یک مدل چند هدفه برای مکان‌یابی - تخصیص پایدار زیست محیطی تسهیلات سلامت: احداث بیمارستان سرطان کودکان در ایران در سال 1408

محمد فتاحی

دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ایران fattahi@stu.nit.ac.ir

آرش نعمتی[1]

استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ایران r.nemati@nit.ac.ir

چکیده

توزیع نامناسب تسهیلات سلامت موجب تحمیل سفرهای اجباری به بیماران شده که منجر به خستگی ، فشار اقتصادی، تاخیر در اقدامات تشخیصی و درمانی مورد نیاز و همچنین تخریب محیط زیست از طریق انتشار گاز دی اکسید کربن غیرضروری می‌شود. این پژوهش متمرکز بر مساله پایداری زیست محیطی در مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت از جمله بیمارستان‌ها است. بدین منظور یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه عدد صحیح مخلوط برای مساله مکان‌یابی بیمارستان‌های تخصصی درمان سرطان کودکان و تخصیص بیماران با هدف کمینه‌سازی هزینه احداث، تعداد تخت‌های مازاد و اثر ردپای کربن ارائه می‌نماید. مدل ارائه شده برای برنامه‌ریزی احداث بیمارستان‌های تخصصی درمان سرطان کودکان در ایران در سال 1408 با استفاده از CPLEX حل شده است. نتایج نشان داد که نیاز است بیمارستان‌های سرطان کودکان جدیدی در 9 استان احداث شوند. همچنین با نادیده گرفتن برخی ملاحظات هزینه‌ای و بهره‌وری ظرفیت، اثرات ردپای کربن به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: پایداری، مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت، بیمارستان سرطان کودکان، اثر ردپای کربن، برنامه‌ریزی ظرفیت بیمارستان

---

[1] نویسنده مسئول

A multi-objective model for environmentally sustainable healthcare facility location-allocation: child cancer hospitals establishment in Iran in 2030

M. Fattahi, fattahi@stu.nit.ac.ir

Bachelor's Degree Student, Department of Industrial Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

A. Nemati (corresponding author**),** r.nemati@nit.ac.ir

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

Abstract

An unbalanced healthcare facility system causes patients to travel between areas to reach qualified treatment resources, resulting in patient fatigue, unnecessary expenses, delays in disease diagnosis and treatment, and environmental destruction due to CO_2 emission. The environmentally sustainable healthcare facility location-allocation problem focusing on minimizing the carbon footprint effect resulting from patients' movement has not been considered. Cancer hospitals provide cancer patients with comprehensive treatment services helpful for avoiding cancer patients referring to different healthcare centers. Child cancer hospitals with a child-centered design can facilitate cancer disease curing period for children. Although cancer hospital network design has been noticed in recent years, the child cancer hospital location- allocation problem has received no attention. This paper contributes to the environmentally sustainable healthcare facility location-allocation problem by introducing a multi-objective, mixed-integer linear mathematical model to minimize hospital establishment costs, surplus established beds, and the carbon footprint effect for child cancer hospitals' network design. The newly developed model is solved in a case study to propose a child cancer network establishment for Iran in 2030 using the CPLEX solver due to the significant shortage of specialized cancer treatment capacities in cancer hospitals, particularly those for children. The results indicated the necessity of establishing new child cancer hospitals in 9 provinces, with the highest number of new beds required in Isfahan province and existing beds in Tehran province. The validation of the carbon footprint effect demonstrates that reducing the carbon footprint could lead to a 50% decrease in CO_2 emissions. Additionally, the sensitivity analysis reveals that overlooking certain cost and efficiency factors could significantly reduce the carbon footprint effect, highlighting the potential for improved healthcare equity in cancer treatment by reducing the need for child cancer patients and their families to travel between provinces. In addition, several managerial insights and recommendations for future research are proposed.

Keywords: Sustainability, Healthcare facility location-allocation, Child cancer hospital, Carbon footprint effect, Hospital capacity planning

1-مقدمه

محققان متعددی به پایداری، بخصوص از منظر زیست محیطی، در مساله مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات توجه نموده‌اند[1-3]. در سال‌های اخیر، طراحی سیستمهای سلامت پایدار مانند برنامه‌ریزی مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت بیش از پیش مدنظر قرار گرفته است [4-6]. اهداف مختلفی در برنامه‌ریزی مکان‌یابی-تخصیص مراکز ارائه کننده خدمات سلامت از جمله بیمارستان‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از جمله آنها می‌توان به کمینه هزینه احداث، کمینه فاصله برای دسترسی به خدمات سلامت، عدالت در نزدیکی به مراکز درمانی و بهره‌وری ظرفیتهای درمانی ایجاد شده اشاره نمود [7-11]. هزینه ایجاد ظرفیت درمانی در بیمارستان‌های تخصصی مانند سرطان به دلیل استفاده از تجهیزات تخصصی و استخدام متخصصان تشخیص و درمان سرطان بیشتر از بیمارستان-های عمومی است[12-15]. لذا در نظر گرفتن معیارهای پایداری مانند هزینه احداث و بهره‌وری ظرفیت‌های ایجاد شده در بیمارستان‌های سرطان احداث شده اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. کمینه‌سازی هزینه احداث بیمارستان‌های سرطان و هزینه فرصت ایجاد تخت‌های تخصصی درمان سرطان مازاد از جمله اهدافی هستند که تاکنون در ارائه مدل‌های برنامه‌ریزی خطی برای مساله مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان‌های تخصصی درمان سرطان نقش آفرینی نموده‌اند[۹،۱۶-18]. در صورت عدم دسترسی به مراکز درمانی مناسب در محل زندگی، بیمار مبتلا به سرطان مجبور به تحمل سفرهای طولانی، هزینه مازاد و اتلاف زمان جهت دریافت خدمات درمانی مناسب در مناطق دیگر می-شود[19]. لذا اهدافی با ماهیت پایداری اجتماعی مانند عدالت در احداث زیرساخت‌های تشخیص و درمان سرطان نیز در مطالعات مرتبط مورد استفاده قرار گرفته‌اند[17].

در برخی از کشورها مانند ایران، مراکز تخصصی درمان در چند شهر بزرگ متمرکز شده‌اند و بیماران و همراهان مجبورند برای دریافت خدمات مرتبط در برخی مواقع سفرهای چند صد کیلومتری انجام دهند. این امر موجب ایجاد ترافیک مرتبط در جاده‌های بین شهری و همچنین ترافیک داخل‌شهری در مقاصد شده که دارای اثرات منفی زیست محیطی از جمله انتشار گاز دی اکسید کربن بوده، قابل اندازه‌گیری در مقیاس اثر ردپای کربن[2]، می‌شود. لذا تمرکز زدایی در احداث بیمارستان‌های تخصصی سرطان علاوه بر کاهش تخریب محیط زیست، موجب کاهش رنج و زحمت بیماران مبتلا به سرطان به دلیل حذف و یا کاهش سفرهای درمانی می‌شود. از طرفی دیگر، هر چند بیماری سرطان در میان افراد میانسال و سالمند بسیارشایع‌تر از کودکان است، اما همواره بخش هر چند کوچکی از بیماران مبتلا به سرطان در هر منطقه را کودکان تشکیل می دهند. مثلا حدود سه درصد ایرانیان مبتلا به سرطان کودک هستند. بنابراین ایجاد مراکز تخصصی درمان سرطان کودکان به همراه متناسب سازی فضای تسهیلات درمان مرتبط می‌تواند در کاهش آلام کودکان بیمار موثر باشد. در کشور ایران تنها یک بیمارستان تخصصی درمان سرطان کودکان با نام محک با ظرفیت 100 تخت در تهران واقع شده است و کودکان بیمار سایر استان‌ها یا به این بیمارستان در تهران مراجعه می‌نمایند و یا در بیمارستان‌های عمومی مرتبط با کودکان یا بزرگسالان خدمات درمانی دریافت می-نمایند.

