Research Article

Journal of Hospital

https://jhosp.tums.ac.ir

Optimizing the supply chain of kidney allocation to patients waiting for organ transplant

Arefi.Mohaddese[1], Firouzi Jahantigh.Farzad [2*]

1- Master student of Industrial Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Industrial Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

Received Date: 2023.8.10

Accepted Date: 2024.4.17

***Corresponding Author E-mail:** firouzi@eng.usb.ac.ir

Abstract

Background and purpose: The organ transplant network is among the most complex and challenging systems in the healthcare sector. This study presents a three-objective hierarchical location model for kidney transplants, aiming to simultaneously minimize total time and costs while maximizing geographic equity in the supply and demand network for donated kidneys. Various transportation modes within the network are also analyzed.

Methods: This applied research was conducted over a one-year period in 2022 (1401 in the Iranian calendar) in the province of Sistan and Baluchistan. The proposed mathematical model was implemented in GAMS software and solved using the Torabi-Hosseini method and epsilon constraint technique.

Results: The model recommended establishing candidate locations for organ collection units and transplant centers without the need for air transport equipment. It suggested that only the candidate location number 2 at Zabol Hospital Transplant Center should be equipped with air transport facilities, while the other proposed locations do not require the establishment or use of air emergency services.

Conclusion: The results indicate that the designed kidney transplant network is practical and feasible. Efficient network management ensures that all organ recipients, even those far from the provincial center and in remote areas, have timely access to the necessary facilities and equipment for transplant operations.

Keywords: Health Care, Health Care Facilities, Manpower and Services, Capacity Building

Copyright©2024 Scientific Association of Hospital Affairs, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]

پژوهشی

فصلنامه بیمارستان

https://jhosp.tums.ac.ir

بهینه‌سازی زنجیره تأمین تخصیص کلیه به بیماران در صف انتظار پیوند عضو

محدثه عارفی[1]، فرزاد فیروزی جهان‌تیغ[2*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان،ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۹

* نویسنده مسئول مقاله:
firouzi@eng.usb.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: شبکه پیوند اعضا یکی از پیچیده‌ترین و چالش برانگیزترین شبکه‌ها در حوزه سیستم‌های بهداشت و درمان است. در این تحقیق، یک مدل مکان‌یابی سلسله مراتبی سه هدفه پیوند عضو کلیه طراحی شده است. هدف کمینه کردن هم‌زمان، کل زمان و هزینه‌ها و حداکثر کردن برابری جغرافیایی در شبکه عرضه و تقاضا کلیه اهدایی است. حالت‌های مختلف حمل‌ونقل در شبکه نیز تحلیل می‌شود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه یک پژوهش کاربردی است که در یک دوره یک ساله در سال ۱۴۰۱ در استان سیستان و بلوچستان انجام شده است. مدل ریاضی ارائه شده در نرم‌افزار گمز پیاده‌سازی و با روش ترابی ـ حسینی و اپسیلون محدودیت حل شده است.

نتایج: مدل، احداث مکان کاندید واحدهای جمع‌آوری اعضاء و مراکز پیوند را بدون تجهیزات حمل هوایی پیشنهاد کرده است. مدل پیشنهاد می‌کند تنها نقطه کاندیدا شماره ۲ مرکز پیوند بیمارستان زابل با تجهیزات حمل هوایی احداث گردد و برای بقیه نقاط پیشنهاد شده، نیازی به احداث و استفاده از اورژانس هوایی نیست.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که شبکه پیوند کلیه طراحی شده، کاربردی و قابل پیاده‌سازی می‌باشد. مدیریت شبکه باعث می‌شود تمامی گیرندگان عضوی که از مرکز استان دور هستند و در نقاط دور افتاده به سر می‌برند به امکانات و تجهیزات لازم برای عمل پیوند در زمان لازم دسترسی داشته باشند.

کلیدواژه: مراقبت‌های بهداشتی، امکانات بهداشتی، نیروی انسانی و خدمات، ظرفیت‌سازی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]

مقدمه

زنجیره تأمین یک سیستم یکپارچه از فعالیت‌ها و امکانات مختلف است که مواد اولیه را تغییر می‌دهد و به محصول نهایی تبدیل می‌کند و بین مصرف‌کنندگان توزیع می‌کند. هدف اصلی این سیستم کاهش هزینه‌های کلی با سطح خدمات قابل قبول برای تولید و توزیع محصول در مکان و زمان مناسب و به مقدار کافی است. محصولات ممکن است شامل کالاهای تجاری یا اعضای بدن باشند (۱). شرط لازم برای تأمین کارآمد و به موقع اعضا، طراحی زنجیره تأمین پیوند عضو است. زنجیره تأمین پیوند عضو نیازمند تعداد بهینه مکان و تسهیلات لازم برای پاسخگویی به تقاضا است (۲). شبکه پیوند یکی از دارایی‌های استراتژیک سیستم بهداشت و درمان است (۳). شبکه‌ی پیوند عضو در ایران شامل بیمارستان‌های اهداکننده، بیمارستان‌های خارج کردن عضو، واحدهای تدارکات، نمایندگی‌های حمل‌ونقل و مراکز پیوند است. دو نوع اهداکننده در شبکه پیوند کلیه وجود دارد، اهداکننده‌ی زنده و افرادی که دچار مرگ مغزی شده‌اند (۴). افرادی که دچار سانحه شده‌اند از طریق آمبولانس به بیمارستان منتقل می‌شوند و پس از تشخیص مرگ مغزی به بیمارستان فراهم آوری اعضا منتقل می‌شوند (۵)، پس از کسب رضایت از خانواده‌ی بیمار عمل خارج کردن عضو انجام می‌گیرد و پس از خارج کردن عضو از بدن اهداکننده، عضو با آمبولانس یا هواپیما به بیمارستان پیوند عضو که گیرنده‌ی عضو در آنجا حضور دارد منتقل می‌شود و عمل پیوند انجام می‌گیرد (۶، ۷).

