



Designing Multi-Objective Facility Location Model in Green and Closed-loop Supply Chain Network under Uncertainty: Laundry and Linen Service Centers of Moheb Hospitals

Rasoul Mohebifard, Mehrzad Mehrabipour, Nasim Nahavandi & Mohammad Mehdi Sepehri *

Rasoul Mohebifard, MS student of transportation planning, Sharif University of Technology

Mehrzad Mehrabipour, MS student of industrial engineering, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University

Nasim Nahavandi, Associate professor, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University

Mohammad Mehdi Sepehri, Professor, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University

Keywords

Closed-loop supply chain;
Healthcare;
Modified Augmented ϵ -
constraint;
Uncertainty

ABSTRACT

In this paper, designing a closed-loop supply chain (CLSC) network in healthcare area with multi-objective mixed-integer linear programming model is proposed and integrated the network design decisions in both forward and reverse supply chain networks. Network of this paper includes hospitals, collection, laundry centers and disposal center of hospital clothes. Since access of these vital centers to each other is very important, in addition to the network costs and environmental issues, network covering problem has also been considered. Then, Modified Augmented ϵ -constraint method has been used for three hospitals in Tehran, and applicability of the developed model is conducted. Therefore, non-dominated solutions for location of collection and laundry facilities and clothing stream between network nodes has been determined. However, since many of the parameters like demand return to the network, transportation and disposal costs are variable and uncertain, discrete stochastic scenarios for describing the parameters is used. Under these conditions, modeling has been carried out with the aim of minimizing the expected costs. Comparison of different scenarios shows that the objective function is highly sensitive to demand and return rates and the effect of uncertainty in both parameters handled simultaneously. Network modeling based on various scenarios can be a useful tool for decision-making in facing of uncertain and vague parameters. This paper is among the first investigations in healthcare area that considers multi-objective mathematical models under uncertain environment in CLSC network configuration.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 4, All Rights Reserved



طراحی مدل چند هدفه در مکانیابی تسهیلات شبکه سبز و زنجیره تأمین حلقه بسته با وجود عدم قطعیت: مراکز خشکشویی بیمارستان های محب

رسول محبی فرد، مهرزاد مهربابی پور، نسیم نهاوندی و محمد مهدی سپهری*

چکیده:

در این مقاله، طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در حوزه سلامت و درمان به صورت برنامه ریزی اعداد صحیح مختلط سه هدفه ارائه و تصمیم های مرتبط با طراحی شبکه در هر دو جریان رو به جلو و رو به عقب یکپارچه شده است. شبکه این مقاله شامل مراکز بیمارستان، جمع آوری، خشکشویی و انهدام لباس های بیمارستانی است. از آنجایی که دسترسی این مراکز حیاتی به یکدیگر بسیار مهم است، علاوه بر هزینه های شبکه و مسائل زیست محیطی، بررسی پوشش شبکه نیز مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه الگوریتم قید افزوده بهبود یافته برای سه بیمارستان شهر تهران به کار رفته است تا اهمیت و کاربرد شبکه مطرح شده، مشخص شود. سپس جواب های ناچیره برای مکان یابی مراکز جمع آوری و خشکشویی و جریان لباس های بین گره های شبکه در اختیار تصمیم گیران قرار گرفته است. اما از آنجایی که بسیاری از پارامترها به خصوص تقاضا، نرخ بازگشت به شبکه، هزینه های حمل و نقل و انهدام متغیر و غیر قطعی هستند، سناریوهای تصادفی گسسته برای توصیف پارامترها به کار رفته و مدل سازی شبکه با هدف کمینه کردن هزینه های مورد انتظار انجام شده است. مقایسه سناریوهای مختلف نشان می دهد، تابع هدف به شدت به تقاضا و نرخ بازگشت حساس و اثر عدم قطعیت در هر دو پارامتر را به طور همزمان نشان داده است. از این رو، مدل سازی شبکه بر مبنای سناریوهای مختلف می تواند ابزار مناسبی برای تصمیم گیری در رویارویی با پارامترهای غیر قطعی و مبهم باشد. این مقاله جزء اولین کارهای صورت گرفته در حوزه سلامت و درمان است، که ساختار شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته را بصورت چند هدفه و غیر قطعی مطرح می کند.

کلمات کلیدی

زنجیره تأمین حلقه بسته، سلامت و درمان، روش قید افزوده بهبود یافته، عدم قطعیت

۱. مقدمه

در سال های اخیر تحقیق های بسیاری در زمینه مدل سازی و حل مسائل مکانیابی زنجیره تأمین رو به جلو انجام شده است، اما توجه کمتری به مدل سازی و حل زنجیره تأمین حلقه بسته به صورت چند هدفه همراه با پارامترهای غیر قطعی شده است.

تاریخ وصول: ۹۳/۱/۱۸

تاریخ تصویب: ۹۴/۸/۱۰

رسول محبی فرد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف،
mohebfard.rasool@gmail.com

مهرزاد مهربابی پور، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه تربیت مدرس،
m.mehrabipour@modares.ac.ir

نسیم نهاوندی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه تربیت مدرس،
n.nahavandi@modares.ac.ir

*نویسنده مسئول مقاله: محمد مهدی سپهری، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه تربیت مدرس،
mehdi.sepohri@modares.ac.ir

اگرچه اکثر تحقیق های انجام گرفته تا سال ۲۰۰۸ طراحی سیستم های تولید و توزیع را بدون در نظر گرفتن کل زنجیره تأمین در نظر داشته [۱]، تعداد کمی به برنامه ریزی و بهینه کردن طراحی شبکه زنجیره تأمین رو به عقب به خصوص در حوزه سلامت و درمان پرداخته اند. مخصوصا زمانی که دو نوع جریان به صورت همزمان در نظر گرفته می شود [۲]. اما در سال های اخیر تعداد قابل توجهی از تحقیق ها، مباحث لجستیک رو به عقب و زنجیره تأمین حلقه بسته و به خصوص طراحی و برنامه ریزی این شبکه ها را بررسی کرده اند. با این وجود، موضوعات بالقوه بسیاری در حوزه طراحی و برنامه ریزی شبکه های سلامت و درمان وجود دارد که بتواند تصمیم های استراتژیک و بلندمدتی مانند مکان تسهیلات و ظرفیت آن ها را تعیین کند یا متغیرهای تصمیم میان مدت مانند جریان مقادیر بین گره های شبکه را مشخص نماید [۳].

هدف این مطالعات پاسخ به سؤالاتی است از جمله این که چه تعداد از تسهیلات باید تاسیس شوند؟ مکان این تسهیلات در کجا باشد؟ تخصیص کالا چگونه باشد؟ چه تعداد مکان‌های جمع آوری باید تاسیس و اجرایی شوند؟ چه محصولاتی در این مکان‌ها باید پردازش شوند؟ [۴] مدل‌های اخیر به دنبال تعیین متغیرهای تصمیم‌گیری برای هر دو جریان رو به جلو و رو به عقب هستند؛ که معمولاً حداقل کردن هزینه حمل و نقل به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود. در توابع چند هدفه نه تنها این موضوع، یعنی حداقل کردن هزینه حمل و نقل مورد نظر است، بلکه فاکتورهای دیگری هم مورد توجه قرار می‌گیرد. گاهی عدم قطعیت هم به این مدل‌ها اضافه می‌شود. این عدم قطعیت به دلایل متفاوتی از جمله تقاضای مشتریان، مقادیر بازگشت به شبکه، هزینه‌های حمل و نقل، تأخیر در تحویل اقلام و نرخ‌های مبادله در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در حوزه سلامت و درمان شامل مراکز بیمارستان، جمع آوری، خشکشویی و انهدام صورت گرفته است. طراحی و بررسی این شبکه برای تصمیم‌گیران بسیار مهم است، چرا که اگر نتوان مراکز خشکشویی را قلب بیمارستان نامید بی‌شک می‌توان آن را به عنوان شاهرگ حیاتی فعالیت‌های بیمارستانی در نظر گرفت [۵]. از این رو، دسترسی مراکز این شبکه بسیار مهم می‌باشد. مدل چند هدفه مساله به صورت برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط فرمول بندی شده و در یک شرایط واقعی برای سه بیمارستان شهر تهران با الگوریتم قید افزوده بهبود یافته حل شده است. اما ماهیت پویا و پیچیده زنجیره تأمین سطح بالایی از عدم قطعیت را به تصمیم‌های برنامه‌ریزی شبکه تحمیل می‌کند و بر عملکرد کلی شبکه زنجیره تأمین به خصوص در حوزه سلامت و درمان تأثیر می‌گذارد [۶، ۷]. بنابراین حل مدل در حالت غیر قطعی اهمیت بسیاری دارد که در این مقاله به کمک برنامه‌ریزی احتمالی انجام شده است.

