



ارائه مدل دو هدفه تصادفی کاهش هزینه و زمان در زنجیره تامین دارو

فرشید جویبان نادیلوئی (نویسنده مسئول)

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بناب، بناب، ایران

Email: f.jouyban@gmail.com

مهدی یوسفی نژاد عطاری

استادیار، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بناب، بناب، ایران

انسیه نیشابوری جامی

استادیار، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بناب، بناب، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱/۱۷ * تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۱

چکیده

در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای یک مساله طراحی شبکه زنجیره تامین دارو توسعه داده می‌شود. این مدل کمک می‌کند تا تصمیمات متعددی درباره تصمیمات استراتژیک زنجیره از قبیل تاسیس مراکز تولید، توزیع اصلی و محلی دارو همراه با جریان‌های مواد بهینه در طول یک افق برنامه‌ریزی میان مدت به عنوان تصمیمات تاکتیکی اتخاذ کنیم. این مدل به کمینه کردن هزینه و مجموع زمان‌های انتقال محصولات در زنجیره کمک می‌کند. برای اینکه از صحت مدل توسعه داده شده مطمئن شویم، آن را روی یک مطالعه موردی واقعی (کپسول آموکسی سیلین ۵۰۰ میلی‌گرم) براساس داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده از سازمان غذا و داروی ایران تست می‌کنیم.

کلمات کلیدی: طراحی شبکه زنجیره تامین دارو، مدل سازی ریاضی، مدل دو هدفه، مکان‌یابی - تخصیص چند دوره‌ای.

۱- مقدمه

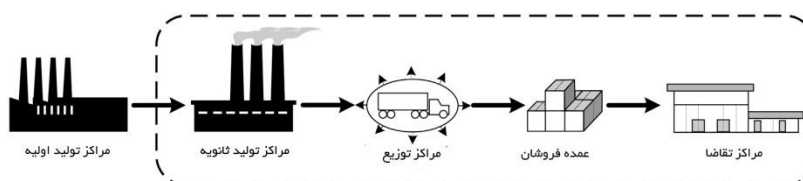
تامین سلامتی به عنوان یکی از چالش‌های مهم زندگی بشر و درمان بیماری‌ها یکی از راه‌های دستیابی به سلامتی بوده است. در این راستا، دارو یکی از ابزارهای مهم در معالجه آلام انسانی و کسب سلامتی به شمار می‌آید. در دنیای ماشینی و صنعتی امروز به علل مختلف سلامتی انسان‌ها دائماً در معرض خطر بوده و معالجه و مداوای انسان‌ها یک ضرورت حتمی است. با شناخت عوامل موثر در راه رسیدن به سلامتی نسبی انسان‌ها و جامعه، تسکین آلام افراد از ضروریات اولیه می‌باشد. یکی از ابزارهای مهم در حفظ سلامتی و ارتقای آن داروها هستند. تهیه، تامین و توزیع به موقع و صحیح دارو در حفظ سلامتی از اهمیت زیادی برخوردار است، بطوریکه مطابق تصمیمات کنفرانس آلماتا که در سال ۱۹۸۷ برگزار شد، تامین داروهای اساسی از سوی سازمان جهانی بهداشت به عنوان جزء هشتم مراقبت‌های بهداشتی اولیه معرفی گردید. توجه به ویژگی‌های سیستم تامین، نگهداری و توزیع دارو امر مهمی است، چرا که اولاً بخش وسیعی از افراد گیرنده خدمات بهداشتی و درمانی که ساکن شهرها و روستاها هستند، از امکانات درمانی محروم می‌باشند و به دلیل بعد مسافت و هزینه‌های جانبی قادر نیستند به مراکز شهری جهت گرفتن خدمات مراجعه نمایند، ثانیاً در نتیجه وجود یک سیستم کارآمد تامین، نگهداری و توزیع منظم خدمات و دارو که تحت پوشش شبکه‌ها به فعالیت خود ادامه می‌دهد، دسترسی مردم نقاط محروم به خدمات دارویی ممکن شده و بدین ترتیب از مراجعه غیرمنطقی بخش عظیمی از مردم به مراکز تخصصی جلوگیری شود.

از دیدگاه سازمان جهانی بهداشت، اهمیت دارو مرهون سه دلیل عمده زیر است:

۱. داروها بخش قابل توجهی از ارتباط بین بیمار و خدمات سلامت را تشکیل می‌دهند، از این رو در دسترس بودن و یا برعکس عدم دسترسی مناسب به آن‌ها دارای اثرات و پیامدهای منفی بر سلامت جامعه خواهد بود.
۲. مدیریت ضعیف دارو در بخش دولتی، بخصوص در کشورهای در حال توسعه موضوع تعیین کننده‌ای است که بهینه سازی وضعیت آن، می‌تواند به حفظ سرمایه این کشورها و افزایش دسترسی مردم به دارو کمک کند.
۳. خدمات دارویی و کلیه مسائل مرتبط به آن، تنها به عملکرد کارکنان حوزه بهداشت و سلامت وابسته نیست و عوامل سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، مالی و فرهنگی نیز بر روی آن تاثیر به سزایی دارند (WHO | Handbook of supply management, 2013).

به این ترتیب، مدیریت دارو در واقع تلاشی هدفمند و آگاهانه برای دسترسی اکثریت آحاد جامعه به داروهای اساسی به منظور تامین سلامت عمومی است.

صنعت داروسازی یک صنعت جهانی شامل مجموعه‌ای از فرایندها و عملیات است که در سال ۲۰۰۹، ۱۰٪ از هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی سالانه ایالات متحده و حدود ۶۰۰ میلیارد دلار در سطح جهان را شامل می‌شود (Kelle et al., 2012). با توجه به هزینه‌های زیاد و قابل توجه تولید و انبارش محصولات و کنترل‌های مورد نیاز آن، دارو یک نقش بحرانی در سیستم‌های بهداشت و درمان بازی می‌کند. خرید و توزیع آن می‌تواند خیلی پرهزینه باشد. یک مدیریت کارآمد مورد نیاز می‌باشد تا در دسترس بودن ۱۰۰ درصدی محصولات در زمان مناسب و با هزینه مناسب را برای مشتریان تضمین نماید (Uthayakumar & Priyan, 2013). یک زنجیره تامین دارو شامل کلیه فعالیت‌های مرتبط با تولید داروها از مواد خام اولیه و رساندن آن به دست مشتری نهایی را شامل می‌شود. شکل ۱ ساختار یک زنجیره تامین دارو را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۱): ساختار زنجیره تامین دارو

سایت‌های تولید اولیه شامل سایت‌هایی هستند که در زمینه ساخت مواد اولیه تولید دارو فعال می‌باشند. تولیدکنندگان ثانویه مسئول تولید داروی نهایی در زنجیره می‌باشند. مراکز توزیع به دو دسته اصلی و محلی تقسیم می‌شوند که، مراکز اصلی

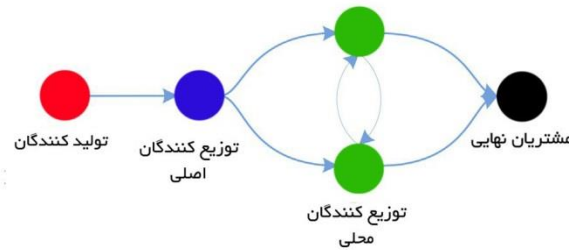
دارای ظرفیت ذخیره‌سازی زیاد بوده و مسئول ارائه محصولات دریافتی از کارخانجات تولیدی به مراکز توزیع محلی می‌باشند و در نهایت مسئولیت تامین تقاضای مشتریان نهایی شامل مراکز بیمارستانی و داروخانه‌ها بر عهده مراکز توزیع محلی می‌باشد. با وجود تمام پیشرفت‌های اخیر در زمینه روش‌های تولید، ذخیره‌سازی و توزیع هنوز هم با تقاضاهای موجود در بازار فاصله وجود دارد، بنابراین حوزه زنجیره تامین دارو کاملاً آماده دریافت کمک از تکنیک‌های بهبود می‌باشد. در این مقاله برآنیم که با استفاده از ابزارهای مدلسازی ریاضی، مدلی برای کمینه نمودن هزینه‌های کل و زمان‌های حمل و نقل ارائه نماییم.

