

روش جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی شهودی برای مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین پیوند اعضای بدن: الگوریتم فراابتکاری عقاب طلایی

سینا سلیمیان^۱، سید میثم موسوی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

خلاصه

در دنیای امروز جایگاه اهدای عضو به‌عنوان یک فرایند زندگی‌بخش در سطح دنیا مشخص شده و مورد استقبال بسیاری از افراد در جوامع مختلف قرار گرفته است. این فرایند می‌تواند موجب بالا رفتن سطح کیفیت زندگی افراد در کشورهای مختلف شده و سطح امنیت اجتماعی را نیز افزایش دهد. در این پژوهش به‌منظور بررسی مسأله اهدای عضو، یک شبکه زنجیره تأمین ارائه می‌گردد که شامل سه بخش بیمارستان‌های اهدا، مراکز پیوند و مراکز گیرنده می‌باشد. همچنین، به‌منظور اتخاذ تصمیم مناسب جهت انتخاب بهترین گیرنده، از یک روش جدید تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم قطعیت فازی شهودی استفاده می‌گردد و پس از آن مدل ریاضی پیشنهادی ارائه می‌شود. در این مدل، الزامات تغییرات آب‌وهوایی و اثرات آن بر سیستم حمل‌ونقل، کیفیت اعضای بدن متأثر از زمان سرد ایسکمی و صف در مراکز پیوند مورد بررسی قرار می‌گیرد. ارائه یک روش تصمیم‌گیری نوین جهت انتخاب بهترین نوع گیرنده عضو و بهره‌مندی از مدل‌سازی ریاضی با رویکردهای به‌کارگیری موضوعات کیفیت اعضا، ریسک تغییرات آب‌وهوایی و مفهوم صف از نقاط قوت و نوآوری‌های اساسی این مقاله می‌باشد. در ادامه، پس از ارائه مدل، ابتدا با استفاده از یک رویکرد برنامه‌ریزی‌سازشی، مدل چندهدفه پیشنهادی با اهداف هزینه، زمان و کیفیت عضو به یک مدل تک‌هدفه معادل تبدیل می‌شود. پس از آن، به‌منظور حل مسأله از یک الگوریتم فراابتکاری عقاب طلایی استفاده می‌شود. سرانجام به‌منظور اعتبارسنجی روش تصمیم‌گیری و مدل ریاضی پیشنهادی از یک مثال کاربردی استفاده می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۰/۳/۲۴

پذیرش ۱۴۰۰/۵/۳۰

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

تصمیم‌گیری چند معیاره

فازی شهودی

طراحی شبکه پیوند اعضا

برنامه‌ریزی‌سازشی

الگوریتم عقاب طلایی

۱. مقدمه

در دنیای امروز، یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های پزشکی مربوط به فرایندهای اهدای عضو است که اهدای زندگی را در جامعه به‌همراه دارد. پیوند اعضا می‌تواند در اعضای جامد^۱ همچون قلب، ریه‌ها، کلیه‌ها، کبد و در بافت‌هایی مثل، قرنیه، پوست و مغز استخوان صورت پذیرد [۱]. طراحی شبکه زنجیره تأمین مناسب یکی از اساسی‌ترین مباحث

موجود در این حوزه بوده که می‌تواند کمک شایان توجهی را برای مدیریت صحیح بخش اهدا و بخش پیوند به‌صورت توامان داشته باشد [۲].

شبکه پیوند اعضای بدن به‌صورت کلی شامل سه بخش اساسی بوده که با همکاری یکدیگر، فرایند پیوند عضو را تسهیل می‌بخشند. سطوح این شبکه شامل، بیمارستان‌های اهداکننده، مراکز پیوند اعضای بدن^۲ (TC) و مراکز دریافت‌کنندگان اعضا^۳ می‌باشد. در این شبکه،

2. Solid organs

3. Transplant center

4. Recipient zone

* نویسنده مسئول: سید میثم موسوی

تلفن: ۰۲۱-۵۱۲۱۲۰۹۱، پست الکترونیکی: sm.mousavi@shahed.ac.ir

فاکتورها مهم در حوزه پیوند عضو می‌باشد.