اعضای قابل انتقال شامل قلب، کلیه، کبد، روده، ریه، پانکراس می‌باشد (۸). عضوهای اهدا شده نمی‌توانند زمان زیادی را در خارج از بدن اهداکننده، زنده بمانند و پس از مدت مشخصی فاسد شده و دیگر قابل پیوند نمی‌باشند. مدت زمانی را که یک عضو می‌تواند بدون گردش خون در آن زنده بماند را زمان ایسکمی می‌نامند که برای هر عضو این زمان متفاوت است. زمان ایسکمی عضو باید از مجموع زمانی فرآیند پیوند بیشتر باشد که این فرآیند شامل: ۱- برداشت (خارج کردن) عضو از بدن اهداکننده،۲ ـ انتقال عضو به مرکز پیوند ۳- انجام عمل پیوند و انتقال عضو به بدن فرد گیرنده. بیشترین زمان ایسکمی مربوط به لوزالمعده و کوتاه‌ترین زمان مربوط به قلب است (۹، ۱۰).

زمان حمل‌ونقل جنبه حیاتی در شبکه پیوند دارد. در شبکه پیوند عضو در دنیای واقعی سه حالت حمل‌ونقل وجود دارد ۱ـ حمل‌ونقل زمینی (آمبولانس) ۲ـ دو نوع حالت حمل‌ونقل هوایی شامل حمل مستقیم به‌وسیله‌ی هواپیما یا هلیکوپتر و حالت دیگر از طریق فرودگاه می‌باشد. در روش حمل هوایی مستقیم؛ بیمارستان‌ها باید مجهز به وسایل حمل‌ونقل هوایی باشند. روش زمینی در مقایسه با روش‌های هوایی به زمان بیشتر و بودجه‌ی کمتری نیاز دارد؛ در عوض روش‌های حمل هوایی مستقیم، عضو را درزمان کمتر و با هزینه‌ی بیشتری منتقل می‌کنند. آمبولانس‌های هوایی دارای سرعت و کیفیت بالایی هستند (۱۱، ۱۲)؛ بنابراین یک مبادله بین زمان و هزینه است مدیریت زنجیره تأمین شبکه‌ی پیوند عضو باید به‌گونه‌ای انجام گیرد که با توجه به محدودیت در عرضه‌ی عضو، بودجه و زمان روش حمل‌ونقلی انتخاب شود که عضو پیوندی کیفیت خود را از دست ندهد و فاسد نشود (۱۳، ۱۴).

برای تخصیص اعضای پیوندی از دو روش استفاده می‌شود: سلسله مراتبی و متمرکز. در روش متمرکز یک لیست انتظار واحد در کل کشور وجود دارد و تخصیص عضو بر اساس شاخص‌های ذکر شده با بالاترین اولویت صورت می‌گیرد. (۱۳). در روش سلسله مراتبی اولویت پیوند با متقاضیان همان منطقه است؛ منظور از منطقه شامل بیمارستان، شهر یا استان است. در این روش اولویت با متقاضیان بیمارستان

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]

است در صورتی که مورد مناسبی یافت نشد در سطح شهر به دنبال مورد مناسبی هستند و جست‌وجو برای بیمار در مراتب بالاتر به همین صورت ادامه پیدا می‌کند (۲).

