

Hospital Supply Chain Optimization under Uncertainty: Application of Fuzzy Goal Programming

Mostafa Salmannejad^{*}, Seyed Habibollah Mirghafoori^{},
Davood Andalib Ardakani^{***}, Seyed Heydar
Mirfakhroddini^{****}**

Abstract

Developing efficient and effective health care systems has become a major concern for governments and health care decision makers. In-time supply of medicine and efficiency of the inventory and distribution system play a vital role in the hospital supply chain and require a proper decision-making process in inventory management. This study suggests a two-objective model of mixed-integer, linear programming to manage medicine and information flow. The main goals of this model are to minimize the costs of purchasing, maintaining, manpower, and medicine expiration, and to minimize medicine shortages. Uncertainty parameters are related to demand, storage, and supply capacity, as well as the aspiration level of each goal. The initial model is first transformed into a fuzzy mixed-integer, goal programming model. Then, the resulting model is transformed into a one-objective model using methods suggested by Torabi and Hassini and solved in GAMS. The supply chain of Shahid Beheshti Hospital in Kashan is used to explain the proposed approach. The results indicate that decisions related to the purchase and logistics of medicine have a great impact on medicine shortages and control various costs relating to medicine inventory in this hospital.

Keywords: Hospital Supply Chain; Healthcare; Services; Optimization; Fuzzy Goal Programming.

Received: Apr. 27, 2021; Accepted: Aug. 14, 2021.

^{*} Ph.D Student, Yazd University.

^{**} Associate Professor, Yazd University (Corresponding Author).

Email: mirghafoori@yazd.ac.ir

^{***} Associate Professor, Yazd University.

^{****} Professor, Yazd University.

بهینه‌سازی زنجیره تأمین بیمارستان تحت شرایط عدم قطعیت: کاربرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی

مصطفی سلمان نژاد*، سید حبیب‌الله میرغفوری**، داوود عندلیب اردکانی***،

سیدحیدر میرفخرالدینی****

چکیده

امروزه توسعه سیستم‌های کارآمد و اثربخش بهداشت و درمان به یکی از نگرانی‌های اصلی دولت‌ها و تصمیم‌گیرندگان بهداشت و درمان تبدیل شده است. تأمین به موقع دارو و کارایی سیستم موجودی و توزیع، نقشی حیاتی در زنجیره تأمین بیمارستانی دارند و برای افزایش کارایی این فعالیت‌ها، فرآیند تصمیم‌گیری مناسب در مدیریت موجودی ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش یک مدل دوهدفه به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای مدیریت جریان دارو و اطلاعات ارائه شده است. اهداف این مدل حداقل کردن هزینه‌های خرید، نگهداری، نیروی انسانی و انقضای دارو و نیز حداقل کردن کمبود دارو است. عدم قطعیت پارامترها مربوط به تقاضا، ظرفیت ذخیره‌سازی و تأمین و نیز سطح تمایل هر آرمان است. مدل اولیه ابتدا به مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی عدد صحیح مختلط تبدیل شده، آنگاه مدل حاصل با استفاده از روش ترابی و هسینی به مدل تک‌هدفه تبدیل و با نرم‌افزار گمز حل شد. برای تشریح رویکرد پیشنهادی از زنجیره تأمین «بیمارستان شهید بهشتی کاشان» استفاده شده است. بررسی نتایج نشان داد که تصمیمات مربوط به خرید و لجستیک دارو، اثر زیادی بر کمبود دارو و کنترل هزینه‌های مختلف موجودی دارو در بیمارستان دارد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین بیمارستان؛ بهداشت و درمان؛ خدمات؛ بهینه‌سازی؛
برنامه‌ریزی آرمانی فازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۷، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳.

* دانشجوی دکتری، دانشگاه یزد.

** دانشیار، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول).

Email: mirghafoori@yazd.ac.ir

*** دانشیار، دانشگاه یزد.

**** استاد، دانشگاه یزد.

۱. مقدمه

با توجه به افزایش چشمگیر هزینه‌های بهداشت و درمان و رشد تقاضا برای خدمات این بخش، توسعه سیستم‌های کارآمد و اثربخش به یکی از نگرانی‌های اصلی دولتمردان تبدیل شده است [۲۰]. از میان اقدام بهداشت و درمان، داروها ۲۰ تا ۳۰ درصد هزینه‌ها را شکل می‌دهند [۱۴]؛ از طرفی دسترسی به دارو و عدم کمبود می‌تواند اثر مستقیمی بر امنیت و سلامت بیمار داشته باشد و به همین دلیل سعی می‌شود تا موجودی دارو به اندازه کافی نگهداری شود [۱]. افزایش موجودی نیز باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود. از سویی دیگر عدم قطعیت نسبت به تقاضا در بیمارستان‌ها و نگهداری بیش از حد دارو باعث ایجاد نگرانی نسبت به انقضا و فسادپذیری داروها در زنجیره تأمین بیمارستانی شده است و این موضوع به‌عنوان چالشی جدید می‌تواند یکی از عوامل کمبود دارو باشد [۵، ۲۹]. علاوه بر این موارد سه‌گانه، بیمارستان‌ها با چالش‌هایی همچون هزینه بالای خواب سرمایه، محدودیت فضای نگهداری، قیمت متغیر و بالای داروها، شرایط قانونی اعمال شده از سوی حاکمیت و پراکندگی بازیگران درگیر (پزشک، پرستار، نهادهای مالی) مواجه هستند [۲، ۵]؛ بنابراین تصمیم‌گیری درست در این شرایط پیچیده بسیار سخت است. راپولد و همکاران (۲۰۱۱)، به این نتیجه رسیدند که فرصت‌های قابل توجهی برای کاهش اتلاف از طریق بهبود برنامه‌ریزی و هماهنگی «جریان مواد و اطلاعات» در زنجیره‌های تأمین بیمارستانی وجود دارد [۱۶، ۱۷]. مدیریت و کنترل این هزینه‌ها برای مدیران بیمارستانی مسئله‌ای حائز اهمیت است و هر تلاشی در این راستا اثر زیادی بر کارایی سیستم بهداشت و درمان و در نتیجه ارتقای بهداشت عمومی خواهد داشت [۱۱].

مدیریت صحیح زنجیره تأمین بیمارستان به‌عنوان یک بستر مناسب می‌تواند دسترسی کافی به تجهیزات پزشکی و داروی ایمن را با کمترین هزینه ممکن فراهم کند. از میان تکنیک‌های مختلف در مدیریت زنجیره تأمین، «کنترل موجودی» به‌عنوان استراتژی اساسی برای مسائل مدیریت دارویی در بیمارستان‌ها شناخته می‌شود [۲۷]. از آنجاکه این مطالعه در مورد مطالعه ریشه داشت، با بررسی مبانی نظری مشخص شد که پژوهش‌های بهینه‌سازی بسیاری درباره زنجیره تأمین خارجی بهداشت و درمان وجود دارد که از طریق سیاست‌های موجودی به دنبال کاهش هزینه‌های اتلاف و افزایش سطح رضایت بیماران هستند [۲۶، ۲۳، ۲۱، ۱۳]؛ با این حال پژوهش‌های بهینه‌سازی کمی در مورد مسائل داخلی زنجیره تأمین بیمارستان صورت گرفته است [۱]. خلأ دیگری که در مرور مبانی نظری بهینه‌سازی زنجیره تأمین بیمارستانی مشهود بود، ملاحظه هم‌زمان انقضا داروها در زنجیره تأمین بیمارستان و عدم قطعیت نسبت به تقاضای دارو و دیگر پارامترهای برنامه‌ریزی است.

برای ملاحظه عدم قطعیت به‌عنوان ویژگی اساسی زنجیره تأمین بیمارستانی در مسائل بهینه‌سازی ابتدا باید منبع عدم قطعیت را شناسایی و سپس در مورد چگونگی ارائه آن در

مدل‌های بهینه‌سازی تصمیم‌گیری کرد [۲۸]. بر این اساس دو رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی و برنامه‌ریزی فازی (نادقیق) معرفی شده است. برنامه‌ریزی احتمالی زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد که «وقوع پدیده‌ای» قطعی نباشد؛ درحالی‌که برنامه‌ریزی فازی زمانی استفاده می‌شود که علی‌رغم قطعیت نسبت به وقوع پدیده‌ای، «نحوه وقوع پدیده» مورد نظر با قطعیت معلوم نباشد [۲۵]. در این پژوهش زنجیره تأمین بیمارستان مورد توجه قرار می‌گیرد که در آن نسبت به وقوع پارامترهای مدل، قطعیت وجود دارد؛ اما نمی‌توان نحوه وقوع پارامترهای تقاضا، ظرفیت تأمینی تأمین‌کننده و ظرفیت انبار بیمارستان را با قطعیت تعیین کرد؛ زیرا ۱. تقاضای دارو از سوی بیمار دارای ماهیتی غیرقطعی است، ۲. اطلاعات برای دسترسی به دارو به خاطر سیستم توزیع تولیدکننده ناکافی بوده و ۳. ظرفیت انبار با گردش پیوسته حجم انبوه داروهای مختلف و لوازم و تجهیزات متنوع غیرقطعی است [۵، ۲۶، ۱۲، ۳۱]. در این حالت، قضاوت تصمیم‌گیرنده نقش مهمی در مدل‌سازی زنجیره تأمین بیمارستان دارد و رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی فازی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب برای این اطلاعات غیرقطعی در مدل‌سازی زنجیره تأمین واقعی بیمارستان عمل کند و به‌طور خاص، به‌خاطر وجود اهداف متناقض در زنجیره تأمین بیمارستان تأکید ویژه‌ای بر برنامه‌ریزی آرمانی فازی می‌شود که در آن به‌صورت هم‌زمان سطوح تمایل^۱ آرمان‌ها و پارامترهای تقاضا، ظرفیت تأمین و انبار فازی می‌شوند.

در این پژوهش، مدیریت یکپارچه جریان مواد و اطلاعات در زنجیره تأمین فسادپذیر بیمارستان در محیط عدم قطعیت بررسی شده و سیاست‌های خرید و توزیع دارو بین تأمین‌کنندگان، انبار مرکزی، داروخانه و بخش‌های مراقبتی بیمارستان به‌عنوان زنجیره تأمین بیمارستانی تعیین می‌شود. برای این کار مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط^۲ (MILP) چنددوره‌ای چندمحصولی با دو هدف پیشنهاد می‌شود: ۱. حداقل کردن هزینه‌های کل که شامل کل هزینه خرید، هزینه موجودی در انبار مرکزی و داروخانه بیمارستان، هزینه حمل‌ونقل، هزینه سفارش‌دهی، هزینه اضافه‌کاری و هزینه انقضای دارو می‌شود؛ ۲. حداقل کردن کمبود دارو. نظریه مجموعه فازی برای مدل‌سازی این مسئله به‌صورت مدل‌سازی برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح مختلط فازی^۳ (FMIGP) مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ آنگاه برای رسیدن به جواب توافقی برای این مسئله مدل FMIGP به مدل بهینه‌سازی قطعی تقریبی تبدیل می‌شود. نوآوری این پژوهش از دو جهت حائز اهمیت است: نخست اینکه در آن بر زنجیره تأمین فسادپذیر بیمارستان با اهداف متعارض تأکید شده و به مسائل داخلی بیمارستان از دیدگاه اصول زنجیره تأمین پرداخته می‌شود؛ دوم آنکه عدم قطعیت پارامترهای تقاضای دارو، ظرفیت تأمینی تأمین‌کننده‌ها، ظرفیت انبار و

1. Aspiration Level

2. Mixed-Integer Linear Programming

3. Fuzzy Mixed-Integer Goal Programming

سطح تمایل هر آرمان در زنجیره تأمین واقعی به صورت پارامتر فازای (نادقیق) مورد توجه قرار می‌گیرد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

طی سالیان اخیر همراه با توجه روزافزون به مباحث زنجیره تأمین بهداشت و درمان، مقاله‌های مروری بسیاری در این حوزه منتشر شده است [۳، ۴، ۱۹]. این مقاله‌های مروری دربرگیرنده منابع در دسترس در این حوزه بوده و نشان‌دهنده شکاف‌های پژوهشی و جهت‌گیری‌های آینده این حوزه هستند. بر اساس این مقاله‌ها می‌توان زنجیره تأمین بهداشت و درمان را به دو دسته زنجیره تأمین بهداشت و درمان داخلی (بیمارستانی) و زنجیره تأمین بهداشت و درمان خارجی تقسیم کرد.