در بسیاری از مواقع، یکی از مسائل موجود در شبکه پیوند عضو مربوط به ازدحام افراد گیرنده در صف انتظار بوده که موجب بالا رفتن میزان مرگ‌ومیر در میان افراد دچار نقص عضو می‌شود. افزایش تقاضا و نبود عضو پیوندی کافی می‌تواند یکی از عوامل بروز این رخداد باشد [۱۰]. به‌همین منظور، در این پژوهش جهت کنترل فاکتورهای مربوط به صف و کاهش ازدحام در مراکز پیوند اعضای بدن از مدل صف M/M/C بهره گرفته می‌شود.

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، یکی از تصمیمات مهم در شبکه پیوند اعضا مربوط به تخصیص مناسب افراد گیرنده و انتخاب درست این افراد از میان افراد کاندید در مناطق مختلف جهت انجام پیوند عضو می‌باشد. یکی از روش‌های مناسب جهت ارزیابی و انتخاب مناسب افراد گیرنده مربوط به رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره^۶ (MCDM) می‌باشد. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری مناسب می‌تواند کمک قابل توجهی به اخذ تصمیم مناسب و درست به مدیران و تصمیم‌گیرندگان موجود در شبکه نماید [۱۱] و [۱۲]. همچنین، با توجه به ماهیت غیرقطعی شرایط موجود در سیستم‌های سلامت و تغییرات ناگهانی در اخذ تصمیم مناسب، استفاده از رویکردهای مواجهه با عدم قطعیت در این بخش از پژوهش، ضروری است. یکی از مناسب‌ترین روش‌های موجود در این رابطه مربوط به استفاده از رویکردهای تئوری مجموعه‌های فازی و توسعه‌های آن می‌باشد. این روش جهت مقابله با عدم قطعیت و ابهام در داده‌ها یکی از روش‌های مناسب بوده و جایگاه شایسته‌ای را در این حوزه به خود اختصاص داده است [۱۳]. مزیت استفاده از مجموعه‌های فازی جهت مقابله با شرایط عدم قطعیت در مقایسه با روش‌های مرسوم احتمالی و استواری این است که می‌تواند در کنار اندازه‌گیری کمی به مفاهیم و اندازه‌گیری کیفی نیز بپردازد [۱۴]. با پیشرفت روزافزون روش‌های موجود در تصمیم‌گیری با رویکرد مواجهه با عدم قطعیت، یکی از روش‌های مناسب که تصمیم‌گیری برای افراد خبره را با سهولت همراه می‌کند، مربوط به تصمیم‌گیری تحت شرایط فازی شهودی^۷ (IF) با توابع عضویت، عدم عضویت و تردید می‌باشد. وجود سه المان ذکر شده موجب می‌شود تا فرد خبره بتواند با دید بهتری نسبت به مسأله و شرایط غیرقطعی موجود، تصمیم‌گیری نماید [۱۵].

در ادامه، مقاله حاضر به دنبال طراحی شبکه زنجیره تأمین پیوند اعضای بدن با سه سطح بیمارستان‌های اهدا، مراکز پیوند و مراکز دریافت‌کننده عضو می‌باشد. در این شبکه ریسک تغییرات آب‌وهوایی وجود زمان سرد ایسکمی برای انتقال به‌موقع اعضا در نظر گرفته شده است که اثر خود را بر انتخاب وسیله نقلیه مناسب از میان سه نوع وسیله نقلیه زمینی، هواپیما و بالگرد، می‌گذارد. همچنین، مباحث مربوط به صف در این مسأله مورد بررسی قرار گرفته و از رویکرد M/M/C در این مقاله بهره گرفته شده است. پیش از بیان مدل ریاضی،

افراد جهت درمان به بیمارستان‌ها مراجعه کرده و در برخی موارد دچار مرگ مغزی می‌شوند. این افراد پس از تأیید مرگ مغزی و کسب رضایت خانواده، جهت پیوند عضو، به بخش جداسازی بیمارستان انتقال داده شده و اعضای بدن که قابلیت پیوند را دارند، پس از جداسازی از بدن، مورد آزمایش قرار می‌گیرند. پس از تأیید سلامت اعضا توسط بیمارستان و اطلاع‌رسانی به واحد فراهم‌آوری اعضا، اعضای جداسازی شده به مراکز پیوند عضو به تناسب درخواست عضو، ارسال می‌گردد. همچنین، کلیه فرایندهای مربوط به برداشت اعضا و انجام آزمایشات می‌تواند از افراد داوطلب اهدای عضو نیز صورت بگیرد که به پیوند اعضای زنده شناخته می‌شود [۳]. کلیه فرایندهای مربوط به این هماهنگی‌ها برعهده واحد فراهم‌آوری اعضا می‌باشد [۴].