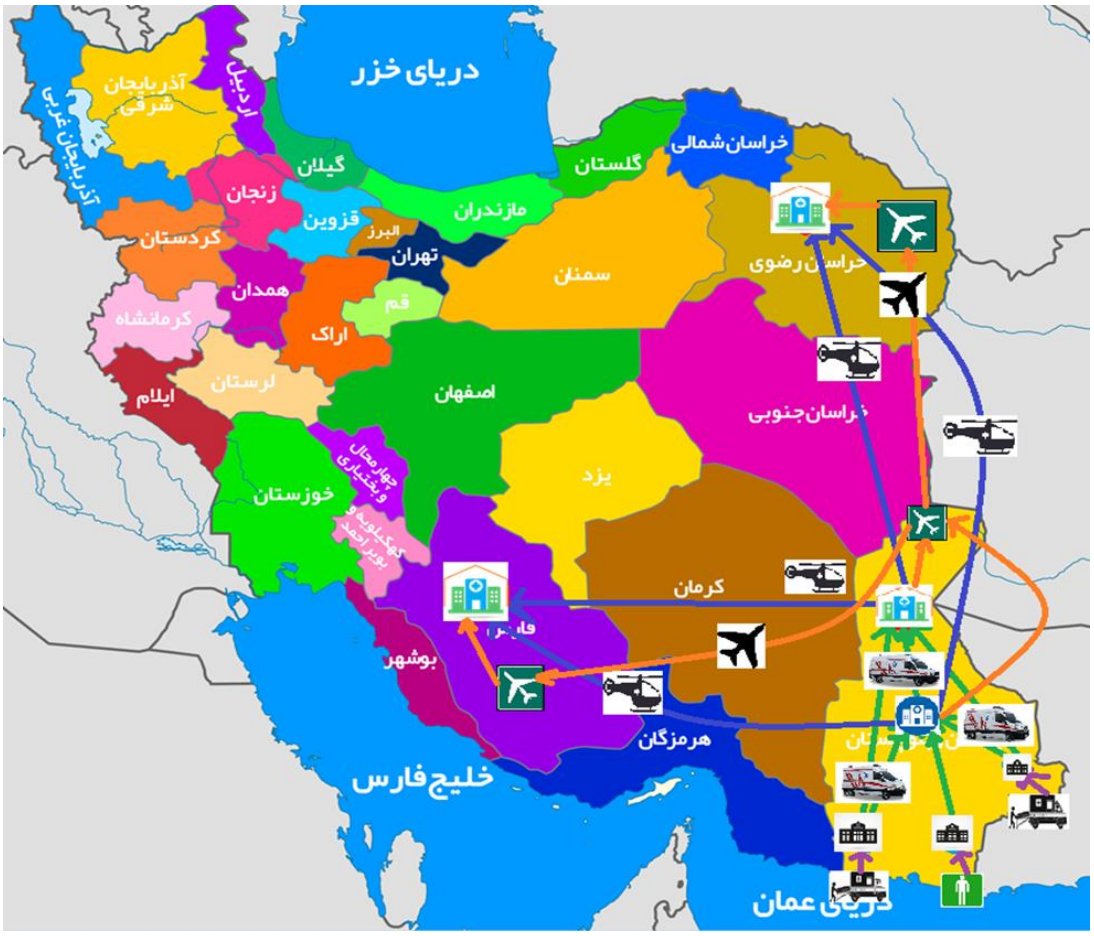
در این مقاله، از روش سلسله مراتبی برای تخصیص اعضا استفاده گردیده است. در این تحقیق، سه حالت حمل‌ونقل در نظر گرفته شده است و روش حمل‌ونقل بهینه برای جلوگیری از اتلاف عضو ناشی از زمان حمل‌ونقل طولانی تعیین گردیده است. مدل سلسله مراتبی توسعه‌یافته، زمان تشخیص و انتقال و عمل پیوند را کاهش می‌دهد. کلیه هزینه‌های شبکه را کاهش می‌دهد و حداکثر فاصله بین دریافت‌کنندگان عضو در منطقه مورد بررسی و مرکز پیوند را به حداقل می‌رساند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر، یک مطالعه کاربری ـ مقطعی بود که در یک دوره‌ی یک‌ساله در سال ۱۴۰۱ در ۸ شهرستان استان سیستان و بلوچستان انجام گرفت. این استان در مجموع شامل ۲۲ بیمارستان است. داده‌ها واقعی بوده و پس از جمع‌آوری داده‌ها، مدل در نرم‌افزار GAMS پیاده‌سازی شد. برای حل مدل از دو روش ترابی ـ حسینی و اپسلیون محدودیت استفاده گردید و در آخر نتایج با هم مقایسه گردید.

شکل (۱) شبکه پیوند عضو را با تعاملات بین تسهیلات نشان می‌دهد. شبکه زنجیره تأمین پیوند عضو کلیه، شامل اهداکنندگان زنده و افراد مرگ مغزی شده، بیمارستان، واحدهای جمع‌آوری اعضاء، مراکز پیوند و وسایل حمل‌ونقل می‌باشد. در این مدل ۳ راه برای انتقال عضو در نظر گرفته شده است. ۱- آمبولانس، ۲- اورژانس هوایی، ۳- هواپیمای مسافربری. در برخی از مسیرها به علت کوتاهی مسیر فقط از یک وسیله استفاده می‌شود و عضو به طور مستقیم از واحدهای جمع‌آوری اعضاء با آمبولانس به مراکز پیوند منتقل می‌شود. برخی دیگر از مسیرها به دلیل طولانی بودن چند قسمتی هستند بدین صورت که ابتدا عضو با آمبولانس از واحدهای جمع‌آوری اعضاء به مراکز پیوند منتقل می‌شود سپس از مراکز پیوند به فرودگاه و از طریق هواپیما به شهر هم‌جوار انتقال می‌یابد. در برخی از موارد که واحدهای جمع‌آوری اعضاء یا مراکز پیوند به سیستم حمل‌ونقل هوایی مجهز باشند به طور مستقیم عضو به مناطق هم‌جوار منتقل می‌شود.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]



شکل ۱- شبکه‌ی زنجیره تأمین پیوند عضو

شکل ۲- طرح شماتیک مسئله

جدول ۱ طرح شماتیک مسئله را نشان می‌دهد. در این جدول نمادهای به کار گرفته شده در شکل ۱ آورده شده است.

مدل پیشنهادی، یک مدل چندهدفه شامل حداقل کردن زمان، حداقل کردن هزینه و حداقل کردن فاصله است.