با توجه به اهمیت مدیریت موجودی دارویی و یکپارچه سازی زنجیره تامین دارویی مطالعات بسیاری در این زمینه انجام گرفته است. محققان در زمینه‌ها و ابعاد گوناگونی این مسئله را مورد بررسی قرار داده‌اند. نیچولسون و همکارانش در یک مدل به مطالعه اثرات برون سپاری تصمیم‌گیری‌های مدیریت موجودی در سیستم‌های سلامت برای یک سیستم سه سطحی پرداختند (Nicholson et al., 2004). به کار بردن سیاست‌های مرور دوره‌ای موجودی برای صنایع دارویی و سلامت مناسب نمی‌باشد، به دلیل اینکه معمولاً تقاضای بیماران نامعین است و از طرفی کمبود یک دارو می‌تواند عواقب جبران ناپذیری در پی داشته باشد، لذا مدیریت موثر موجودی نیازمند به‌کارگیری یک سیاست مرور دائم است. چالش‌ها و روش‌های مختلف در زنجیره‌های عرضه دارویی به طور گسترده توسط (Láinez و همکاران سال ۲۰۱۲)، (Papageorgiou سال ۲۰۰۹) و (Yu و همکاران سال ۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفته است (Lainez et al., 2012) (Papageorgiou, 2009) (Yu et al., 2010). نارایانا و همکاران یک بررسی جامع در مورد مسائل مدیریتی در صنعت داروسازی انجام دادند (Narayana et al., 2012). سال ۲۰۱۲، جت لی و همکارانش یک مدل چند عاملی شبیه سازی برای تجزیه و تحلیل زنجیره تامین دارو توسعه دادند (Jetly et al., 2012). در سال ۲۰۰۵ سوزا و همکاران ایشان، یک مدل عدد صحیح خطی برای حل مشکل تخصیص در طراحی شبکه زنجیره تامین شامل تامین کنندگان، سایت‌های صنعتی و همچنین مراکز توزیع نهایی ارائه دادند. هدف این مدل حداکثر کردن ارزش سود خالص شرکت‌ها بود. دو الگوریتم تجزیه برای حل مدل ارائه شده است (Sousa et al., 2005). آن‌ها در مقاله دیگری یک مدل برنامه‌ریزی پویا با هدف به حداکثر رساندن ارزش سود خالص برای شبکه زنجیره تامین دارویی جهان توسعه و ارائه دادند (Sousa et al., 2011). سوسارلا و همکاران، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی زنجیره تامین یکپارچه صنایع داروسازی چندملیتی ارائه کرده‌اند. این مدل سعی می‌کند برنامه تدارک (لجستیک)، تولید و تامین یکپارچه را با در نظر گرفتن هزینه نگهداری، مالیات و میزان عمر مواد اولیه به گونه‌ای طراحی کند که سود کل در زنجیره تامین بیشینه گردد (Susarla & Karimi, 2012). مدل‌های سنتی به تنهایی قادر به اعمال دقت و قطعیت منطقی ریاضی کلاسیک نیستند. در واقع زمانی که نادقیقی و عدم قطعیت به دلیل ساختار مدل نادیده انگاشته می‌شود، مدل واقعی نخواهد بود. زمانی که شرایط تصمیم‌گیری تحت ریسک باشد در اینصورت نمی‌توان نسبت به کمیت برخی از پارامترهای سیستم مانند تقاضا با اطمینان صحبت نمود. این مقادیر بصورت احتمالی مطرح می‌شوند. مفاهیم احتمالی نمی‌توانند برخی عدم قطعیت‌ها را به خوبی بیان کنند، از این رو نظریه مجموعه‌های فازی برای بیان این عدم قطعیت‌ها از سال ۱۹۸۰ وارد عمل شد. مفاهیم فازی توانایی تعریف پارامترهای مبهم و نادقیق که براساس باورهای شخصی تعریف می‌شوند را ایجاد می‌کند. با ظهور مجموعه‌های فازی استفاده از این منطق برای دستیابی به یک تصمیم بهینه در مدیریت موجودی بیشتر احساس می‌شود. کاو و همکاران، برای تعیین سیاست مدیریت موجودی در زنجیره تامین یک متدولوژی ارائه کردند که براساس مفاهیم موجودی رده‌ها و نظریه فازی بنا شده است. بطور خاص در این مدل مفهوم موجودی رده‌ها به منظور مدیریت یکپارچه موجودی در زنجیره و مفهوم نظریه مجموعه‌های فازی در جهت مدل کردن عدم قطعیت در تقاضای بازار و هزینه‌های موجودی شامل هزینه‌های نگهداری و پس‌افت، استفاده شده است. استراتژی این سیستم موجودی به صورت مرور دوره‌ای است که در هر دوره سطح موجودی باید به یک مقدار از پیش تعیین شده‌ای برسد. یکی از مزایای این مقاله نسبت به مقاله‌های هم دوره و ماقبل خود این است که مسئله عدم قطعیت در زنجیره تامین را از طریق نظریه مجموعه‌های فازی بیان کرده و به طور کامل تشریح می‌کند (Kao & Hsu, 2002). پاپاجورجیو و لوپس در سال ۲۰۰۹، یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای یک شرکت دارویی با چند سایت، جهت برنامه‌ریزی ظرفیت بلند مدت تحت ساختار تجاری آن شرکت و با لحاظ عدم قطعیت توسعه و ارائه دادند (Papageorgiou, 2009). در میان آثار متعددی که در این زمینه انجام شده است، پیشوائی و همکاران در سال ۲۰۱۱، یک روش بهینه سازی قوی برای شبکه