علیرغم اینکه در مساله مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان از جمله بیمارستان سرطان به جنبه اجتماعی و اقتصادی از پایداری توجه شده است، بر اساس نتایج جستجوهای نگارندگان این تحقیق، شواهدی دال بر مدنظر قرار دادن پایداری زیست محیطی در طراحی شبکه‌ای از بیمارستان‌ها از جمله در ایران یافت نشده است. لذا سوالات ذیل در مساله مکان‌یابی تخصیص بیمارستان‌ها و از جمله بیمارستان تخصصی درمان سرطان بدون پاسخ مانده‌اند:

- چگونه می‌توان پایداری زیست محیطی را در مساله مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان‌ها فرموله نمود؟
- چگونه می‌توان به یک برنامه‌ریزی کارا و پایدار برای احداث بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان دست یافت؟

این پژوهش با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مخلوط چند هدفه با در نظر گرفتن پایداری زیست محیطی و حل آن در مثال موردی احداث بیمارستان‌های سرطان

[2] Carbon footprint effect

کودکان در ایران در سال 1408 به سوالات فوق پاسخ می‌دهد. در این مدل سه هدف شامل کمینه‌سازی هزینه احداث بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان، تعداد تخت‌های مازاد ایجاد شده و مقدار اثر ردپای کربن ناشی از ارجاع بیماران به بیمارستان‌های تخصصی سرطان غیربومی متضمن پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به طور توامان می‌باشند. بنابراین به طور خلاصه می‌توان نوآوری‌های این مقاله را به صورت ذیل بیان نمود:

- ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه عدد صحیح مخلوط چند هدفه برای مساله مکان‌یابی-تخصیص پایدار بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان با در نظر گرفتن اثر ردپای کربن،
- برنامه‌ریزی پایدار برای ظرفیت مورد نیاز از بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان در مثال موردی ایران در سال 1408.

مقاله در ادامه بدین شرح سازمان یافته است: بخش 2 پیشینه پژوهش مرتبط با مساله مکان‌یابی-تخصیص مراکز درمانی را ارائه می کند و بخش 3 تعریف مساله و مدل ریاضی توسعه داده شده را ارائه می‌نماید. بخش 4 نتایج حل مدل جدید در مثال موردی ایران را نشان می‌دهد و بخش 5 نتیجه‌گیری، محدودیت‌ها و پیشنهادات مرتبط را مطرح می‌نماید. بخش 6 نیز مراجع را نشان می‌دهد.

2-پیشینه پژوهش

در این بخش پژوهش‌های منتشر شده در مورد مساله مکان-یابی-تخصیص مراکز ارائه کننده خدمات درمان مانند بیمارستان‌ها از جمله بیمارستان‌های تخصصی سرطان جهت وضوح بیشتر نوآوری‌های این پژوهش مرور می‌شوند. مستره و همکاران[3] (2015) مدل‌های برنامه‌ریزی دو هدفه برای مساله مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان با هدف کمینه-سازی هزینه‌ها و بیشینه‌سازی دسترسی به مراکز درمانی را ارائه و با استفاده از روش محدودیت اپسیلون[4] حل نمودند[20]. اما آنها در ارائه مدل خود به پایداری و اثرات زیست محیطی توجهی ننمودند. بهشتی‌فرد و علی‌محمدی[5] (2015) یک مدل چهار هدفه شامل کمینه‌سازی عدم عدالت در دسترسی به خدمات درمان، هزینه سفر، ناسازگاری در مورد استفاده از زمین و هزینه احداث را برای مساله مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت ارائه و با استفاده از روش فرا ابتکاری NSGA-II در یک مثال موردی از ایران بدون توجه به پایداری زیست محیطی حل نمودند[21]. زرین‌پور و همکاران[6] (2017) یک مدل مکان-یابی-تخصیص سلسله مراتبی برای برنامه‌ریزی شبکه زیرساخت‌های سلامت با در نظر گرفتن ریسک اختلال تسهیلات بدون توجه به پایداری زیست محیطی ارائه و با استفاده از یک الگوریتم بر پایه تجزیه بندرز[7] حل نمودند[22]. مالکی رستاقی و همکاران[8] (2018) یک مدل دو هدفه به منظور کمینه سازی هزینه کل و بیشینه سازی نیروی کار مورد نیاز در مساله مکان‌یابی-تخصیص برای طراحی شبکه تسهیلات سلامت ارائه نموده و با استفاده از روش محدودیت اپسیلون در چند مثال موردی حل نمودند[23]. اما پایداری زیست محیطی از اهداف این تحقیق نبود. وانگ و همکاران[9] (2018) یک مدل چند هدفه برای مساله مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت عمومی با هدف نزدیکی بیماران به مراکز درمانی و انتخاب مکان‌هایی با شرایط مناسب‌تر برای بیماران مانند محیطی آرام و سبز ارائه نموده و با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه[10] در یک مثال موردی از چین حل نمودند[24]. اما آنها نیز به اثرات زیست محیطی سفر بیماران مابین مناطق مختلف جهت دسترسی به خدمات درمانی توجه ننمودند. دی ملو ساتلر و همکاران[11] (2019) یک مدل برنامه‌ریزی خطی تک هدفه برای مکان‌یابی تسهیلات سلامت و تخصیص بیماران و متخصصان به مراکز احداث شده با هدف

[3] Mestre et al.

[4] ε-constraint

[5] Beheshtifar and Alimoahmmadi

[6] Zarrinpoor et al.

[7] Benders Decomposition (BD)

[8] Maleki Rastaghi et al.

[9] Wang et al.