پژوهش‌های زیادی در زمینه بهینه‌سازی زنجیره تأمین بهداشت و درمان خارجی انجام شده است. ظهیری و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط در زمینه طراحی زنجیره تأمین دارویی با دو هدف کاهش هزینه‌های کل و حداکثر تقاضای برآورده‌نشده ارائه کردند. زنجیره مورد بررسی شامل تولیدکنندگان، مراکز توزیع و مشتریان بود و در آن علاوه بر عمر محصول، تخفیف مقداری و پایداری محصول، عدم قطعیت در عرضه و تقاضا با استفاده از رویکرد احتمالی بررسی شد [۲۸]. گودرزیان و همکاران (۲۰۲۱)، یک شبکه زنجیره تأمین دارویی پایدار برای داروهای کرونا به منظور تصمیم‌گیری درباره موضوعات تولید، توزیع، موجودی، تخصیص و مکان‌یابی طراحی کردند. هدف اصلی این مدل، حداکثرسازی عوامل اجتماعی و حداقل‌سازی هزینه‌ها و نیز حداقل‌سازی حداکثر تقاضا برآورده‌نشده برای داروها است. برای حل این مدل از الگوریتم‌های فراابتکاری ترکیبی شامل بهینه‌سازی کلنی مورچگان، الگوریتم ازدحام ماهی و الگوریتم کرم شب‌تاب استفاده شد [۷]. سازوار و همکاران (۲۰۲۱)، برای طراحی زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه سناریومحور ارائه دادند و در آن جریان معکوس داروهای منقضی را بررسی کردند. در این پژوهش هر دوی تصمیمات استراتژیک شامل تعیین تعداد و مکان‌های بهینه مراکز ساخت و مصرف و تصمیمات تاکتیکی شامل تخصیص دارو به مراکز توزیع و جریان بهینه محصول در این شبکه مورد توجه پژوهشگران بوده است. اهداف این مدل شامل حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی اثرات محیطی و حداکثرسازی فرصت‌های شغلی ایجادشده بود [۲۲]. روشن و همکاران (۲۰۱۹)، مدلی را برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین دارویی در شرایط بحرانی ارائه دادند. زنجیره تأمین این پژوهش شامل تولیدکننده، تأمین‌کننده، انبار و مشتری بود. این مدل دارای سه تابع هدف بود: هزینه‌ای، تقاضای برآورده‌نشده و مسئولیت اجتماعی. عدم قطعیت تقاضا در این مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد

صحیح مختلط با استفاده از منطق فازی بررسی شد [۱۸]. فرانکو و لیزارازو^۱ (۲۰۲۰)، چارچوبی برای بهینه‌سازی تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی در زنجیره تأمین دارویی با تمرکز بر دو سطح داروخانه و بیمارستان ارائه کردند. آن‌ها برای این کار دو مدل عدد صحیح مختلط ارائه دادند که مدل اول تک‌هدفه بود و در آن زمان بازپرسی تعیین می‌شود؛ در مدل دوهدفه دوم تاریخ انقضای قابل قبول تعیین می‌شود تا از این طریق مقدار داروی منقضی‌شده و سطح موجودی حداقل شود [۵]. فوکردی و طلاوری (۲۰۲۱)، با مدل‌سازی ریاضی جریان وجوه نقد در زنجیره تأمین دارو به حداقل‌سازی ریسک تأمین اقلام دارویی و جریان‌های پولی خروجی پرداختند [۶]. علاوه بر این موارد، پژوهش‌های بسیاری را می‌توان نام برد که به بهینه‌سازی زنجیره تأمین خارجی جریان دارو در حوزه بهداشت و درمان پرداخته‌اند [۲۳، ۲۴، ۲۶، ۲۸، ۲۹].

پژوهش‌های کمی در زمینه بهینه‌سازی زنجیره تأمین بهداشت و درمان داخلی یا زنجیره تأمین بیمارستانی انجام شده است. کیز^۲ و همکاران (۲۰۱۹)، با تأکید بر هزینه‌ها و کمبود، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط زنجیره تأمین بیمارستانی ارائه کردند. در این مطالعه با ملاحظه عدم قطعیت تقاضا و تأمین از رویکرد فازی برای بهینه‌سازی جریان مواد، اطلاعات و مالی استفاده شد [۱۱]. ابوزید و همکاران (۲۰۲۱)، با مطالعه مسئله بهینه‌سازی بازپرسی و کمبود دارو در بیمارستان، مدلی عمومی برای مدیریت موجودی دارو ارائه دادند که در آن با فرض عدم قطعیت تقاضای بیمار و قیمت دارو در مورد زمان بازپرسی و مقدار آن به صورت خودکار تصمیم‌گیری می‌شود. هدف اصلی این مدل، حداقل‌سازی هزینه‌های بازپرسی در سیستم است [۱]. جدول ۱، جایگاه پژوهش حاضر نسبت به پژوهش‌های مهم انجام‌شده در سال‌های اخیر را نشان می‌دهد.

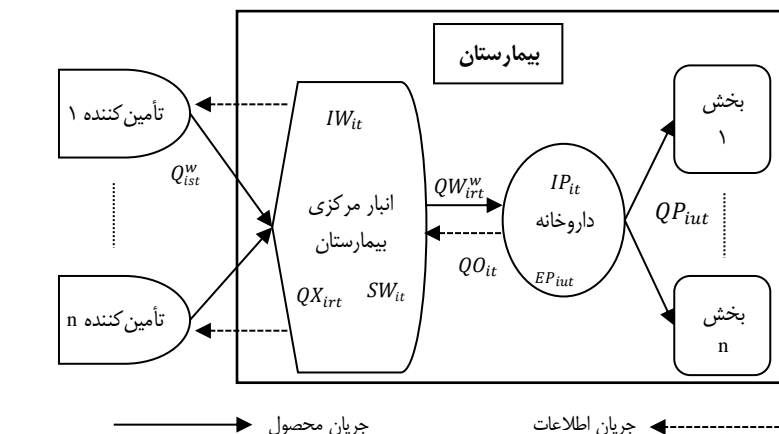
1. Franco & Lizarazo
2. Kees

جدول ۱. جایگاه پژوهش پیش رو نسبت به پژوهش‌های پیشین

مدل ریاضی	عدم قطعیت	عمر محصول	کیفیت	تابع هدف		دوره		محصول		زنجیره تأمین		پژوهشگر (سال)
				۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	
MILP	تصادفی	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	ظهیری و همکاران، (۲۰۱۸)
MINLP	فازی	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	روشن و همکاران، (۲۰۱۹)
MILP	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	گودرزبان و همکاران، (۲۰۲۱)
MILP	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	سازوار و همکاران، (۲۰۲۱)
MIP	احتمالی	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	فرانکو و لیزارزو، (۲۰۲۰)
MILP	فازی	-	✓	✓	-	✓	-	✓	-	-	✓	کیز و همکاران، (۲۰۱۹)
NP-Hard	روش یادگیری	-	✓	-	✓	✓	-	✓	-	-	✓	ابوزید و همکاران، (۲۰۲۱)
MILP	فازی	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	-	-	✓	پژوهش حاضر

۳. روش‌شناسی پژوهش

تعریف مسئله. زنجیره تأمین بیمارستانی در این پژوهش شامل ۴ مرحله تأمین‌کننده‌ها، انبار دارویی بیمارستان، داروخانه بیمارستان و بخش‌های مراقبتی می‌شود و جریان‌های فیزیکی و اطلاعات بین این بازیگران به صورت شکل ۱ است. مسئله این پژوهش ناظر به عملکرد توزیع $i = 1, 2, \dots, I$ قلم دارویی تأمین‌شده به وسیله $p = 1, 2, \dots, P$ تأمین‌کننده با $w = 1, 2, \dots, LF_i$ عمر باقیمانده برای آن‌ها در طول افق زمانی T با $t = 1, 2, \dots, T$ دوره زمانی است. از آنجاکه اقلام دارویی موردبررسی در این پژوهش بیش از ۶۰ درصد هزینه دارویی را شکل می‌دهند، در طبقه A قرار می‌گیرند و مدیریت درست جریان آن‌ها برای هر بخش مراقبتی $(u = 1, 2, \dots, U)$ تأثیر بسزایی بر عملکرد کل زنجیره تأمین بیمارستانی خواهد داشت.



شکل ۱. زنجیره تأمین بهداشت و درمان با یک انبار و داروخانه و بخش‌های مراقبتی مختلف

بر اساس شکل ۱، جریان فیزیکی زمانی شروع می‌شود که تأمین‌کننده، داروی تقاضاشده را به انبار مرکزی بیمارستان تحویل دهد و از آنجا به داروخانه و سپس بخش‌های مراقبتی مختلف ارسال شود و از این طریق بیشترین کنترل و نظارت بر مصرف داروها در بیمارستان اعمال می‌شود. در واقع چون اقلام مصرفی در بیمارستان بسیار زیاد بوده و کنترل و مدیریت خرید و مصرف آن‌ها فرآیندی پیچیده است، انبار مرکزی نقش رابط بین بیمارستان و تأمین‌کننده‌ها را به عهده می‌گیرد. با وجود اینکه بخش‌ها به صورت مستقیم با بیمار ارتباط دارند و دارو را در اختیار وی قرار می‌دهند، اما با هدف کنترل مصرف دارو، در بخش‌ها انباری برای نگهداری دارو وجود ندارد و داروخانه بیمارستان داروهای موردنیاز را طبق دستور پزشک معالج و به صورت روزانه در اختیار بخش‌ها قرار می‌دهد. داروخانه به عنوان واسطه بین بخش‌ها و انبار عمل می‌کند و با استفاده از موجودی خود، نیاز متنوع و متغیر بخش‌های مختلف بیمارستان را تأمین کرده و احتیاجات خود را از انبار مرکزی دریافت می‌کند. داروخانه بیمارستان علاوه بر کنترل میزان مصرف بخش‌های مختلف، به تجمیع نیاز آن‌ها و مدیریت آن می‌پردازد. جریان اطلاعات بعد از تکمیل فرآیند کنترل موجودی در داروخانه بیمارستان آغاز شده و سفارش بازپرسی در پاسخ به تقاضای غیرقطعی اقلام دارویی ارسال می‌شود. با هدف پوشش تقاضای غیرقطعی بیمار، در طول مدت زمان تحویل تأمین‌کننده ذخیره احتیاطی نگهداری می‌شود؛ البته به خاطر محدودیت‌های انبار یا نیروی انسانی احتمال کمبود وجود دارد.

در این مدل‌سازی دو هدف متعارض حداقل کردن کل هزینه‌ها و دیگری حداقل کردن کل کمبود داروها موردتوجه قرار می‌گیرند. مفروضات مدل‌سازی عبارت‌اند از:

- تقاضای دارو، ظرفیت انبارش و ظرفیت تأمین‌کنندگان پارامترهای فازی و نامشخصی هستند؛
- سطوح تمایل توابع هدف به صورت فازی و با استفاده از رویکرد زیمرمن تعیین می‌شوند؛

- در هر دوره امکان ارسال فقط یک سفارش از سوی تأمین‌کننده وجود دارد؛
- هیچ کمبودی در برآوردن تعهدات از سوی خریدار (تأمین مالی) و فروشنده (تهیه دارو) وجود ندارد؛
- امکان تأمین سفارش توسط بیش از یک تأمین‌کننده وجود دارد؛
- انقضای داروها یکی از عوامل کمبود دارو به‌شمار می‌رود؛
- هر دارو عمر مفید محدودی دارد و بعد از آن زمان منقضی می‌شود.