زنجیره تامین حلقه بسته جهت به حداقل رساندن هزینه کل ارایه دادند (Pishvae et al., 2011). همچنین جبارزاده و همکاران ایشان در سال ۲۰۱۴، یک مدل طراحی شبکه پویا برای زنجیره تامین خون که داده‌های ورودی دارای عدم قطعیت بود را توسعه دادند (Jabbarzadeh et al., 2014). برای پارامترهای دارای عدم قطعیت و مبهم که ناشی از فقدان دانش ما در مورد مقادیر دقیق آنهاست، رویکرد برنامه ریزی استوار مورد توجه است. در این زمینه، (پیشوائی و همکاران ایشان در سال 2012a) یک روش برنامه ریزی فازی برای یک شبکه لجستیک سبز دو هدفه تحت عدم قطعیت توسعه و ارایه دادند (Pishvae et al., 2012). صالحی صادقیانی و همکاران ایشان یک شبکه زنجیره تامین خرده فروشی دارای ریسک های عملیاتی با داده های ورودی تصادفی و غیر دقیق با روش برنامه ریزی استوار قوی مخلوط توسعه و ارایه دادند (Sadghiani et al., 2015). در مقاله دیگری موسی زاده و همکاران یک مدل برنامه ریزی استوار را برای شبکه زنجیره تامین دارو با چهار لایه توسعه و ارائه دادند (Mousazadeh et al., 2015). از جدیدترین مطالعات در این زمینه می توان به مقاله زهیری و همکاران ایشان در سال ۲۰۱۷ اشاره کرد که آن ها یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح را جهت طراحی یکپارچه زنجیره عرضه دارو تحت شرایط عدم قطعیت توسعه داده و جهت حل این عدم قطعیت از رویکرد برنامه ریزی تصادفی استفاده کردند (Zahiriet et al., 2017). شرکت های دارویی در معرض تغییرات بزرگی جهت مقابله با چالش های جدید اقتصاد می - باشند. در حقیقت صنعت داروسازی با تغییرات زیادی روبرو است که یکی از آن ها نوسان در تقاضا می باشد که چالش های زیادی را در جهت پیش بینی فروش و میزان تولید ایجاد می کند. در مطالعه ای که موکرینی و همکاران ایشان در سال ۲۰۱۶ انجام دادند، یک مدل ریاضی جهت کنترل ریسک ها موقع برون سپاری در کل زنجیره تامین دارو توسعه دادند (Mokrini et al., 2016). در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۶، خانم کاظمی زنجانی و همکاران ایشان به نقش لجستیک معکوس در صنایع داروسازی پرداخته و به ضرورت هماهنگی مابین شرکت های تولید کننده دارو و شرکت های توزیع کننده شخص ثالث تاکید کردند (Weraikat et al., 2016). آغاز دور جدیدی از اصلاحات در سیستم پزشکی کشور چین بهبودهای بسیاری را برای زنجیره تامین دارویی این کشور پدید آورده است. در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۷ توسط گوگین و همکاران ایشان صورت پذیرفته است، به تاثیر این اصلاحات و بهبودها در میزان کارایی و اثربخشی زنجیره تامین دارو، در دسترس بودن و مقرون به صرفه بودن داروها در سه منطقه روستایی کشور چین پرداخته شده است (Guoqin et al., 2017). همچنین در سال ۲۰۱۷ ستانی و همکاران ایشان در یک مطالعه مرور ادبیاتی، به بررسی نقادانه اکثر مدل های ریاضی توسعه داده شده برای زنجیره تامین دارویی پرداختند. از نظر آنها، همه مدل های توسعه داده شده تولید محور بوده و به بیمار و نیازهای او توجه خاصی نکرده اند (Settanni et al., 2017).

۲- روش شناسی

مطابق شکل شماره (۲)، شبکه زنجیره تامین دارویی در نظر گرفته شده، یک زنجیره تامین چهار سطحی - چند دوره ای - چند محصولی می باشد که شامل چندین مرکز تولید دارو، مراکز توزیع اصلی، مراکز توزیع محلی و مشتریان نهایی (بیمارستان ها، کلینیک ها و داروخانه ها) با جریان های انتقال جانبی بالقوه مابین مراکز توزیع محلی می باشد. از لحاظ جغرافیایی، مکان های بالقوه زیادی جهت احداث مراکز تولیدی و مراکز توزیع اصلی و محلی مورد نیاز وجود دارد، ولی تصمیم گیران باید با توجه به معیارهای مختلف و تمرکز ویژه روی نیازهای مشتریان نهایی بهترین مکان یا مکان ها را برای هر یک از تسهیلات انتخاب کنند. علاوه بر این، از میان فناوری های در دسترس برای تولید هر خانواده محصول، فقط یک فناوری در هر مرکز تولیدی بالقوه می تواند مورد استفاده قرار گیرد که مستقیماً بر ظرفیت تولیدی مرکز در هر دوره زمانی تاثیر می گذارد. طبیعی است که استفاده از تکنولوژی تولید بالاتر موجب بالا رفتن ظرفیت تولید در هر دوره زمانی می شود ولی با این حال، هزینه تالیس مضاعفی نیز به کل سیستم تحمیل می گردد.



شکل شماره (۲): شبکه زنجیره تامین دارو

موجودی می‌تواند در پایان هر دوره در مراکز توزیع اصلی و محلی نگهداری گردد در حالی که سطح آن بر اساس ظرفیت انبارش هر مرکز محدود می‌باشد. به هر حال، سطوح ظرفیت مراکز توزیع اصلی و محلی به عنوان متغیرهای تصمیم مدل مسئله در نظر گرفته می‌شوند. همچنین به منظور کنترل نیازهای ضروری برای یک داروی مشخص در هر دوره زمانی، یک سطح موجودی اطمینان برای مراکز توزیع محلی در نظر گرفته می‌شود. تقاضای هر حوزه مشتری فقط با انتقال محصولات از مراکز توزیع محلی برآورده می‌گردد. علاوه بر این، حالت‌های مختلفی از سیستم حمل و نقل جهت حمل و انتقال محصولات مابین سطوح مختلف و یا میان مراکز توزیع محلی در دسترس می‌باشد.

مفروضات مسئله عبارتند از:

- مشتریان نهایی سیستم چند نوع می‌باشند، ولی به دلیل اینکه فقط تقاضای کل برای ما مهم می‌باشد با آن‌ها به یک نوع برخورد می‌گردد.
- فرض بر این است که هیچ منبع گلوگاهی در مدل مسئله وجود ندارد.
- فقط داده‌های یک خانواده محصول (کپسول آموکسی سیلین ۵۰۰ میلی‌گرم) به عنوان مطالعه موردی واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مربوط به تقاضا و سایر اطلاعات مورد نیاز در کشور ایران بسیار سخت و گاهی غیرممکن می‌باشد.
- فرض بر این است که هیچگونه تقاضای ارضا نشده‌ای در سیستم وجود ندارد، یعنی هیچ کمبودی در کلیت سیستم در نظر گرفته نمی‌شود.
- با توجه به نوع حمل محصولات تولیدی دارویی در کشور ایران، فقط یک نوع حمل و نقل (زمینی) جهت حمل محصولات تولیدی مابین سطوح مختلف زنجیره در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به مواردی که در بخش قبل مطرح شد، مدل توسعه داده شده و پیشنهادی برای مسئله زنجیره تامین دارویی به صورت زیر می‌باشد:

اندیس‌ها:

h : شاخص مربوط به نوع حمل و نقل، $h \in \{1, 2, 3, \dots, H\}$

i : شاخص مربوط به محل‌های کاندید جهت احداث سایت‌های تولیدی، $i \in \{1, 2, 3, \dots, I\}$

j : شاخص مربوط به محل‌های کاندید جهت مراکز توزیع اصلی، $j \in \{1, 2, 3, \dots, J\}$

k : شاخص مربوط به محل‌های کاندید جهت مراکز توزیع محلی، $k \in \{1, 2, 3, \dots, K\}$

l : شاخص مربوط به مشتریان نهایی زنجیره شامل بیمارستان‌ها و ...، $l \in \{1, 2, 3, \dots, L\}$

m_p : شاخص مربوط به تکنولوژی ساخت بالقوه جهت تولید محصول خانواده p

$m_p \in \{1, 2, 3, \dots, M_p\}$

n : شاخص مربوط به سطوح ظرفیت ممکن برای مراکز توزیع اصلی، $n \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$

p : شاخص مربوط به خانواده‌های محصول، $p \in \{1, 2, 3, \dots, P\}$

t : شاخص مربوط به دوره‌های زمانی، $t \in \{1, 2, 3, \dots, T\}$

پارامترها:

a_{jkp}^h : هزینه حمل و نقل هر واحد محصول خانواده p از مرکز توزیع اصلی j به مرکز توزیع محلی k با نوع حمل و نقل h

c_{ijp}^h : هزینه حمل و نقل هر واحد محصول خانواده p از مرکز تولیدی i به مرکز توزیع اصلی j با نوع حمل و نقل h

d_{ipt} : تقاضای مشتری نهایی i برای محصول خانواده p در دوره t

e_{klp}^h : هزینه حمل هر واحد محصول خانواده p از مرکز توزیع محلی k به مشتری نهایی l

f_{ip}^{mp} : هزینه‌های احداث مرکز تولیدی i جهت تولید محصول خانواده p با تکنولوژی ساخت m_p

g_j^n : هزینه‌های احداث مرکز توزیع اصلی j با سطح ظرفیت n

h_k : هزینه‌های احداث مرکز توزیع محلی k

SC_{zjp} : هزینه‌های انبارش محصول خانواده p در انتهای دوره در مرکز توزیع اصلی j

SC'_{kp} : هزینه‌های انبارش محصول خانواده p در انتهای دوره در مرکز توزیع محلی k

SS_{kpt} : موجودی اطمینان محصول خانواده p در مرکز توزیع محلی k در انتهای دوره t

$tr_{k'kp}^h$: هزینه انتقال هر واحد محصول خانواده p از مرکز توزیع محلی k به مرکز توزیع محلی k' با نوع حمل و نقل h

δ_j^n : ظرفیت انبارش مرکز توزیع اصلی j تعیین شده با سطح ظرفیت n

γ_k : ظرفیت انبارش در دسترس در مرکز توزیع محلی k

π_p : اهمیت نسبی محصول خانواده p

ρ_{ip}^{mp} : هزینه‌های ساخت محصول خانواده p در مرکز تولیدی i با تکنولوژی ساخت m_p

τ_{ip}^{mp} : ظرفیت تولید موثر مرکز تولیدی i برای محصول خانواده p با تکنولوژی ساخت m_p

ti_{ijp}^h : مدت زمان حمل و نقل هر واحد محصول خانواده p از مرکز تولیدی i به مرکز توزیع اصلی j با نوع حمل و نقل h

ti_{jkp}^h : مدت زمان حمل و نقل هر واحد محصول خانواده p از مرکز توزیع اصلی j به مرکز توزیع محلی k با نوع حمل و نقل h

نقل h

$tii_{kk'p}^h$: مدت زمان حمل و نقل هر واحد محصول خانواده p از مرکز توزیع محلی k به مرکز توزیع محلی k' با نوع

حمل و نقل h

tiv_{klp}^h : مدت زمان حمل و نقل هر واحد محصول خانواده p از مرکز توزیع محلی k به مشتری نهایی l با نوع حمل و نقل h

متغیرهای تصمیم:

I_{jpt} : سطح موجودی محصول خانواده p در مرکز توزیع اصلی j در انتهای دوره t

I'_{kpt} : سطح موجودی محصول خانواده p در مرکز توزیع محلی k در انتهای دوره t

o_{klpt}^h : مقدار حمل شده محصول خانواده p از مرکز توزیع محلی k به مشتری نهایی l در انتهای دوره t با نوع حمل و نقل h

q_{jkpt}^h : مقدار حمل شده محصول خانواده p از مرکز توزیع اصلی j به مرکز توزیع محلی k در انتهای دوره t با نوع حمل و نقل h

$u_{ijpt}^{mp,h}$: مقدار تولید شده محصول خانواده p در سایت تولیدی i با تکنولوژی ساخت m_p و حمل شده به مرکز توزیع اصلی j با نوع حمل و نقل h

$v_{k'kpt}^h$: مقدار انتقال محصول خانواده p از مرکز توزیع محلی k به مرکز توزیع محلی k' در انتهای دوره t با نوع حمل و نقل h

x_{ip}^{mp} : یک اگر مرکز تولیدی i جهت تولید محصول خانواده p با استفاده از تکنولوژی ساخت m_p احداث گردیده است؛ و صفر، در غیر اینصورت

y_j^n : یک اگر مرکز توزیع اصلی بالقوه j با سطح ظرفیت n احداث گردیده است؛ و صفر، در غیر اینصورت

z_k : یک اگر مرکز توزیع محلی بالقوه k احداث گردیده است؛ و صفر، در غیر اینصورت

bi_{ijp}^h : یک اگر محصول خانواده p از مرکز تولیدی i به مرکز توزیع اصلی j با نوع حمل و نقل h ارسال گردد؛ و صفر، در غیر اینصورت

bi_{jkp}^h : یک اگر محصول خانواده p از مرکز توزیع اصلی j به مرکز توزیع محلی k با نوع حمل و نقل h ارسال گردد؛ و صفر، در غیر اینصورت

$biii_{kk'p}^h$: یک اگر محصول خانواده p از مرکز توزیع محلی k به مرکز توزیع محلی k' با نوع حمل و نقل h ارسال گردد؛ و صفر، در غیر اینصورت

biv_{klp}^h : یک اگر محصول خانواده p از مرکز توزیع محلی k به مشتری نهایی l با نوع حمل و نقل h ارسال گردد؛ و صفر، در غیر اینصورت

با استفاده از علائم و نمادهای فوق، مدل مسئله بصورت زیر فرمول بندی می‌گردد:

$$\begin{aligned} \text{Min } w_1 = & \sum_{i,p,m_p} f_{ip}^{mp} x_{ip}^{mp} \\ & + \sum_{j,n} g_j^n y_j^n \\ & + \sum_k h_k z_k \\ & + \sum_{i,j,m_p,h,p,t} (\rho_{ip}^{mp} + c_{ijp}^h) u_{ijpt}^{mp,h} \\ & + \sum_{j,k,h,p,t} a_{jkp}^h q_{jkpt}^h \\ & + \sum_{k,k',h,p,t} tr_{k'kp}^h v_{k'kpt}^h + \sum_{k,l,h,p,t} e_{klp}^h o_{klpt}^h + \sum_{j,p,t} SC_{jp} I_{jpt} + \sum_{k,p,t} SC'_{kp} I'_{kpt} \end{aligned} \quad (1)$$

تابع هدف اول (۱)، شامل هزینه ثابت احداث مراکز (تولید، توزیع اصلی و محلی)، هزینه‌های تولید، هزینه‌های حمل و نقل و انتقال محصولات، هزینه نگهداری موجودی در مراکز توزیع اصلی و محلی می‌باشد و هدف آن کمینه کردن هزینه‌های کل سیستم است.