۲. مرور ادبیات موضوع

حسن زاده و زبهبانگ [۴] مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط دو هدفه‌ای برای زنجیره تأمین حلقه بسته یک دوره‌ای طراحی کرده‌اند. برای حل مدل ابتدا تابع دو هدفه را به تابع یک هدفه تبدیل کرده، سپس مدل را به صورت احتمالی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت با روش دقیق حل نموده‌اند. در مدل برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح مختلط احتمالی چند هدفه ارائه شده توسط پیشوایی و ترابی [۸] تعداد مراکز توزیع، جمع آوری، بازگشت، بازیافت و مکان آن‌ها و همچنین جریان بین تسهیلات متفاوت در هر دوره تعیین و برای حل این مدل رویکرد دو فازی ارائه شده است. در مقاله دیگری، پیشوایی و همکارانش [۹] بهینه‌سازی استوار را برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت به کار برده‌اند. مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح به

صورت قطعی و غیرقطعی حل شده است. در این مدل، کمبود برای برآورده کردن تقاضای مشتریان و منابع چند تایی از طریق لایه‌های شبکه مجاز است. پیشوایی و همکارانش در مطالعه دیگری [۱۰] برخلاف مدل‌های قبلی توزیع، جمع آوری و استفاده از تسهیلات هیبریدی را یک متغیر تصمیم در مدل شبکه لجستیک رو به جلو و رو به عقب یکپارچه در نظر گرفته‌اند. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط دو هدفه برای مینیمم کردن کل هزینه‌ها ارائه، سپس پاسخ به شبکه لجستیک بیشینه و الگوریتم ممتیک با جستجوی محلی دینامیک نیز برای حل مساله ارائه شده است. لیو و باستل [۲] یک مساله مکانیابی دو سطحی با ۳ نوع تسهیل برای مکانیابی یک سیستم لجستیک معکوس (شبکه بازسازی) را مدل‌سازی کرده‌اند. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ۰ و ۱ پیشنهاد شده، با وجود جریان‌های رو به جلو و رو به عقب به طور همزمان با الگوریتم مبتنی بر لاگرانژ هیوریستیک حل و مدل با توجه به اطلاعات مسائل کلاسیک تست و آزمایش شده است. یانگ و همکارانش [۱۱] مکانیابی مراکز توزیع لجستیک را بررسی کرده‌اند. در مدل آن‌ها متغیرهای تصمیم علاوه بر انتخاب مکان‌های مراکز توزیع از مکان‌های فعال، تعداد محصولات حمل شده از کارخانه به مرکز توزیع انتخاب شده و بالعکس را تعیین می‌نمایند. در این مقاله الگوریتم ژنتیک، جستجوی ممنوعه و شبیه‌سازی فازی برای یافتن راه حل بهینه نسبی ارائه شده است. زینکوهانگ و همکارانش [۱۲] یک مدل برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح مختلط برای طراحی بهینه یک شبکه لجستیک بازساخت با در نظر گرفتن عدم قطعیت براساس شبکه‌های توزیع و تولید سنتی ارائه کرده و مدل ریاضی و اطلاعات داده شده به صورت دقیق حل شده است. در ادامه مدل خاکستری برای پیش‌بینی میزان نگهداری محصول در نقاط جمع‌آوری استفاده شده و سپس نتایج پیش‌بینی منجر به ایجاد مدل بهینه هزینه شده است. ونگ و هسیو [۱۳] حل مجددی برای مدل لجستیک حلقه بسته غیر قطعی با به‌کارگیری برنامه خطی فازی و آنالیز ریسک ارائه کرده‌اند. در این مطالعه به دلیل عدم قطعیت ذاتی، فاکتورهای غیر قطعی به صورت اعداد فازی فرض شده و به شکل توابع فازی درآمده‌اند. در انتها یک رویه برای تبدیل اعداد فازی به اعداد دقیق بدون حذف اطلاعات ایجاد کرده‌اند. حسن زاده و زبهبانگ [۱۴] برای مدل کردن مساله خود از سه تابع هدف استفاده کرده‌اند. تابع هدف اول کل سود را بیشینه، تابع هدف دوم نرخ خرابی را کمینه و تابع هدف سوم اهمیت تأمین‌کننده خارجی را بیشینه می‌کند. مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط ارائه شده به صورت مجموع وزن‌ها نوشته شده و با نرم افزارهای تجاری و دقیق حل شده است. سارامنین و همکارانش [۱۵] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه داده‌اند. مدل برای یک محصول و یک دوره ارائه و فقط یک تابع هدف برای

زنجیره تأمین حلقه بسته را مورد بررسی قرار داده‌اند، اگرچه در جهان واقعی، به خصوص حوزه بسیار با اهمیت سلامت و درمان کاربردهای بالقوه بسیاری ناشناخته باقی مانده است. در این مقاله طراحی یک شبکه برای مکانیابی خشکشویی و مراکز جمع آوری و جریان بین گره‌های شبکه چند بیمارستان شهر تهران انجام شده است.

کمینه کردن کل هزینه‌ها در نظر گرفته شده است، سپس حل مدل براساس الگوریتم تبرید شبیه‌سازی اولویت بندی شده و یک روش هیوریستیک جدید ارائه شده است. در جدول ۱، دسته بندی چندین مقاله از سال ۲۰۰۷ به بعد براساس نوع مدل‌سازی، حوزه مطالعه، ساختار شبکه، فرضیات مطرح در شبکه و روش حل آمده است. مقالات بررسی شده در ادبیات بیشتر در حوزه های تولیدی

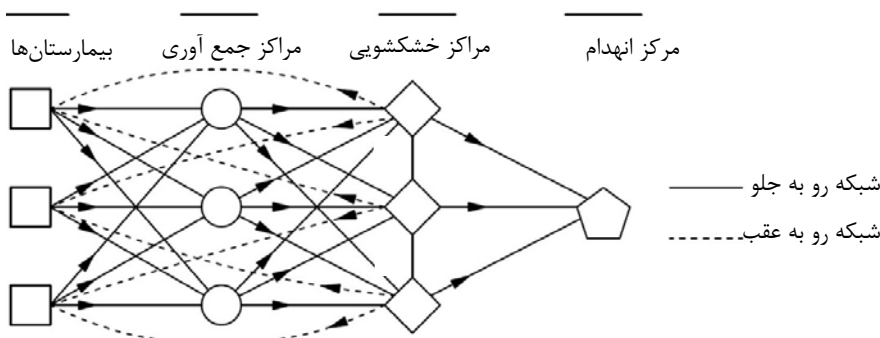
جدول ۱. مقالات زنجیره تأمین روبه جلو، رو به عقب و حلقه بسته از سال ۲۰۰۷ به بعد

| نویسندگان | سال انتشار | نوع مدل | حوزه ساختار شبکه | مراکز توزیع | مراکز جمع آوری | مراکز بازیافت | مشتریان | تأمین کنندگان | چندمحصولی | محصول چند قسمتی | مدل چند هدفه | مدل غیرقطعی | مراکز دمویناز | مراکز انهدام | مراکز انبار | مراکز کارخانه | روش حل مدل |
|--------------------------|------------|---------|--------------------|-------------|----------------|---------------|---------|---------------|-----------|-----------------|--------------|-------------|---------------|--------------|-------------|---------------|---|
| حسن زاده و زبهانگ [۴] | ۲۰۱۳ | MILP | تولید و بازتولید | | | | | | | | | | | | | | تبدیل تابع چند هدفه به تک هدفه و حل به صورت دقیق |
| پیش‌سواپی و تراپی [۸] | ۲۰۱۰ | MILP | تولید و بازیافت | | | | | | | | | | | | | | تبدیل مدل به یک مدل شکننده ی کمکی به کمک روش جیمنز و پارا-بکارگیری روش های فازی و حل دقیق |
| پیش‌سواپی و همکاران [۹] | ۲۰۱۱ | MLIP | بازتولید | | | | | | | | | | | | | | تبدیل به مساله ی بهینه سازی استوار و حل دقیق |
| پیش‌سواپی و همکاران [۱۰] | ۲۰۱۰ | MLIP | تولید و باز | | | | | | | | | | | | | | ارائه الگوریتم فراابتکاری ممتیک |
| لیو و باستل [۲] | ۲۰۰۷ | MIP | باز تولید | | | | | | | | | | | | | | ارائه الگوریتم براساس آزاد سازی لاگرانژ ترکیب الگوریتم های جستجوی ممنوعه، ژنتیک، شبیه سازی فازی |
| یانگ و همکاران [۱۱] | ۲۰۰۷ | MILP | تولید | | | | | | | | | | | | | | ارائه پیش بینی با مدل خاکستری و حل دقیق |
| زینکوهانگ و همکاران [۱۲] | ۲۰۱۲ | MILP | بازتولید | | | | | | | | | | | | | | فرض فاکتور های غیر قطعی بصورت اعداد فازی -تبدیل اعداد فازی به اعداد دقیق و حل دقیق |
| ونگ و هسیو [۱۳] | ۲۰۱۰ | MILP | تولید و بازیافت | | | | | | | | | | | | | | استفاده از روش فازی برای وزن دهی انواع تأمین کننده و حل دقیق |
| حسن زاده و زبهانگ [۱۴] | ۲۰۱۲ | MILP | ساخت و بازیافت | | | | | | | | | | | | | | ارائه الگوریتم تبرید شبیه سازی |
| سرابرمیان و همکاران [۱۵] | ۲۰۱۲ | ILP | ساخت و بازیافت | | | | | | | | | | | | | | حل مدل با شبیه سازی |
| کسیم و همکاران [۱۶] | ۲۰۱۳ | NLP | فروش مواد فاسدشدنی | | | | | | | | | | | | | | در نظر گرفتن توابع چند هدفه به صورت |
| اوزک و بسلیگیل [۱۷] | ۲۰۱۲ | MINLP | ساخت و بازیافت | | | | | | | | | | | | | | سلسله مراتبی در ۴ حالت و حل دقیق |

۳. طراحی مدل زنجیره تأمین حلقه بسته

شبکه مطرح شده در این مقاله شامل بیمارستان‌ها، مراکز جمع آوری، مراکز خشکشویی و انهدام لباس است. مراکز جمع آوری پس از جمع کردن البسه آلوده از بیمارستان‌های مختلف، بازرسی و یا جدا سازی، آن‌ها را به مراکز خشکشویی می‌فرستند. مراکز خشکشویی وظیفه شستشوی کلیه لوازم پارچه‌ای از قبیل ملحفه، لباس و همچنین تعمیر آن‌ها را برعهده دارند. پس از انجام وظایف ذکر شده، البسه تمیز توسط مراکز خشکشویی به بیمارستان‌ها و البسه غیرقابل استفاده به مرکز انهدام فرستاده می‌شوند. هدف مسأله پاسخ به این سؤالات است که چه تعداد و در چه مکان‌هایی

مراکز خشکشویی و جمع آوری باید تاسیس شوند و چه تعداد و چه بسته‌های لباسی بین این مراکز جابه‌جا شوند. مفروضات زیر در ساختار شبکه در نظر گرفته شده است:
 ۱- مدل برای یک دوره طراحی شده است.
 ۲- تمام محصولات برگشتی از بیمارستان‌ها در مراکز جمع آوری جمع می‌شوند.
 ۳- مکان و ظرفیت بیمارستان‌ها ثابت است.
 ۴- مکان و ظرفیت مراکز جمع آوری و خشکشویی از قبل مشخص است.
 ۵- برای سادگی و با دقت مناسبی هزینه‌های حمل و نقل از ضرب هزینه حمل هر واحد البسه در فاصله اقلیدسی بین مراکز محاسبه شده است.