مدل‌سازی ریاضی

اندیس‌ها

- i : دارو $\{i = 1, 2, \dots, I\}$
- s : تأمین‌کننده $\{s = 1, 2, \dots, S\}$
- u : بخش $\{u = 1, 2, \dots, U\}$
- w : عمر باقیمانده دارو $w \in \{1, \dots, W = \max\{LF(i)\}\}$
- $t, r, c, \tau \in \{1, \dots, T\}$: دوره
- k : اهداف فازی

پارامترها

- T : افق زمانی
- M : عدد بزرگ
- \bar{D}_{iut} : تقاضای غیرقطعی دارو i توسط بخش u در دوره t از داروخانه
- \bar{M}_{is} : ظرفیت غیرقطعی تأمین داروی i توسط تأمین‌کننده s
- \bar{U}_i : ظرفیت غیرقطعی انبار مرکزی بیمارستان برای داروی i
- \bar{V}_i : ظرفیت غیرقطعی انبار داروخانه برای داروی i
- L_s : مدت‌زمان تحویل تأمین‌کننده s
- LF_i : عمر مفید دارو i
- σ_i : حداقل سطح خدمت قابل قبول برای داروی i در طول افق برنامه‌ریزی
- r_0 : حداقل تعداد دوره برای ارسال سفارش مجدد در داروخانه بیمارستان به انبار مرکزی
- β : تعداد دوره‌ها برای تجمیع سفارش‌های ارسالی به یک تأمین‌کننده
- $i\text{po}_i$: میزان موجودی محصول i ام در داروخانه در ابتدای دوره اول
- $i\text{wo}_i$: میزان موجودی محصول i ام در انبار مرکزی بیمارستان در ابتدای دوره اول

hvw_i : مدت‌زمان متغیر برای تخلیه و تحویل دارو سفارشی i در انبار مرکزی
 hfp : مدت‌زمان ثابت برای بررسی وضعیت هر دارو در داروخانه
 hvp_i : مدت‌زمان متغیر پردازش برای تحویل دارو i به داروخانه
 hfu_u : مدت‌زمان ثابت پردازش برای تحویل هر دارو به بخش u
 pc_{is} : قیمت دارو i پیشنهادشده توسط تأمین‌کننده s
 icw_i : هزینه نگهداری دارو i در انبار مرکزی بیمارستان
 icp_i : هزینه نگهداری دارو i در داروخانه
 tc_{is} : هزینه حمل‌ونقل داروی i از تأمین‌کننده s
 ofc : هزینه ثابت به‌ازای هر سفارش خرید
 mc : هزینه نیروی کار به‌ازای هر ساعت اضافه‌کاری
 ec_i : هزینه انقضای دارو i
 μ_k : درجه عضویت k آمان فازی
 al_k : سطح تمایل k آمان فازی
 l_k : حد تلورانس آمان فازی k آمان
 θ_k : اهمیت نسبی آمان فازی k آمان
 γ : ضریب جبرانی
 α : ضریب پارامتری برای تبدیل عدد فازی به عدد قطعی

متغیرها

Q_{ist}^w : مقدار سفارش دارو i با w دوره عمر باقیمانده که از تأمین‌کننده s به انبار مرکزی بیمارستان در دوره t فرستاده می‌شود.
 QW_{irt}^w : مقدار سفارش دارو i با w دوره عمر باقیمانده که توسط انبار مرکزی بیمارستان در دوره t دریافت شده و در دوره t به داروخانه فرستاده می‌شود.
 QP_{iut} : مقدار تدارک دارو i برای بخش u در دوره t توسط داروخانه
 QO_{it} : مقدار تقاضای دارو i از انبار مرکزی بیمارستان توسط داروخانه در دوره t
 QX_{irt} : مقدار دارو i که توسط انبار مرکزی بیمارستان در ابتدای دوره t دریافت شده و در انتهای دوره t منقضی می‌شود.
 Q'_{isrt} : متغیر مجازی برای خطی‌کردن محدودیت ۱۳
 IW_{it} : مقدار موجودی دارو i در دوره t در انبار مرکزی بیمارستان
 IP_{it} : مقدار موجودی دارو i در دوره t در داروخانه

EP_{iut} : مقدار کمبود دارو i در بخش u در دوره t در داروخانه

SW_{it} : ذخیره احتیاطی دارو i در دوره t در داروخانه

HR_t : ساعات کار عادی در دوره t

HE_t : ساعات کار اضافه‌کاری در دوره t

TC : کل هزینه‌ها

TE : کل کمبود دارو

λ_0 : حد پایین درجه تحقق آرمان‌های فازی

λ : درجه تحقق

x_{it} : اگر موجودی داروی i در داروخانه در دوره t بررسی شده و سفارش بازپرسازی ارسال شود، ۱ و در غیر این صورت صفر است.

y_{ist} : اگر تأمین‌کننده s داروی i را در دوره t تأمین کند، ۱ و در غیر این صورت صفر است.

φ_{ut} : اگر در دوره t دارویی به بخش u ارسال شود، ۱ و در غیر این صورت صفر است.

مدل ریاضی. معادله ۱، کل هزینه‌های این زنجیره تأمین را در طول افق زمانی T حداقل می‌کند. این هزینه‌ها شامل هزینه خرید دارو، هزینه موجودی در انبار مرکزی و داروخانه بیمارستان، هزینه حمل‌ونقل، هزینه اضافه‌کاری و هزینه انقضای داروها است. معادله ۲، نیز کمبود دارو را حداقل می‌کند.

$$\min Z_1 = \sum_i \sum_s \sum_t \sum_{w=1}^{LF_i} pc_{is} \cdot Q_{ist}^w + \sum_i \sum_t icw_i \cdot IW_{it} + \sum_i \sum_t icp_i \cdot IP_{it} + \sum_i \sum_s \sum_t \sum_{w=1}^{LF_i} tc_{is} \cdot Q_{ist}^w + \sum_t mc \cdot HE_t + \sum_i \sum_r^T \sum_{c=r}^T ec_i \cdot QX_{irc} \quad (1)$$

$$\min Z_2 = \sum_i \sum_u \sum_t EP_{iut} \quad (2)$$

معادلات ۳ و ۴، میزان موجودی داروی i در پایان دوره اول در داروخانه بیمارستان و انبار مرکزی بیمارستان را نشان می‌دهند. به همین ترتیب، معادلات ۵ و ۶ نیز به سطح موجودی در پایان دوره t اشاره دارند.

$$IP_{it} = ipo_i + \sum_{r=1}^t \sum_{w=1}^{LF_i} QW_{irt}^w - \sum_u QP_{iut} \quad \forall i, t = 1 \quad (3)$$

$$IW_{it} = iwo_i + \sum_s \sum_{w=1}^{LF_i} Q_{ist}^w - \sum_{r=1}^t \sum_{w=1}^{LF_i} QW_{irt}^w - \sum_{r=1}^t QX_{irt} \quad \forall i, t = 1 \quad (4)$$

$$IP_{it} = IP_{i(t-1)} + \sum_{r=1}^t \sum_{w=1}^{LF_i} QW_{irt}^w - \sum_u QP_{iut} \quad \forall i, t > 1 \quad (5)$$

$$IW_{it} = IW_{i(t-1)} + \sum_s \sum_{w=1}^{LF_i} Q_{ist}^w - \sum_{r=1}^t \sum_{w=1}^{LF_i} QW_{irt}^w - \sum_{r=1}^t QX_{irt} \quad \forall i, t > 1 \quad (6)$$

بر اساس معادله ۷، مجموع مقدار اقلام ارسالی از انبار مرکزی بیمارستان به داروخانه و میزان داروی منقضی شده در انبار مرکزی بیمارستان نباید از مقدار ورودی آن در هر دوره فراتر رود.

$$\sum_s Q_{isr}^w \geq \sum_{t=r}^T QW_{irt}^w + \sum_{t=r}^T QX_{irt} \quad \forall i, r, 1 \leq w \leq LF_i \quad (7)$$

کمبود اقلام دارویی داروخانه بیمارستان در هر دوره در معادله ۸، محاسبه می‌شود. معادله ۹، با هدف حفظ سطح خدمت نشان می‌دهد که کمبود هر قلم دارو باید کوچک‌تر مساوی درصد مشخصی از مجموع تقاضای غیرقطعی همه بخش‌ها باشد.

$$EP_{iut} = \tilde{D}_{iut} - QP_{iut} \quad \forall i, u, t \quad (8)$$

$$\sum_u EP_{iut} \leq \sigma_i \cdot \sum_u \tilde{D}_{iut} \quad \forall i, t \quad (9)$$

معادله ۱۰، تعداد دوره‌های ارسال سفارش بازپرسازی را برای اجرای عملیات کنترل موجودی و بازبینی موجودی انبار داروخانه محدود می‌کند. معادله ۱۱، به این موضوع اشاره دارد که مقدار سفارش داروی i توسط داروخانه در هر دوره زمانی باید برابر با مقادیر ارسالی انبار به داروخانه باشد. بر اساس معادله ۱۲، ارسال سفارش خرید فقط در دوره بازبینی موجودی داروخانه صورت گرفته و محدود به ظرفیت غیرقطعی انبار داروخانه است.

$$\sum_{t=1}^{t+ro} x_{it} \leq 1 \quad \forall i, t = 1, \dots, (T - ro) \quad (10)$$

$$QO_{it} = \sum_{r=1}^t \sum_{w=1}^{LF_i} QW_{irt}^w \quad \forall i, t \quad (11)$$

$$QO_{it} \leq \tilde{V}_i \cdot x_{it} \quad \forall i, t \quad (12)$$

معادله ۱۳، ذخیره احتیاطی برای هر دارو در هر دوره را با توجه به کل مقدار سفارش داروخانه در طول مدت‌زمان تحویل هر تأمین‌کننده محاسبه می‌کند. برای حداقل کردن کمبود

دارو، معادله ۱۴، بر این نکته تأکید دارد که سطح موجودی هر دارو در کل بیمارستان، یعنی انبار مرکزی بیمارستان و داروخانه، باید بیشتر از سطح ذخیره احتیاطی باشد.

$$SW_{it} \geq \sum_{r=t}^{t+L_s} QO_{ir} \cdot y_{ist} \quad \forall i, s, t \quad (13)$$

$$SW_{it} \leq IW_{it} + IP_{it} \quad \forall i, t \quad (14)$$

در معادلات ۱۵ و ۱۶، تعداد داروهای قابل تحویل به بیمارستان بر اساس ظرفیت تأمین غیرقطعی تأمین‌کننده کنترل می‌شود که فقط در دوره‌های ارسال سفارش صورت می‌گیرد. در معادلات ۱۷ و ۱۸، نیز کل حجم دارو ذخیره‌شده در انبار مرکزی بیمارستان و داروخانه بر اساس ظرفیت غیرقطعی انبار آن‌ها به ترتیب تعیین می‌شود.

$$\sum_{w=1}^{LF_i} Q_{is(t+L_s)}^w \leq \tilde{M}_{is} \cdot y_{ist} \quad \forall i, s, t \quad (15)$$

$$\sum_{w=1}^{LF_i} Q_{ist}^w = 0 \quad \forall i, s, t \leq L_s \quad (16)$$

$$IW_{it} \leq \tilde{U}_i \quad \forall i, t \quad (17)$$

$$IP_{it} \leq \tilde{V}_i \quad \forall i, t \quad (18)$$

معادله ۱۹، خرید هر دارو در بازه زمانی β را حداکثر به یک تأمین‌کننده محدود می‌کند.

$$\sum_s \sum_{t=r}^{t+r+\beta} y_{ist} \leq 1 \quad \forall i, r = 1, (1 + \beta), (1 + 2\beta), \dots \quad (19)$$

معادله ۲۰، تعداد داروهای را که در پایان دوره t منقضی می‌شوند، محاسبه می‌کند. معادله ۲۱ بر مصرف داروهای تأکید دارد که هنوز منقضی نشده باشند و انبار مرکزی بیمارستان مجاز به ارسال داروهای به داروخانه است که هنوز منقضی نشده باشند.

$$QX_{irt} = \sum_s Q_{isr}^{w=t-r+1} - \sum_{c=r}^t QW_{irc}^{w=t-r+1} \quad \forall i, 1 \leq r \leq t \leq T \quad (20)$$

$$\sum_{t=r+w}^T QW_{irt}^w = 0 \quad \forall i, 1 \leq w \leq LF_i, 1 \leq r \leq T \quad (21)$$

در معادله ۲۲، زمان کاری موردنیاز در هر دوره در بیمارستان به صورت مجموع زمان کار عادی و زمان اضافه کاری محاسبه می‌شود. از آنجا که دوره زمانی در این مطالعه به صورت هفتگی تعیین شده است، در معادله ۲۳، برای تفکیک ساعت کار عادی از ساعت کار اضافه کاری، سقف ساعت کاری عادی در طول یک دوره زمانی برای ۲ نفر ۹۶ ساعت در نظر گرفته شده و بر اساس آن ساعت کاری بیشتر از این مقدار به صورت ساعت اضافه کاری در نظر گرفته می‌شود.

$$HR_t + HE_t = \sum_i \sum_s \sum_{w=1}^{LF_i} hvw_i \cdot Q_{ist}^w + \sum_i hfp \cdot x_{it} + \sum_i \sum_{r=1}^t \sum_{w=1}^{LF_i} hvpi \cdot QW_{irt}^w + \sum_u 7 \cdot hfu \cdot \varphi_{ut} \quad \forall t \quad (22)$$

$$HR_t \leq 96 \quad \forall t \quad (23)$$

در معادلات ۲۴ و ۲۵، مقادیر متغیر باینری φ_{ut} تعیین می‌شود. اگر در دوره t دارویی به بخش u فرستاده شود، این متغیر مقدار ۱ می‌گیرد؛ در غیر این صورت مقدار آن صفر می‌شود.

$$\sum_i QP_{iut} \geq \varphi_{ut} \quad \forall u, t \quad (24)$$

$$\sum_i QP_{iut} \leq \varphi_{ut} \cdot M \quad \forall u, t \quad (25)$$

مدل MILP چندمعیاره ارائه شده برای مدیریت جریان‌های مواد و اطلاعات زنجیره تأمین بیمارستانی به دنبال حداقل‌سازی معادلات ۱ و ۲ با ملاحظه محدودیت‌های ۳-۷، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۲۵-۱۸ و محدودیت‌های فازی ۸، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۷ و ۱۸ است.