پس از ارسال اعضا، واحد فراهم‌آوری اعضا با دریافت‌کنندگان موجود در صف انتظار تماس برقرار کرده و آن‌ها را جهت مراجعت به مراکز پیوند در یک زمان مشخص آگاه می‌نماید. به‌صورت کلی دو نوع سیستم هماهنگی افراد گیرنده در ادبیات موجود بوده که یکی مربوط به سیستم سلسله مراتبی و دیگری مربوط به سیستم مرکزی می‌باشد. در سیستم سلسله مراتبی افراد در مقایسه بایکدیگر قرار گرفته و براساس المان‌هایی همچون وخامت حالشان در اولویت قرار می‌گیرند، اما در سیستم مرکزی که بیشتر در کشورهای مختلف کاربرد دارد، یک لیست انتظار مرکزی موجود بوده که افراد در آن قرار دارند و طبق آن مورد عمل پیوند قرار می‌گیرند. در این پژوهش از سیستم مرکزی بهره گرفته شده است [۵-۷]. این پژوهش در نظر دارد که به‌محض ورود فرد گیرنده به مرکز پیوند و انجام تست‌های اولیه، عمل جراحی پیوند عضو آغاز شود [۲] و [۸]. در این مقاله به‌منظور انتقال اعضا از بیمارستان‌های اهدا به مراکز پیوند عضو از سیستم‌های حمل‌ونقل زمینی همچون آمبولانس‌ها و هوایی شامل بالگرد و هواپیما بهره گرفته می‌شود. نکته قابل توجه مربوط به زمان سفر بوده که باید طبق زمان عمر اعضا برنامه‌ریزی شده و وسیله نقلیه مناسب و درخور این زمان مورد استفاده قرار گیرد. به زمان عمر اعضای پیوندی در شبکه پیوند عضو، زمان سرد ایسکمی^۵ اطلاق می‌گردد. این زمان برای اعضا مختلف متفاوت بوده و محدود به یک بازه زمانی مشخص می‌باشد [۹].

در انتخاب وسیله نقلیه مناسب، یکی دیگر از مسائل مهم مربوط به تغییرات جوی و آب‌وهوایی در طول زنجیره می‌باشد. به‌طور مثال، در زمان ارسال عضو، وجود یک پدیده جوی همچون طوفان تصمیم‌مبتنی بر استفاده از بالگرد را با ریسک بالایی روبه‌رو می‌سازد. به‌همین منظور، بررسی ریسک تغییرات آب‌وهوایی و اثرات آن بر انتخاب وسیله نقلیه مناسب جهت انتقال اعضای پیوندی با در نظرگیری زمان سرد ایسکمی، یکی دیگر از مباحث مهم در شبکه زنجیره تأمین پیوند اعضا بوده که در این مقاله به آن پرداخته شده است. وجود زمان سرد ایسکمی، تغییرات آب‌وهوایی در شبکه پیوند عضو و استفاده از انواع مختلف وسایل نقلیه، تأثیر مستقیم بر کیفیت اعضا داشته که یکی از

7. Intuitionistic fuzzy

5. Cold ischemia time

6. Multi-criteria decision-making

کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره و بیشینه‌سازی میزان افراد اهداکننده و انتخاب بهترین مکان جهت پوشش حداکثری گره‌ها ارائه شده تا با توجه به زمان سرد ایسکمی از میزان هدررفت اعضای بدن جلوگیری نماید. پس از ارائه مدل ریاضی غیرخطی، مسأله خطی‌سازی شده و پس از خطی‌سازی، تحت شرایط عدم قطعیت با رویکرد استواری قرار گرفته است. سرانجام، مدل پیشنهادی با استفاده از یک مسأله آزمایشی با استفاده از حل‌کننده CPLEX مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش دو نوع وسیله نقلیه زمینی و هوایی مورد استفاده قرار گرفته است. ساواسر و همکاران [۲۰] به بررسی سیستم لجستیک اهدای اعضای بدن پرداخته‌اند. در این پژوهش، ابتدا از روش دسته‌بندی اعضای پیوندی استفاده شده و پس از آن مدل دسته‌بندی اعضای پیوندی تحت استفاده از سیستم حمل‌ونقل بالگرد مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، مدل شبیه‌سازی شده و یک مطالعه موردی در کشور ترکیه مورد بررسی قرار گرفته است. کارگر و همکاران [۲۱] مسأله زنجیره‌تأمین پیوند اعضای بدن را مورد بررسی قرار داده و با در نظرگیری اعضای چندگانه و استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل زمینی و هوایی به ارائه مدل ریاضی پرداختند. پس از ارائه مدل پیشنهادی خطی‌سازی صورت گرفته و پس از آن مسأله با استفاده از روش استواری امکانی تحت شرایط عدم قطعیت قرار گرفته است. سرانجام مسأله با استفاده از یک مطالعه موردی در کشور ایران ارزیابی شده است. روحانی و همکاران [۲۲] به بررسی مسأله طراحی شبکه پیوند اعضای بدن پرداخته و به منظور مواجهه با عدم قطعیت، مسأله را با استفاده از رویکرد فازی مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش از اعضای چندگانه بهره گرفته شده و سرانجام به منظور اعتبارسنجی و سنجش کارایی مدل پیشنهادی از یک مطالعه موردی بهره گرفته شده است.