شکل ۱. شبکه مساله

۳-۱. مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری مساله

- مجموعه‌ها:

I : مجموعه مکان‌های مراکز بیمارستان (1 ... i ... I)

J : مجموعه بسته‌های البسه (1 ... j ... J)

K : مجموعه مکان‌های مراکز جمع‌آوری (1 ... k ... K)

L : مجموعه مکان‌های مراکز خشکشویی (1 ... l ... L)

- پارامترها:

X_j : هزینه شستشوی بسته البسه j

CY_j : هزینه حمل و نقل بسته البسه j بین مراکز بیمارستان و جمع‌آوری

CB_j : هزینه حمل و نقل بسته البسه j بین مراکز جمع‌آوری و خشکشویی

CK_j : هزینه حمل و نقل بسته البسه j بین مراکز خشکشویی و بیمارستان

CQ_j : هزینه حمل و نقل بسته البسه j بین مراکز خشکشویی و انهدام

E_i : هزینه تاسیس مرکز خشکشویی i

F_k : هزینه تاسیس مرکز جمع‌آوری k

QK_j : ظرفیت مرکز جمع‌آوری k برای بسته البسه j

O_j : هزینه انهدام بسته البسه j

C_{ij} : ظرفیت مرکز خشکشویی i برای بسته البسه j

d_{ik}^{α} : فاصله بین مکان i و k بصورت اقلیدسی

d_{kl}^{β} : فاصله بین مکان k و l بصورت اقلیدسی

d_{il}^{γ} : فاصله بین مکان i و l بصورت اقلیدسی

d_l^{δ} : فاصله بین مراکز خشکشویی i و انهدام

td_{ij} : میزان تقاضای بیمارستان i جهت خشکشویی برای بسته البسه j

r_j : نرخ برگشت مراکز خشکشویی برای بسته البسه j

Ed_{kl} : حداکثر فاصله مورد انتظار بین مراکز خشکشویی i و جمع آوری k

Φ_{ij} : استفاده از مواد و تکنولوژی تمیزی که به محیط زیست آسیب نمی زند، توسط مرکز خشکشویی i برای شستشو بسته البسه j

a_{kl} : پارامتر کنترل فاصله که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$a_{kl} = \begin{cases} 1 & \text{اگر } d_{kl}^{\beta} \leq Ed_{kl} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

- متغیرها:

P_{ikj} : تعداد بسته البسه j از مرکز بیمارستان i به مرکز جمع آوری k

H_{kij} : تعداد بسته البسه j برگشتی از مرکز جمع آوری k به مرکز خشکشویی i

S_{ij} : تعداد بسته البسه برگشتی j از مرکز خشکشویی i به مراکز بیمارستان i

T_{ij} : تعداد بسته البسه فرستاده شده j از مرکز خشکشویی i به مرکز انهدام

Z_k : اگر مرکز جمع آوری در مکان k تاسیس شود
در غیر این صورت

W_l : اگر مرکز خشکشویی در مکان l تاسیس شود
در غیر این صورت

$$\begin{aligned} \text{Min } z_v = & \sum_k F_k Z_k + \sum_l E_l W_l + \sum_i \sum_j \sum_j (X_j + Ck_j d_{ij}^{\gamma}) S_{ij} + \sum_i \sum_k \sum_j C Y_j d_{ik}^{\alpha} P_{ikj} \\ & + \sum_k \sum_l \sum_j C B_j d_{kl}^{\beta} H_{kij} + \sum_j \sum_j (O_j + C Q_j d_l^{\delta}) T_{ij} \end{aligned} \quad \text{(I)}$$

$$\text{Max } z_v = \sum_j \sum_j \Phi_{ij} (\sum_k H_{kij} + \sum_l S_{lij} + T_{ij}) \quad \text{(II)}$$

$$\text{Max } z_v = \sum_k \sum_l a_{kl} Z_k W_l \quad \text{(III)}$$

Subject to:

$$\sum_j P_{ij} \geq td_{ij} \quad \forall i, j \quad (1)$$

$$\sum_k H_{kj} \leq W_j C_{ij} \quad \forall I, j \quad (2)$$

$$\sum_j H_{kj} \leq \sum_i P_{ikj} \quad \forall k, j \quad (3)$$

$$r_j \sum_k H_{kj} \leq \sum_i S_{ij} \quad \forall I, j \quad (4)$$

$$\sum_j P_{ikj} \leq Z_k Q_{kj} \quad \forall k, j \quad (5)$$

$$\sum_k H_{kj} = \sum_i S_{ij} + T_{ij} \quad \forall I, j \quad (6)$$

$$r_j \sum_k P_{ikj} = \sum_i S_{ij} \quad \forall i, j \quad (7)$$

$$Z_k, W_j \in \{0, 1\} \quad \forall i, I \quad (8)$$

$$H_{kj}, P_{ikj}, S_{ij}, T_{ij} \geq 0 \quad \forall i, k, I, j \quad (9)$$

$$\gamma \left(Z_k + W_j \right) \geq \theta_{kl} \quad \forall k, I \quad (11)$$

محدودیت اول این اطمینان را می‌دهد که تعداد کل البسه شستشو شده بزرگ‌تر یا مساوی تقاضای بیمارستان‌ها برای شستشو باشد. محدودیت دوم برای ظرفیت مراکز خشکشویی برای هر نوع بسته البسه نوشته شده است. محدودیت سوم جریان رو به جلو را بزرگ‌تر از جریان رو به عقب در هر مرکز جمع‌آوری قرار می‌دهد. محدودیت چهارم مشخص کننده درصدی از البسه قابل بازیافت است. محدودیت پنجم یک محدودیت ظرفیت برای مراکز جمع‌آوری می‌باشد. محدودیت ششم بیان می‌کند که تعداد محصولات فرستاده شده از مراکز جمع‌آوری برابر با تعداد محصولات برگشتی از خشکشویی به بیمارستان‌ها و به مرکز انهدام البسه است. محدودیت هفتم تضمین می‌کند که البسه فرستاده شده هر بیمارستان به جریان رو به جلو به جز درصد غیر قابل بازیافت، دوباره به همان بیمارستان بازگردد. در صورت عدم وجود این محدودیت، ممکن است که کل لباس‌های شستشو شده به یک بیمارستان خاص فرستاده شوند و سایر بیمارستان‌ها دچار کمبود لباس شوند. محدودیت هشتم طبیعت صفر و یکی متغیرهای تصمیم و محدودیت نهم غیر منفی بودن متغیرها را بیان می‌کند.

۳-۲. روش قید افزوده بهبود یافته^۱

بهبود بسیار سریع در عملکرد الگوریتم‌ها، نرم‌افزارها و روش‌های حل، تقریباً مسائل غیر قابل حل دهه‌های گذشته را به مسائل پیش پا افتاده تبدیل کرده است. مسائل برنامه‌ریزی ریاضی با هزاران متغیر و محدودیت نیز هم اکنون در چند ثانیه یا دقیقه قابل حل شده‌اند. مسائل چند هدفه جواب بهینه واحدی ندارند پس هدف یافتن جواب‌های ناچیره، مرجح یا مقدم است [۲۰، ۲۱]. برای دستیابی به این مهم، در این پژوهش روش قید افزوده بهبود یافته به کار رفته است که براساس مراجع استفاده شده کارایی آن به صورت می‌باشد:

تابع هدف اول این مساله برای کمینه کردن هزینه کل است. قسمت‌های اول و دوم این تابع هدف، هزینه‌های ثابت تاسیس مراکز جمع‌آوری و مراکز خشکشویی است. قسمت سوم هزینه‌های فرایند شستشو و حمل و نقل بسته‌های البسه است. البته در مدل هزینه‌های حمل و نقل بسته‌های البسته بین مراکز مختلف به صورت ضرایب متفاوتی مدل سازی شده است زیرا به تصمیم‌گیران این اجازه را می‌دهد تا از وسایل نقلیه متفاوتی که هزینه حمل متفاوتی برای جابجایی لباس‌ها دریافت می‌کنند استفاده کنند (به عنوان مثال، هزینه‌های حمل متفاوتی برای جابجایی لباس‌های آلوده و لباس‌های تمیز پرداخت نمایند). قسمت چهارم مربوط به هزینه‌های حمل و نقل از مراکز بیمارستان تا مراکز جمع‌آوری است. قسمت پنجم کل هزینه‌های حمل و نقل مراکز جمع‌آوری تا مراکز خشکشویی و قسمت ششم هم هزینه‌های حمل و انهدام البسه غیر قابل بازیافت را در نظر می‌گیرد. مسائل زیست محیطی از موضوعات جدیدی است که مورد توجه قرار گرفته است، برای در نظر گرفتن این موارد تابع هدف دوم تعیین شده است. هر دو متغیر تعریف شده برای این تابع هدف کیفی هستند و باید به وسیله متغیرهای تصمیم تعیین شوند، همچنین این دو پارامتر مقادیری بین ۰ و ۱ را دارا هستند [۱۸]. تابع هدف سوم برای پوشش دهی مراکز خشکشویی توسط مراکز جمع‌آوری و بالعکس ارائه شده است [۱۹].

