventory Problem Of Perishable Products with Lateral Transshipment", *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems* vol. 4, no.8: 195-211.

[31] Raj, A., Biswas, I. and Srivastava, S. K. (2018). "Designing supply contracts for the sustainable supply chain using game theory", *Journal of Cleaner Production*, vol. 185: 275-284.

[32] Padhi, S. S., Pati, R. K., and Rajeev, A. (2018). "Framework for selecting sustainable supply chain processes and industries using an integrated approach", *Journal of Cleaner Production*, vol. 184: 969-984.

[33] Dehghanian, F., and Mansour, S. (2009). "Designing sustainable recovery network of end-of-life products using genetic algorithm", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 53, no. 10: 559-570.

[34] Fahimnia, B., and Jabbarzadeh, A. (2016). "Marrying supply chain sustainability and resilience: A match made in heaven", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 91: 306-324.

[14] Pishvaee, M. S., Razmi, J. and Torabi, S. A. (2012). "Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach", *Fuzzy sets and systems*, vol. 206: 1-20.

[15] Bojarski, A. D., Laínez, J., Espuña, M. A. and Puigjaner, L. (2009). "Incorporating environmental impacts and regulations in a holistic supply chains modeling: An LCA approach", *Computers & Chemical Engineering*, vol. 33, no. 10: 1747-1759.

[16] Borumand, A. and Beheshtinia, M. A. (2018). "A developed genetic algorithm for solving the multi-objective supply chain scheduling problem", *The international journal of system, cybernetics and management science*. vol. 47, no. 7: 1401-1419.

[17] Sousa, R. T., Shah, N. and Papageorgiou, L. G. (2005). "Global supply chain network optimisation for pharmaceuticals", *Computer Aided Chemical Engineering*, vol. 20: 189-1194.

[18] Susarla, N. and Karimi, I. A. (2012). "Integrated supply chain planning for multinational pharmaceutical enterprises", *Computers & Chemical Engineering*, vol. 42: 168-177.

[19] Beheshtinia, M. A. and Ghasemi, A. (2017). "A multi-objective and integrated model for supply chain scheduling optimization in a multi-site manufacturing system", *Engineering Optimization*. vol. 50, no. 9: 1415-1433

[20] Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. Haijema, M. R. and van der Vorst, J. G. (2015). "Modeling an Inventory Routing Problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty" , *International Journal of Production Economics*, vol. 164: 118-133.

[21] Taheri, S. M. R. and Beheshtinia, M. A. (2019). "A Genetic Algorithm Developed for a Supply Chain Scheduling Problem", *Iranian Journal of Management Studies (IJMS)*. vol. 12, no. 2: 107-132.

[22] Stellingwerf, H., Kanellopoulos, M. A., van der Vorst, J. G. and Bloemhof, J. M. (2018). "Reducing CO 2 emissions in temperature-controlled road transportation using the LDVRP model", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 58: 80-93.

[23] Beheshtinia, M. A., Ghasemi, A. and Farokhnia, M. (2018). "Supply chain scheduling and routing in multi-site manufacturing system (case study: a drug manufacturing company)", *Journal of modelling in managemevol*. 13, no. 1: 27-49.

[24] Cardoso, S. R., Barbosa-Póvoa, A. P. F. and Relvas, S. (2013). "Design and planning of

[35] Bhinge, R., Moser, R., Moser, E., Lanza, G., and Dornfeld, D. (2015). "Sustainability optimization for global supply chain decision-making", *Procedia CIRP*, vol. 26: 323-328.

[36] Kaur, H., Singh, S. P., Garza-Reyes, J. A., and Mishra, N. (2018). "Sustainable stochastic production and procurement problem for resilient supply chain", *Computers & Industrial Engineering.* vol. 139: 105508

[37] Hutchins, M. J. and Sutherland, J. W. (2008). "An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions", *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, no. 15: 1688-1698.

[38] Mani, V., Gunasekaran, A. and Delgado, C. (2018). "Enhancing supply chain performance through supplier social sustainability: An emerging economy perspective", *International Journal of Production Economics*, vol. 195: 259-272.

[39] Mirzapour, Al-E-Hashem, S., Malekly, H. and Aryanezhad, M. (2011). "A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty", *International Journal of Production Economics*, vol. 134, no. 1: 28-42.

[40] Gholamian, N., Mahdavi, I., Tavakkoli-Moghaddam R. and Mahdavi-Amiri, N. (2015). "Comprehensive fuzzy multi-objective multi-product multi-site aggregate production planning decisions in a supply chain under uncertainty", *Applied soft computing*, vol. 37: 585-607.

[41] Song, H., Huang H.-C. (2008). "A successive convex approximation method for multistage workforce capacity planning problem with turnover", *European Journal of Operational Research*, vol. 188, no. 1: 29-48.

[42] Ibaraki, T. K., N. (1988). "Resource allocation problems: algorithmic approaches", *MIT press.*

[43] H. J. H. (1975). "Adaptation in natural and artificial systems: an introductoryanalysis with applications to biology, control, and artificial intelligence", *USA:University of Michigan.*

[44] Holland, G. D., J. (1989). "Genetic algorithms in search, optimization andmachine learning", *Reading, MA: Addison-Wesley*, vol. 44, no. 4: 397-406.

[45] Devika, A. J. K., Nourbakhsh, V. (2014). "Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques", *European Journal of Operational Research*, vol, 235, no. 3: 594-615.

[46] Saman Hassanzadeh Amin, G. Z. (2013). "A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return", *Applied Mathematical Modelling*. vol. 37, no. 6: 4165-4176.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2020, Volume 7., No.15., pp. 199-217
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2020.19597.1875

A Four-Echelon Supply Chain Considering Economic, Social and Regions Satisfaction Goals

J. Rezaeenour[1*], M. Hashempour[2], A. H. Akbari[3]

[1, 2] Department of Industrial engineering, university of Qom, Qom, Iran
[3] Department of Industrial engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 12 July 2019
Accepted 14 January 2020

***Keywords*:**

Pharmaceutical Supply Chain
Sustainable Development
Social Responsibility
Genetic Algorithm
Social Inequalit

ABSTRACT

This study develops a new multi-objective programming model to design a four-echelon pharmaceutical supply chain (PSC) network for several perishable products over multiple time periods. Supply chain consists of four echelons, including suppliers, manufacturers, distribution centers, and retailers. This model proposes an integrated decision-making approach for the location of facilities (pharmaceutical production and distribution sites) and their most suitable allocation to each other for a reliable transportation of products between echelons. It also determines the optimal amount of production and transportation among facilities and the required number of labours. A varying level of technological expertise is required for the establishment of production and distribution systems. The problem aims to reduce costs and unemployment and pharmaceutical supply gap between regions and to increase their satisfaction rate with an emphasis on the importance of providing a large supply of pharmaceutical products. Given the fact that the problem is a NP-hard one and accurate methods are inefficient, a genetic algorithm-based meta-heuristic is developed for problem-solving and its performance is analyzed on a wide range of single- and two-objective problem instances. The results show that an increase in the satisfaction rate of regions and a reduction in its gap between regions as two objectives are of great importance in pharmaceutical supply chain. Moreover, a reduction in unemployment gap between regions improves the level of employment, and it provides a right balance between social responsibilities. The developed algorithm also provides an optimal solution for large-sized single- and two-objective problems in a short time period.

[*] Corresponding author. J. Rezaeenour
Tel.: 025-32103310; E-mail address: j.rezaee@qom.ac.ir