[10] Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO)

[11] de Melo Sathler et al. (2019)

افزایش عدالت در سیستم سلامت ولی بدون توجه به پایداری زیست محیطی ارائه و در یک مثال موردی از کشور برزیل حل نمودند[25]. اویانگ و همکاران[12] (2020) چند مدل برنامه‌ریزی خطی برای مساله مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت با هدف کمینه سازی هزینه‌ها مانند هزینه ثابت احداث تسهیلات و هزینه نگهداری و تعمیرات بدون توجه به پایداری زیست محیطی ارائه و با استفاده از CPLEX حل نمودند[26]. کمالی و همکاران[13] (2020) یک مدل بر پایه سناریو برای مکان‌یابی مراکز درمانی و تخصیص آمبولانس به آنها بدون توجه به پایداری زیست محیطی ارائه و در مثال موردی استان اصفهان کشور ایران حل نمودند[27]. کاوه و همکاران[14] (2020) یک روش توسعه یافته از الگوریتم ژنتیک[15] را برای حل مدلی برای مکان‌یابی بیمارستان‌ها و تخصیص جمعیت به آنها بدون در نظر گرفتن جوانب زیست محیطی ارائه نمودند[28]. حق‌شناس و همکاران[16] (2021) یک مدل دو هدفه شامل کمینه‌سازی هزینه کل و تعداد تخت‌های مازاد احداث شده را برای مساله مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان‌های تخصصی سرطان ارائه نمودند. هزینه کل شامل هزینه احداث بیمارستان‌های سرطان و هزینه سفر بیماران مابین مناطق جهت دسترسی به خدمات درمان بیماری سرطان بود. آنها مدل ارائه شده را با استفاده از روش درجه بهینگی[17] و حل کننده CPLEX در مثال موردی طراحی شبکه بیمارستان‌های سرطان در کشور ایران در سال 1418 شمسی معادل 2040 میلادی حل نمودند. اما در این پژوهش، توجهی به مسائل زیست محیطی مانند اثر ردپای کربن نشده است. میشرا و همکاران[18] (2021) با هدف برآوردن عدالت در دسترسی به تسهیلات سلامت، از سیستم اطلاعات جغرافیایی[19] و تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه[20] برای یافتن مکان مناسب برای احداث واحدهای درمانی بدون توجه به اثر ردپای کربن استفاده نمودند[29]. مندوزا-گومز و همکاران[21] (2022) یک مدل دوهدفه جهت کمینه سازی کل مسافت پیموده شده توسط بیماران و بیشینه سازی پوشش دهی تقاضا بیماران بستری در مساله مکان‌یابی مراکز سلامت ارائه و با استفاده از روش محدودیت اپسیلون و حل کننده CPLEX در یک مثال موردی از ایالت مکزیکو حل نمودند. در این پژوهش نیز اثر ردپای کربن جزو اهداف مورد توجه نبود. علینقیان و همکاران[22] (2023) یک مدل ریاضی برای مساله مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت برای مدیریت تقاضای شدید در شرایط بحرانی مانند بلایای طبیعی ارائه نمود. آنها از یک رویکرد حل بر پایه سناریو با استفاده از روشهای حل مختلف از جمله جستجوی ممنوع[23]، الگوریتم جستجوی هماهنگی[24] و حد پایین لاگرانژ[25] برای حل مدل خود در چند مثال عددی استفاده نمودند. شایان ذکر است که در مدل ارائه شده توجهی به اثرات زیست محیطی مانند اثر ردپای کربن نشده است.

حق‌شناس و همکاران (2023) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط برای کمینه‌سازی هزینه‌های احداث و جابجایی بیماران در مساله مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان-های تخصصی سرطان در ظرفیت‌های بهره‌ور از پیش تعیین شده 300، 500 و 1000 تختی ارائه و برای مثال موردی کشور ایران حل نمودند . همچنین آنها مدل‌های رگرسیونی برای پیش بینی تعداد رخداد سرطان به منظور تخمین تعداد بیماران مبتلا به سرطان در هر یک از 31 استان ایران ایجاد نمودند. اما توجه به اثر ردپای کربن از اهداف پژوهش آنها نبود. کراسکال و همکاران[26] (2023) یک ساختار سلسله مراتبی پوشش دهی برای مکان‌یابی مراکز درمانی و بیمارستان‌ها و همچنین تخصیص بیماران بر پایه سیستم

[12] Ouyang et al. (2020)

[13] Kamali et al.

[14] Kaveh et al.

[15] Genetic Algorithm

[16] Haghshenas et al.

[17] Optimality Grade (OG)

[18] Mishra et al.

[19] Geographic Information System (GIS)

[20] Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)

[21] Mendoza-Gomez et al.

[22] Alinaghian et al.

[23] Tabu search (TS)

[24] Harmony Search algorithm (HS)

[25] Lagrangian lower bound (LLB)

[26] Karaskal et al.

ارجاع دهی بیماران ارائه و با استفاده از الگوریتم ژنتیک در تعدادی مثال عددی با ابعاد بزرگ حل نمودند . آنها نیز به شرایط زیست محیطی در مساله مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت توجهی ننمودند. سلامی و همکاران[27] (2023) یک مدل برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای چند هدفه برای مساله مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت با درنظر گرفتن کمبود منابع و رعایت عدالت اما بدون توجه به شرایط زیست محیطی مانند اثر ردپای کربن ارائه و با استفاده از الگوریتم ژنتیک در یک مثال عددی حل نمودند. حق شناس و همکاران (2024) یک مدل سه هدفه فازی شامل بهینه سازی هزینه کل، تعداد کل تخت‌های اضافی احداثی و عدالت را برای مساله احداث بیمارستان‌های درمان سرطان ارائه نمودند و در مثال موردی ایران حل نمودند. تمرکز آنها بر روی ارائه ضریب تعیین فازی برای پیش بینی کننده رگرسیونی تعداد رخداد سرطان و همچنین عدالت درمانی فازی بود و به اثر ردپای کربن توجهی ننمودند. کردی و نعمتی (2024) یک مدل چند دوره‌ای برای احداث بیمارستان‌های تخصصی سرطان تنها بر پایه پایداری اقتصادی ارائه نمودند و در مثال موردی ایران در بازه زمانی 2026 الی 2035 میلادی حل نمودند.

از پیشینه پژوهش ارائه شده در بالا می‌توان نتیجه‌گیری نمود که پایداری زیست محیطی بر اساس اثرات ردپای کربن، بر اساس اطلاعات پژوهشگران این تحقیق، در مساله مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت از جمله بیمارستان ها و به ویژه بیمارستان تخصصی سرطان مورد توجه قرار نگرفته است. همچنین مساله مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان‌های سرطان کودکان نیز تاکنون در یک مثال موردی حل نشده است. لذا در نظر گرفتن پایداری زیست محیطی در مدل‌سازی مساله مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت و همچنین برنامه‌ریزی پایدار زیست محیطی برای احداث بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان در یک کشور، ایران، برای نخستین بار در این پژوهش ارائه می‌شود.

3- مدل‌سازی مسئله

در این بخش، مساله مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلامت با در نظر گرفتن اثر ردپای کربن در ایجاد بیمارستان تخصصی سرطان کودکان تعریف شده و سپس مدل ریاضی توسعه داده شده ارائه می‌شود.