با توجه به غیر خطی بودن تابع هدف سوم، با اضافه کردن موارد زیر مدل به صورت خطی اصلاح می‌شود. یک متغیر صفر و یک است، که معادل با حاصل ضرب $Z_k W_j$ می‌باشد.

$$Max z_v = \sum_k \sum_I a_{kl} \theta_{kl} \quad (IV)$$

$$Z_k + W_j - 1 \leq \theta_{kl} \quad \forall k, I \quad (10)$$

بر اساس تحقیق هوانگ و مسعود در سال ۱۹۷۹ روش‌های حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه براساس مرحله‌ای که تصمیم گیرنده قادر به ارائه ترجیحات خود در فرایند تصمیم گیری است به سه دسته قابل تقسیم است که عبارتند از: روش‌های پیشینی، روش‌های تعاملی و روش‌های پسینی و یا تولیدکننده. در روش اول، تصمیم گیرنده ترجیحات خود را قبل از فرایند جواب‌دهی اعلام می‌کند. یک ایراد این روش عدم اطلاع تصمیم‌گیرنده در پیش از فرایند از جواب‌های مساله و در نتیجه دقت پایین در تصمیم است. در روش تعاملی، پس از چند تکرار گفتگو با تصمیم‌گیرنده فرایند به سمت یک جواب ارجح همگرا می‌شود. نقص این روش این است که تصمیم گیرنده هرگز یک تصویر کلی از جواب‌های پارتو یا تقریبی از آن‌ها ندارد. اما در روش پسینی تمام جواب‌های کارا برای مساله تولید شده و سپس تصمیم گیرنده وارد شده و ارجح‌ترین را انتخاب می‌نماید [۲۲]. روش سوم به دلیل محاسبات بیشتر و نبود نرم افزار محبوبیت کمتری دارد. اگرچه مزیت‌های بسیار با اهمیتی نیز دارد. در این روش فرایند جواب دهی به دو قسمت مستقل تقسیم می‌شود: ابتدا، تولید جواب‌های کارا و به دنبال آن درگیری تصمیم گیرنده در زمانی که تمامی جواب‌ها آماده شده است. از این رو این روش زمانی که تصمیم‌گیرنده به سختی در دسترس است و به راحتی نمی‌توان با او تعامل داشت بسیار کاراست. علاوه بر آن، از آن جایی که هیچ جواب نایافته‌ای وجود ندارد اعتماد به نفس تصمیم‌گیرنده در انتخاب جواب تقویت می‌شود. از مرسوم‌ترین روش‌های پسینی روش‌های وزنی و ϵ -constraint است. در این جا از روش بهبودیافته ϵ -constraint استفاده شده که معایب شناخته شده روش‌های قدیمی را ندارد و البته نسبت به روش وزنی از مزایایی نیز برخوردار بوده که تمایل ما را به استفاده از آن افزایش داده است. در مسائل خطی، روش وزنی برای ناحیه امکان‌پذیر اصلی بکار گرفته می‌شود و نتایج آن شامل جواب‌های گوشه‌ای است. برخلاف آن، روش قید افزوده می‌تواند جواب‌های غیر گوشه‌ای را نیز تولید کند. از طرفی در روش وزنی ممکن است اجزای زیادتر و اضافه‌ای انجام داده شود که نتایج بسیاری از ترکیب‌های وزن‌ها دارای جواب‌های مشابه‌ای باشند. به عبارت دیگر، در روش قید افزوده در هر اجرا به جواب متفاوتی دست می‌یابیم [۲۳]. همچنین روش وزنی قادر به تولید جواب‌های کارای پشتیبانی نشده در مسائل برنامه‌ریزی مختلط و عدد صحیح نیست. در حالی که روش قید افزوده بهبود یافته این نقص‌ها را ندارد [۲۴]. در نهایت، در روش وزنی، مقیاس بندی توابع هدف تاثیر به سزایی در نتیجه به دست آمده دارد ولی در روش قید افزوده، قابلیت کنترل تعداد جواب‌های کارای تولید شده برای تنظیم درست تعداد نقاط شبکه در هر یک از حدود توابع هدف وجود دارد [۲۳].

روش قید افزوده روشی است که رویه سنتی ϵ -constraint را برای تولید جواب‌های ناچیره در مسائل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه ارتقا می‌دهد. در واقع این روش مسائل چند هدفه را به مسائلی با یک تابع هدف تبدیل می‌کند [۲۵، ۲۶] و سپس به حل آن می‌پردازد. قید افزوده بعضی از نقاط ضعف روش سنتی ϵ -constraint را اصلاح می‌کند و فرایند تولید جواب‌های ناچیره و افزایش سرعت در حل مسائل چند هدفه را تضمین می‌کند. الگوریتم حل این روش به صورت زیر است [۲۷]:

$$\text{Max} \left(f_k(x) + \text{eps} \times \left(\frac{S_r}{r_r} + 10^{-1} \times \frac{S_r}{r_r} + \dots + 10^{-(p-r)} \times \frac{S_p}{r_p} \right) \right) \quad (12)$$

Subjected to:

$$X \in F$$

$$f_k(X) - S_k = e_k \quad k = 1 \dots p \quad (13)$$

$f_k(X)$: توابع هدفی که باید بهینه شوند

$$e_k = lb_k + i_k \times \text{step}_k$$

lb_k : حد پایین برای تابع هدف k

$$\text{step}_k = \frac{r_k}{g_k}$$

k: اندازه گام تابع هدف

r_k : محدوده تغییر تابع هدف k

g_k : تعداد فواصل مورد نیاز برای تابع هدف k

S_k : متغیر مازاد برای تابع هدف k

F : محدوده قابل قبول

eps: یک عدد بسیار کوچک (معمولاً 10^{-7} تا 10^{-9})

در این الگوریتم، با تغییر دادن مقادیر e_k در هر مرحله، می‌توان جواب‌های ناچیره مختلف را به دست آورد. تعیین اندازه گام این تغییرات برای محدودیت k-ام (step_k) بستگی به میزان دقت و تعداد نقاط مورد نیاز دارد. به طوری که هر چه این اندازه گام کوچک‌تر باشد، مساله به تعداد دفعات بیشتری حل شده و جواب‌های بیشتری به دست می‌آید و به تبع آن زمان حل مساله افزایش می‌یابد.

برای تعیین اندازه گام، نیاز به دانستن دامنه تغییرات توابع هدف (f_k) برای حداقل $P-1$ تابع هدف داریم. بدین منظور از روش بهینه‌سازی متوالی برای تعیین دامنه تغییرات توابع هدف استفاده شده‌است. در این روش، ابتدا مساله نسبت به تابع هدف اول حل می‌شود. مقدار به دست آمده، مقدار بهینه برای تابع هدف اول است. سپس تابع هدف اول در محدودیت‌ها و برابر با مقدار به دست

۳. مقادیر و دامنه تغییرات توابع هدف با استفاده از روش بهینه سازی متوالی آورده شده است.

جدول ۳. مقادیر و تغییرات توابع هدف برای مسأله مورد نظر

| | F1 ($\times 10^2$) | F2 ($\times 10^2$) | F3 |
|---------------|----------------------|----------------------|-----|
| minF1 | ۶۳۸,۹ | ۷۱۵,۵ | ۴ |
| maxF2 | ۶۳۹,۰ | ۸۰۰,۰ | ۵ |
| maxF3 | ۶۴۹,۵ | ۷۱۲,۰ | ۵ |
| دامنه تغییرات | ۱۰,۶ | ۸۸,۰ | ۱ |
| اندازه گام | ۱,۰۶ | ۸,۸۰ | ۰,۵ |

برای محاسبه جواب‌های ناچیره، تابع هدف اول برای بهینه سازی مسأله به دلیل اهمیت بیشتر از نظر تصمیم‌گیران این حوزه، تابع هدف اصلی و سایر توابع هدف در محدودیت‌ها قرار گرفته‌اند. در جدول ۴، مقادیر ۳۰ جواب ناچیره برای تصمیم‌گیری آمده است. نمودار تغییرات تابع هدف ۱ نسبت به تابع هدف ۲ به صورت شکل ۲ است. در شکل ۲ مشاهده می‌گردد که نمودار از دو قسمت مجزا تشکیل شده است. در قسمت سمت چپ نقاطی قرار دارند که مقدار تابع هدف سوم آن‌ها برابر با ۴ و در سمت راست نمودار، مقدار ۵ را دارند. علاوه بر این، مقدار تغییرات تابع هدف اول، در هر هریک از این قسمت‌ها ناچیز است و می‌توان تغییرات آن را در هر قسمت صفر در نظر گرفت. بنابراین مسأله به پیدا کردن جواب‌های ناچیره در توابع دو و سه تبدیل می‌گردد. با توجه به این فرض و این که توابع هدف دو و سه باید بیشینه شوند، دو جواب ناچیره (۴، ۸۰۰، ۰.۲۶) و (۵، ۸۰۰، ۰.۶۱۶) انتخاب شده‌اند. مقادیر متغیرهای مربوط جواب منتخب اول در جدول ۵ به عنوان نمونه آمده است. در این جدول، ستون‌های اندیس، بسته به حالت، معرف ikj ، klj و lij هستند و مقادیر P_{ikj} ، H_{klj} و S_{lij} در ستون‌های بعد نشان داده شده‌اند. در این حالت، مراکز جمع آوری در نقاط فعال ۲ و ۳ و مراکز خشکشویی در مکان‌های فعال ۱، ۲ و ۳ تأسیس خواهند شد.