$$\text{Min } w_2 = \text{Min}_{i,j,k,k',l,p,h} \{ (t_{ijp}^h b_{ijp}^h + t_{ijkp}^h b_{ijkp}^h + t_{ivklp}^h b_{ivklp}^h), (t_{ijp}^h b_{ijp}^h + t_{ijkp}^h b_{ijkp}^h + t_{iik'p}^h b_{iik'p}^h + t_{ivklp}^h b_{ivklp}^h) \} \quad (2)$$

تابع هدف دوم (۲)، سعی در حداقل کردن زمان حمل و نقل کل سیستم در طول افق برنامه‌ریزی دارد.

$$I_{jpt} = I_{jpt-1} + \sum_{i,m,p,h} u_{ijpt}^{m,p,h} - \sum_{k,h} q_{jkpt}^h \quad \forall j, p, t. \quad (3)$$

$$I'_{kpt} = I'_{kpt-1} + \sum_{j,h} q_{jkpt}^h - \sum_{j,h} o_{klpt}^h + \sum_{k',h} v_{k'kpt}^h - \sum_{k',h} v_{kk'pt}^h \quad \forall k, p, t. \quad (4)$$

محدودیت‌های اول (۳) و دوم (۴)، معادلات تعادل جریان هر خانواده محصول به ترتیب در مراکز توزیع اصلی و محلی می‌باشند.

$$\sum_{j,h,m,p} u_{ijpt}^{m,p,h} \leq x_{ip}^{m,p} \tau_{ip}^{m,p} \quad \forall p, i, t. \quad (5)$$

محدودیت سوم (۵) تضمین می‌کند که سطح کل تولید یک خانواده محصول در هر مرکز تولید تاسیس شده در هر دوره زمانی، از ظرفیت تولید متناظر براساس تکنولوژی ساخت انتخاب شده برای آن خانواده محصول تجاوز نکند.

$$\sum_p (I_{jpt-1} + \sum_{i,m,p,h} u_{ijpt}^{m,p,h}) \leq \sum_n y_j^n \delta_j^n \quad \forall j, t. \quad (6)$$

$$\sum_p (I'_{kpt-1} + \sum_{j,h} q_{jkpt}^h + \sum_{k',h} v_{k'kpt}^h) \leq \gamma_k z_k \quad \forall k, t. \quad (7)$$

محدودیت‌های ظرفیت انبارش برای مراکز توزیع اصلی و محلی به ترتیب با معرفی محدودیت‌های (۶) و (۷) تعریف می‌گردد. مجموع محصولات مانده از دوره قبل به اضافه مجموع محصولات دریافتی جدید در مراکز توزیع اصلی و محلی در هر دوره نمی‌تواند از ظرفیت انبارش مربوطه تجاوز کند.

$$I'_{kpt} \geq SS_{kpt} z_k \quad \forall k, p, t. \quad (8)$$

محدودیت (۸) تضمین می‌کند که سطح موجودی هر خانواده محصول در هر دوره زمانی و در هر مرکز توزیع محلی از سطح موجودی اطمینانی که قبلاً به آن تخصیص یافته است، برابر یا بزرگتر می‌باشد. این محدودیت‌ها تا حدودی از شبکه در قبال تقاضاهای غیرمنتظره محافظت می‌کند. سطوح موجودی اطمینان می‌تواند به عنوان بخشی از تقاضای کل محیطی مشتریان برای هر خانواده محصول در هر دوره زمانی با استفاده از سطح خدمات از پیش تعیین شده تخمین زده شود. همچنین باید توجه داشت که مراکز توزیع محلی مستقیماً به مشتریان سرویس‌دهی می‌کنند در حالی که خود آنها توسط مراکز توزیع اصلی تغذیه می‌گردند. کاملاً محتمل است که هر مرکز توزیع محلی به آن دسته از مشتریان نهایی که در مجاورت خود است سرویس می‌دهد حال آنکه ممکن است یک یا چند مرکز توزیع محلی مطابق الگوی تخصیص بهینه مراکز توزیع اصلی و محلی که توسط مدل تصمیم‌گیری تعیین می‌گردد، توسط هر مرکز توزیع اصلی تاسیس شده خدمت رسانی شود. در این روش، تخمین یک مقدار معقول برای سطوح اطمینان مراکز توزیع محلی تا حدی ممکن می‌باشد در حالیکه برآورد این مقدار برای مراکز توزیع اصلی دشوار و یا حتی غیرممکن است. بنابراین سطح خدمات از پیش تعیین شده فقط در مراکز توزیع محلی با سطوح موجودی اطمینان منطبق است در حالیکه سطح موجودی بهینه هر مرکز توزیع اصلی بوسیله هیچ سطح موجودی اطمینانی محدود نشده و آزادانه می‌تواند توسط مدل تصمیم‌گیری تعیین گردد.

این مدل به طرز قابل توجهی از جریان‌های انتقال محتمل مابین مراکز توزیع محلی برای غلبه بر نوسانات تقاضا منتفع می‌گردد که این خاصیت خود توجیهی برای در نظر نگرفتن سطح موجودی اطمینان برای مراکز توزیع اصلی می‌باشد.

$$\sum_{ip}^{m_p} x_{ip}^{m_p} \leq 1 \quad \forall i, p. \quad (9)$$

$$\sum_n^{m_p} y_j^n \leq 1 \quad \forall j. \quad (10)$$

محدودیت (۹) تضمین می‌کند که حداکثر یک تکنولوژی ساخت جهت تولید هر خانواده از محصول در هر مرکز تولیدی تاسیس شده باید مورد استفاده قرار گیرد. به طرز مشابه، انتخاب حداکثر یک سطح ظرفیت برای هر مرکز توزیع اصلی با محدودیت (۱۰) تضمین می‌گردد.

$$u_{ijpt}^{m_p h} \leq b_{ijp}^h * M \quad \forall i, j, m_p, t. \quad (11)$$

$$q_{jkpt}^h \leq b_{ijkp}^h * M \quad \forall j, k, t. \quad (12)$$

$$v_{k'kpt}^h \leq b_{kk'p}^h * M \quad \forall k, k', t. \quad (13)$$

$$o_{klpt}^h \leq b_{klp}^h * M \quad \forall k, l, t. \quad (14)$$

محدودیت‌های (۱۱)، (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) تضمین می‌کنند که مقدار حمل شده محصولات در سطوح مختلف زنجیره باید از متغیرهای متناظر صفر و یک آنها ضربدر یک عدد M بزرگ، کوچکتر باشد.

$$\sum_j b_{ijp}^h \geq 1 \quad \forall i, p, h. \quad (15)$$

$$\sum_k b_{ijkp}^h \geq 1 \quad \forall j, p, h. \quad (16)$$

$$\sum_l b_{ivklp}^h \geq 1 \quad \forall k, p, h. \quad (17)$$

محدودیت‌های ۱۵ تا ۱۷ تضمین می‌کنند که حتما باید محصولات مابین سطوح اصلی سیستم شامل مراکز تولید، توزیع اصلی و محلی، و مشتریان نهایی جهت ارضای تقاضای مشتریان سیستم جابجا گردند.

$$d_{lpt} = \sum_k o_{klpt}^h \quad \forall l, p, t, h. \quad (18)$$

محدودیت (۱۸)، معادله تعادل جریان در سطح آخر زنجیره می‌باشد، که نشان می‌دهد مقدار تقاضای مشتریان نهایی در سیستم باید با مقدار حمل شده محصولات از مراکز توزیع محلی به مشتریان نهایی برابر باشد. در نهایت محدودیت‌های (۱۹) و (۲۰) نوع متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند.