3-1- تعریف مساله

گزارش‌های آماری نرخ ابتلا به سرطان در کشورهای مختلف از جمله سالنامه‌های داده‌های سرطان منتشر شده توسط وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ایران نشان می-دهند که سهم کودکان در کل ابتلا به سرطان به طور متوسط بین 1 تا 5 درصد در جوامع مختلف است. لذا به همین دلیل طراحی و ساخت بیمارستان‌ها یا بخشهای بیمارستانی خاص برای کودکان مبتلا به سرطان در سطح گسترده مورد توجه قرار نگرفته است. به عنوان مثال در کشور ایران تنها یک بیمارستان تخصصی سرطان کودکان با ظرفیت 100 تخت در تهران واقع شده است. بر اساس گزارشات مسئولان وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ایران در سال 1401 حدد 150 هزار نفر به سرطان مبتلا شده و جمعیت کل افراد مبتلا به سرطان حدود 500 هزار نفر است که سهم کودکان نیز حدود 3 درصد می‌باشد. لذا یک برآورد اولیه از تعداد کودکان مبتلا به سرطان در ایران در حال حاضر حدود 15 هزار نفر است. اگر فرض شود که هر کودک مبتلا به سرطان یک تخت بیمارستان تخصصی سرطان را فقط 7 روز در سال اشغال نماید، این بیمارستان تخصصی کودکان 100 تختی قادر به پاسخگویی به نیازهای 10 هزار کودک مبتلا در حال حاضر است. حال آنکه در سال‌های آتی با رشد جمعیت، به ظرفیت‌های بیشتری نیاز خواهد بود. در شرایط کمبود بیمارستان‌های تخصصی درمان سرطان کودکان به اجبار باید کودکان مبتلا به سرطان را در بیمارستان‌های عمومی کودکان، بیمارستان-های تخصصی سرطان عمومی و یا سایر مراکز درمان نمود که دست کم تاثیرگذاری روحی-روانی مانند بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان نخواهد داشت.

از طرفی، ارجاع کودکان بیمار و والدین و همراهان مربوطه به مناطق دیگر مانند تهران جهت دریافت خدمات درمانی

[27] Salami et al.

تخصصی موجب تحمیل سفر، گاها به دفعات در طول هر سال، به آنها و در نهایت منتج به تولید آلاینده‌های مرتبط با سفر از جمله دی اکسید کربن می‌شود. کاهش اثر ردپای کربن از طریق کاهش سفرها و در نتیجه ایجاد مراکز تخصصی درمان سرطان کودکان در مناطق کمتر توسعه یافته شده که به نوبه خود موجب افزایش سطح عدالت درمانی می‌شود، میسر است. بنابراین برای توسعه بیمارستان‌ها تخصصی درمان سرطان کودکان باید علاوه بر هزینه‌ها و بهره‌وری ظرفیت‌های ایجاد شده، به شرایط زیست محیطی از جمله اثر ردپای کربن نیز توجه نمود. در زیربخش‌های بعدی، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه عدد صحیح مخلوط برای دستیابی به این اهداف ارائه می-شود.

3-2- فرضیات مساله

- هر منطقه تقاضا به طور همزمان یک منطقه کاندید برای احداث بیمارستان تخصصی سرطان کودکان نیز می‌باشد.
- تقاضای همه مناطق باید به طور کامل پاسخ داده شود. به عبارت دیگر، هر کودک بیمار باید به بیمارستان یا مرکز تخصصی سرطان ایجاد شده در یک منطقه ارجاع داده شود.
- به منظور برآورده‌سازی اهداف بهره‌وری، یک کمینه مقداری برای ظرفیت بیمارستان‌ها یا مراکز تخصصی سرطان کودکان احداثی و یک بیشینه مقداری برای تعداد تخت‌های اضافی احداث شده در نظر گرفته شده است.

3-3-نمادهای مورد استفاده در مساله مطرح شده

در ادامه، نمادها، توصیفات، اندیس‌ها، و پارامترهای مرتبط با مسئله احداث بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان آمده است:

- **نمادها و اندیس‌ها:**

i: اندیس نشان‌دهنده مناطق تقاضا $(i=1,2,..,n)$

j: اندیس نشان‌دهنده مناطق کاندید برای احداث بیمارستان تخصصی سرطان کودکان $(j=1,2,..,n)$

- **پارامترهای مدل:**

d_i:تعداد کودکان مبتلا به سرطان در منطقه i

α_j: کمینه مقدار ظرفیت بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان احداثی در منطقه j

c_j: هزینه احداث هر واحد ظرفیت بیمارستان تخصصی سرطان کودکان بر حسب تخت در منطقه j

ω: بیشینه مقدار تعداد تخت‌های تخصصی سرطان کودکان احداثی مازاد نیاز در هر منطقه

dis_j: فاصله میان منطقه تقاضا i و منطقه کاندید احداث بیمارستان تخصصی سرطان کودکان j

f : اثر ردپای کربن جابجایی هر کودک به ازای هر کیلومتر در سفر مابین مناطق پس از ارجاع به بیمارستان تخصصی سرطان کودکان احداث شده در یک منطقه دیگر برحسب گرم یا تن

β: ضریب استفاده از یک تخت در بیمارستان تخصصی سرطان کودکان توسط هر کودک بیمار در طول یک سال

a_{ij}: یک پارامتر دو مقداری، برابر یک اگر امکان ارجاع کودک مبتلا به سرطان از منطقه تقاضا i به بیمارستان تخصصی سرطان کودکان احداث شده در منطقه j وجود داشته باشد و در غیر اینصورت برابر صفر

π_j: تعداد تخت‌ها در بیمارستان تخصصی سرطان کودکان موجود در منطقه j

M : یک عدد بسیار بزرگ مثبت

- **متغیرهای تصمیم:**

Q_{ij}: تعداد کودکان بیمار ارجاع داده شده از منطقه i به منطقه j

Y_j: برابر 1 اگر بیمارستان تخصصی سرطان کودکان در منطقه j احداث شود و در غیر اینصورت برابر صفر

X_j: برابر 1 اگر تخت تخصصی درمان سرطان کودکان در منطقه j در دسترس باشد و در غیر اینصورت برابر صفر

N_j: تعداد تخت‌های تخصصی سرطان کودکان مورد نیاز در منطقه j

E_j: تعداد تخت‌های تخصصی سرطان کودکان ایجاد شده در منطقه j

A_j: تعداد تخت‌های تخصصی سرطان کودکان در دسترس در منطقه j

AN_j: تعداد تخت‌های تخصصی سرطان کودکان مازاد در منطقه j

4-3- مدل ریاضی ارائه شده

بر اساس تعریف مساله، فرضیات و تعاریف ارائه شده، مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی سه هدفه زیر جهت ارائه طرحی برای احداث بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان با در نظر گرفتن شرایط پایداری زیست محیطی ارائه شده است.

$$Min \quad Z_1 = \sum_j c_j E_j \tag{1}$$

$$Min \quad Z_2 = \sum_j AN_j \tag{2}$$

$$Min \quad Z_3 = \sum_i \sum_{j \neq i} dis_{ij} \times f \times Q \tag{3}$$

s.t:

$$\sum_j Q_{ij} = d_i \qquad \forall i,j \tag{4}$$

$$Q_{ij} \leq M \times a_{ij} \qquad \forall j \tag{5}$$

$$N_j = \beta \times \sum_i Q_{ij} \qquad \forall j \tag{6}$$

$$\sum_i Q_{ij} \leq A_j / \beta \qquad \forall j \tag{7}$$

$$Y_j \leq M \times E_j \qquad \forall j \tag{8}$$

$$E_j \leq M \times Y_j \qquad \forall j \tag{9}$$

$$X_j \leq M \times A_j \qquad \forall j \tag{10}$$

$$A_j \leq M \times X_j \qquad \forall j \tag{11}$$

$$A_j = E_j + \pi_j \qquad \forall j \tag{12}$$

$$AN_j = A_j - N_j \qquad \forall j \tag{13}$$

$$E_j \geq \alpha_j \times Y_j \qquad \forall j \tag{14}$$

$$AN_j \leq \omega \qquad \forall j \tag{15}$$

$$E_j \leq \sum_i a_{ij} \times \beta \times d_i \qquad \forall j \tag{16}$$

$$Q_{ij}, N_j, E_j, A_j, AN_j \geq 0 \; ; Y_j, X_j \in \{0,1\} \qquad \forall i,j \tag{17}$$