آمده قرار می‌گیرد. آن‌گاه مسأله برای تابع هدف دوم حل می‌شود و پس از آن همراه با تابع هدف اول در محدودیت‌ها قرار گرفته و به همین ترتیب برای تمامی توابع هدف این کار انجام می‌گیرد و مرحله اول الگوریتم به پایان می‌رسد. در مراحل بعد، ابتدا بهینه سازی برای هریک از توابع هدف انجام می‌گیرد و گام‌های مرحله اول تکرار می‌گردد. با انجام این روش، برای تمامی توابع هدف، می‌توان جدولی مشابه جدول زیر تهیه نمود و دامنه تغییرات توابع هدف را با کم کردن بیشترین مقدار از کمترین مقدار هر ستون به‌دست آورد.

جدول ۲. مقادیر توابع هدف پس از انجام بهینه سازی

| | متوالی | | |
|-------------|---------|---------|---------|
| | f_1 | f_2 | f_3 |
| $\max(f_1)$ | f_1^* | f_2^1 | f_3^1 |
| $\max(f_2)$ | f_1^2 | f_2^* | f_3^2 |
| $\max(f_3)$ | f_1^3 | f_2^3 | f_3^* |

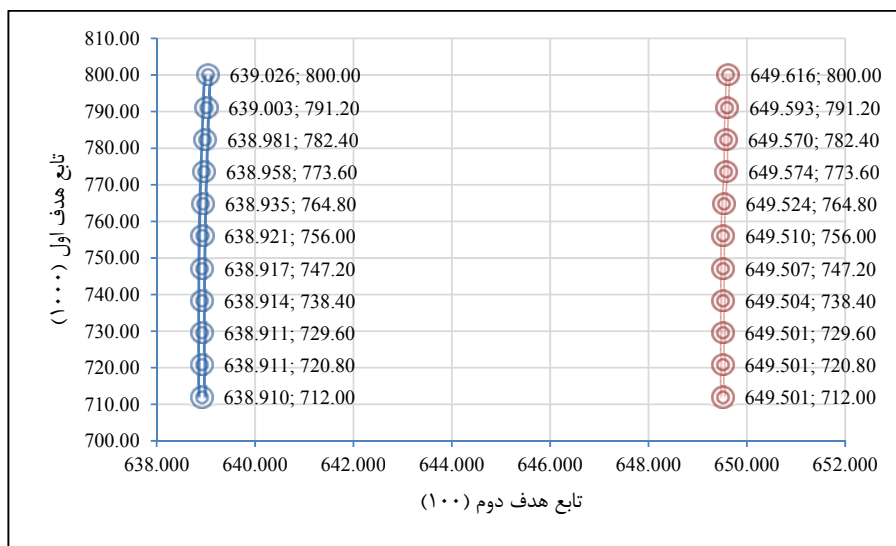
در جدول ۲، مقدار بهینه تابع هدف f_i^* بدون در نظر گرفتن سایر توابع هدف است. سایر مقادیر، برای مثال f_1^2 ، مقدار تابع هدف اول در صورتی است، که تابع هدف سوم برابر با مقدار بهینه خود (f_3^*) در محدودیت‌ها قرار گرفته باشد.

۴. حل مدل ارائه شده

در این مدل، برای مراکز جمع آوری و خشکشویی، ۳ مکان و برای مرکز انهدام ۱ مکان در نظر گرفته شده است. تعداد لباس‌های بیمارستانی نیز به ۳ دسته تقسیم بندی شده‌اند که مقادیر گردآوری شده برای پارامترهای مسأله در جداول پیوست آمده‌است. مدل طراحی شده برای سه بیمارستان شهر تهران با روش قید افزوده بهبود یافته در نرم افزار GAMS حل شده است. در جدول

جدول ۴. جواب‌های ناچیره

| No | F1 (۱۰۰۰) | F2 (۱۰۰) | F3 | No | F1 (۱۰۰۰) | F2 (۱۰۰) | F3 |
|----|-----------|----------|----|----|-----------|----------|----|
| ۱ | ۶۳۸.۹۱۰ | ۷۱۲.۰۰ | ۴ | ۱۲ | ۶۴۹.۵۰۱ | ۷۱۲.۰۰ | ۵ |
| ۲ | ۶۳۸.۹۱۱ | ۷۲۰.۸۰ | ۴ | ۱۳ | ۶۴۹.۵۰۱ | ۷۲۰.۸۰ | ۵ |
| ۳ | ۶۳۸.۹۱۱ | ۷۲۹.۶۰ | ۴ | ۱۴ | ۶۴۹.۵۰۱ | ۷۲۹.۶۰ | ۵ |
| ۴ | ۶۳۸.۹۱۴ | ۷۳۸.۴۰ | ۴ | ۱۵ | ۶۴۹.۵۰۴ | ۷۳۸.۴۰ | ۵ |
| ۵ | ۶۳۸.۹۱۷ | ۷۴۷.۲۰ | ۴ | ۱۶ | ۶۴۹.۵۰۷ | ۷۴۷.۲۰ | ۵ |
| ۶ | ۶۳۸.۹۲۱ | ۷۵۶.۰۰ | ۴ | ۱۷ | ۶۴۹.۵۱۰ | ۷۵۶.۰۰ | ۵ |
| ۷ | ۶۳۸.۹۳۵ | ۷۶۴.۸۰ | ۴ | ۱۸ | ۶۴۹.۵۲۴ | ۷۶۴.۸۰ | ۵ |
| ۸ | ۶۳۸.۹۵۸ | ۷۷۳.۶۰ | ۴ | ۱۹ | ۶۴۹.۵۷۴ | ۷۷۳.۶۰ | ۵ |
| ۹ | ۶۳۸.۹۸۱ | ۷۸۲.۴۰ | ۴ | ۲۰ | ۶۴۹.۵۷۰ | ۷۸۲.۴۰ | ۵ |
| ۱۰ | ۶۳۹.۰۰۳ | ۷۹۱.۲۰ | ۴ | ۲۱ | ۶۴۹.۵۹۳ | ۷۹۱.۲۰ | ۵ |
| ۱۱ | ۶۳۹.۰۲۶ | ۸۰۰.۰۰ | ۴ | ۲۲ | ۶۴۹.۶۱۶ | ۸۰۰.۰۰ | ۵ |



شکل ۲. تغییرات تابع هدف اول نسبت به تابع هدف دوم

جدول ۵. مقدار متغیرهای مربوط به جواب ناچیره اول

| | P | H | S | | P | H | S | | P | H | S |
|-------|-------|---|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|
| 1.1.1 | 0 | 0 | 9000 | 2.1.1 | 0 | 12000 | 0 | 3.1.1 | 0 | 0 | 0 |
| 1.1.2 | 0 | 0 | 2250 | 2.1.2 | 0 | 3000 | 0 | 3.1.2 | 0 | 0 | 0 |
| 1.1.3 | 0 | 0 | 4920 | 2.1.3 | 0 | 7000 | 0 | 3.1.3 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2.1 | 10000 | 0 | 1800 | 2.2.1 | 13000 | 10000 | 9000 | 3.2.1 | 0 | 0 | 900 |
| 1.2.2 | 3000 | 0 | 0 | 2.2.2 | 2000 | 600 | 450 | 3.2.2 | 0 | 0 | 1050 |
| 1.2.3 | 6000 | 0 | 820 | 2.2.3 | 4000 | 6000 | 2460 | 3.2.3 | 3000 | 0 | 0 |
| 1.3.1 | 0 | 0 | 0 | 2.3.1 | 0 | 1000 | 0 | 3.3.1 | 9000 | 9000 | 8100 |
| 1.3.2 | 0 | 0 | 0 | 2.3.2 | 0 | 1400 | 0 | 3.3.2 | 2600 | 2600 | 1950 |
| 1.3.3 | 0 | 0 | 0 | 2.3.3 | 0 | 0 | 2460 | 3.3.3 | 5000 | 5000 | 4100 |

مدیریت زنجیره تأمین به خصوص در بهینه سازی مدل‌های حوزه سلامت و درمان می‌باشند [۲۸-۳۰]. از این رو دو پارامتر تقاضای بیمارستان i جهت خشکشویی برای بسته البسه z (td_{ij}) و نرخ

۵. طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته به

صورت غیر قطعی

بسیاری از پارامترها در جهان واقعی غیر قطعی هستند. عدم قطعیت در تقاضا و نرخ بازگشت منابع اصلی عدم قطعیت در

پیوسته یا گسسته تعریف شوند. در این مقاله مدل ارائه شده با در نظر گرفتن پارامترهای غیر قطعی نوشته شده و آنالیز مبتنی بر سناریو مطرح در [۳۲، ۳۳] استفاده شده است. برای مدل‌سازی با در نظر گرفتن پارامترهای غیرقطعی، پارامترها و متغیرهای جدید به صورت زیر تعریف می‌شوند:

برگشت مراکز خشکشویی برای بسته البسه j (F_j) به دلیل عدم قطعیت ذاتی، تصادفی در نظر گرفته می‌شوند. عدم قطعیت می‌تواند به کمک برنامه ریزی احتمالی بیان شود. هدف برنامه‌ریزی احتمالی پیدا کردن راه حل با وجود پارامترهای تصادفی است [31]. این پارامترها می‌توانند به صورت سناریوهای پارامترها:

td_{iju} : تقاضای بیمارستان i جهت خشکشویی برای بسته البسه j در سناریو u

F_{ju} : نرخ برگشت مراکز خشکشویی برای بسته البسه j در سناریو u

P_u : احتمال رخداد سناریو u

متغیرها:

P_{ijku} : تعداد بسته البسه j از مرکز بیمارستان i به مرکز جمع‌آوری k در سناریو u

H_{kiju} : تعداد بسته البسه j فرستاده شده از مرکز جمع‌آوری k به مرکز خشکشویی i در سناریو u

S_{ijju} : تعداد بسته البسه برگشتی j از مرکز خشکشویی i به بیمارستان i در سناریو u