$$x_{ip}^{m_p}, y_j^n, z_k, b_{ijp}^h, b_{ijkp}^h, b_{kk'p}^h, b_{ivkl}^h \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k, k', l, p, m_p, n, h. \quad (19)$$

$$u_{ijpt}^{m_p h}, q_{jkpt}^h, o_{klpt}^h, I_{jpt}, I'_{kpt}, v_{k'kpt}^h \geq 0 \quad \forall i, j, k, l, m_p, h, p, t. \quad (20)$$

از آنجایی که تابع هدف دوم (۲) با توجه به ساختار Min Min غیرخطی می‌باشد، بنابراین با تعریف یک متغیر آزاد در علامت θ خطی گردیده و بصورت زیر فرمول‌بندی می‌گردد:

$$\text{Min } w_2 = \theta \quad (21)$$

بطوریکه:

$$\theta \geq (t_{ij}^h b_{ijp}^h + t_{ijk}^h b_{ijkp}^h + t_{ivkl}^h b_{ivkl}^h) \quad \forall i, j, k, l, h. \quad (22)$$

$$\theta \geq (t_{ij}^h b_{ijp}^h + t_{ijk}^h b_{ijkp}^h + t_{kk'}^h b_{kk'p}^h + t_{ivkl}^h b_{ivkl}^h) \quad \forall i, j, k, k', l, h. \quad (23)$$

عملکرد مدل پیشنهادی از طریق یک مطالعه موردی واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از

سازمان ملی غذا و داروی ایران در رابطه با مجموع فروش دارو در کشور، کپسول آموکسی سیلین ۵۰۰ میلی گرم بیشترین داروی تجویز و مصرف شده در میان تقریباً ۵۵۰۰ نوع مختلف دارو از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ در کشور ایران بوده است (حدود ۹۰۰ میلیون کپسول در سال). با توجه به طیف گسترده درمان و فروش بالا، شبکه تولید و توزیع این دارو در کشور به عنوان مطالعه موردی واقعی انتخاب گردیده است.

کشور ایران ۳۱ استان دارد که طبق نظر متخصصان، هر کدام از آنها می‌تواند به عنوان یک حوزه تقاضا بعلاوه یک مکان بالقوه برای تاسیس یک مرکز توزیع محلی در نظر گرفته شود. به دلیل اینکه استفاده از داروی آموکسی سیلین در فصول مختلف سال به شدت متغیر است، یک افق تصمیم‌گیری زمانی به مدت چهار سال شامل ۱۶ دوره زمانی فصلی از سال ۲۰۱۴ تا سال ۲۰۱۷ در نظر گرفته شده است.

برای تخمین مقدار تقاضا، ابتدا تقاضای سالیانه با توجه به روند داده‌های تاریخی تخمین زده شد، سپس برای تخمین تقاضای هر استان در هر سال نتایج تخمین زده شده در کسر تقریبی جمعیت هراستان به کل جمعیت کشور ایران ضرب گردید. از طرف دیگر، مطابق نظر کارشناسان این حوزه نرخ مصرف داروی آموکسی سیلین ۵۰۰ میلی گرم در فصول مختلف هر سال تقریباً بصورت بهار (۱۱٪)، تابستان (۹٪)، پاییز (۳۰٪) و زمستان (۵۰٪) می‌باشد.

کارشناسان ۸ استان اصلی کشور را برای تاسیس مراکز تولیدی انتخاب کردند که شامل استان‌های تهران، اصفهان، خراسان رضوی، آذربایجان شرقی، کرمانشاه، البرز، قزوین و فارس می‌باشند. بعلاوه، ۴ تکنولوژی تولید به عنوان گزینه‌های محتمل جهت تولید داروی آموکسی سیلین ۵۰۰ میلی گرم در هر مرکز با ظرفیت‌های تولید به ترتیب ۱۳۵، ۱۸۰، ۲۲۵ و ۲۷۰ تن در هر فصل انتخاب شدند. علاوه بر این، در رابطه با مراکز توزیع اصلی همان ۸ استان انتخاب شده برای تاسیس مراکز تولیدی به اضافه استان‌های خوزستان و مازندران، هر کدام با ۳ سطح ظرفیت انبارش بالقوه به ترتیب ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ تن پیشنهاد شدند. هزینه تولید هر واحد محصول نیز با در نظر گرفتن قیمت فروش هر کپسول بعلاوه حاشیه سود هر مرکز تولیدی (۶۵ ریال)، مبلغ ۲۵۰ ریال محاسبه و در نظر گرفته می‌شود. برای پیدا کردن هزینه انبارش هر واحد، ابتدا حجم هر بسته شامل ۱۰۰ کپسول محاسبه شده، سپس با در نظر گرفتن وزن هر کپسول (۸۰۰ میلی گرم)، هزینه انبارش به تن محاسبه می‌گردد.

در نهایت از طریق مشاوره با سازمان‌های حمل و نقل، هزینه‌های حمل و نقل هر واحد محصول در ۱۰۰ کیلومتر بدست آمد. سپس با تخمین فاصله مابین هر جفت از ۳۱ استان با استفاده از نقشه‌های گوگل، هزینه حمل و نقل هر واحد بعلاوه مدت زمان حمل و نقل محصولات (با در نظر گرفتن سرعت مطمئنه ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت برای حمل و نقل زمینی در جاده‌ها و بزرگراه‌های کشور ایران)، میان هر جفت از استان‌ها محاسبه گردید. به دلیل حجم زیاد داده و محدودیت فضا در متن باقی داده‌های مورد استفاده در اینجا گزارش نمی‌گردد حال آن‌که همه آن‌ها به محض درخواست قابل ارائه می‌باشد.

در حل مسائل چند هدفه دستیابی به جواب بهینه امکان‌پذیر نیست و فقط می‌توان به مجموعه جواب‌های نزدیک به بهینه رسید (مرز پارتو). در چنین شرایطی در این پژوهش، با در نظر گرفتن ویژگی مطالعه موردی مطرح شده، تصمیم گرفته شد تصمیم‌گیرنده یا کاربر سیستم بتواند ترجیحات خود را با توجه به جواب‌های بدست آمده و محدودیت‌های فنی مطرح کند. در شرایط حضور چندین جواب از یک طرف و ترجیحات تصمیم‌گیرنده از طرف دیگر، برای ورود به فاز عملیاتی نیاز به روشی که بتواند یک جواب را به مثابه جواب نهایی مطرح کند احساس می‌شود. با توجه به شرایط مطرح شده، روش‌های تعاملی برنامه‌ریزی چندهدفه از سایر روش‌های موجود در حوزه برنامه‌ریزی چند هدفه مناسب‌ترند. یکی از این روش‌ها، روش محدودیت اپسیلون است.