خطی کردن معادله غیرخطی. مدل بالا به خاطر حاصل ضرب یک متغیر باینری در یک متغیر عدد صحیح در محدودیت ۱۳، به یک مدل غیرخطی تبدیل می‌شود. با معرفی متغیر عدد صحیح جدید Q'_{isrt} ، محدودیت غیرخطی ۱۳ با ۴ معادله خطی زیر جایگزین می‌شود:

$$SW_{it} \geq \sum_{r=t}^{t+L_s} Q'_{isrt} \quad \forall i, s, t$$

$$Q'_{isrt} \leq QO_{ir} \quad \forall i, s, t, t \leq r \leq t+L_s$$

$$Q'_{isrt} \leq M \cdot y_{ist} \quad \forall i, s, t, t \leq r \leq t+L_s$$

$$Q'_{isrt} \geq M_s \cdot (y_{ist} - 1) + QO_{ir} \quad \forall i, s, t, t \leq r \leq t+1$$

(۲۶)

رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی. در بخش قبلی مدل بهینه‌سازی HSC به صورت مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه با تعدادی محدودیت فازی مدل‌سازی شد. فازی‌بودن این مدل در ۴ مجموعه پارامتر ریشه دارد که عبارت‌اند از: تقاضای بخش‌های مراقبتی (\bar{D}_{iut}) ؛ ظرفیت تأمین تأمین‌کننده‌ها (\bar{M}_s) ؛ ظرفیت انبار مرکزی بیمارستان (\bar{U}_i) ؛ و ظرفیت انبار داروخانه بیمارستان (\bar{V}_i) . رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی یکی از شناخته‌شده‌ترین روش‌ها برای حل چنین مسائلی است که امکان تعیین سطح تمایل غیرقطعی، al_k را برای هر آرمان فراهم کرده و مسئله اصلی را به صورت مسئله یک هدفه مدل‌سازی می‌کند. در این روش تصمیم‌گیرنده با پذیرش انحرافی قابل قبول برای هر آرمان، سطح تمایل غیرقطعی را تعیین می‌کند و از این طریق راه‌حل رضایت‌بخشی به دست می‌آید که اهداف را تا حد ممکن به مقدار آرمان مربوطه درون حد تلورانس مشخصی نزدیک می‌کند [۲۵]. در این پژوهش برای تعیین این سطوح تمایل و تلورانس‌های تابع هدف از رویکرد زیمرمن^۱ (۱۹۷۸)، استفاده می‌شود تا امکان فازی کردن اهداف فراهم شود [۳۰]. بر این اساس مسئله بیان شده در بخش قبل به صورت زیر و در قالب مدل FMIGP بیان می‌شود:

find ψ

st:

$$Z_k(\psi) \leq al_k \quad \forall k = 1, 2 \quad (۲۷)$$

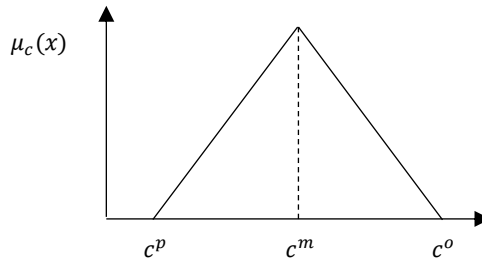
3 – 24

در رابطه ۲۷، ψ یک بردار جواب موجه شامل همه متغیرهای مسئله اصلی است. علامت \leq نشان‌دهنده فازی‌بودن سطح تمایل است؛ به گونه‌ای که k آمین آرمان فازی در مدل ۲۷ بدین معنی است که تابع هدف Z_k باید کوچک‌تر مساوی سطح تمایلی باقی بماند که به وسیله تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. آرمان‌ها و پارامترهای نامشخص در این پژوهش به صورت مجموعه‌های فازی بیان شده‌اند و تعیین مجموعه‌های فازی مستلزم تعریف توابع عضویت آن‌ها است که برای این کار روش‌های متنوعی وجود دارد. در این پژوهش از تابع عضویت مثلثی برای محدودیت‌های (پارامترهای) فازی و از تابع عضویت خطی برای آرمان‌های فازی استفاده می‌شود. برای حل مدل FMIGP ابتدا محدودیت‌های فازی به محدودیت‌های قطعی کمکی تبدیل می‌شوند و بعد از آن با استفاده از مدل‌سازی قطعی کمکی ترابی و هسینی^۲ (۲۰۰۹)، مدل

1. Zimmermann
2. Torabi & Hassini

FMIGP به مدل MILP قطعی کمکی تبدیل می‌شود که تضمین‌کننده جواب توافقی کارا خواهد بود [۲۵، ۱۰].

محدودیت‌های فازی. پارامتر فازی مثلثی \tilde{c} در محدودیت‌های فازی با بدینانه‌ترین c^p ، ممکن‌ترین c^m و خوش‌بینانه‌ترین c^o مقادیر مشخص می‌شوند و این مقادیر تابع عضویت $\mu_c(x)$ را توصیف می‌کنند که در شکل ۲، نشان داده شده است.



شکل ۲. پارامتر فازی مثلثی \tilde{c}

برای تبدیل پارامترهای فازی به اعداد قطعی از روش جیمنز^۱ و همکاران (۲۰۰۷)، استفاده می‌شود [۹]. این روش مبتنی بر تعریف «فاصله موردانتظار» و «مقدار موردانتظار» عدد فازی \tilde{c} است که به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$EI(\tilde{c}) = [E_1^c, E_2^c] = \left[\frac{1}{2}(c^p + c^m), \frac{1}{2}(c^o + c^m) \right] \quad (28)$$

$$EV(\tilde{c}) = \frac{E_1^c + E_2^c}{2} = \frac{c^p + 2c^m + c^o}{4} \quad (29)$$

بر این اساس، پی‌درو^۲ و همکاران (۲۰۱۰)، مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی زیر را در نظر گفتند که همه پارامترهای آن به صورت عدد فازی مثلثی یا ذوزنقه‌ای هستند [۲۰، ۱۵].

$$\begin{aligned} \min \quad & z = \tilde{c}^t x \\ \text{s. t.} \quad & \tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i, \quad i = 1, \dots, l \\ & \tilde{a}_i x = \tilde{b}_i, \quad i = l + 1, \dots, m \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (30)$$

1. Jiménez
2. Peidro

آن‌ها با استفاده از مفاهیم «فاصله موردانتظار» و «مقدار موردانتظار» روش جیمز^۱، نشان دادند که مدل قطعی معادل مدل بالا به‌صورت زیر است [۹]:

$$\begin{aligned}
 & \min \quad EV(\tilde{c})x \\
 & \text{s. t.} \\
 & [(1 - \alpha)E_2^{a_i} + \alpha E_1^{a_i}]x \geq \alpha E_2^{b_i} + (1 - \alpha)E_1^{b_i}, \quad i = 1, \dots, l \\
 & \left[\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_2^{a_i} + \frac{\alpha}{2}E_1^{a_i} \right]x \geq \frac{\alpha}{2}E_2^{b_i} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_1^{b_i}, \quad i = l + 1, \dots, m \\
 & \left[\frac{\alpha}{2}E_2^{a_i} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_1^{a_i} \right]x \leq \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)E_2^{b_i} + \frac{\alpha}{2}E_1^{b_i}, \quad i = l + 1, \dots, m \\
 & x \geq 0, \quad \alpha \in [0, 1]
 \end{aligned} \tag{۳۱}$$

با کمک روابط بالا، محدودیت‌های قطعی معادل با محدودیت‌های فازی ۸، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۷ و ۱۸ را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned}
 EP_{iut} & \leq \left[\left(\frac{\alpha}{2}\right) \frac{D_{iut}^p + D_{iut}^m}{2} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{D_{iut}^o + D_{iut}^m}{2} \right] - \\
 QP_{iut} & \quad \forall i, u, t \tag{۲۸}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EP_{iut} & \geq \left[\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{D_{iut}^p + D_{iut}^m}{2} + \left(\frac{\alpha}{2}\right) \frac{D_{iut}^o + D_{iut}^m}{2} \right] - \\
 QP_{iut} & \quad \forall i, u, t \tag{۲۸}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum_u EP_{iut} & \leq \sigma_i \cdot \sum_u \left[\alpha \left(\frac{D_{iut}^p + D_{iut}^m}{2} \right) + (1 - \right. \\
 & \left. \alpha) \left(\frac{D_{iut}^o + D_{iut}^m}{2} \right) \right] \quad \forall i, t \tag{۲۹}
 \end{aligned}$$

$$QO_{it} \leq \left[\alpha \left(\frac{V_i^p + V_i^m}{2} \right) + (1 - \alpha) \left(\frac{V_i^o + V_i^m}{2} \right) \right] x_{it} \quad \forall i, t \tag{۳۰}$$

$$\sum_{w=1}^{LF_i} Q_{is(t+L_s)}^w \leq \left[\alpha \left(\frac{M_s^p + M_s^m}{2} \right) + (1 - \alpha) \left(\frac{M_s^o + M_s^m}{2} \right) \right] y_{ist} \quad \forall i, s, t \tag{۳۱}$$

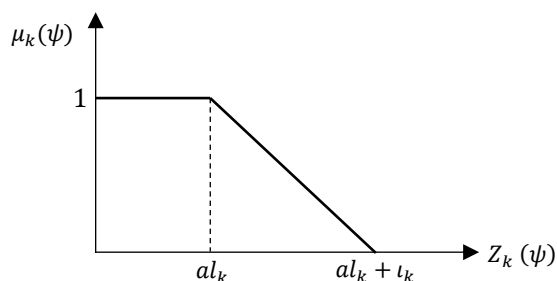
$$\sum_i IW_{it} \leq \left[\alpha \left(\frac{U_i^p + U_i^m}{2} \right) + (1 - \alpha) \left(\frac{U_i^o + U_i^m}{2} \right) \right] \quad \forall t \tag{۳۲}$$

$$\sum_i IP_{it} \leq \left[\alpha \left(\frac{V_i^p + V_i^m}{2} \right) + (1 - \alpha) \left(\frac{V_i^o + V_i^m}{2} \right) \right] \quad \forall t \tag{۳۳}$$