جدول (۱) مربوط به مرور ادبیات در سال‌های اخیر بوده که به صورت شفاف، نشان از شکاف تحقیقاتی در حوزه صف در طراحی شبکه زنجیره‌تأمین پیوند اعضای بدن دارد. علاوه بر این، مفاهیمی همچون ریسک تغییرات آب‌وهوایی و کیفیت اعضای پیوندی که هر دو بایکدیگر در تقابل بوده و می‌توانند اثر مستقیمی بر فساد اعضای پیوندی بگذارند، مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. مفهوم صف در شبکه پیوند اعضای بدن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. بدان معنا که دیر رخ دادن عمل پیوند عضو به هر دلیلی که برگرفته از مفهوم صف و تراکم باشد، می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به بار بیاورد و منجر به بروز مرگ در افراد گیرنده عضو گردد. لیست انتظار افراد گیرنده یک نمونه بارز از صف در شبکه پیوند اعضا می‌باشد که مدیریت صحیح آن و اطلاع‌رسانی مناسب در جهت ورود افراد به مراکز پیوند جهت انجام عمل پیوند عضو می‌تواند باعث حفظ کیفیت اعضا و بالا بردن سطح سلامت جامعه هدف گردد. به همین منظور، بررسی سیستم‌های صف در شبکه پیوند اعضا که باعث بالا بردن نرخ عمل پیوند عضو مؤثر

به منظور انتخاب فرد گیرنده مناسب، از رویکرد تصمیم‌گیری ترکیبی جدید جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها مبتنی بر روش‌های ارزیابی نسبت افزودنی^۱ (ARAS) و رابطه ترجیح نسبی فازی^۹ (FRPR) مبتنی بر رویکرد مهلاوات و گوینا تحت شرایط عدم قطعیت فازی شهودی بهره گرفته شده است. پس از تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی گزینه‌ها و انتخاب گیرنده مناسب، یک مدل ریاضی چندهدفه غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه می‌گردد و پس از ارائه مدل، از رویکرد برنامه‌ریزی سازشی تریابی و حسنی [۱۶] به منظور تک‌هدفه ساختن مدل، بهره گرفته می‌شود. سرانجام به منظور حل مسأله، از روش فراابتکاری بهینه‌سازی عقاب طلایی^۱ بهره گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که کلیه فرایندهای تصمیم‌گیری در این پژوهش تحت شرایط عدم قطعیت فازی شهودی قرار دارد.

در ادامه در بخش دوم به مروری بر ادبیات تحقیق، در بخش سوم به بیان تعاریف اولیه از مجموعه‌های فازی شهودی پرداخته و در بخش چهارم به بیان روش تصمیم‌گیری پیشنهادی و مدل ریاضی خواهیم پرداخت. بخش پنجم به روش حل مسأله پرداخته و در بخش ششم به حل یک مثال کاربردی خواهیم پرداخت. در انتها، در بخش هفتم به نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی می‌پردازیم.