تابع هدف اول زمان انتقال اهداکننده از بیمارستان به واحد جمع‌آوری اعضاء و مرکز پیوند، زمان انتقال دریافت‌کنندگان عضو در منطقه مورد بررسی به مرکز پیوند جهت دریافت عضو، زمان انتقال عضو از واحد جمع‌آوری اعضاء به مرکز

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]

پیوند، زمان انتقال عضو بین مراکز پیوند، زمان انتقال عضو از واحد جمع‌آوری اعضاء به سایر مناطق از طریق فرودگاه، زمان انتقال عضو از مراکز پیوند به سایر مناطق از طریق فرودگاه، زمان انتقال عضو از واحد جمع‌آوری اعضاء به سایر مناطق از طریق فرودگاه داخلی واحد و زمان انتقال عضو از مراکز پیوند به سایر نواحی از طریق فرودگاه داخلی مرکز را به حداقل می‌رساند.

تابع هدف دوم هزینه ثابت احداث واحد جمع‌آوری اعضاء بدون/با تجهیزات حمل هوایی، هزینه ثابت احداث مرکز پیوند بدون/با تجهیزات حمل هوایی، هزینه تجهیز کردن واحد جمع‌آوری اعضاء و مرکز پیوند، هزینه انتقال اهداکننده از بیمارستان به واحد جمع‌آوری اعضاء و مرکز پیوند، هزینه انتقال دریافت‌کنندگان عضو در منطقه مورد بررسی به مرکز پیوند جهت دریافت عضو، هزینه انتقال عضو از واحد جمع‌آوری اعضاء به مرکز پیوند، هزینه انتقال عضو بین مراکز پیوند، هزینه انتقال عضو از واحد جمع‌آوری اعضاء به سایر مناطق از طریق فرودگاه، هزینه انتقال عضو از مراکز پیوند به سایر مناطق از طریق فرودگاه، هزینه انتقال عضو از واحد جمع‌آوری اعضاء به سایر مناطق از طریق فرودگاه داخلی واحد و هزینه انتقال عضو از مراکز پیوند به سایر نواحی از طریق فرودگاه داخلی مرکز را به حداقل می‌رساند.

تابع هدف سوم حداکثر فاصله بین دریافت‌کنندگان عضو در منطقه مورد بررسی و مرکز پیوند را به حداقل می‌رساند.

روش حل

محدودیت اپسیلون، ترابی- حسینی

در طول دهه‌های گذشته محققین الگوریتم ها و روش‌های بسیاری برای حل دقیق مسائل بهینه‌سازی چندهدفه ارائه کردند. اغلب این روش‌ها سعی در تبدیل مسئله چندهدفه به یک مسئله تک هدفه دارند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش محدودیت اپسیلون و ترابی - حسینی (TH[1]) اشاره کرد (۷). محدودیت اپسیلون توسط چنکونگ و همیس (۱۵) پیشنهاد شد و سپس ایرگات و ریان (۱۶) آن را توسعه دادند. در روش محدودیت اپسیلون، یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی برای بهینه‌سازی نگه داشته می‌شود و سایر توابع با حد مجاز اپسیلون محدود می‌شوند (۱۷). در روش TH مدل چند هدفه به یک مدل تک هدفه تبدیل می‌شود. به منظور حل مدل پیشنهادی، از روش ترابی – حسینی و محدودیت اپسیلون استفاده شده است. در مدل ترابی ـ حسینی ، γ نشان‌دهنده ضریب جبران توابع هدف است که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. θ_h نشان‌دهنده وزن (اهمیت) h اُمین تابع هدف است و $\mu_h(x)$ نیز نشان‌دهنده درجه اثربخشی h اُمین تابع هدف است.

یافته‌ها

مدل پیشنهادی برای کلیه در یک سال اعمال می‌شود. لازم به ذکر است که زمان به صورت دقیقه بیان می‌شود. علاوه بر این، هزینه‌ها به صورت تومان و فواصل بر اساس کیلومتر است. تمام آزمایش‌ها بر روی یک کامپیوتر مرکزی i3 با یک RAM-4GB انجام شده‌اند و نرم‌افزار GAMS-24.1.2 برای حل مدل استفاده شده است.

تحلیل حساسیت و نتایج

در این قسمت، مدل پیشنهادی ارائه شده بر روی مطالعه موردی شبکه زنجیره تأمین پیوند عضو کلیه برای استان سیستان و بلوچستان بررسی می‌شود تا کارایی و اعتبار مدل بر اساس روش‌های پیشنهادی ارزیابی شود. در این بخش، نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی ترابی ـ حسینی و اپسیلون ارائه می‌شود.