آرمان‌های فازی. در محیط تصمیم فازی، آرمان‌های فازی بر حسب تابع عضویت خاص خود تعریف می‌شوند. معمولاً برای هر آرمان فازی $Z_k(\psi) \lesseqgtr al_k$ از تابع عضویت خطی به صورت زیر استفاده می‌شود که مبتنی بر سطح تمایل al_k و حد تلورانس آرمان فازی ι_k است:

$$\mu_k(\psi) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_k(\psi) < al_k \\ \frac{(al_k + \iota_k) - Z_k(\psi)}{\iota_k} & \text{if } al_k \leq Z_k(\psi) \leq al_k + \iota_k \\ 0 & \text{if } Z_k(\psi) > al_k + \iota_k \end{cases} \quad (35)$$

در این رابطه $\mu_k(\psi)$ نشان‌دهنده درجه دستیابی به k امین آرمان فازی با بردار جواب ψ است. شکل ۳، تابع عضویت خطی آرمان فازی k ام را نشان می‌دهد:



شکل ۳. تابع عضویت خطی آرمان فازی

برای محاسبه مقادیر al_k و ι_k باید با در نظر گرفتن هر تابع هدف Z_k به صورت جداگانه همراه با محدودیت‌های مسئله، مدل MILP حاصل را حل کرد. منطقه موجه این مدل شامل همه محدودیت‌های قطعی اولیه و شکل قطعی محدودیت‌های فازی است. در اصلاح محدودیت‌های فازی نیز باید مقادیری را برای پارامترهای فازی در نظر گرفت که بزرگ‌ترین منطقه موجه را ایجاد کنند. برای مثال در محدودیت ۱۲، بزرگ‌ترین منطقه موجه ممکن زمانی حاصل می‌شود که مقدار خوش‌بینانه V_i^0 به عنوان پارامتر ظرفیت در شکل قطعی این محدودیت فازی در نظر گرفته شود. با حل این مدل: $al_k = Z_k^{min} = Z_k(\psi_k^*)$ که ψ_k^* جواب بهینه k امین مدل MILP است. حد تلورانس برای آرمان فازی k ام را می‌توان از تفاوت بین Z_k^{max} و Z_k^{min} به دست آورد؛ یعنی $\iota_k = Z_k^{max} - Z_k^{min}$ که $Z_k^{max} = \max_{k \neq p} \{Z_k(\psi_p^*)\}$ و p نشان‌دهنده مجموعه توابع هدفی است که متفاوت از تابع هدف k ام هستند.

مدل MILP قطعی کمکی. دستیابی به جواب توافقی کارا مستلزم تبدیل مدل FMIGP به مدل MILP قطعی معادل است. طبق رویکرد ترابی و هسینی (۲۰۰۹)، مدل‌سازی قطعی کمکی مدل FMIGP را می‌توان به صورت زیر نوشت [۲۵]:

$$\max \lambda(\psi) = \gamma \cdot \lambda_0 + (1 - \gamma) \cdot \sum_k \theta_k \cdot \mu_k(\psi)$$

s. t:

$$\lambda_0 \leq \mu_k(\psi) \quad \forall k = 1, 2$$

$$\psi \in F(\psi) \quad (36)$$

$$\lambda_0 \text{ and } \gamma \in [0, 1] \quad (37)$$

λ_0 نمایانگر درجه تحقق آرمان‌های فازی و $F(\psi)$ نشان‌دهنده منطقه جواب موجه شامل محدودیت‌های ۳-۷، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۸-۲۵ و ۲۶ و نیز محدودیت‌های ۲۸-۳۳ و ۳۷ است. مقدار λ_0 با حل مدل به دست می‌آید. در این مدل‌سازی، θ_k نشان‌دهنده وزن (اهمیت نسبی) آرمان فازی k ام است و بر اساس اولویت‌های تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شوند؛ به گونه‌ای که $\theta_k > 0$ و $\sum_k \theta_k = 1$. ضریب جبرانی γ پارامتر قابل‌تغییری است که تصمیم‌گیرنده با استفاده از آن می‌تواند تأکید بیشتری بر حصول جواب توافقی متوازن برای درجه تحقق همه آرمان‌های فازی (برای مقادیر بالاتر γ) داشته یا اینکه تأکید بیشتری بر مهم‌ترین آرمان فازی و توجه کمتر به آرمان‌های فازی دیگر (برای مقادیر پایین‌تر γ) داشته باشد؛ به عبارتی این پارامتر قادر به ایجاد جواب توافقی متوازن یا نامتوازن برای مسائل مختلف مبتنی بر اولویت‌های تصمیم‌گیرنده است. بعد از اجرای رویکرد بالا و در صورت نارضایتی تصمیم‌گیرنده نسبت به جواب توافقی حاصل می‌توان نسبت به اصلاح پارامترهای قابل‌تغییر (یعنی γ و β) اقدام کرد.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای نشان‌دادن قابلیت مدل بالا، در این بخش نتایج اجرای مدل پیشنهادی با استفاده از داده‌های واقعی به دست آمده از زنجیره تأمین «بیمارستان دولتی شهید بهشتی کاشان» ارائه می‌شود. این زنجیره تأمین دارای یک انبار مرکزی، یک داروخانه و ۳۷ بخش است؛ اما از آنجاکه برخی از این بخش‌ها کمتر مصرف‌کننده دارو هستند و نیز به خاطر مأموریت مشابه، تعدادی از آن‌ها با یکدیگر تجمیع شدند و در نتیجه تعداد آن‌ها به ۱۲ بخش کاهش یافت ($U = 12$). تعداد اقلام دارویی مصرفی در این بخش‌ها بیش از ۷۰۰ قلم دارویی است که در میان آن‌ها ۲۵ قلم دارویی از اهمیت بسیار بیشتری نسبت به بقیه برخوردارند؛ به گونه‌ای که طبق گزارش‌های مسئولان بیمارستانی این اقلام بیش از ۶۰ درصد هزینه‌های دارویی این بیمارستان را تشکیل

می‌دهند و در طبقه A قرار می‌گیرند؛ به همین دلیل تعداد اقلام موردبررسی ۲۵ قلم دارو تعیین شد ($i = 25$) که به‌وسیله ۱۰ تأمین‌کننده متفاوت تهیه می‌شوند ($S = 10$). از میان اقلام دارویی تعیین‌شده، ۳ دارو بسیار پرمصرف هستند و کمترین مقدار کمبود برای آن‌ها در نظر گرفته شد (جدول ۲). افق زمانی موردبررسی در این مطالعه ۶ ماه است که به ۲۷ دوره هفتگی قابل‌تقسیم است ($T = 27$)؛ یعنی از فروردین سال ۱۳۹۹ تا پایان شهریور همان سال. کنترل موجودی در هر بخش حداقل هر ۷ روز یک بار اجرا می‌شود ($RO = 1$). با اینکه دوره زمانی در این مطالعه به‌صورت هفتگی تعریف شده است، اما ارسال دارو از داروخانه به بخش‌های مختلف درمانی به‌صورت روزانه و طبق دستور پزشک صورت می‌گیرد. ارسال سفارش هر دارو به تأمین‌کننده نیز حداکثر هر دو ماه یک‌بار صورت می‌گیرد ($\beta = 8$). برای داروهای مختلف حداقل سطح خدمت قابل‌قبول متفاوتی در نظر گرفته شد که در جدول ۲، نشان داده شده است. برای برخی از این داروها مقادیر کمبود باید به حداقل ممکن می‌رسید (داروی ۱، ۹ و ۱۲)؛ به همین دلیل حداقل سطح خدمت قابل‌قبول برای آن‌ها ۰/۰۵ تعیین شد.

جدول ۲. حداقل سطح خدمت قابل‌قبول σ_i

دارو	σ_i	دارو	σ_i	دارو	σ_i	دارو	σ_i	دارو	σ_i
۱	۰/۰۵	۶	۰/۵	۱۱	۰/۲۵	۱۶	۰/۲۵	۲۱	۰/۵
۲	۰/۵	۷	۰/۲۵	۱۲	۰/۰۵	۱۷	۰/۵	۲۲	۰/۵
۳	۰/۵	۸	۰/۵	۱۳	۰/۲۵	۱۸	۰/۲۵	۲۳	۰/۵
۴	۰/۲۵	۹	۰/۰۵	۱۴	۰/۵	۱۹	۰/۵	۲۴	۰/۲۵
۵	۰/۵	۱۰	۰/۲۵	۱۵	۰/۵	۲۰	۰/۵	۲۵	۰/۲۵

قیمت پیشنهادی هر تأمین‌کننده برای هر قلم دارو بر اساس داده‌های اعلامی از سوی تأمین‌کنندگان در مناقصات به‌دست آمده است. موجودی اول دوره بر اساس داده‌های موجود در سیستم اطلاعات انبار دارویی بیمارستان به دست آمد. هزینه هر ساعت اضافه‌کاری برابر با ۴۵ هزار تومان تعیین شد. علاوه بر این، هزینه نگهداری هر دارو در انبار مرکزی و داروخانه، هزینه‌های انقضای هر دارو، ظرفیت انبار مرکزی و داروخانه برای نگهداری هر دارو و نیز مدت‌زمان تحویل هر سفارش به‌وسیله هر تأمین‌کننده به‌وسیله بخش اداری بیمارستان و بر اساس اسناد مربوطه و نیز کارشناسان امر تعیین شد. با توجه به فقدان اطلاعات در مورد برخی از پارامترهای موردنیاز برای حل مسئله، این اطلاعات به‌وسیله مدیران مربوطه در بیمارستان تخمین زده شد. برای مثال ظرفیت هر تأمین‌کننده در تأمین هر قلم دارو یا زمان موردنیاز برای انجام فعالیت‌ها از جمله در فرایندهای کنترل وضعیت هر دارو در داروخانه و ارسال سفارش

بازپرسازی، تحویل از تأمین‌کننده، انتقال از انبار به داروخانه و نیز انتقال از داروخانه به هر یک از بخش‌ها بر اساس تخصص کارکنان تخمین زده شد. فرآیند برآورد بدین صورت بود که بعد از تعیین زمان تقریبی هر یک از این فعالیت‌ها به‌وسیله کارکنان مربوطه، میزان متوسط زمان اعلام‌شده برای استفاده در این پژوهش در نظر گرفته شد؛ همچنین عمر مفید هر دارو به‌وسیله مسئولان فنی داروخانه تعیین شد و حداکثر مقدار آن ۱۰۴ هفته، معادل ۲ سال بود.

برای تعیین مقادیر نهایی پارامترهای فازی از عدد فازی مثلثی استفاده شد. فرض بر آن است که ممکن‌ترین مقدار تقاضا برای هر قلم دارو برابر با مجموع تقاضای واقعی روزانه برای آن دارو در طول همان دوره (هفته) در سال قبل است. علاوه بر این، ممکن‌ترین مقادیر ظرفیت انبار و تأمین‌کننده همان مقادیر پیش‌بینی شده است. برای تعیین مقادیر بدبینانه‌ترین و خوش‌بینانه‌ترین حالت، مقادیر ممکن‌ترین حالت به ترتیب در ۰/۷۵ و ۱/۱۵ ضرب شد. به خاطر تأثیر بیماری کرونا بر مصرف بسیاری از اقلام این مطالعه و انتظار رونمایی از واکسن کرونا در بهار سال ۱۴۰۰ و کاهش نرخ مصرف برخی از این اقلام، وزن بیشتری برای مقادیر بدبینانه‌ترین حالت در نظر گرفته شد. جدول ۳، نتایج اجرای مدل MILP با تابع هدف Z_1 و مدل MILP با تابع هدف Z_2 و مقادیر al_k و t_k را نشان می‌دهد.