T_{lj} : تعداد بسته البسه فرستاده شده j از مرکز خشکشویی i به مرکز انهدام

مدل چند هدفه احتمالی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Min } z_{\gamma} = & \sum_k F_k Z_k + \sum_l E_l W_l + \sum_u \sum_i \sum_j (X_j + Ck_j d_{li}^{\gamma}) S_{ijju} p_u + \sum_u \sum_i \sum_k \sum_j C Y_j d_{ik}^{\alpha} P_{ikju} p_u \\ & + \sum_u \sum_k \sum_j C B_j d_{kl}^{\delta} H_{kiju} p_u + \sum_u \sum_j (O_j + C Q_j d_l^{\delta}) T_{lj} p_u \end{aligned} \quad (V)$$

$$\text{Max } z_{\gamma} = \sum_u \sum_i \sum_j (\Phi_{ij} (\sum_k H_{kiju} + \sum_i S_{ijju} + T_{lj})) p_u \quad (VI)$$

$$\text{Max } z_{\gamma} = \sum_k \sum_l a_{kl} Z_k W_l \quad (VII)$$

Subject to:

$$\sum_i P_{ikju} \geq td_{ij} \quad \forall i, j, u \quad (14)$$

$$\sum_k H_{kiju} \leq W_l C_{ij} \quad \forall l, j, u \quad (15)$$

$$\sum_j H_{kiju} \leq \sum_i P_{ikju} \quad \forall k, j, u \quad (16)$$

$$r_j \sum_k H_{kiju} \leq \sum_i S_{ijju} \quad \forall l, j, u \quad (17)$$

$$\sum_i P_{ikju} \leq Z_k Q_{kj} \quad \forall k, j, u \quad (18)$$

$$\sum_k H_{kiju} = \sum_i S_{ijju} + T_{lj} \quad \forall l, j, u \quad (19)$$

$$r_j \sum_k P_{ikju} = \sum_i S_{ijju} \quad \forall i, j, u \quad (20)$$

$$Z_k + W_l - 1 \leq \theta_{kl} \quad \forall k, l \quad (21)$$

$$\frac{1}{\gamma} (Z_k + W_l) \geq \theta_{kl} \quad \forall k, l \quad (22)$$

$$Z_k, W_l \in \{0, 1\} \quad \forall i, l \quad (23)$$

$$H_{kju}, P_{ikqu}, S_{ijv}, T_{lju} \geq 0 \quad \forall i, k, l, j, u \quad (24)$$

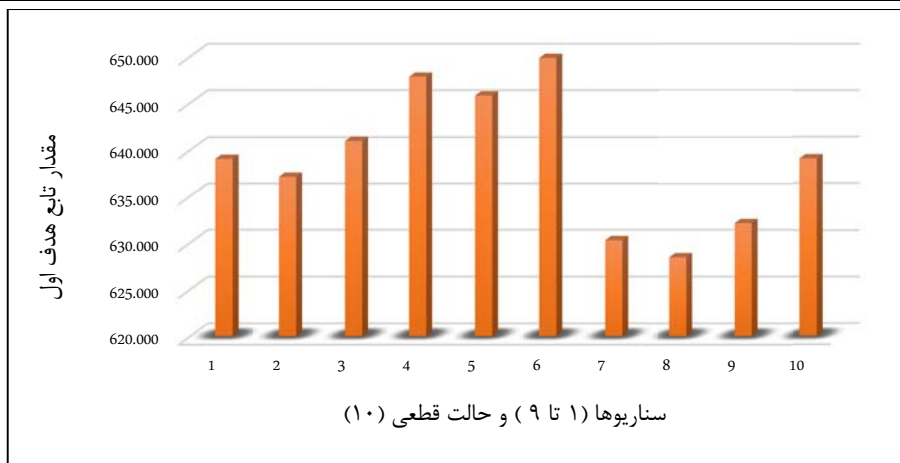
آنجایی که تابع هدف اول از نظر تصمیم‌گیران اولویت بالاتری دارد، ستون آخر جدول ۶ تغییرات تابع هدف اول را برای جواب منتخب اول با توجه به مثال اصلی مطرح در بخش ۵ نشان می‌دهد. نتایج حاصل از جدول نشان می‌دهد، افزایش ۵ درصدی در تقاضای هر سه بیمارستان برای بسته البسه نوع یک باعث افزایش تابع هدف نسبت به تابع هدف اصلی به میزان ۱،۳۷ درصد می‌شود. کاهش نرخ برگشت برای بسته البسه نوع یک به میزان ۵ درصد باعث افزایش ۰،۳ درصدی است. افزایش تقاضا و کاهش نرخ بازگشت باعث افزایش تابع هدف می‌شود، اما اثر عدم قطعیت در تقاضا بیشتر از نرخ بازگشت است چراکه تقاضا در تشکیل تابع هدف نقش موثرتری دارد. انحراف‌های مقادیر توابع هدف نشان می‌دهد شرایط عدم قطعیت پر مخاطره است و برنامه‌ریزی احتمالی ساختار منعطف‌تری برای زنجیره تأمین حلقه‌بسته فراهم و منابع عدم قطعیت از جمله تقاضا و نرخ بازگشت را در مدل اعمال می‌کند. در نمودار شکل ۳ مقادیر تابع هدف اول در سناریوهای مختلف (حالت‌های ۱ تا ۹) و در حالت قطعی (حالت ۱۰) آورده شده است

۵-۱. حل مدل غیر قطعی ارائه شده

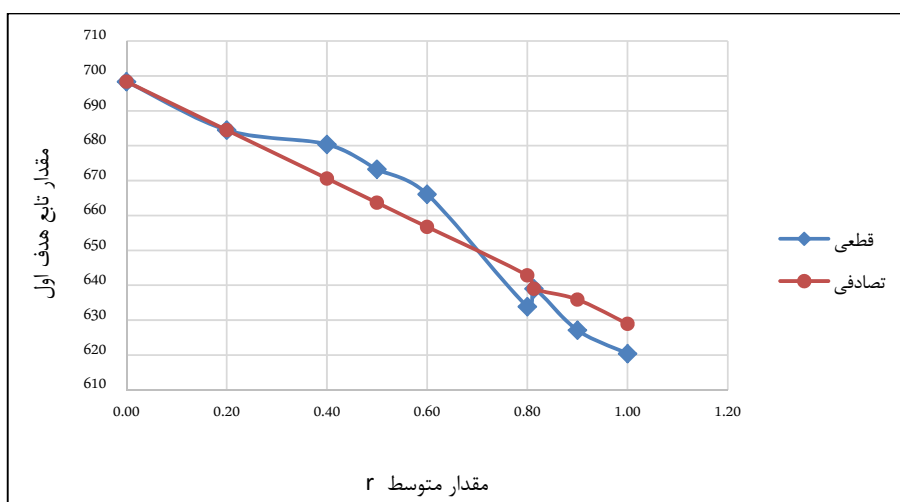
برای اعمال عدم قطعیت در مدل از روش آنالیز سناریو استفاده شده است. ۹ سناریو در جدول ۶ لیست شده، که سناریو ردیف اول مربوط به مساله اصلی و سایر سناریوها با تغییر ۵ درصدی در تقاضای بیمارستان‌ها و نرخ بازگشت بسته البسه نوع یک ایجاد شده‌اند. بسته البسه نوع یک (شامل لباس‌ها و ملحفه بیماران) به دلیل وابستگی به تقاضا و تعداد درخواست‌های پذیرش دارای ماهیت غیر قطعی است، از این رو تقاضا و نرخ بازگشت مرتبط با این بسته به عنوان پارامترهای تصادفی برای مدل سازی و تحلیل بیشتر انتخاب شده‌اند. برای حل مدل در حالت غیر قطعی، روند حل مسأله که در قسمت ۴ توضیح داده شده را برای مدل غیرقطعی تکرار می‌کنیم. در این شرایط نیز روند تغییرات مقادیر توابع هدف مشابه حالت قطعی است بنابراین دو جواب ناچیره متناظر با جواب‌هایی که در حالت قبل با نظر تصمیم‌گیران انتخاب شد عبارتند از (۴، ۸۰۰، ۶۶۲،۵۲۵) و (۵، ۸۰۰، ۶۶۸،۵۷۲). از

جدول ۶. سناریوهای مورد نظر، مقادیر متغیرها و تغییرات تابع هدف اول

| سناریو | td_{11} | td_{21} | td_{31} | r_1 | p_u | مقدار تابع هدف اول ($\times 1000$) | تغییرات تابع هدف اول % |
|--------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|--------------------------------------|------------------------|
| ۱ | ۱۰۰ | ۱۳۰۰۰ | ۹۰۰ | ۰،۹ | ۰ | ۶۳۹،۰۲۶ | ۰،۰۰ |
| | .. | | . | | ،۲ | | |
| ۲ | ۱۰۰ | ۱۳۰۰۰ | ۹۰۰ | ۰،۹ | ۰ | ۶۳۷،۱۰۰ | -۰،۳۰ |
| | .. | | . | ۵ | ،۱ | | |
| ۳ | ۱۰۰ | ۱۳۰۰۰ | ۹۰۰ | ۰،۸ | ۰ | ۶۴۰،۹۵۳ | ۰،۳۰ |
| | .. | | . | ۵ | ،۱ | | |
| ۴ | ۱۰۵ | ۱۳۶۵۰ | ۹۴۵ | ۰،۹ | ۰ | ۶۴۷،۸۰۵ | ۱،۳۷ |
| | .. | | . | | ،۱ | | |
| ۵ | ۱۰۵ | ۱۳۶۵۰ | ۹۴۵ | ۰،۹ | ۰ | ۶۴۵،۷۷۹ | ۱،۰۶ |
| | .. | | . | ۵ | ،۱ | | |
| ۶ | ۱۰۵ | ۱۳۶۵۰ | ۹۴۵ | ۰،۸ | ۰ | ۶۴۹،۸۳۲ | ۱،۶۹ |
| | .. | | . | ۵ | ،۱ | | |
| ۷ | ۹۵۰ | ۱۲۳۵۰ | ۸۵۵ | ۰،۹ | ۰ | ۶۳۰،۲۴۸ | -۱،۳۷ |
| | . | | . | | ،۱ | | |
| ۸ | ۹۵۰ | ۱۲۳۵۰ | ۸۵۵ | ۰،۹ | ۰ | ۶۲۸،۴۲۰ | -۱،۶۶ |
| | . | | . | ۵ | ،۱ | | |
| ۹ | ۹۵۰ | ۱۲۳۵۰ | ۸۵۵ | ۰،۸ | ۰ | ۶۳۲،۰۷۵ | -۱،۰۹ |
| | . | | . | ۵ | ،۱ | | |