همیز و همکاران روش محدودیت اپسیلون را برای اولین بار مطرح کردند (Haimes, 1971). با استفاده از این روش، یک تقریب خوب از جواب‌های بهینه پارتویی می‌تواند به دست آید که فرایند تصمیم‌گیری در مواجهه با مسائل چندهدفه را تسهیل کند. بدین منظور، ابتدا مدل برای هر یک از توابع هدف بصورت جداگانه بهینه‌سازی می‌گردد تا اینکه دو نقطه کارآمد مرز پارتویی را پیدا کنیم، سپس از طریق انتقال یکی از توابع هدف به مجموعه محدودیت‌ها و آزاد سازی مرحله به مرحله مقادیر سمت راست (پارامتر ϵ) جواب‌های بهینه پارتویی دیگر بدست می‌آید.

قابل ذکر است که مدل مسئله همراه داده‌های جمع‌آوری شده در نرم‌افزار GAMS V24.1.2 و در یک سیستم Core i7 با ۸

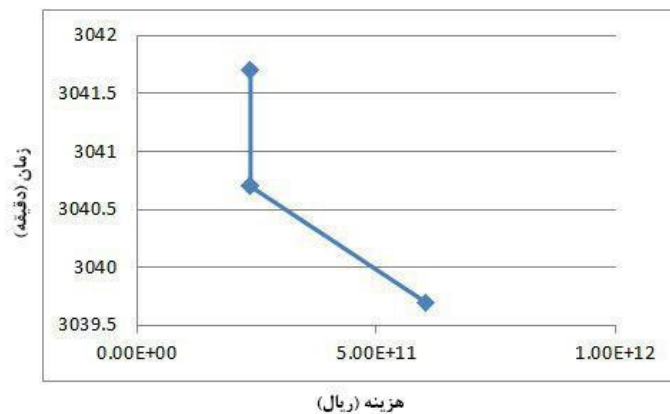
گیگابایت رم کدنویسی و حل شده‌اند.

۳- نتایج و بحث

با حل مدل مسئله، مقادیر بهینه توابع هدف اول و دوم به ازای اپسیلون‌های متفاوت در جدول شماره (۱) نشان داده شده است. جدول شماره (۱): مقادیر مختلف توابع هدف اول و دوم به ازای اپسیلون‌های متفاوت

ε	W_1	W_2
0.00	2.367532E+11	3041.70
0.38	2.367532E+11	3041.70
0.77	2.367532E+11	3040.70
1.15	2.367532E+11	3040.70
1.54	2.367532E+11	3040.70
1.92	6.038322E+11	3039.70

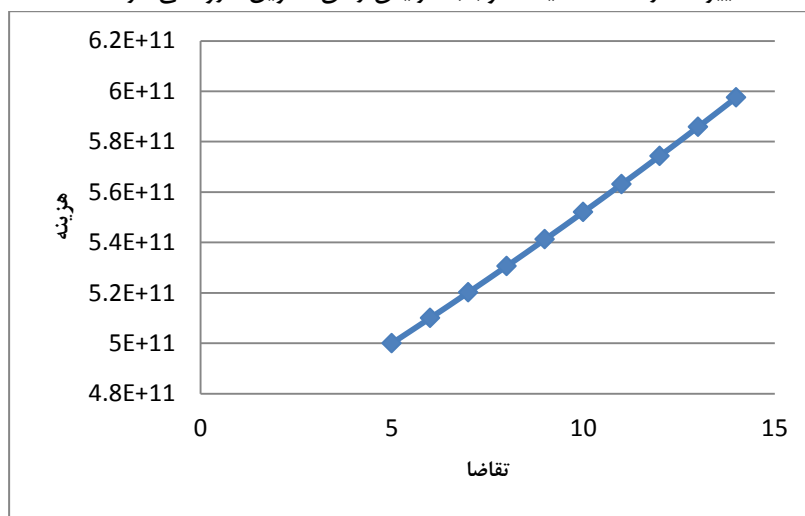
همانطوری که در جدول شماره (۱) قابل مشاهده است، مقدار تابع هدف دوم با افزایش مرحله به مرحله مقدار اپسیلون افزایش یافته، ولی مقدار تابع هدف اول پس از طی یک روند ثابت به ازای مقادیر مختلف اپسیلون، نهایتاً با افزایش مقدار اپسیلون به ۱/۹۲ کاهش پیدا می‌کند و به مقدار (6.038322E+11) می‌رسد. بنابراین مقادیر (2.367532E+11 ریال) و (۳۰۳۹/۷۰ ساعت به ترتیب به عنوان مقادیر بهینه توابع هدف اول و دوم مدل مسئله در نظر گرفته می‌شوند. همچنین حل مسئله نشان دهنده فعال شدن تنها یک مرکز تولیدی (تهران) جهت تولید قرص آموکسی سیلین ۵۰۰ میلی گرم با تکنولوژی ساخت سطح ۳ (۲۲۵) تن از بین ۸ مرکز تولید کاندید شده، ۳ مرکز توزیع اصلی شامل استان‌های البرز، اصفهان و کرمانشاه و وجود جریان‌های حمل و نقل مابین آن‌ها می‌باشد. شکل شماره (۳)، نشان دهنده نمودار پارتویی مقادیر بهینه توابع هدف اول و دوم به ازای اپسیلون‌های مختلف می‌باشد.



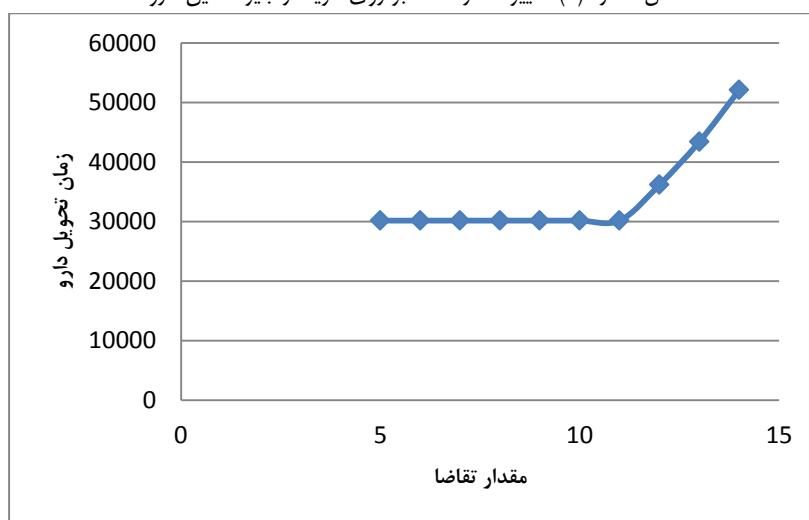
شکل شماره (۳): نمودار پارتویی مقادیر بهینه توابع هدف اول و دوم

یکی از پارامترهای تأثیرگذار در مساله مقدار تقاضای مشتری نهایی برای محصول خانواده خاص در دوره‌های مختلف است که می‌توان با تغییر مقدار آن برای محصول آموکسی سیلین برای مجموع مشتریان در دوره‌های مختلف تحلیل حساسیت نمود. در شکل‌های شماره (۴) و (۵) به ترتیب می‌توان میزان تغییر هزینه و زمان را به ازای تغییر مقدار تقاضا مورد بررسی قرار داد. در

شکل شماره (۴) کاملاً مشخص است که افزایش مقدار تقاضا موجب افزایش میزان هزینه می‌گردد. همچنین در شکل شماره (۵) این موضوع واضح است که تغییر مقدار تقاضا همیشه موجب افزایش زمان تحویل دارو نمی‌گردد.