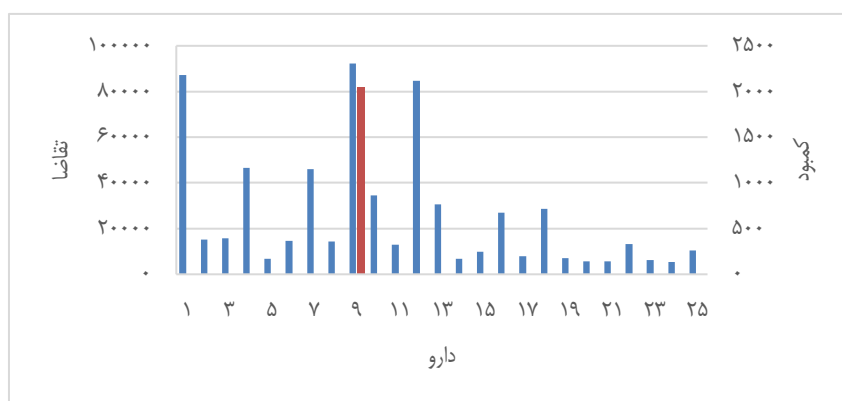
جدول ۳. نتایج اجرای مدل اول و دوم برای محاسبه مقادیر al_k و t_k

k	$MILP(z_k)$	$al_k = Z_k^{min} = Z_k(\psi_k^*)$	$t_k = Z_k^{max} - Z_k^{min}$
۱	$MILP(z_1)$	۱۳۴۲۸۴۶۹۹۸	۱۷۰۷۳۰۷۵۱۲۵
۲	$MILP(z_2)$	۰	۱۵۸۷۴۸

از آنجاکه کاهش کمبود برای مدیران بیمارستانی از اهمیت بسیار زیادی نسبت به کاهش هزینه‌ها برخوردار بود، ضرایب اهمیت آرمان اول و دوم به ترتیب ۰/۳ و ۰/۷ در نظر گرفته شد؛ یعنی $\theta_1 = 0.3$ و $\theta_2 = 0.7$. به خاطر پیامدهای منفی کمبود دارو تمام سعی مدیران بیمارستانی بر کاهش و کنترل کمبود دارو است تا از این طریق سطح رضایت بیماران را افزایش دهند. بر این اساس ضریب جبرانی کوچک‌تری انتخاب شد؛ یعنی $\gamma = 0.30$ ، تا بر آرمان مهم‌تر که همان مقدار کمبود است، تأکید بیشتری صورت بگیرد. مقدار α ، ۰/۵ در نظر گرفته شد. این مدل با استفاده از نرم‌افزار Gams 25.1 در لپ‌تاپ Intel Core i5, 8 GB of RAM با سالور CPLEX اجرا شد. حداکثر درجه رضایت آرمان‌های فازی، λ ، به‌عنوان متغیر هدف مدل نهایی برابر با ۰/۶۹۵ بود. گپ کلی و نسبی حاصل از اجرای این مدل به ترتیب ۰/۰۱۷ و ۰/۰۲۴ بود. در جواب بهینه این مسئله، هزینه کل به‌عنوان تابع هدف اول برابر با ۲۳۴۴۰۰۴۷۴۸۸ تومان است؛ درحالی‌که کل کمبود دارو به‌عنوان تابع هدف دوم برابر با ۲۰۴۸ واحد دارو می‌باشد که

نشان‌دهنده ۰/۳ درصد کل تقاضا بوده و مقدار ناچیزی است. مقادیر عضویت به‌دست‌آمده برای هر آرمان برابر با $\mu_1 = 0.414$ برای کل هزینه و $\mu_2 = 0.987$ برای کل کمبود است که نشان‌دهنده سازگاری این جواب با وزن نسبی تخصیص‌داده‌شده به هر آرمان است و به درجه عضویت بسیار بیشتری برای Z_2 نسبت به Z_1 منجر می‌شود و در نتیجه آن، جواب توافقی نامتوازن با تأکید بیشتر بر آرمان مهم‌تر (کمبود) به‌دست می‌آید.

نتایج نشان می‌دهد که هزینه‌های خرید دارو بیش از ۹۹ درصد و مابقی هزینه‌ها کمتر از ۱ درصد کل هزینه‌ها را شکل می‌دهند. باید توجه داشت هرچند مدیریت تعداد سفارش‌های ارسالی، سطح موجودی و اضافه‌کاری نیروی کار تأثیر چندانی بر کل هزینه‌ها ندارند، اما می‌توانند به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای دسترس‌پذیری دارو در بیمارستان را تحت تأثیر قرار دهند و این به‌نوبه خود در ارتباط با میزان کمبود دارو است و می‌تواند کیفیت فرآیند تأمین را تحت تأثیر قرار دهد.

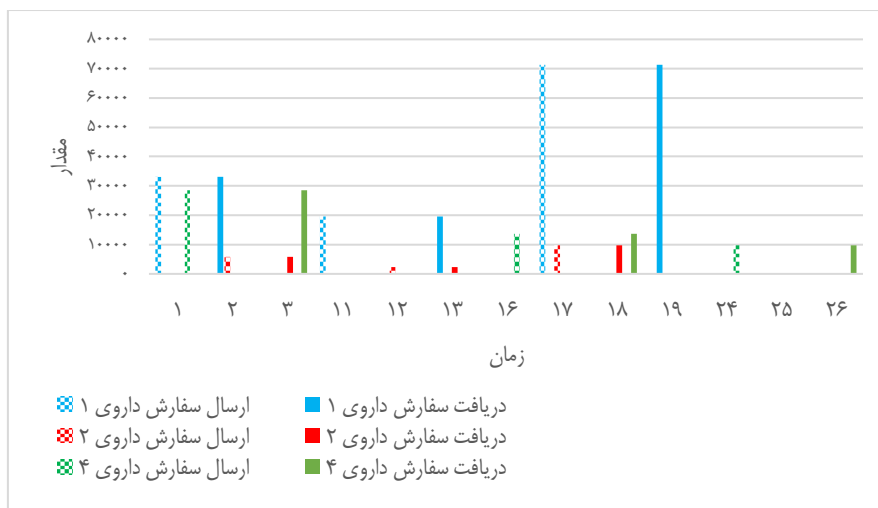


شکل ۴. توزیع مقادیر تقاضا و کمبود

شکل ۴، توزیع ممکن‌ترین مقادیر تقاضا را با مقادیر کمبود برای هر دارو نشان می‌دهد. بر اساس این شکل فقط داروی ۹ با کمبود مواجه است و بقیه داروها هیچ کمبودی ندارند. این دارو از اقلام پرمصرف است و کمبود آن به‌معنای عدم‌دسترسی به دارو نیست و تقاضای درخواستی از سوی بخش‌های مراقبتی با داروهای جایگزین برآورده می‌شود یا حتی می‌توان در صورت ضرورت با وجوه تنخواه نسبت به خرید آن اقدام کرد. با اتخاذ این سیاست تا حجم زیادی از هزینه‌های خرید دارو کاسته می‌شود و سطح ارائه خدمت با استفاده از داروهای جایگزین افزایش می‌یابد.

داروهای مورد مطالعه، بر اساس حداقل سطح خدمت به سه دسته تقسیم شدند: دسته نخست اقلام با حداقل کمبود؛ دسته دوم، اقلامی با کمبود تا ۵۰ درصد تقاضا و دسته سوم اقلامی که بین این دو دسته قرار داشتند (جدول ۲). شکل ۵، زمان ارسال سفارش خرید و مقادیر آن به

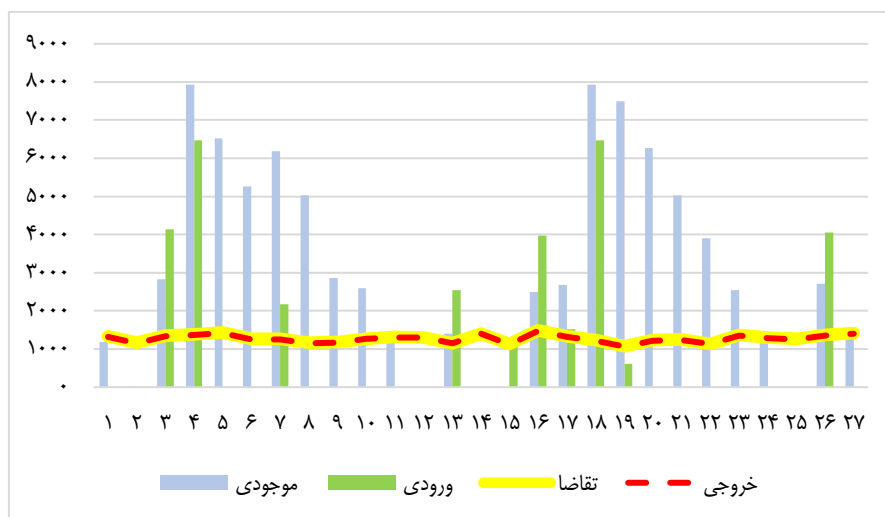
تأمین‌کنندگان و نیز زمان بازپرسازی انبار مرکزی بیمارستان را در زنجیره تأمین با انتخاب یک نمونه از هر دسته دارویی (سه داروی ۱، ۲ و ۴) نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، برای داروی دوم موجودی زیادی در ابتدای دوره وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که نیاز دو هفته اول را برآورده می‌سازد. برای داروی چهارم نیز در ابتدای دوره باید سفارش‌های بزرگ‌تری داده شود که در نتیجه آن در دوره‌های بعدی سفارش‌های کوچک‌تری ارسال می‌شود. ناگفته نماند این مقادیر به شدت تحت تأثیر موجودی اول دوره و ظرفیت انبار هستند. مقادیر خرید از تأمین‌کنندگان با ملاحظه عمر باقیمانده بوده و برای هر سفارشی که در شکل ۵، نشان داده شده است، چندین حالت عمر باقیمانده وجود دارد که به‌عنوان مقادیر حداقلی عمل می‌کنند و چنانچه مدیر مجبور به انتخاب داروهای با عمر باقیمانده کمتر شود، بر اساس نتایج این مدل می‌تواند انتخاب‌های مختلفی داشته باشد. علاوه بر این، مقدار داروی منقضی‌شده در انبار مرکزی بیمارستان که یکی از دغدغه‌های اصلی مسئولان انبار است، بر اساس سیاست بالا به صفر می‌رسد.



شکل ۵. توزیع مقادیر سفارش و دریافت داروی ۱، ۲، ۴

حداکثر تعداد کنترل موجودی برای هر یک از داروها تحت تأثیر تعداد دوره‌های سفارش‌دهی، ro ، است؛ بنابراین موجودی هر دارو در داروخانه بیمارستان حداکثر هر ۲ هفته یک‌بار بررسی شده و سفارش بازپرسازی به انبار مرکزی بیمارستان ارسال می‌شود. در واقع داروها حداکثر ۲ هفته در داروخانه نگهداری می‌شوند و در نتیجه هیچ انقضایی برای داروها در داروخانه وجود ندارد و از این طریق می‌توان بهتر مصرف داروها را کنترل کرد. در این پژوهش، مقدار ro برای همه اقلام دارویی یکسان در نظر گرفته شده است و می‌توان برای هر یک به صورت جداگانه تعیین کرد.

شکل ۶، جریان هفتگی داروی ۱۰ در داروخانه بیمارستان را نشان می‌دهد که از انبار مرکزی بیمارستان دریافت شده و به همه بخش‌ها ارسال می‌شود. این جریان همچنین شامل سطح موجودی و میزان تقاضا هر دوره است. در بیشتر دوره‌ها، مقدار داروی ورودی به داروخانه با مقدار داروی تحویلی به همه بخش‌ها منطبق است. این الگو دقیقاً با انتخاب مدیر برای اهمیت بیشتر تابع هدف دوم انطباق دارد. از آنجاکه هزینه‌های نگهداری دارو پایین است، الگوی ارائه‌شده بیشتر به سمت افزایش موجودی است؛ ضمن اینکه این الگو گویای تأکید بیشتر مسئولان بیمارستانی بر کمبود است؛ چراکه با افزایش سطح موجودی، کمبود به شدت کاهش می‌یابد.



شکل ۶، جریان داروی ۱۰ در داروخانه بیمارستان

تحلیل حساسیت. با توجه به اثر ضریب جبرانی (γ)، مقادیر مختلف اهمیت نسبی آرمان‌ها (θ_1) و (θ_2) و ضریب α بر کل هزینه و کمبود، در ادامه برای ارزیابی اثر آن‌ها، تحلیل حساسیت صورت می‌گیرد. جدول ۵، نشان می‌دهد که مقادیر کوچک γ باعث ایجاد جوابی نامتوازی می‌شود؛ بدین شکل که هرچه وزن آرمانی بزرگ‌تر باشد، تابع عضویت آن بزرگ‌تر و در نتیجه تابع هدف مربوطه بهتر می‌شود. در مقابل، مقادیر بزرگ‌تر γ به جواب متوازن‌تری می‌رسد؛ به عبارتی مقادیر یکسانی برای درجه عضویت هر دو آرمان فازی به دست می‌آید. چون در محدودیت ۹، سقف مقادیر کمبود برای هر دارو محدود به σ_i است و حداکثر آن از ۵۰ درصد تقاضا تجاوز نمی‌کند، مقادیر درجه عضویت آرمان فازی دوم μ_2 با $\theta_2 = 0.7$ نزدیک به ۱ است؛ درحالی‌که اگر سقف مجاز کمبود برداشته شود، همبستگی بیشتری بین درجات عضویت هر دو آرمان فازی در مقادیر متوسط γ به دست می‌آید؛ بنابراین چنانچه هزینه اهمیت بیشتری داشته باشد، می‌توان با انتخاب مقادیر بزرگ‌تر برای γ و θ ، حتی‌الامکان هزینه را کمتر کرد.