[1] Torabi-Hassini

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]

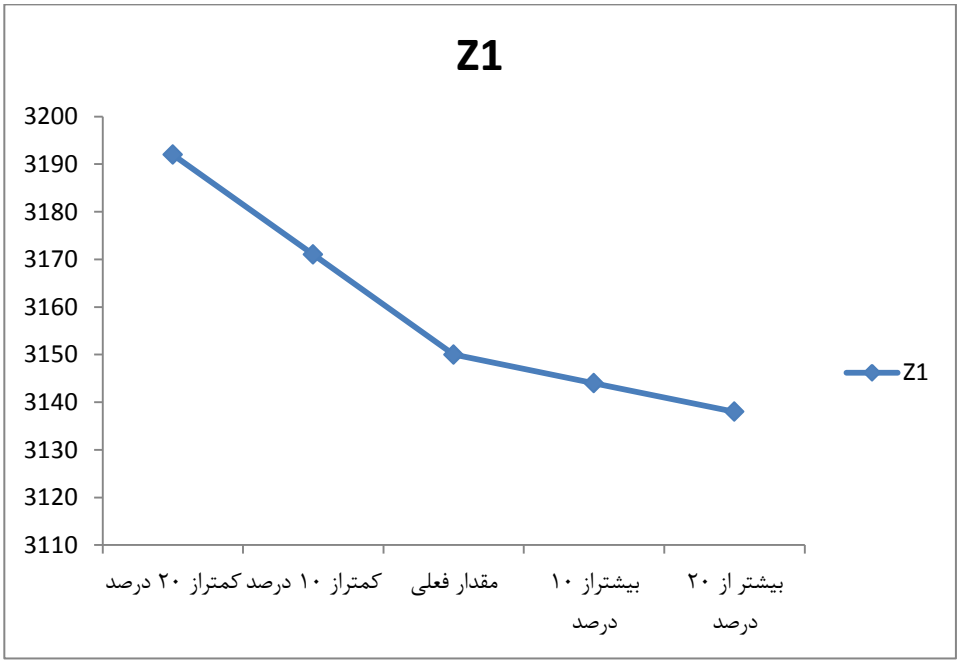
جدول ۱- مقادیر توابع هدف در مقدارهای مختلف اهمیت نسبی توابع

توابع هدف	Z_1	Z_2	Z_3
PIS	۲۹۶۰	۴۴۳۴۱۳۷۳۸۰۰۰	۷۶/۸۰۰
NIS	۲۰۰۵۹۵	۱۷۷۸۱۷۴۳۱۴۰۷۹۹/۹۶	۲۹۳/۲۹۱۲۹۴
(۰/۰،۱/۰،۸/۰،۱/۱)	۳۱۵۰	۱۳۶۵۰۰۵۳۱۰۴۰۰۰	۷۷/۳۰۰
(۰/۰،۶/۰،۱/۰،۸/۱)	۳۱۵۰	۱۳۶۵۰۰۵۳۱۰۴۰۰۰	۷۷/۳۰۰
(۰/۰،۹/۰،۱/۰،۱/۸)	۴۰۷۶	۱۴۲۱۰۹۸۰۲۴۲۸۰۰۰	۷۶/۸۰۰

تقاضا

PIS نقطه ایده آل مثبت است یعنی بهینه‌ترین حالت را برای سه تابع هدف زمان، هزینه و فاصله نشان می‌دهد. NIS نقطه ایده آل منفی است یعنی بدترین حالت ممکن برای هرکدام از توابع را نشان می‌دهد. با تغییر مقادیر γ و θ (وزن) مقادیر مختلفی برای توابع هدف به دست می‌آید که از این میان بهینه‌ترین حالت انتخاب می‌گردد.

یکی از پارامترهای کلیدی که تأثیر زیادی بر توابع هدف می‌گذارد میزان تقاضای عضو است. تأثیر تقاضای عضو بر روی ۲ تابع هدف به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲، با کاهش تقاضا در هر منطقه، تابع هدف زمان افزایش می‌یابد زیرا با کاهش تقاضا تعداد مراکز جمع‌آوری و پیوند کاهش می‌یابد بنابراین فاصله افزایش می‌یابد و افزایش فاصله باعث افزایش زمان انتقال عضو و عمل پیوند می‌گردد.



شکل۳- تغییرات تابع هدف زمان در اثر تغییر تقاضا

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]

شکل۴- تغییرات تابع هدف هزینه در اثر تغییر تقاضا

جدول ۳ مربوط به نتایج روش محدودیت اپسیلون می‌باشد. در این روش با توجه به مقادیر بهینه‌ای که برای هرکدام از توابع هدف به دست آمده است نرم‌افزار نشان می‌دهد که در کدام نقطه‌ی کاندید (کدام نقطه از هر شهرستان) مراکز جمع‌آوری اعضا و مراکز پیوند عضو تأسیس گردد و کدام مناطق به حمل هوایی مستقیم مجهز گردد.