توابع هدف ارائه شده در روابط (1) الی (3) به ترتیب نشان دهنده هزینه کل احداث بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان، تعداد کل تخت‌های مازاد احداث شده و حجم کل میزان گاز دی اکسید کربن ناشی از جابجایی کودکان بیمار مابین مناطق هستند. رابطه (4) پوشش‌دهی کل تقاضای مناطق تقاضا و محدودیت (5) الزام ارجاع کودکان بیمار مابین مناطق مطابق با شرایط مجاز از پیش تعیین شده را تضمین می‌کند. تعداد تخت تخصصی سرطان کودکان مورد نیاز در مناطق نیز در رابطه (6) محاسبه می‌شود. محدودیت (7) تضمین می‌کند که تعداد کودکان بیمار ارجاع شده به یک منطقه از ظرفیت تخت‌های تخصصی سرطان در دسترس در آن منطقه بیشتر نیست. محدودیت‌های (8) و (9) اطمینان می‌دهند که متغیر تصمیم دوتایی، صفر و یک، مرتبط با احداث بیمارستان تخصصی سرطان جدید در مناطقی مقدار یک بگیرد که در آن مناطق ظرفیتی برای تخت‌های تخصصی سرطان ایجاد شده باشد و اگر مقدار آن صفر است، هیچ ظرفیت جدیدی برای آن منطقه در نظر گرفته نشود. محدودیت‌های (10) و (11) نیز نقش مشابهی در مورد رابطه میان ظرفیت در دسترس مناطق و متغیر دوتایی مربوطه ایفا می‌کنند. رابطه (12) تعداد تخت‌های

تخصصی سرطان در دسترس و رابطه (13) نیز تعداد تخت-های تخصصی سرطان کودکان مازاد در مناطق را محاسبه می‌نماید. محدودیت (14) اطمینان حاصل می‌نماید که ظرفیت‌های جدید ایجاد شده برای تخت‌های تخصصی سرطان در هر منطقه از کمینه مقدار مجاز کمتر نیست. محدودیت (15) تضمین می‌کند که تعداد تخت‌های تخصصی سرطان مازاد در هر منطقه از یک کمینه مقدار از پیش تعیین شده بیشتر نیست. محدودیت (16) اطمینان حاصل می‌نماید که تعداد تخت‌های تخصصی سرطان کودکان احداثی از تعداد کل مورد نیاز ممکن با توجه به جمعیت کودکان بیماران مرتبط از پیش تعیین شده بیشتر نیست و محدودیت (17) نیز نوع متغیرهای تصمیم را تعریف می‌کند.

برای حل مدل ارائه شده از روش چند هدفه درجه بهینگی همانند حق‌شناس و همکاران (2021و2024) استفاده می-شود. در این روش ابتدا بهترین و بدترین مقادیر ممکن برای هر یک از توابع هدف با حل مدل‌های تک هدفه مربوطه تعیین می‌شوند. سپس با استفاده از مقادیر تعیین شده و تابع عضویت اعداد فازی[28]، مدل سه هدفه به یک مدل تک هدفه با تمرکز بر بیشینه سازی کمینه میزان بهینگی توابع هدف تبدیل شده و حل می‌شود.

4- مثال موردی

در این پژوهش مثال موردی ایران مورد توجه قرار گرفته است. زیرا در این کشور تنها یک مرکز تخصصی درمان سرطان کودکان با ظرفیت ناچیز 100 تخت در تهران وجود دارد و در صورت موجود بودن ظرفیت خالی، کودکان به همراه والدین خود مجبورند گاهی مسافت‌هایی بیش از هزار کیلومتر را جهت دریافت خدمات مناسب در این مرکز یکتا سفر نمایند. همچنین تعداد قابل توجهی از کودکان مبتلا یا مشکوک به بیماری سرطان مجبورند تمام مراحل تشخیص و درمان سرطان را در بیمارستان‌های عمومی و یا مراکز تخصصی درمان سرطان عمومی سپری نمایند. از این رو حل مدل ارائه شده برای مساله مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان سرطان کودکان در ایران می‌تواند اطلاعات مفیدی برای مدیران تصمیم‌گیرنده در حوزه سلامت جهت کاهش آلام کودکان مبتلا به سرطان و خانواده آنها، افزایش سطح عدالت درمانی با احداث مراکز تخصصی درمان سرطان برای کودکان در نقاط مختلف کشور و کاهش مشکلات مرتبط با جابجایی بیماران مابین نقاط مختلف کشور ازجمله اثر ردپای کربن فراهم نماید. به منظور در نظر گرفتن فرصت زمانی مناسب برای احداث بیمارستان‌های مورد نیاز، مدل ارائه شده برای مثال موردی ایران در سال 1408 شمسی معادل 2030 میلادی حل می‌شود.

4-1- داده های ورودی

بر اساس نظرات کارشناسان و مدیران اداره سرطان وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ایران حدود سه درصد جمعیت کل بیماران مبتلا به سرطان متعلق به کودکان است. تحلیل داده‌های ارائه شده در گزارشات سالیانه این وزارتخانه در مورد بیماری سرطان در بازه زمانی 1384 الی 1395 موید این موضوع بوده است که جمعیت کودکان مبتلا به ایران حدود 3 درصد کل تعداد مبتلایان است. لذا در این تحقیق با استفاده از پیش بینی‌های انجام شده در حق‌شناس و همکاران (2024) و در نظر گرفتن ضریب 3 درصد، تعداد کودکان مبتلا به سرطان در هر استان از کشور ایران در سال 1408 پیش بینی شده که نتایج آن به همراه هزینه احداث بیمارستان به ازای هر تخت در جدول 1 نشان داده شده است. همچنین به دلیل طراحی خاص مورد نیاز مراکز درمانی کودکان، هزینه ایجاد هر تخت تخصصی درمان سرطان کودکان به میزان 20 درصد بیشتر از هزینه احداث یک تخت درمان سرطان بزرگسالان در حق‌شناس و همکاران (2024) فرض شده است. با توجه به سطح امکانات و هزینه های زیرساختی و منابع انسانی هراستان عددی در بازه 350000 الی 530000 دلار به ازای هرتخت درنظر گرفته شده است. همچنین میزان دی اکسید کربن منتشر شده ناشی از هر کیلومتر سفر هر کودک مبتلا به سرطان و دو فرد همراه او برابر 600 گرم یا 0/0006 تن فرض شده است. فواصل میان مراکز استان‌ها نیز از سایت وزارت راه و شهرسازی ایران گرفته شده است. همچنین کمینه ظرفیت قابل قبول برای احداث بیمارستان سرطان کودکان و بیشینه تعداد تخت مازاد با هدف در نظر گرفتن بهره‌وری ظرفیت به ترتیب برابر 50 و 10 تخت فرض شده است. نسبت اشغال