به‌طور مشابه می‌توان مقادیر مختلف اهمیت نسبی آرمان‌ها (θ_1 و θ_2) را ارزیابی کرد. با توجه به جدول ۴، در شرایطی که این دو وزن اختلاف بسیاری با یکدیگر دارند، درجه رضایت بالایی برای مهم‌ترین آرمان به دست می‌آید و در مواردی که وزن دو آرمان نزدیک به هم است، جواب حاصل به دنبال افزایش درجه رضایت هر دو است. برای مثال، برای مقادیر بزرگ‌تر اهمیت نسبی آرمان دوم، $\theta_2 = 0.7$ ، درجه رضایت بالایی برای آن آرمان به دست آمده است؛ به‌خصوص در مواردی که γ کوچک‌تر است، $\gamma = 0.1$ ، در مورد مطالعه اگر حداکثر سطح مجاز برای کمبود هر یک از داروها و نیز ضریب جبرانی بزرگ‌تر شود، طبیعتاً درجه رضایت آرمان اول، ولو با اختلاف کمتر، بزرگ‌تر خواهد شد. با استفاده از تحلیل بالا می‌توان به جواب‌های منطقی و سازگاری دست یافت که تأییدکننده مقادیر نهایی مورد استفاده برای پارامترهای γ ، θ_1 و θ_2 در این مطالعه است.

جدول ۴. تحلیل حساسیت مقادیر γ ، θ_1 و θ_2 ، α

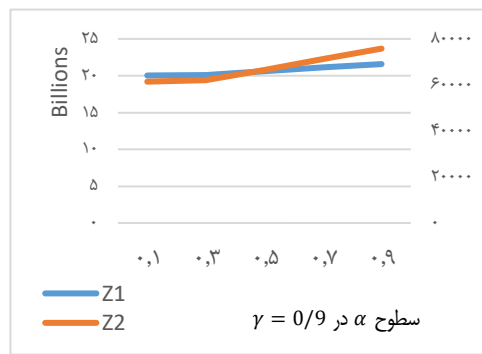
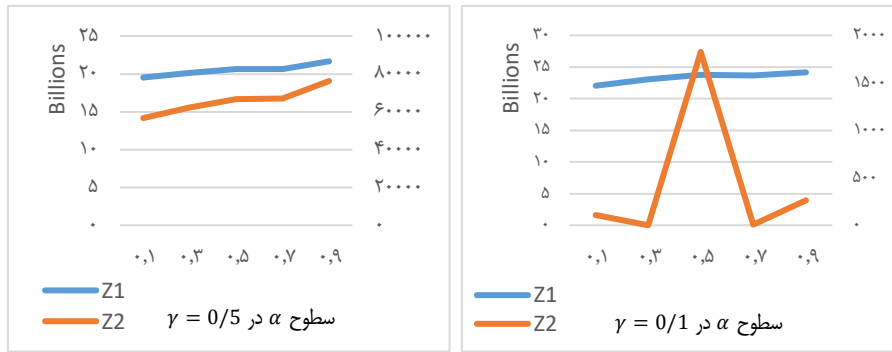
z		μ		α	θ		γ
z_2	z_1	μ_2	μ_1		θ_2	θ_1	
۱۰۸	۲۲۰۳۹۰۹۹۵۴۷	-/۹۹۹	-/۴۹۶	-/۱			
۰	۲۳۰۹۹۸۸۰۱۱۵	۱	-/۴۳۳	-/۳			
۱۸۲۵	۲۳۷۶۵۰۸۴۸۷۷	-/۹۸۸	-/۳۹۴	-/۵	۰/۷	۰/۳	
۵	۲۳۶۷۱۷۷۵۰۶۷	-/۹۹۹	-/۴۰۰	-/۷			
۲۶۰	۲۴۱۵۶۲۸۲۹۱۴	-/۹۹۸	-/۳۷۲	-/۹			
۲۰۱۹	۲۲۴۱۴۳۹۳۳۱۳	-/۹۸۷	-/۴۷۴	-/۱			
۵۷۵۳	۲۳۱۴۵۴۹۲۹۳۹	-/۹۵۷	-/۴۳۱	-/۳			
۱۰۸۰۷	۲۲۷۸۷۰۱۱۹۲۰	-/۹۳۲	-/۴۵۲	-/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۱
۹۴۱۰	۲۳۴۲۰۰۱۴۳۷۴	-/۹۴۱	-/۴۱۵	-/۷			
۸۷۳۰	۲۴۰۲۸۰۱۷۶۲۸	-/۹۴۵	-/۳۷۹	-/۹			
۵۲۳۳۰	۱۹۹۵۸۶۲۲۳۰۰	-/۶۷۰	-/۶۱۷	-/۱			
۶۲۲۶۰	۲۰۱۳۵۹۳۸۴۱۷	-/۶۰۸	-/۶۰۷	-/۳			
۵۹۳۴۷	۲۰۴۸۵۶۱۷۷۲۳	-/۶۲۶	-/۵۸۷	-/۵	۰/۳	۰/۷	
۶۱۶۷۱	۲۱۳۲۰۵۰۵۲۱۷	-/۶۱۱	-/۵۳۸	-/۷			
۵۶۱۲۴	۲۳۱۶۹۴۸۷۶۵۶	-/۶۴۶	-/۴۸۸	-/۹			
۳۱۱۱۱	۲۰۶۰۹۹۸۵۱۵۸	-/۸۰۴	-/۵۷۹	-/۱			
۳۱۸۲۷	۲۱۱۴۸۳۱۸۸۹۴	-/۷۹۹	-/۵۴۸	-/۳			
۳۱۳۹۸	۲۱۷۶۲۸۹۷۰۸۵	-/۸۰۲	-/۵۱۲	-/۵	۰/۷	۰/۳	
۲۹۵۹۸	۲۲۴۴۷۰۰۷۹۵۴	-/۸۱۳	-/۴۷۲	-/۷			۰/۵
۱۷۵۸۹	۲۳۱۶۰۵۱۲۰۸۹	-/۸۹۰	-/۴۳۰	-/۹			
۵۷۶۱۰	۱۹۶۳۱۸۶۳۰۷۹	-/۶۳۷	-/۶۳۶	-/۱			
۵۸۱۷۰	۲۰۲۵۰۳۰۲۵۱۳	-/۶۰۰	-/۶۰۹	-/۳	۰/۵	۰/۵	

z		μ		α	θ		γ
z ₂	z ₁	μ ₂	μ ₁		θ ₂	θ ₁	
۵۳۶۰۹	۲۰۵۳۱۴۵۶۵۹۰	-/۶۶۲	-/۵۸۴	-/۵			
۶۳۷۰۲	۲۱۴۸۰۲۵۷۰۶۹	-/۵۹۹	-/۵۲۸	-/۷			
۴۹۴۱۵	۲۱۶۶۹۱۵۹۳۷۷	-/۶۸۹	-/۵۱۷	-/۹			
۵۶۶۴۱	۱۹۵۲۰۰۹۴۶۷۵	-/۶۴۳	-/۶۴۳	-/۱			
۶۲۳۴۲	۲۰۱۴۴۵۶۵۹۲۹	-/۶۰۷	-/۶۰۷	-/۳			
۶۶۷۵۶	۲۰۶۱۲۴۶۳۳۸۹	-/۵۷۹	-/۵۷۹	-/۵	۰/۳	۰/۷	
۶۷۰۷۱	۲۰۶۴۱۸۱۸۱۴۵	-/۵۷۷	-/۵۷۷	-/۷			
۷۶۲۳۳	۲۱۶۵۶۶۹۰۵۳۲	-/۵۲۰	-/۵۱۸	-/۹			
۵۴۵۷۹	۱۹۲۹۸۳۸۱۳۰۱	-/۶۵۶	-/۶۵۶	-/۱			
۵۸۱۱۳	۱۹۶۷۸۴۰۸۳۲۶	-/۶۳۴	-/۶۳۴	-/۳			
۶۶۷۱۷	۲۰۶۰۳۷۹۵۸۱۹	-/۵۸۰	-/۵۸۰	-/۵	۰/۷	۰/۳	
۶۶۹۶۸	۲۰۶۳۰۸۰۸۷۴۱	-/۵۷۸	-/۵۷۸	-/۷			
۷۱۷۶۰	۲۱۱۴۶۱۸۰۳۷۴	-/۵۴۸	-/۵۴۸	-/۹			
۶۲۲۱۲	۲۰۱۱۹۲۷۷۱۸۹	-/۶۰۸	-/۶۰۸	-/۱			
۶۲۶۹۵	۲۰۱۷۱۲۱۸۸۰۴	-/۶۰۵	-/۶۰۵	-/۳			
۷۰۵۳۰	۲۱۰۱۳۹۰۵۸۵۵	-/۵۵۶	-/۵۵۶	-/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۹
۷۲۴۸۸	۲۱۲۸۰۴۴۵۳۶۷	-/۵۳۸	-/۵۳۸	-/۷			
۷۶۱۰۵	۲۱۶۱۳۴۱۷۱۹۵	-/۵۲۱	-/۵۲۱	-/۹			
۶۱۴۲۴	۲۰۰۳۴۵۰۶۱۴۱	-/۶۱۳	-/۶۱۳	-/۱			
۶۲۱۳۸	۲۰۱۱۱۳۳۵۹۴۶	-/۶۰۹	-/۶۰۹	-/۳			
۶۶۵۵۹	۲۰۵۸۶۷۷۱۰۸۰	-/۵۸۰	-/۵۸۰	-/۵	۰/۳	۰/۷	
۷۱۳۳۳	۲۱۱۰۰۲۴۹۹۹۱	-/۵۵۱	-/۵۵۱	-/۷			
۷۵۷۹۷	۲۱۵۸۰۳۵۵۶۲۵	-/۵۲۳	-/۵۲۳	-/۹			

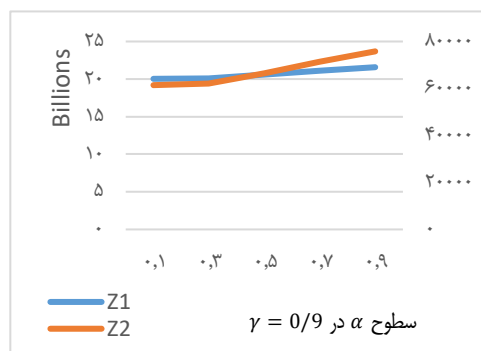
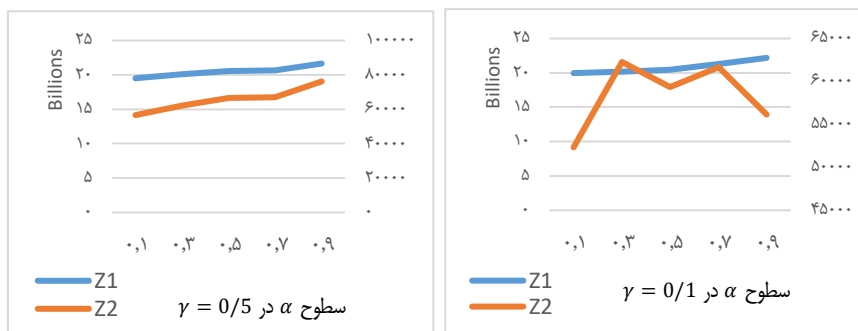
برای ترکیبات مختلف پارامترهای γ ، θ_1 و θ_2 می‌توان این مدل را برای سطوح مختلف α حل کرد. شکل‌های γ و θ ، نتایج حل این مدل را برای ۵ سطح پارامتر α نشان می‌دهند. با توجه به این اشکال، در مقادیر بزرگ‌تر γ با افزایش سطح α ، مقادیر تابع هدف افزایش می‌یابد؛ به عبارتی هنگامی که مقادیر α به صفر نزدیک می‌شود، مقادیر تابع هدف بهبود می‌یابد و برعکس؛ اما در مقادیر کوچک‌تر γ ، به خاطر اثر بیشتر اهمیت نسبی آرمان‌ها θ ، مقادیر تابع هدف با الگوی ثابتی افزایش نمی‌یابند. به‌طور کلی تصمیم‌گیر بسته به اولویت خود برای حصول جواب متعادل می‌تواند سطح مناسبی را برای α انتخاب کند.