شکل شماره (۴): تغییر مقدار تقاضا بر روی هزینه زنجیره تامین دارو



شکل شماره (۵): تغییر مقدار تقاضا بر روی زمان تحویل در زنجیره تامین دارو

یکی از حیاتی‌ترین جاهایی که نیاز به بهینه‌سازی دارد، سیستم‌های سلامت است که در صورت عدم توجه به این بخش، خسارات جبران ناپذیری به بار خواهد آمد. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی دو هدفه (MILP) برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین دارو توسعه داده شد. شبکه زنجیره تامین در نظر گرفته شده برای این مسئله از چهار لایه شامل (تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان اصلی، توزیع‌کنندگان محلی و مشتریان نهایی) تشکیل شده بود. هدف ما در این پژوهش توسعه مدلی برای یک زنجیره تامین داروی چند دوره‌ای و چند محصولی بود که در آن، کلیه تصمیمات استراتژیک زنجیره (تعداد، مکان‌ها، فن‌آوری‌های تولید و ظرفیت‌های انبارش) و تصمیمات تاکتیکی (جریان محصولات مابین تسهیلات و لایه‌های زنجیره در هر دوره) و همچنین زمان‌های حمل و نقل بهینه‌گردند. در نهایت برای تست اعتبار مدل از یک نمونه واقعی (داروی آموکسی سیلین ۵۰۰ میلی‌گرم) براساس داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده از سازمان ملی غذا و داروی ایران استفاده شد. مدل توسعه داده شده شامل دو تابع هدف بود که، تابع هدف اول سعی در کمینه‌کردن کل هزینه‌های سیستم مانند (هزینه‌های حمل و انتقال هر واحد محصول مابین سطوح مختلف زنجیره، هزینه‌های تاسیس مراکز تولید، توزیع اصلی و محلی و ...) و تابع هدف دوم سعی در کمینه‌کردن مجموع مدت زمان حمل و نقل سیستم داشت. در نهایت از یک تکنیک تصمیم‌گیری چند هدفه (MODM)، یعنی روش محدودیت ϵ جهت حصول به یک جواب نهایی

ترجیحی برای مطالعه موردی واقعی که در آن نتایج تقریباً بصورت کاملی تحلیل شده‌اند، استفاده شد.

۴- منابع

1. Guoqin, Z., Dzever, S., & Renwu, T. (2017). Assessing the Impact of the New Medical Reform on China's Pharmaceutical Supply Chain: The Case of Essential Medicines Distribution in Yuping, Luochan, and Minhang Regions. In E. Paulet & C. Rowley (Eds.), *The China Business Model* (pp. 119–144).
2. Haimes, Y. Y. (1971). On a bicriterion formulation of the problems of integrated system identification and system optimization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1(3), 296–297.
3. Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: a robust model with real world application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, 225–244.
4. Jetly, G., Rossetti, C. L., & Handfield, R. (2012). A multi-agent simulation of the pharmaceutical supply chain. *Journal of Simulation*, 6(4), 215–226.
5. Kao, C., & Hsu, W.-K. (2002). A single-period inventory model with fuzzy demand. *Computers & Mathematics with Applications*, 43(6), 841–848.
6. Kelle, P., Woosley, J., & Schneider, H. (2012). Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case. *Operations Research for Health Care*, 1(2–3), 54–63.
7. La\`inez, J. M., Schaefer, E., & Reklaitis, G. V. (2012). Challenges and opportunities in enterprise-wide optimization in the pharmaceutical industry. *Computers & Chemical Engineering*, 47, 19–28.
8. Mokrini, A. El, Kafa, N., Dafaoui, E., Mhamedi, A. El, & Berrado, A. (2016). Evaluating outsourcing risks in the pharmaceutical supply chain: Case of a multi-criteria combined fuzzy AHP-PROMETHEE approach. *IFAC-PapersOnLine*, 49(28), 114–119.
9. Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Zahiri, B. (2015). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. *Computers and Chemical Engineering*, 82, 115–128.
10. Narayana, S. A., Pati, R. K., & Vrat, P. (2012). Research on management issues in the pharmaceutical industry: a literature review. *International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing*, 6(4), 351–375.
11. Nicholson, L., Vakharia, A. J., & Erenguc, S. S. (2004). Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application. *European Journal of Operational Research*, 154(1), 271–290.
12. Papageorgiou, L. G. (2009). Supply chain optimisation for the process industries: Advances and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 33(12), 1931–1938.
13. Pishvae, M. S., Rabbani, M., & Torabi, S. A. (2011). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 35(2), 637–649.
14. Pishvae, M. S., Torabi, S. A., & Razmi, J. (2012). Credibility-based fuzzy mathematical programming model for green logistics design under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 62(2), 624–632.
15. Sadghiani, N. S., Torabi, S. A., & Sahebjamnia, N. (2015). Retail supply chain network design under operational and disruption risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 95–114.
16. Settanni, E., Harrington, T. S., & Srail, J. S. (2017). Pharmaceutical supply chain models: A synthesis from a systems view of operations research. *Operations Research*

- Perspectives*, 4, 74–95.
17. Sousa, R. T., Liu, S., Papageorgiou, L. G., & Shah, N. (2011). Global supply chain planning for pharmaceuticals. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(11), 2396–2409.
 18. Sousa, R. T., Shah, N., & Papageorgiou, L. G. (2005). Global supply chain network optimisation for pharmaceuticals. *Computer Aided Chemical Engineering*, 20, 1189–1194.
 19. Susarla, N., & Karimi, I. A. (2012). Integrated supply chain planning for multinational pharmaceutical enterprises. *Computers & Chemical Engineering*, 42, 168–177.
 20. Uthayakumar, R., & Priyan, S. (2013). Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital. *Operations Research for Health Care*, 2(3), 52–64.
 21. Weraikat, D., Zanjani, M. K., & Lehoux, N. (2016). Two-echelon pharmaceutical reverse supply chain coordination with customers incentives. *International Journal of Production Economics*, 176, 41–52.
 22. WHO | Handbook of supply management at first-level health care facilities. (2013). WHO
 23. Yu, X., Li, C., Shi, Y., & Yu, M. (2010). Pharmaceutical supply chain in China: current issues and implications for health system reform. *Health Policy*, 97(1), 8–15.
 24. Zahiri, B., Zhuang, J., & Mohammadi, M. (2017). Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 103, 109–142.

Presenting a Bi-objective Stochastic Pharmaceutical Supply Chain Model Considering Time and Cost

Farshid Jouyban (Corresponding Author)

Email: f.jouyban@gmail.com

Mahdi Yousefi-Nejad

Assistant Professor, Islamic Azad University, Bonab branch, Bonab, Iran

Ensiyeh Neyshaboori

Industrial engineering group, Islamic Azad University, Bonab branch, Bonab, Iran

Abstract

In this paper, a bi-objective mixed integer linear programming (BOMILP) model is developed for a pharmaceutical supply chain network design (PSCND) problem. The model helps to make several decisions about the strategic issues such as opening pharmaceutical manufacturing centers and main/local distribution centers along with optimal material flows over a mid-term planning horizon as the tactical decisions. It aims to concurrently minimize the total costs and flow times as the first and second objective functions. In order to verify and analyze the proposed model, it is tested on a real case study according to Iran's National Organization of Food & Drug's data.

Keywords: Pharmaceutical supply chain network design, Mathematical modeling, Multi-period location-allocation.