جدول۲- نتیجه روش محدودیت اپسیلون

ε_1	ε_2	تابع هدف اول (Z_1)	تابع هدف دوم (Z_2)	تابع هدف سوم (Z_3)	Y_m	YAm	Yn	YAn
۴۴۳.۴۱۳.۷۳۸.۰۰۰	۷۶	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
۹.۱۱۲.۵۷۸.۴۳۹.۳۹۹	۷۶	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
۱۷.۷۸۱.۷۴۳.۱۴۰.۷۹۹	۷۶	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
۴۴۳.۴۱۳.۷۳۸.۰۰۰	۱۸۴	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
۹.۱۱۲.۵۷۸.۴۳۹.۳۹۹	۱۸۴	۳۰۳۰	۳.۵۶۱.۸۹۲.۱۳۵.۴۰۰	۱۸۴	–	–	nsarbaz1, nzabol2, nchabahar2, nsaravan2, nkhash2	–
۱۷.۷۸۱.۷۴۳.۱۴۰.۷۹۹	۱۸۴	۳۰۳۰	۳.۵۶۱.۸۹۲.۱۳۵.۴۰۰	۱۷۹	–	–	nsarbaz1, nzabol2, nchabahar2, nsaravan2, nkhash2	–
۴۴۳.۴۱۳.۷۳۸.۰۰۰	۲۹۳	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
۹.۱۱۲.۵۷۸.۴۳۹.۳۹۹	۲۹۳	۲۹۷۰	۴.۱۹۲.۵۱۴.۱۰۴.۰۰۰	۲۹۳	–	–	nzabol1, nsarbaz1, nzahedan2, nzabol2, nchabahar2, nkhash2	–
۱۷.۷۸۱.۷۴۳.۱۴۰.۷۹۹	۲۹۳	۲۹۷۰	۴.۲۴۷.۹۱۴.۱۰۴.۰۰۰	۲۹۳	mzabol2	–	nzabol1, nzahedan2, nzabol2, nchabahar2, nsaravan2, nkhash2	–

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]

بحث

شرط لازم برای تأمین کارآمد و به موقع اعضا، طراحی زنجیره تأمین پیوند عضو است. زنجیره تأمین پیوند عضو نیازمند تعداد بهینه مکان و تسهیلات لازم برای پاسخگویی به تقاضا است (۱۸). شبکه پیوند یکی از دارایی‌های استراتژیک سیستم بهداشت و درمان است (۳). طراحی شبکه زنجیره تأمین روی عملکرد کیفی و کمی زنجیره تأثیر برجسته‌ای دارد. با توجه به هزینه‌های هنگفتی که در زمینه تأسیس بیمارستان‌ها وجود دارد و نمی‌توان در کوتاه‌مدت آن‌ها را تغییر داد و همچنین با توجه به اهمیت زمان در زنجیره تأمین سیستم‌های سلامت، طراحی شبکه زنجیره تأمین سلامت جز تصمیم‌های تاکتیکی و عملیاتی در مدیریت زنجیره تأمین است (۱۹). کارگر و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی را برای مسئله حمل‌ونقل و تخصیص کبد در نظر گرفتند. این مدل میزان بقا بیماران را به حداکثر می‌رساند و هزینه و زمان حمل‌ونقل را کاهش می‌دهد (۲۰). سلیمیان و موسوی در پژوهشی به مطالعه "رویکرد جدید بهینه‌سازی مبتنی بر طراحی شبکه پیوند عضو با در نظر گرفتن صف و سازگاری خون با تغییرات آب و هوایی" پرداختند. در این پژوهش زمان پیوند اعضا کاهش یافت و کیفیت اعضا و سازگاری گروه‌های خونی حداکثر گردید (۱۳). قانعی و توکلی در پژوهشی، زمان حمل‌ونقل و حداکثر کمبود عضو را کمینه کردند (۱۰). تخصیص عضو در پژوهش کارگر و همکاران و سلیمیان و موسوی و قانعی و توکلی به روش متمرکز انجام شده است و تاکنون پژوهشی به روش سلسله مراتبی انجام نشده است (۹,۱۰,۲۰). در پژوهش حاضر زمان و هزینه و فاصله بین گیرندگان عضو و مناطق پیوند به طور هم‌زمان کاهش یافته است و تخصیص عضو به روش سلسله مراتبی انجام شده است. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود با تغییر مقادیر θ و γ مقادیر متفاوتی برای توابع هدف به دست می‌آید که برای تابع هدف اول و سوم به حالت ایده آل آن (PIS) نزدیک است و نشان‌دهنده بهینه بودن توابع هدف است، ولی تابع هدف دوم به حالت ایده آل منفی خود نزدیک است؛ به عبارت دیگر با کاهش توابع هدف زمان و فاصله، تابع هدف سوم که هزینه است افزایش می‌یابد. زمانی که به γ مقادیر کمتر از ۰/۹ اختصاص داده می‌شود توابع هدف در کمترین مقادیر خود قرار می‌گیرند اما با افزایش γ زمان و هزینه افزایش می‌یابد و فاصله کمتر می‌گردد. در شبکه‌ی پیوند عضو، زمان از اهمیت بیشتری برخوردار است. تغییرات توابع هدف، به تغییرات اهمیت نسبی هر سه تابع وابسته است. تغییرات θ_1 بر روی تابع هدف اول تأثیری چندانی ندارد و با اطمینان نمی‌توان گفت که با کاهش پارامتر θ_1 مقدار تابع هدف Z_1 کاهش یابد. همان‌طور که در جدول (۲) ملاحظه می‌شود به ازای γ=۰/۶ و $\theta_1 = 0/8$ مقدار $Z_1 = 3150$ می‌باشد که با کاهش θ_1 به ۰/۱ تغییری در تابع هدف صورت نمی‌گیرد و به همان مقدار باقی می‌ماند. مطابق جدول ۳ بهترین جواب ترجیحی برای سه تابع هدف (۰/۰،۶/۰،۸/۰،۱/۱) به دست آمده است.