۲. مرور ادبیات

در این بخش به بیان تحقیقات صورت گرفته در حوزه پیوند اعضا و سیستم‌های سلامت پرداخته و پس از تشریح مقالات، به بیان و بررسی شکاف تحقیقات و نوآوری‌های مسأله در حال بررسی پرداخته می‌شود. در حوزه سیستم‌های سلامت یکی از انواع تسهیلات غیراضطراری سلامت مربوط به تسهیلات پیوند اعضا می‌باشد. در این راستا، بلین و همکاران [۱۷] به بیان طراحی زنجیره‌تأمین اهدای اعضای بدن پرداخته و در این مقاله مکان‌یابی مناسب تسهیلات پیوند اعضا در طول شبکه پیوند عضو را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. این مسأله اعضا را به صورت چندگانه در نظر گرفته و به صورت کلی همه اعضای قابل پیوند را مورد بررسی قرار داده است. همچنین، در این پژوهش از یک نوع وسیله نقلیه هوایی بهره گرفته شده و فقط هوایی را مورد ارزیابی قرار داده است. پس از ارائه مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط، مسأله توسط نرم‌افزار گمز و حل‌کننده CPLEX حل شده است. در تحقیقی دیگر، کارسو و دنیل [۱۸] مسأله شبکه پیوند اعضا را مورد بررسی قرار داده و پس از ارائه مدل ریاضی از روش لاگرانژ بهره گرفته و مسأله را حل نمودند. در این پژوهش، انواع مختلف روش‌های حمل‌ونقل زمینی و هوایی مورد بررسی قرار گرفته است. در انتها از سه نوع مثال عددی بهره گرفته شده تا میزان کارآمدی مدل پیشنهادی و روش ارائه شده، مورد ارزیابی قرار گیرد. در مقاله‌ای دیگر، آقازاده و همکاران [۱۹] به بررسی مسأله مکان‌یابی و تخصیص در زنجیره‌تأمین پیوند اعضای بدن پرداخته و به این منظور یک مدل ریاضی دوهدفه مبتنی بر

10. Golden eagle optimization

8. Additive ratio assessment

9. Relative preference relation

می‌باشد، مورد ارزیابی پژوهشگران نبوده است. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم قطعیت و با استفاده از رویکرد فازی شهودی یکی از مهم‌ترین نقاط قوت مقاله حاضر می‌باشد که کمک شایان توجهی به سیستم اهدای عضو و انتخاب مناسب‌ترین فرد گیرنده عضو از میان داوطلبان با میزان وخامت حال متفاوت نماید. همچنین، این پژوهش به بررسی ریسک تغییرات آب‌وهوایی و اثر آن بر وسیله نقلیه مورد نیاز پرداخته و اثر آن بر زمان سرد ایسکمی و کیفیت اعضای بدن را مورد ارزیابی قرار داده است. سرانجام، مفهوم صف نیز مورد ارزیابی بوده که کمک قابل ملاحظه‌ای به حفظ جان انسان‌ها و تسهیل فرایند پیوند اعضای بدن می‌کند.

و کاهش خسارات جانی می‌گردد، از درجه اهمیت بالایی برخوردار است. این مورد می‌تواند با مدیریت میزان تراکم در تسهیل پیوند عضو، فرایند پیوند اعضای بدن را تسهیل نماید. در ادامه، همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، مفهوم تغییرات آب‌وهوایی و کیفیت اعضای بدن جهت پیوند درجه‌ی اهمیت بالایی داشته که این دو مفهوم با استفاده از یک تعریف مشخص از زمان سرد ایسکمی به یکدیگر مرتبط شده‌اند. به‌همین منظور تغییرات جوی می‌تواند منجر به تغییر آبی وسیله نقلیه حمل‌کننده عضو متناسب با شرایط جوی شده که در کنار کاهش ریسک سفر، کیفیت محصول را نیز تا حد مناسبی حفظ نماید. همچنین، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری جهت انتخاب فرد گیرنده مناسب اعضای بدن، که یکی از دغدغه‌های مهم در شبکه پیوند اعضا

جدول (۱): مروری بر تحقیقات صورت گرفته

مرجع	اعضا		وسيله نقلیه		تغییرات جوی	کیفیت	صف	عدم قطعیت		روش‌های تصمیم‌گیری	روش‌های حل		
	تکی	چند تایی	تکی	زمینی				هواییما	بالگرد			فازی	احتمالی
[۱۷]	*	*	*									*	
[۲]	*	*	*	*								*	
[۸]	*	*	*	*	*							*	
[۱۸]	*	*	*	*	*							*	
[۱۹]	*	*	*	*	*			*				*	
[۲۰]	*	*	*	*	*							*	
[۲۱]	*	*	*	*	*			*				*	
[۲۲]	*	*	*	*	*		*					*	
مقاله حاضر	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