شکل ۳. مقدار تابع هدف اول در سناریوهای مختلف (۱ تا ۹) و حالت قطعی (۱۰)



شکل ۴. نمودار آنالیز حساسیت برای مقدار T_j در حالت‌های برنامه‌ریزی قطعی و تصادفی

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در حوزه سلامت و درمان به صورت برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط سه هدفه ارائه شده است. گرچه در کشورهای پیشرفته تلاش و علاقه محققان منجر به مطالعاتی در این حوزه شده و گزارش‌هایی از آن‌ها انتشار یافته است، اما به نظر می‌رسد در ایران مطالعات طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در حوزه سلامت و درمان کمتر انجام گرفته و یا گزارش نشده باشد. این مقاله جزء اولین کارهای صورت گرفته در حوزه سلامت و درمان است که ساختار شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته را بصورت چند هدفه و غیر قطعی مطرح می‌کند.

شبکه این مقاله شامل مراکز بیمارستان، جمع‌آوری، خشکشویی و انهدام لباس‌ها است که در آن لباس‌های آلوده از مراکز بیمارستانی به مراکز جمع‌آوری و از آن‌جا به مراکز خشکشویی منتقل

در شکل ۴ نتایج آنالیز حساسیت بر روی پارامتر T_j انجام شده است. با توجه به این که این پارامتر برای سه نوع لباس مختلف در نظر گرفته شده است، در شکل بالا، مقدار متوسط آن برای حالت‌های مختلف آورده شده است. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌گردد، مقدار تابع هدف اول با زیاد شدن نرخ برگشت لباس‌ها از خشکشویی به بیمارستان‌ها کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، هرچه لباس‌ها پس از شستشو قابل استفاده‌تر باشند، هزینه‌ی کل کاهش بیش‌تری پیدا می‌کند. دلیل این امر را می‌توان بالاتر بودن هزینه‌های دفن نسبت به هزینه‌های حمل و نقل لباس‌ها بین مراکز خشکشویی و بیمارستان‌ها دانست. از طرف دیگر، تغییرات مقدار تابع هدف در حالت تصادفی نسبت به حالت قطعی یکنواخت‌تر است.

سناریوها در بیان عدم قطعیت منجر به حجم محاسبات زیادی است از این رو استفاده از روش‌های دیگری مثل بهینه‌سازی فازی و بهینه‌سازی استوار می‌تواند صورت گیرد.

مراجع

- [1] M. T. Melo, S. Nickel, and F. Saldanha-Da-Gama, "Facility location and supply chain management—A review," *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, pp. 401-412, 2009.
- [2] Z. Lu and N. Bostel, "A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities," *Computers & Operations Research*, Vol. 34, pp. 299-323, 2007.
- [3] K. Govindan, H. Soleimani, and D. Kannan, "Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future," *European Journal of Operational Research*, Vol. 240, pp. 603-626, 2015.
- [4] S. H. Amin and G. Zhang, "A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return," *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, pp. 4165-4176, 2013.
- [5] A. Fraise and C. Bradley, *Ayliffe's Control of Healthcare-Associated Infection Fifth Edition: A Practical Handbook*: CRC Press, 2009.
- [6] M. El-Sayed, N. Afia, and A. El-Kharbotly, "A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 58, pp. 423-431, 2010.
- [7] W. Klibi, A. Martel, and A. Guitouni, "The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review," *European Journal of Operational Research*, Vol. 203, pp. 283-293, 2010.
- [8] M. Pishvaei and S. Torabi, "A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty," *Fuzzy sets and systems*, Vol. 161, pp. 2668-2683, 2010.

می‌شوند. در مراکز خشکشویی، لباس‌هایی که دیگر قابل استفاده نیستند به مرکز انهدام منتقل شده و لباس‌های شسته شده به بیمارستان‌ها بازگردانده می‌شوند. هزینه‌های این شبکه در برگیرنده هزینه‌های حمل و نقل، شستشو و دفن لباس‌هاست. علاوه بر کمینه کردن هزینه کل، مساله برای در نظر گرفتن حوزه زیست محیطی و پوشش شبکه نیز گسترش داده شده‌است. برای نشان دادن کاربرد مدل، روش قید افزوده بهبود یافته با توجه به برتری‌های موجود نسبت به روش سنتی E -constraint در نرم افزار GAMS برای سه بیمارستان شهر تهران کدنویسی شده و برای حالتی که تمامی ورودی‌های مدل به صورت قطعی باشند، حل شده است. جواب‌های ناچیره محاسبه شده نشان دهنده ترکیب‌های مختلفی از محل‌های جمع‌آوری، خشکشویی و مقدار لباس‌های منتقل شده بین آن‌ها است. با توجه به نتایج به‌دست آمده و شکل تغییرات این جواب‌ها، دو جواب (۴، ۸۰۰، ۶۳۹۰۰۲۶) و (۵، ۸۰۰، ۶۴۹۰۶۱۶) بر حسب نظر تصمیم‌گیران انتخاب شده است. سپس شبکه به وسیله برنامه‌ریزی احتمالی (سناریوهای گسسته) برای بررسی اثر پارامترهای غیرقطعی بر ساختار شبکه مدل‌سازی شده است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهند، برنامه‌ریزی احتمالی ساختار منعطف‌تری برای زنجیره تأمین حلقه‌بسته فراهم و منابع عدم قطعیت از جمله تقاضا و نرخ بازگشت را در مدل اعمال می‌کند. برای حل مدل در حالت غیر قطعی، روند حل مسأله در حالت قطعی تکرار شده است. در این شرایط نیز روند تغییرات مقادیر توابع هدف مشابه حالت قطعی است بنابراین دو جواب ناچیره (۴، ۸۰۰، ۶۶۲۰۵۲۵) و (۵، ۸۰۰، ۶۶۸۰۵۷۲) متناظر با جواب‌هایی که در حالت قطعی با نظر تصمیم‌گیران انتخاب شد، حاصل شده‌است. با مقایسه جواب‌های به‌دست آمده در شرایط وجود عدم قطعیت با جواب‌های شرایط قطعی مشخص گردید که مکان‌های برگزیده شده برای احداث مراکز خشکشویی مناسب بوده به طوری که اگر در شرایط بدبینانه تقاضای بیمارستان به میزان ۵ درصد افزایش و نرخ بازگشت البسه ۵ درصد کاهش پیدا کند، هزینه‌های مدل شده در تابع هدف تنها ۱/۶۹ درصد افزایش پیدا می‌کند. این تحلیل نشان می‌دهد که جواب‌های منتخب در شرایط عدم اطمینان و ایجاد تغییرات در ورودی‌های مساله نیز مناسب بوده و کارایی جواب پیشنهاد شده را برای آینده تضمین می‌کند. تحقیقات آتی می‌تواند شامل بررسی سایر روش‌های حل مسائل چند هدفه و مقایسه آن‌ها در تولید جواب‌های ناچیره باشد. حل مثال‌های عددی بزرگتر در زمان قابل قبول با روش‌های فراابتکاری از جمله جستجوی پراکنده، الگوریتم ژنتیک و تبرید شبیه‌سازی از رویکردهای قابل پیگیری است. در نظر گرفتن سایر پارامترهای غیر قطعی از جمله هزینه‌ها و فواصل بین مکان‌ها مدل را واقعی‌تر کرده در نتیجه استفاده از روشی غیر از مبتنی بر سناریو را الزامی می‌کند. در برنامه‌ریزی تصادفی (سناریو گسسته) تعداد بسیار زیاد

- [18] G. Zhang and L. Ma, "Optimal acquisition policy with quantity discounts and uncertain demands," *International Journal of Production Research*, Vol. 47, pp. 2409-2425, 2009.
- [19] H. Selim and I. Ozkarahan, "A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 36, pp. 401-418, 2008.
- [20] R. E. Steuer, *Multiple criteria optimization: theory, computation, and application*: Krieger Malabar, 1989.
- [21] M. Beckmann, H. Künzi, G. Fandel, F. Hagen, W. Trockel, H. Dawid, *et al.*, "Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 649."
- [22] C.-L. Hwang and A. S. M. Masud, *Multiple objective decision making—methods and applications*, 1979.
- [23] G. Mavrotas, "Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems," *Applied mathematics and computation*, Vol. 213, pp. 455-465, 2009.
- [24] R. E. Steuer, *Multiple criteria optimization: theory, computation, and applications*: Wiley, 1986.
- [25] Y. Collette and P. Siarry, *Multiobjective optimization: principles and case studies*: Springer, 2003.
- [26] G. Mavrotas, "Effective implementation of the ϵ -constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems," *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 213, pp. 455-465, 2009.
- [27] G. Mavrotas and K. Florios, "An improved version of the augmented ϵ -constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems," *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 219, pp. 9652-9669, 2013.
- [9] M. S. Pishvae, M. Rabbani, and S. A. Torabi, "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty," *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 35, pp. 637-649, 2011.
- [10] M. S. Pishvae, R. Z. Farahani, and W. Dullaert, "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design," *Computers & Operations Research*, Vol. 37, pp. 1100-1112, 2010.
- [11] L. Yang, X. Ji, Z. Gao, and K. Li, "Logistics distribution centers location problem and algorithm under fuzzy environment," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol. 208, pp. 303-315, 2007.
- [12] B. Zhenqiang, Z. Congwei, Z. Yuqin, and P. Quanke, "Research on reverse logistics location under uncertainty environment based on grey prediction," *Physics Procedia*, Vol. 24, pp. 1996-2003, 2012.
- [13] H.-F. Wang and H.-W. Hsu, "Resolution of an uncertain closed-loop logistics model: An application to fuzzy linear programs with risk analysis," *Journal of environmental management*, Vol. 91, pp. 2148-2162, 2010.
- [14] S. H. Amin and G. Zhang, "An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach," *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, pp. 6782-6791, 2012.
- [15] P. Subramanian, N. Ramkumar, T. T. Narendran, and K. Ganesh, "PRISM: PRiority based SiMulated annealing for a closed loop supply chain network design problem," *Applied Soft Computing*, Vol. 13, pp. 1121-1135, 2013.
- [16] T. Kim, C. H. Glock, and Y. Kwon, "A closed-loop supply chain for deteriorating products under stochastic container return times," *Omega*, Vol. 43, pp. 30-40, 2014.
- [17] V. Özkır and H. Başlıgil, "Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain environment," *Journal of Cleaner Production*, 2012.