پس از حل مدل بر اساس مقادیر γ و θ، مکان‌های بهینه برای احداث تسهیلات موردنیاز مشخص می‌شود. با توجه به این مقادیر (۰/۰،۶/۰،۸/۰،۱/۱)، کلیه‌ی نقاط کاندید برای مراکز جمع‌آوری اعضا و مراکز پیوند اعضا باید تأسیس گردند. هیچ‌کدام از این مراکز نباید به تجهیزات حمل‌ونقل هوایی مجهز شوند. در این حالت چون تمامی نقاط کاندید در مکان‌های موردنظر تأسیس شده‌اند، فاصله بین مراکز جمع‌آوری اعضا و پیوند و بیمارستان‌ها کاهش پیدا کرده است و به همین دلیل کلیه‌ی زمان‌ها نیز کاهش پیدا می‌کند و بر این اساس مدل برای کاهش هزینه‌ها، حمل‌ونقل زمینی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]

(آمبولانس) را که نسبت به حمل‌ونقل هوایی ارزان‌تر است پیشنهاد می‌دهد. با توجه به مقادیر (۱/۸،۱/۰،۹/۰،۰/۰) کلیه‌ی نقاط کاندید برای مراکز جمع‌آوری اعضا باید تأسیس گردند. برای مراکز پیوند اعضا، کلیه‌ی نقاط کاندید شامل nzahedan1, nzahedan2, nzabol1, nchabahar1, nchabahar2, niranshahr1, niranshahr2, nsaravan1, nsaravan2, nnikshahr1, nnikshahr2, nsarbaz1, nsarbaz2, nkhash1, nkhash2 باید تأسیس گردند. nzabol2 باید مجهز به تجهیزات حمل‌ونقل هوایی گردد. در این قسمت زمان و هزینه به طور هم‌زمان افزایش پیدا کرده است ولی چون زمان در شبکه پیوند عضو از اهمیت بالایی برخوردار است و نسبت به هزینه در اولویت قرار دارد، مدل برای حداقل کردن زمان، استفاده از سیستم حمل‌ونقل هوایی مستقیم را پیشنهاد می‌دهد.

یکی از پارامترهایی که تأثیر اساسی بر روی تابع هدف می‌گذارد، تقاضای عضو است. تأثیر تقاضا بر روی ۲ تابع هدف در شکل (۲) و (۳) آورده شده است. همان‌طور که در شکل های ۲ و ۳ مشخص است. وقتی تقاضا کاهش می‌یابد، زمان افزایش پیدا می‌کند و هزینه کاهش پیدا می‌کند چون نقاط کمتری احداث می‌شود و فاصله‌ی مناطق گیرنده افزایش پیدا می‌کند و این باعث افزایش زمان انتقال عضو و عمل پیوند و کاهش هزینه می‌گردد. ولی با افزایش تقاضا، زمان کمتر می‌شود و هزینه افزایش می‌یابد زیرا بر اساس تقاضا نقاط کاندید بیشتری احداث می‌گردد و زمان کمتری برای جابه‌جایی عضو صورت می‌گیرد.

در جدول (۳) در نتایج ارائه شده، مقادیر مختلفی از پارامترهای این روش در نظر گرفته شده است و به ازای این مقادیر، تابع هدف اول، تابع هدف دوم و تابع هدف سوم به همراه متغیرهای احداث واحد جمع‌آوری اعضاء بدون تجهیز آن به تجهیزات حمل هوایی، احداث مرکز پیوند بدون تجهیز آن به تجهیزات حمل هوایی، احداث واحد جمع‌آوری اعضاء مجهز به تجهیزات حمل هوایی و احداث مرکز پیوند مجهز به تجهیزات حمل هوایی آورده شده است. در این مدل، زمان به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته شده است و توابع هدف هزینه و فاصله به عنوان محدودیت در نظر گرفته شده‌اند. برای ε_1 و ε_2 مقادیر min max و یک مقدار بین max و min محاسبه می‌گردد. مقادیر به دست آمده در مدل قرار داده می‌شوند و توابع هدف محاسبه می‌گردند.

هدف این پژوهش طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین پیوند کلیه برای استان سیستان و بلوچستان است. ایجاد این شبکه در ابتدا امر هزینه‌ی زیادی در بر دارد، اما از فاسد شدن و از دست رفتن عضو جلوگیری می‌کند و باعث می‌شود عمل پیوند با کیفیت بالایی انجام گیرد و تعداد سال‌های زندگی بیمار پس از عمل پیوند افزایش یابد. پس از حل مدل در نرم‌افزار GAMS 24.3.4، نقاط کاندید برای احداث تسهیلات مشخص می‌شود و همچنین نوع وسیله حمل‌ونقل برای جابه‌جایی عضو تعیین می‌گردد.

نتیجه‌گیری

طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین پیوند کلیه باعث بهبود عمل پیوند می‌گردد زیرا نقاط بهینه برای احداث تسهیلات را مشخص می‌کند و اگر نیاز به احداث نقطه جدیدی باشد دقیقا تعیین می‌کند که در کدام شهر و مکان احداث گردد. این مدل زمینه دستیابی عادلانه و برابر پیوند کلیه را برای تمامی بیماران در لیست انتظار پیوند کلیه هم در استان سیستان و بلوچستان و هم در دو شهر شیراز و مشهد را فراهم می‌کند. در ۸ شهر استان سیستان و بلوچستان شامل، زاهدان، زابل، ایرانشهر، چابهار، سراوان، نیکشهر، سرباز و خاش،۱۶ نقطه

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]

برای مرکز فراهم آوری اعضا و ۱۶ نقطه برای مرکز پیوند توسط مدل برای احداث پیشنهاد شده است.