[28] Fuzzy Number Membership Function

تخت در طول سال توسط هر کودک بیمار همانند حق-شناس و همکاران (2021، 2023، 2024)

جدول 1- پیش بینی تعداد کودکان مبتلا به سرطان و هزینه ایجاد یک تخت در بیمارستان سرطان در سال 1408

ردیف	استان ها	$c_{j(دلار)}$	d_i
۱	مرکزی	۴۲۰۰۰۰	۴۵۶
۲	اردبیل	۴۲۰۰۰۰	۴۸۳
۳	آذربایجان غربی	۴۲۰۰۰۰	۱۳۴۱
۴	اصفهان	۵۳۰۰۰۰	۲۲۴۲
۵	خوزستان	۴۲۰۰۰۰	۱۷۹۰
۶	ایلام	۳۵۰۰۰۰	۲۳۵
۷	خراسان شمالی	۳۵۰۰۰۰	۲۵۸
۸	بوشهر	۳۵۰۰۰۰	۳۵۰
۹	هرمزگان	۳۵۰۰۰۰	۴۷۳
۱۰	خراسان جنوبی	۳۵۰۰۰۰	۲۵۶
۱۱	آذربایجان شرقی	۵۳۰۰۰۰	۱۷۶۳
۱۲	تهران	۵۸۰۰۰۰	۵۸۰۲
۱۳	لرستان	۴۲۰۰۰۰	۲۳۴
۱۴	گیلان	۴۲۰۰۰۰	۸۳۷
۱۵	سیستان و بلوچستان	۳۵۰۰۰۰	۵۹۵
۱۶	زنجان	۴۲۰۰۰۰	۱۸۶
۱۷	مازندران	۴۲۰۰۰۰	۱۲۰۶
۱۸	سمنان	۳۵۰۰۰۰	۲۲۳
۱۹	کردستان	۳۵۰۰۰۰	۴۵۰
۲۰	چهارمحال و بختیاری	۳۵۰۰۰۰	۲۹۱
۲۱	فارس	۵۳۰۰۰۰	۱۹۴۹
۲۲	قزوین	۴۲۰۰۰۰	۳۸۹
۲۳	قم	۴۲۰۰۰۰	۵۳۰
۲۴	کرمان	۴۲۰۰۰۰	۱۲۵۱
۲۵	کرمانشاه	۳۵۰۰۰۰	۵۷۱
۲۶	گلستان	۳۵۰۰۰۰	۷۷۷
۲۷	خراسان رضوی	۵۳۰۰۰۰	۲۵۴۷
۲۸	همدان	۴۲۰۰۰۰	۴۸۶
۲۹	کهگیلویه و بویراحمد	۳۵۰۰۰۰	۲۷۹
۳۰	یزد	۴۲۰۰۰۰	۵۴۵
۳۱	البرز	۵۳۰۰۰۰	۸۴۱

و کردی و نعمتی (2024) برابر 0/02 و در واقع معادل حدود 7 روز در طول سال فرض شده است. مقادیر صفر و یک پارامتر a_{ij} نیز بر اساس قاعده امکان ارجاع بیماران یک استان به استان‌های همجوار تعیین شده است.

2-4-نتایج حل

در این بخش، مدل‌های تک هدفه مربوط به هر یک از سه تابع هدف و همچنین مدل تک هدفه نهایی حاصل از تبدیل مدل سه هدفه به دلیل ابعاد نه چندان بزرگ مساله و پیچیدگی پایین مدل با استفاده از حل کننده CPLEX، همانند حق‌شناس و همکاران (2021، 2023، 2024)، و یک کامپیوتر با مشخصات Intel(R) Core(TM) i5- 8 GIG RAM 7400 CPU @ 3.00GHz and حل شده و نتایج مربوطه ارائه شده‌اند. مقادیر بهینه بدست آمده از حل مدل‌های تک هدفه در جدول 2 ارائه شده است.

جدول 2- نتایج حل مدل های تک هدفه

تابع هدف	جهت بهینگی	مقدار بهینه	مدت زمان حل(ثانیه)
Z_1	*Max*	$Z_1^u = ۲۹۳۸۵۱۰۰۰$	۰/۱۶۲
	Min	$Z_1^l = ۲۲۹۵۹۴۶۰۰$	۰/۵
Z_2	*Max*	$Z_2^u = ۱۰۴,۵۸$	۰/۲۱
	Min	$Z_2^l = ۰$	۰/۱۰۹
Z_3	*Max*	$Z_3^u = ۴۱۴۰,۵۱$	۰/۱۵۲
	Min	$Z_3^l = ۱۵۱۴,۷۶$	۰/۳۶۹

با استفاده از روش درجه بهینگی و نتایج ارائه شده در جدول 2، مدل تک هدفه نهایی ایجاد شده و با استفاده از حل کننده سیپلکس در مدت زمان 0/155 ثانیه با ارائه مقدار 0/878 برای لاندا حل شد. مقدار لاندا نشان می‌دهد که کمترین میزان بهینگی برای سه تابع هدف برابر 0/878

است. مقادیر به دست آمده برای هر یک از توابع هدف از حل مدل سه هدفه در جدول 3 ارائه شده است.

جدول 3- نتایج حل مدل سه هدفه با روش درجه بهینگی

تابع هدف	مقدار بهینه
Z_1	۲۳۷۴۴۲۳۰۰
Z_2	۲/۷۱
Z_3	۱۳۸۵/۴

بر اساس جدول 3، مقدار کل هزینه جهت ایجاد تخت موردنیاز کودکان مبتلا به سرطان در کشور در سال 1408 حدود 237/5 میلیون دلار خواهد بود. همچنین تعداد کل تخت‌های اضافی احداث شده برابر حدود 3 تخت می‌باشد که نشان از دستیابی به سطح بسیار بالایی از کارایی ظرفیتی در بیمارستان‌های ایجاد شده دارد. علاوه بر این، بر اساس طرح ارائه شده برای مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان، حجم کل میزان گاز دی اکسید کربن ناشی از جابجایی کودکان مبتلا مابین استان‌های مختلف در سال 1408برابر با 1385/4 تن خواهد بود.

مقادیر تعداد تختهای جدید احداثی و همچنین میزان مازاد آنها در جدول 4 آمده است که نشان دهنده احداث مراکز تخصصی درمان سرطان کودکان در 9 استان ایران نیز است. لذا کودکان مبتلا به سرطان در مابقی 22 استان باید به یکی از این 9 استان ارجاع داده شوند.

جدول 4-تعداد تخت های سرطان کودکان احداثی و مازاد

استان	E	AN	استان	E	AN
اصفهان	70	0	فارس	50	0
آذربایجان	50	0	کردستان	56	0
تهران	51	0	کرمان	50	0
خراسان	58	0	مازندران	61	0
خوزستان	50	2/71			

براساس جدول 4، بیشترین تعداد تخت‌های احداثی در استان اصفهان و تنها مورد تخت‌های اضافی در استان خوزستان می‌باشد.