برنامه‌ریزی جریان موجودی در زنجیره تأمین بیمارستان بسیار پیچیده است و برای کارایی بیشتر فعالیت‌های این زنجیره باید جریان دارو و اطلاعات را با هم در نظر گرفت و مدل را به دنیای واقعی نزدیک‌تر کرد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که تصمیمات مربوط به خرید و لجستیک

دارو اثر زیادی بر کمبود دارو و کنترل هزینه‌های مختلف موجودی دارو در بیمارستان دارند؛ بنابراین برای مدیریت کارای زنجیره تأمین بهداشت و درمان ملاحظه هم‌زمان جریان دارو و اطلاعات در برنامه‌ریزی‌ها ضروری به نظر می‌رسد. با استفاده از این مدل در مطالعه موردی ضمن ازبین‌رفتن مسئله انقضا دارو در انبار و داروخانه بیمارستان، هزینه‌های مربوط به خرید و نگهداری دارو در انبار و داروخانه و نیز کمبود دارو در بخش‌های مختلف بیمارستان کنترل شد.



شکل ۷. مقادیر تابع هدف با $\theta_1 = 0.3$ و $\theta_2 = 0.7$



شکل ۸. مقادیر تابع هدف با $\theta_1 = 0.7$ و $\theta_2 = 0.3$

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

زنجیره تأمین بهداشت و درمان دارای ساختاری گسترده و پیچیده همراه با بستری ویژه است و برای تأمین سلامت جامعه از زیرسیستم‌های متنوعی تشکیل شده است. یکی از اساسی‌ترین فعالیت‌های این زنجیره تأمین، سیستم تحویل دارو در داخل بیمارستان است که کیفیت خدمات و نیز کارایی هزینه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این حالت به‌طور خاص در بیمارستان‌های دولتی به خاطر نقش محوری آن‌ها در سلامت جامعه و نیز کمبود منابع مالی تبدیل به موضوعی چالشی شده است. در این پژوهش به ارائه مدل تصمیم‌گیری برای پشتیبانی از تصمیمات برنامه‌ریزی در زنجیره تأمین بهداشت و درمان دولتی پرداخته شد و به دنبال بهینه‌سازی دو هدف متعارض، یعنی حداقل‌سازی کل هزینه‌ها و کاهش کمبود دارو بود.

مدل MILP چنددوره‌ای پیشنهادی در این پژوهش ابزار مفیدی برای هماهنگ‌کردن کنترل فعالیت‌های خرید و بازسازی در لایه‌های مختلف این زنجیره است و امکان دستیابی به عملکرد بهینه و متوازن مدیریت زنجیره تأمین دارویی بیمارستان را فراهم خواهد کرد. این مدل به‌طور هم‌زمان جریان مواد و اطلاعات را در نظر می‌گیرد. جریان مواد تحت تأثیر محدودیت‌های ظرفیت در بخش‌های مختلفی چون ظرفیت تأمینی هر تأمین‌کننده برای هر یک از داروها،

ظرفیت نگهداری دارو در انبار مرکزی بیمارستان و نیز ظرفیت نگهداری دارو در داروخانه بیمارستان قرار می‌گیرد. مدل پیشنهادی قادر خواهد بود با توجه به سطح مجاز کمبودی که برای هر دسته دارویی تعیین شود، برنامه‌های متفاوتی را برای اقدامات لجستیکی ارائه دهد. برای مثال، دوره‌های کنترل موجودی، سفارش و تحویل محصولات با تاریخ انقضا متفاوت با توجه به نظر مدیران در مورد دسته‌بندی داروها برای کمبود صورت می‌گیرد. علاوه بر این، امکان رصد موجودی در بخش‌های مختلف بیمارستانی شامل زمان و مقدار ورود و خروج دارو در هر یک از بخش‌ها و نیز میزان کمبود احتمالی آن‌ها را فراهم خواهد کرد. در این پژوهش ماهیت غیرقطعی پارامترها در زنجیره تأمین بهداشت و درمان با کمک نظریه مجموعه فازی مدل‌سازی شد. بر این اساس مدل برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح مختلط فازی ارائه شد که شامل تقاضای محصول، ظرفیت نگهداری و سطح تمایل هر آرمان به صورت پارامترهای فازی است.

برای آزمون مدل از داده‌های واقعی زنجیره تأمین بهداشت و درمان در «بیمارستان شهید بهشتی کاشان» استفاده شد. نتایج با توجه به اولویتی که مدیران بیمارستان برای هدف دوم تعیین کرده بودند، نشان‌دهنده جوابی نامتوازن به نفع کاهش کمبودهای دارویی است. در واقع مدل فازی پیشنهادی درجه رضایت بالایی را برای آرمان کمبود (به‌عنوان مهم‌ترین هدف) هم‌زمان با مدیریت دقیق هزینه‌ها فراهم می‌کند. بررسی نتایج نشان می‌دهد که تصمیمات مربوط به خرید و لجستیک دارو، اثر زیادی بر کمبود دارو و کنترل هزینه‌های مختلف موجودی دارو در بیمارستان دارد.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی بهینه‌سازی زنجیره تأمین بیمارستان با ملاحظه جریان مالی در کنار جریان دارو و اطلاعات در نظر گرفته شود. استفاده از رویکرد ترکیبی نظیر شبیه‌سازی و مدل‌سازی ریاضی برای ملاحظه پیچیدگی‌های چندگانه زنجیره تأمین بیمارستان از دیگر پیشنهادهایی است که به پژوهشگران توصیه می‌شود.

منابع

1. Abu Zwaïda, T., Pham, C., & Beauregard, Y. (2021). Optimization of Inventory Management to Prevent Drug Shortages in the Hospital Supply Chain. *Applied Sciences*, 11(6), 2726.
2. Ahmadi, A., Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Pishvae, M. S. (2018). OR Applications in Pharmaceutical Supply Chain Management. In C. Kahraman & Y. I. Topcu (Eds.), *Operations Research Applications in Health Care Management* (pp. 461-491). Springer International Publishing.
3. Ding, B. (2018). Pharma industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains. *Process Safety and Environmental Protection*, 119, 115-130.
4. Duque-Urbe, V., Sarache, W., & Gutiérrez, E. V. (2019). Sustainable supply chain management practices and sustainable performance in hospitals: a systematic review and integrative framework. *Sustainability*, 11(21), 5949.
5. Franco, C., & Alfonso-Lizarazo, E. (2020). Optimization under uncertainty of the pharmaceutical supply chain in hospitals. *Computers & Chemical Engineering*, 135, 106689.
6. Foukerdi, R., & Talavari, Z. (2021). Cash flow Optimization in Medicine Supply Chain: A Supply Risk Approach. *The journal of Industrial Management Perspective*, 11(1), 117-145. (In Persian)
7. Goodarzi, F., Taleizadeh, A. A., Ghasemi, P., & Abraham, A. (2021). An integrated sustainable medical supply chain network during COVID-19. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 100, 104188.
8. Hans, E. W., van Houdenhoven, M., & Hulshof, P. J. H. (2012). *A Framework for Healthcare Planning and Control*. In R. Hall (Ed.), *Handbook of Healthcare System Scheduling* (pp. 303-320). Springer US.
9. Jiménez, M., Arenas, M., Bilbao, A., & Rodríguez, M. V. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: An interactive method resolution. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1599-1609.
10. Kalantari, M., Pishvae, M. S., & Yaghoubi, S. (2015). A Multi Objective Model Integrating Financial and Material Flow in Supply Chain Master Planning. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 5(3), 139-167.
11. Kees, M. C., Bandoni, J. A., & Moreno, M. S. (2019). An Optimization Model for Managing the Drug Logistics Process in a Public Hospital Supply Chain Integrating Physical and Economic Flows. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(9), 3767-3781.
12. Kouchaki-Tajani, T., Mohtashami, A., Amiri, M., & Ehtesham-Rasi, R. (2021). Presenting a Robust Optimization Model to Design a Comprehensive Blood Supply Chain under Supply and Demand Uncertainties. *The journal of Industrial Management Perspective*, 11(1), 81-116. (In Persian)
13. Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Zehiri, B. (2015). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. *Computers & Chemical Engineering*, 82, 115-128.
14. Narayana, S. A., Pati, R. K., & Vrat, P. (2014). Managerial research on the pharmaceutical supply chain—A critical review and some insights for future directions. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 20(1), 18-40.

15. Peidro, D., Mula, J., Jiménez, M., & del Mar Botella, M. (2010). A fuzzy linear programming-based approach for tactical supply chain planning in an uncertainty environment. *European Journal of Operational Research*, 205(1), 65-80.
16. Rakovska, M. A., & Stratieva, S. V. (2018). A taxonomy of healthcare supply chain management practices. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 19(1), 4-24.
17. Rappold, J., Van Roo, B., Di Martinelly, C., & Riane, F. (2011). An Inventory Optimization Model To Support Operating Room Schedules. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 12(1), 56-69.
18. Roshan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Rahimi, Y. (2019). A two-stage approach to agile pharmaceutical supply chain management with product substitutability in crises. *Computers & Chemical Engineering*, 127, 200-217.
19. Roy, S., Prasanna Venkatesan, S., & Goh, M. (2020). Healthcare services: A systematic review of patient-centric logistics issues using simulation. *Journal of the Operational Research Society*, 72(10), 2342-2364.
20. Saha, E., & Ray, P. K. (2019). Modelling and analysis of inventory management systems in healthcare: A review and reflections. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106051.
21. Savadkoobi, E., Mousazadeh, M., & Torabi, S. A. (2018). A possibilistic location-inventory model for multi-period perishable pharmaceutical supply chain network design. *Chemical Engineering Research and Design*, 138, 490-505.
22. Sazvar, Z., Zokaee, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Salari, S. A.-s., & Nayeri, S. (2021). Designing a sustainable closed-loop pharmaceutical supply chain in a competitive market considering demand uncertainty, manufacturer's brand and waste management. *Annals of Operations Research*, 1-32.
23. Shakouhi, F. S., Tavakkoli-Moghaddam, R., Baboli, A., & Bozorgi-Amiri, A. (2020). Fuzzy Goal Programming Based on a Taylor Series for a Pharmaceutical Supply Chain with a Marketing Mix Strategy and Product Life Cycle. In *Smart and Sustainable Supply Chain and Logistics—Trends, Challenges, Methods and Best Practices* (pp. 395-406). Springer.
24. Singh, S. K., & Goh, M. (2019). Multi-objective mixed integer programming and an application in a pharmaceutical supply chain. *International Journal of Production Research*, 57(4), 1214-1237.
25. Torabi, S. A., & Hassini, E. (2009). Multi-site production planning integrating procurement and distribution plans in multi-echelon supply chains: an interactive fuzzy goal programming approach. *International Journal of Production Research*, 47(19), 5475-5499.
26. 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.
27. Volland, J., Fügener, A., Schoenfelder, J., & Brunner, J. O. (2017). Material logistics in hospitals: A literature review. *Omega*, 69, 82-101.
28. Zahiri, B., Jula, P., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products. *Information Sciences*, 423, 257-283.

29. Zandkarimkhani, S., Mina, H., Biuki, M., & Govindan, K. (2020). A chance constrained fuzzy goal programming approach for perishable pharmaceutical supply chain network design. *Annals of Operations Research*, 295(1), 425-452.
30. Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 45-55.
31. Zwaida, T. A., Beauregard, Y., & Elarroudi, K. (2019). Comprehensive literature review about drug shortages in the canadian hospital's pharmacy supply chain. *2019 International Conference on Engineering, Science, and Industrial Applications (ICESI)*.