نتایج حاصل از حل مدل نشان می‌دهد که شبکه‌ی پیوند کلیه طراحی شده، برای استان سیستان و بلوچستان کاربردی و قابل پیاده‌سازی می‌باشد. مدیریت این شبکه باعث می‌شود که از هدر رفتن عضو جلوگیری شود و تمامی گیرندگان عضوی که از مرکز استان دور هستند و در نقاط دور افتاده به سر می‌برند به امکانات و تجهیزات لازم برای عمل پیوند دسترسی داشته باشند و عمل پیوند در کمترین زمان و با بیشترین کیفیت انجام پذیرد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه یک طرح پژوهشی می‌باشد. پژوهشگران مراتب تقدیر و تشکر خود را از تمامی عزیزانی که بدون هیچ چشم‌داشتی در اجرای این مطالعه یاری نمودند اعلام می‌دارند.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]

References

1. Aghazadeh SM, Mohammadi M, Naderi B. Multi objective organ transplant supply chain with effective location and time consideration. Journal of Industrial and Systems Engineering. 2017 Nov 18;10(4):158-76.
2. Rouhani S, Amin SH. A robust convex optimization approach to design a hierarchical organ transplant network: A case study. Expert Systems with Applications. 2022 Jul 1;197:116716.
3. Cacchiani V, Malandri C, Mantecchini L, Paganelli F. A study on the optimal aircraft location for human organ transportation activities. Transportation research procedia. 2018 Jan 1;30:314-23.
4. Hawashin D, Jayaraman R, Salah K, Yaqoob I, Simsekler MC, Ellahham S. Blockchain-based management for organ donation and transplantation. IEEE Access. 2022 Jun 3;10:59013-25.
5. Abbasi P, Yoosefi Lebni J, Nouri P, Ziapour A, Jalali A. The obstacles to organ donation following brain death in Iran: a qualitative study. BMC Medical Ethics. 2020 Dec;21(1):1-9.
6. Mazaheri M, Mojtabaee M, Mohsenzadeh M, Sadegh Beigee F. Failed organ donations after transfer to an organ procurement unit. Exp Clin Transplant. 2019 Jan 1;17(Suppl 1):128-30.
7. Torabi SA, Hassini E. An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. Fuzzy sets and systems. 2008 Jan 16;159(2):193-214.
8. Ahmadvand S, Pishvaee MS. An efficient method for kidney allocation problem: a credibility-based fuzzy common weights data envelopment analysis approach. Health care management science. 2018 Dec;21:587-603.
9. Kargar B, Pishvaee MS, Jahani H, Sheu JB. Organ transportation and allocation problem under medical uncertainty: A real case study of liver transplantation. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2020 Feb 1;134:101841.
10. Ghane M, Tavakkoli-Moghaddam R. A stochastic optimization approach to a location-allocation problem of organ transplant centers. Journal of Optimization in Industrial Engineering. 2018 Mar 1;11(1):103-11.
11. Eskandari Z, Ghomian Z, Sohrabizadeh S, Alibabaei A, Ahmadinejad H. Factors affecting development of air ambulance base: A systematic review and thematic analysis. Journal of Education and Health Promotion. 2021;10.
12. Shetab-Boushehri SN, Rajabi P, Mahmoudi R. Modeling location–allocation of emergency medical service stations and ambulance routing problems considering the variability of events and recurrent traffic congestion: A real case study. Healthcare Analytics. 2022 Nov 1;2:100048.
13. Beliën J, De Boeck L, Colpaert J, Devesse S, Van den Bossche F. Optimizing the facility location design of organ transplant centers. Decision Support Systems. 2013 Mar 1;54(4):1568-79.
14. Salimian S, Mousavi SM. A new scenario-based robust optimization approach for organ transplantation network design with queue condition and blood compatibility under climate change. Journal of Computational Science. 2022 Jul 1;62:101742.
15. Chankong V, Haimes YY. Multiobjective decision making: theory and methodology. Courier Dover Publications; 2008 Feb 4.and computation. 2009 Jul 15;213(2):455-65.
16. Ehrgott M, Ryan DM. Constructing robust crew schedules with bicriteria optimization. Journal of multi-criteria decision analysis. 2002 May;11(3):139-50.
17. Mavrotas G. Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems. Applied mathematics and computation. 2009 Jul 15;213(2):455-65.
18. Khalilpourazari S, Hashemi Doulabi H. A flexible robust model for blood supply chain network design problem. *Annals of operations research*. (2022). 1-26.
19. Amin SH, Zhang G, Akhtar P. Effects of uncertainty on a tire closed-loop supply chain network. Expert Systems with Applications. 2017 May 1;73:82-91.
20. Kargar B, Pishvaee MS, Jahani H, Sheu JB. Organ transportation and allocation problem under medical uncertainty: A real case study of liver transplantation. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2020 Feb 1;134:101841.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-16]