- [31] L. V. Snyder, "Facility location under uncertainty: a review," *IIE Transactions*, Vol. 38, pp. 547-564, 2006.
- [32] W. B. Al-Othman, H. Lababidi, I. M. Alatiqi, and K. Al-Shayji, "Supply chain optimization of petroleum organization under uncertainty in market demands and prices," *European Journal of Operational Research*, Vol. 189, pp. 822-840, 2008.
- [33] J. R. Birge and F. V. Louveaux, *Introduction to stochastic programming*: Springer, 1997.
- [28] A. I. Balsa, N. Seiler, T. G. McGuire, and M. G. Bloche, "Clinical uncertainty and healthcare disparities," *Am. JL & Med.*, Vol. 29, p. 203, 2003.
- [29] A. C. Cameron, P. K. Trivedi, F. Milne, and J. Piggott, "A microeconomic model of the demand for health care and health insurance in Australia," *The Review of economic studies*, Vol. 55, pp. 85-106, 1988.
- [30] V. Dardanoni and A. Wagstaff, "Uncertainty and the demand for medical care," *Journal of Health Economics*, Vol. 9, pp. 23-38, 1990.

پیوست

شکل ۷. هزینه شستشو، حداقل کسر دفنی و هزینه انهدام بسته الیسه ج

| O_j : هزینه انهدام بسته الیسه ج | T_j : نرخ برگشت مراکز خشکشویی برای بسته الیسه ج | X_j : هزینه شستشو بسته الیسه ج |
|-----------------------------------|---|----------------------------------|
| ۱ | ۰٫۹ | ۵ |
| ۱ | ۰٫۷۵ | ۹ |
| ۱ | ۰٫۸۲ | ۱۷ |

شکل ۸. هزینه‌های حمل و نقل انواع بسته الیسه بین مراکز مختلف

| CQ_j : هزینه حمل و نقل بسته الیسه ج بین مرکز انهدام و خشکشویی | CK_j : هزینه حمل و نقل بسته الیسه ج بین مراکز خشکشویی و بیمارستان | CB_j : هزینه حمل و نقل بسته الیسه ج بین مراکز بیمارستان و | CY_j : هزینه حمل و نقل بسته الیسه ج |
|---|---|---|---------------------------------------|
| ۰٫۰۲ | ۰٫۰۳ | ۰٫۰۴ | ۰٫۰۴ |
| ۰٫۰۲ | ۰٫۰۳ | ۰٫۰۴ | ۰٫۰۴ |
| ۰٫۰۲ | ۰٫۰۳ | ۰٫۰۴ | ۰٫۰۴ |

شکل ۹. فاصله مورد انتظار بین مرکز خشکشویی ۱ و مرکز جمع آوری k

| E_{ik} : فاصله مورد انتظار بین مراکز خشکشویی ۱ و جمع آوری k | مرکز جمع آوری ۱ | مرکز جمع آوری ۲ | مرکز جمع آوری ۳ |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| مرکز خشکشویی ۱ | ۴ | ۴ | ۴ |
| مرکز خشکشویی ۲ | ۴ | ۴ | ۴ |
| مرکز خشکشویی ۳ | ۴ | ۴ | ۴ |

شکل ۱۰. فاصله بین مکان i و k به صورت اقلیدسی

| d_{ik}^q : فاصله مابین مکان i, k به صورت اقلیدسی | مرکز بیمارستان ۱ | مرکز بیمارستان ۲ | مرکز بیمارستان ۳ |
|--|------------------|------------------|------------------|
| مرکز جمع آوری ۱ | ۲٫۳۳ | ۳ | ۴٫۸ |
| مرکز جمع آوری ۲ | ۳ | ۲٫۱۳ | ۳٫۷۳ |
| مرکز جمع آوری ۳ | ۴ | ۱٫۸ | ۲٫۶۷ |

شکل ۱۱. فاصله بین مکان k و l به صورت اقلیدسی

| فاصله مابین مکان l, k : d_{kl}^{β} بصورت اقلیدسی | مرکز جمع آوری ۱ | مرکز جمع آوری ۲ | مرکز جمع آوری ۳ |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| مرکز خشکشویی ۱ | ۳,۸ | ۴,۳۳ | ۴,۶۷ |
| مرکز خشکشویی ۲ | ۳,۶۷ | ۳,۱۳ | ۲,۸۷ |
| مرکز خشکشویی ۳ | ۵,۳۳ | ۴,۳۳ | ۳,۶ |

شکل ۱۲. فاصله بین مکان l و i به صورت اقلیدسی

| فاصله مابین مکان l, i بصورت اقلیدسی: d_{li}^{γ} | مرکز بیمارستان ۱ | مرکز بیمارستان ۲ | مرکز بیمارستان ۳ |
|--|------------------|------------------|------------------|
| مرکز خشکشویی ۱ | ۵,۶۷ | ۶,۳۳ | ۷,۳۳ |
| مرکز خشکشویی ۲ | ۶ | ۴,۸ | ۴,۸ |
| مرکز خشکشویی ۳ | ۷,۶۷ | ۵ | ۳,۶۷ |

شکل ۱۳. فاصله مرکز خشکشویی و انهدام

| فاصله بین مرکز خشکشویی و انهدام: d_1^{δ} | مرکز انهدام |
|---|-------------|
| مرکز خشکشویی ۱ | ۱۳,۳۳ |
| مرکز خشکشویی ۲ | ۱۸,۶۷ |
| مرکز خشکشویی ۳ | ۲۱,۳۳ |

شکل ۱۴. هزینه تاسیس خشکشویی l و ظرفیت خشکشویی l برای بسته البسه z

| بسته البسه نوع ۳ | بسته البسه نوع ۲ | بسته البسه نوع ۱ | ظرفیت خشکشویی l برای بسته البسه z : C_{lj} | |
|------------------|------------------|------------------|--|-------------------------|
| | | | هزینه تاسیس خشکشویی l : E_l | هزینه تاسیس خشکشویی l |
| ۱۰۰۰۰ | ۳۰۰۰ | ۱۲۰۰۰ | ۲۴۰۰۰ | مرکز خشکشویی ۱ |
| ۶۰۰۰ | ۳۵۰۰ | ۱۵۰۰۰ | ۱۸۰۰۰ | مرکز خشکشویی ۲ |
| ۵۰۰۰ | ۴۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | ۱۵۶۰۰ | مرکز خشکشویی ۳ |

شکل ۱۵. هزینه تاسیس مراکز جمع آوری k و ظرفیت مرکز جمع آوری k برای بسته البسه z

| بسته البسه نوع ۱ | بسته البسه نوع ۲ | بسته البسه نوع ۳ | ظرفیت مرکز جمع آوری k برای بسته البسه z : Q_{kj} | |
|------------------|------------------|------------------|--|--------------------|
| | | | هزینه تاسیس F_l | مراکز جمع آوری k |
| ۱۷۰۰۰ | ۲۰۰۰۰ | ۲۴۰۰۰ | ۱۱۰۰۰ | مرکز جمع آوری ۱ |
| ۱۵۰۰۰ | ۱۵۰۰۰ | ۲۶۰۰۰ | ۶۵۰۰ | مرکز جمع آوری ۲ |
| ۱۶۰۰۰ | ۱۶۰۰۰ | ۲۲۰۰۰ | ۸۰۰۰ | مرکز جمع آوری ۳ |

شکل ۱۶. تقاضای بیمارستان i برای بسته البسه z

| بسته البسه نوع ۳ | بسته البسه نوع ۲ | بسته البسه نوع ۱ | تقاضای بیمارستان i : td_{ij} | |
|------------------|------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| | | | بسته البسه z برای | مرکز بیمارستان ۱ |
| ۶۰۰۰ | ۳۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | | |

| | | | |
|------------------|-------|------|------|
| مرکز بیمارستان ۲ | ۱۳۰۰۰ | ۲۰۰۰ | ۴۰۰۰ |
| مرکز بیمارستان ۳ | ۹۰۰۰ | ۲۶۰۰ | ۸۰۰۰ |

شکل ۱۷. مقادیر تعیین شده برای متغیر پوشش

| a_{kl} | مرکز خشکشویی ۱ | مرکز خشکشویی ۲ | مرکز خشکشویی ۳ |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| مرکز جمع آوری ۱ | ۱ | ۰ | ۰ |
| مرکز جمع آوری ۲ | ۱ | ۱ | ۱ |
| مرکز جمع آوری ۳ | ۰ | ۰ | ۱ |