4-3- بررسی تاثیر در نظر گرفتن اثر ردپای کربن

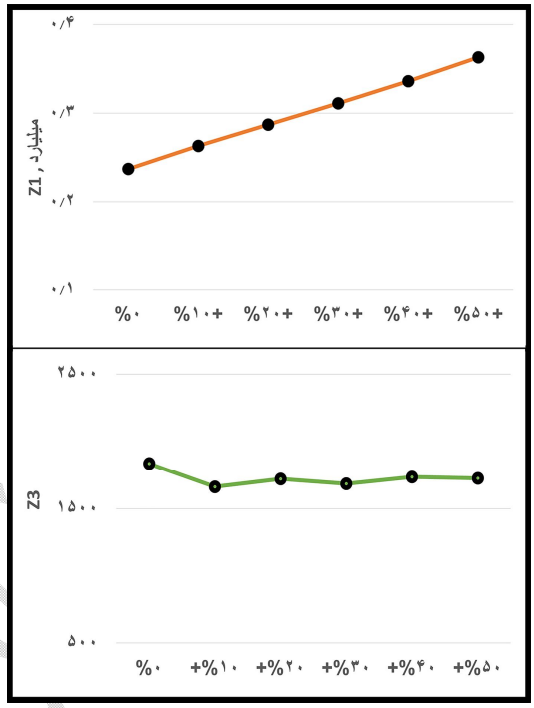
یکی از جنبه‌های نوآورانه مدل ارائه شده در نظر گرفتن اثر ردپای کربن به عنوان تابع هدف سوم در مدل ارائه شده است. لذا به منظور اعتبار سنجی این تابع هدف، آن را از مدل سه هدفه حذف نموده و مدل دو هدفه حاصل حل شده است. نتایج حاصل برای Z_1، Z_2 و Z_3 به ترتیب عبارت از 229594600، صفر و 2779/59 می‌باشند. بنابراین حذف تابع سوم موجب تقریبا دو برابر شدن حجم گاز دی اکسید کربن منتشر شده در اثر جابجایی تعداد بیشتری از کودکان مبتلا به سرطان و خانواده آنها مابین استان‌ها و به طور غیر مستقیم کاهش سطح عدالت در برخورداری از تسهیلات درمانی تخصصی برای کودکان است.

4-4- آنالیز حساسیت

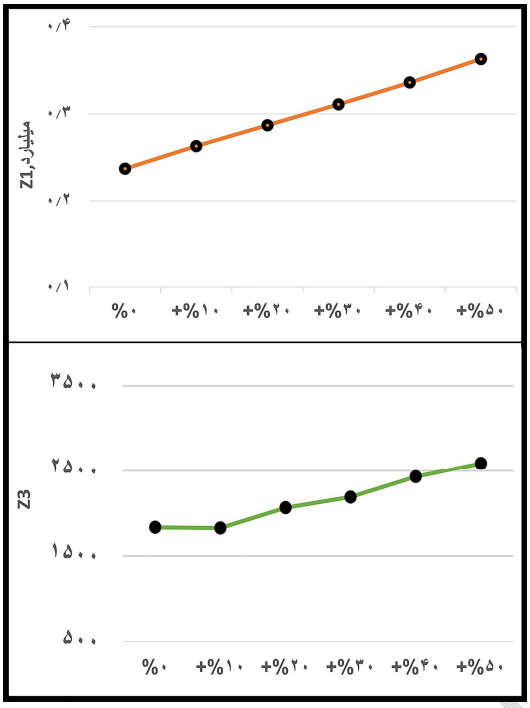
از آنجا که مقادیر پارامترهای مدل برای چند سال بعد تخمین زده شده‌اند، عدم قطعیت در داده‌های ورودی اجتناب ناپذیر است. لذا تغییرات پارامترها بر روی توابع هدف در ده سناریو50%+،40 %+،30 %+ ،20% ،10%+، 10%-،20% -، 30%-، 40%- و 50%- مورد مطالعه قرار گرفت. قابل ذکر است که مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مخلوط ارائه شده در برخی از سناریوها جواب امکان-پذیر نداشته است و لذا در انجام آنالیز حساسیت فقط سناریوهای امکان‌پذیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. به طور کلی حساسیت تابع هدف دوم نسبت به تغییر پذیری پارامترها قابل توجه نبوده است و لذا از ارائه آن در تحلیل های این بخش صرف‌نظر شده است.

شکل 1 نشان می‌دهد که افزایش ضریب مصرف تخت‌های تخصصی توسط بیماران موجب افزایش هزینه‌های احداث ولی بالعکس موجب کاهش اثرات ردپای کربن می‌شود که دلیل آن احداث مراکز تخصصی سرطان کودکان در استان-های بیشتری می‌باشد که موجب کاهش تردد بیماران میان استان‌ها می‌شود. شکل 2 نشان می دهد که افزایش تقاضا موجب افزایش هزینه‌های احداث و اثرات ردپای کربن به

طور همزمان می‌شود. دلیل آن هم افزایش نیاز به احداث تخت‌های سرطان بیشتر و همچنین افزایش تردد بیماران میان استان‌ها می‌باشد.

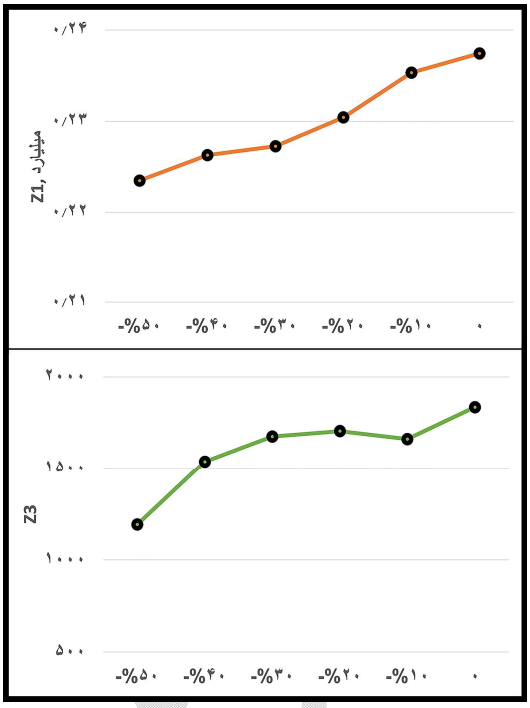


شکل 1-تغییر پذیری توابع هدف برحسب تغییرات β



شکل 2-تغییرپذیری توابع هدف برحسب تغییرات d_i

شکل 3 نشان می دهد که کاهش کمینه ظرفیت قابل قبول احداثی موجب کاهش هزینه احداث و همچنین اثرات ردپای کربن می‌شود. علت این است که تعداد بیشتری مراکز تخصصی درمان سرطان کودکان بیشتری در استان‌های دیگر که اتفاقا هزینه احداث کمتری نیز دارند ایجاد خواهد شد. این امر موجب کاهش تردد کودکان مبتلا به سرطان میان استان‌ها و در نتیجه کاهش اثرات ردپای کربن می-شود. به عنوان مثال، دراستان سیستان بلوچستان که نیاز به 25 تخت دارد در حالت کمینه ظرفیت قابل قبول برابر 50 بیمارستانی احداث نخواهد شد و بیماران خود را به استان کرمان ارسال خواهد نمود که باعث افزایش مقدار دی اکسید کربن شده و همچنین هزینه احداث بیمارستان در کرمان نیز بیشتر از هزینه احداث بیمارستان در سیستان و بلوچستان است. اما با کاهش کمینه ظرفیت از 50 به 25، در خود سیستان و بلوچستان یک مرکز تخصصی با 25 تخت ایجاد می‌شود که علاوه بر کاهش هزینه احداث، کاهش اثرات ردپای کربن را نیز در پی خواهد داشت.



شکل 3-تغییرپذیری توابع هدف بر حسب تغییرات α_j

5-4- توصیه های مدیریتی

در شکل‌های 1 الی 3 مشاهده می‌شود که شیب تغییرات تابع هدف سوم بسیار بیشتر از تابع هدف اول است. این بدان معنی است که مدیران حوزه سلامت ایران می‌توانند با چشم پوشی از برخی ملاحظات کارایی ظرفیت‌های ایجاد شده و بودجه مورد نیاز، اثرات ردپای کربن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهند که البته به معنی کاستن از تردد بیماران مابین استان‌ها و افزایش سطح عدالت درمانی از منظر برخورداری از مراکز تخصصی درمان سرطان کودکان می‌باشد. به عنوان مثال با در نظر گرفتن کمینه ظرفیت احداثی قابل قبول کمتر می‌توان به این مهم دست یافت.

5- نتیجه‌گیری‌ها، محدودیت‌ها و پیشنهادات

مساله مکان‌یابی-تخصص تسهیلات سلامت تحت شرایط پایداری زیست محیطی مورد توجه قرار گرفت. یک مدل برنامه‌ریزی خطی سه هدفه عدد صحیح مخلوط شامل کمینه‌سازی هزینه‌های احداث، ظرفیت‌های مازاد و اثرات ردپای کربن ارائه شد که همه جوانب پایداری از جمله اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را در مساله مکان‌یابی-تخصص تسهیلات سلامت مدنظر قرار داده است. مدل جدید ارائه شده در مساله طراحی شبکه بیمارستان‌های تخصصی سرطان کودکان در مثال موردی کشور ایران حل شد. نتایج حل نشان داد که تعداد استان‌های دارای بیمارستان تخصصی سرطان کودکان از یک استان در سال 1403 باید به 9 استان در سال 1408 افزایش یابد. همچنین نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که می‌توان با کمی اغماض در مورد تعداد تخت‌های مازاد ایجاد شده و احداث بیمارستان-های تخصصی سرطان کودکان با ظرفیت حتی کمتر از 50 تخت به مزیت‌های قابل توجهی به صورت کاهش هزینه احداث و کاهش اثرات ردپای کربن و در نتیجه افزایش عدالت اجتماعی دست یافت. مدل ارائه شده توجهی به اولویت خانواده کودکان بیمار در انتخاب مقصد درمانی ندارد. لذا ارائه یک مدل ریاضی بیمار-محور برای مساله مکان‌یابی-تخصیص بیمارستان‌های تخصصی درمان سرطان کودکان را می‌توان برای تحقیقات آتی مرتبط پیشنهاد نمود. همچنین حوادثی مانند آتش‌سوزی، زلزله و سیل ممکن است برای چند ماه یا سال یکی از مراکز تخصصی درمان سرطان کودکان را از مدار ارائه خدمات خارج نماید. لذا تاب‌آوری سیستم بیمارستان‌های تخصصی درمان سرطان کودکان در مقابل این حوادث و بلایا را می‌توان به محققان علاقمند پیشنهاد نمود. همچنین مدل ارائه شده شامل عدم قطعیت داده‌های پیش بینی شده برای آینده مانند تعداد کودکان مبتلا به سرطان و هزینه‌های احداث نمی‌باشد که می‌توان با استفاده از یکی از رویکردهای مواجهه با عدم قطعیت مانند برنامه‌ریزی فازی، برنامه‌ریزی احتمالی، تحلیل سناریو، یا بهینه‌سازی استوار با آن مواجهه نمود.

6- مراجع

1. Shekarian, E., Ijadi, B., Zare, A. and Majava, J.,2022. Sustainable supply chain management: a comprehensive systematic review of industrial practices. Sustainability, 14, 7892. https://doi.org/10.3390/su14137892

2. Rabbani, M., Hosseini-Mokhallesun, S. a. A., Ordibazar, A. H. and Farrokhi-Asl, H.,2020. A hybrid robust possibilistic approach for a sustainable supply chain location-allocation network design. International Journal of Systems Science: Operations &

robust model for location-allocation of healthcare facilities considering pre-disaster and post-disaster characteristics. Scientia iranica, 30, 619-641.
https://doi.org/10.24200/sci.2021.5743.1459

9. Haghshenas, M., Nemati, A. and Asadi-Gangraj, E.,2021. A bi-objective model for Cancer hospitals' location and cancer patients' allocation in Iran. Int J Hosp Res, 10.

10. Mendoza-Gómez, R. and Ríos-Mercado, R. Z.,2022. Location of Primary Health Care Centers for Demand Coverage of Complementary Services. Computers & Industrial Engineering, 108237.
https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108237

11. Karasakal, O., Karasakal, E. and Töreyen, Ö.,2023. A partial coverage hierarchical location allocation model for health services. European journal of industrial engineering, 17, 115-147.
https://doi.org/10.1504/ejie.2023.127742

12. Halawa, F., Madathil, S. C., Gittler, A. and Khasawneh, M. T.,2020. Advancing evidence-based healthcare facility design: a systematic literature review. Health Care Management Science, 23, 453-480.
https://doi.org/10.1007/s10729-020-09506-4

13. Costa Filho, C. F. F., Rocha, D. a. R., Costa, M. G. F. and De Albuquerque Pereira, W. C.,2012. Using constraint satisfaction problem approach to solve human resource allocation problems in cooperative health services. Expert Systems with Applications, 39, 385-394.
https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.027

Logistics, 7, 60-75. https://doi.org/10.1080/23302674.2018.1506061 .

3. Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J. and Seuring, S.,2014. Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. European journal of operational research, 233, 299-312.
https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.09.032

4. Littlejohns, P., Kieslich, K., Weale, A., Tumilty, E., Richardson, G., Stokes, T., Gauld, R. and Scuffham, P.,2019. Creating sustainable health care systems: Agreeing social (societal) priorities through public participation. Journal of health organization and management, 33, 18-34.
https://doi.org/10.1108/jhom-02-2018-0065

5. Mehra, R. and Sharma, M. K.,2021. Measures of sustainability in healthcare. Sustainability Analytics and Modeling, 1, 100001. https://doi.org/10.1016/j.samod.2021.100001.

6. Wu, F., Chen, W., Lin, L., Ren, X. and Qu, Y.,2022. The Balanced allocation of medical and health resources in urban areas of China from the perspective of sustainable development: a case study of nanjing. Sustainability, 14, 6707.
https://doi.org/10.3390/su14116707

7. Salami, A., Afshar-Nadjafi, B. and Amiri, M.,2023. A Two-Stage Optimization Approach for Healthcare Facility Location-Allocation Problems With Service Delivering Based on Genetic Algorithm. International Journal of Public Health, 68, 1605015.
https://doi.org/10.3389/ijph.2023.1605015

8. Alinaghian, M., Hejazi, S. R., Bajoul, N. and Sadeghi Velni, K.,2023. A novel