تعریف ۱ [۲۶]. مجموعه فازی شهودی به صورت کلی شامل یک تابع عضویت $\mu_{\bar{A}}(x_i)$ ، یک تابع عدم عضویت $v_{\bar{A}}(x_i)$ و یک تابع تردید $\pi_{\bar{A}}(x_i)$ می‌باشد. روابط میان این سه تابع به صورت روابط (۲) و (۳) در مجموعه فازی شهودی (۱) می‌باشد.

$$\bar{A} = \{x_i, \mu_{\bar{A}}(x_i), v_{\bar{A}}(x_i) | x_i \in A\} \quad (۱)$$

$$\mu_{\bar{A}}(x_i) + v_{\bar{A}}(x_i) \leq 1 \quad (۲)$$

$$\pi_{\bar{A}}(x_i) = 1 - \mu_{\bar{A}}(x_i) - v_{\bar{A}}(x_i) \quad (۳)$$

تعریف ۲ [۲۷] و [۲۸]. کلیه اپراتورهای محاسباتی در فضای IF برای دو مجموعه A و B به صورت زیر می‌باشد.

$$A \oplus B = \left\{ \left\langle x, \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x), v_A(x) \cdot v_B(x), \pi_A(x) + \pi_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x) - v_A(x) v_B(x) \right\rangle \right\} \quad (۴)$$

$$A \otimes B = \left\{ \left\langle x, \mu_A(x) \cdot \mu_B(x), v_A(x) + v_B(x) - v_A(x) \cdot v_B(x), \pi_A(x) + \pi_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x) - v_A(x) v_B(x) \right\rangle \right\} \quad (۵)$$

$$A^R = \{ \langle x, \mu_A(x)^R, 1 - (1 - v_A(x)^R) | x \in A \rangle, R > 0; \} \quad (۶)$$

$$AR = \{ \langle x, 1 - (1 - \mu_A(x))^R, v_A(x) | x \in A \rangle, R > 0; \} \quad (۷)$$

تعریف ۳ [۲۹]. نرمال‌سازی طبق روابط (۸) و (۹) محاسبه می‌شود. رابطه (۸) برای شاخص سود و (۹) برای شاخص هزینه صادق است.

۳. تعاریف اولیه

در این بخش به تعاریف و فرمول‌بندی‌های پایه‌ای در مبحث فازی شهودی می‌پردازیم. از مزایای استفاده از فازی شهودی می‌توان به بهره‌مندی از مفاهیم توابع عضویت، عدم عضویت و تردید به‌طور هم‌زمان اشاره کرد. همچنین، این روش یکی از روش‌های کارآمد در جهت مواجهه با عدم قطعیت در بسیاری از صنایع مختلف است [۲۳]. روش فازی شهودی به دلیل سازوکار خود دارای قابلیت مناسب و پویا در جهت مقابله با عدم قطعیت در مسائل تصمیم‌گیری با رویکردهای متفاوت است [۲۴]. از مجموعه فازی شهودی زمانی استفاده می‌شود که نیاز به افزایش دقت در کمی‌سازی عدم قطعیت با اضافه کردن تابع عدم عضویت داشته باشیم. همچنین مجموعه فازی شهودی فرصت مدل‌سازی دقیق مسأله را براساس دانش و مشاهدات موجود فراهم می‌کند. وجود تابع تردید در کنار مفاهیم عضویت و عدم عضویت در فازی شهودی، از دیگر مزایای این روش بوده که باعث افزایش میزان دقت و نزدیک شدن مسأله با شرایط موجود در دنیای واقعی می‌شود؛ همین موضوع باعث می‌گردد تا تصمیمات اخذ شده در این شرایط از درجه دقت و صحت بالاتری برخوردار باشد [۲۵].

در ادامه این تعاریف و فرمول‌بندی‌ها ارائه شده است:

گام ۵. محاسبه ماتریس نرمال وزن‌دهی شده به صورت رابطه (۱۴).

$$\tilde{Q}_{ij} = [\tilde{\zeta}_{ij} \otimes \tilde{\omega}_j] \\ = \begin{pmatrix} \tilde{\zeta}_{11} \otimes \tilde{\omega}_1 & \dots & \tilde{\zeta}_{1n} \otimes \tilde{\omega}_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\zeta}_{m1} \otimes \tilde{\omega}_m & \dots & \tilde{\zeta}_{mn} \otimes \tilde{\omega}_n \end{pmatrix} \quad (14)$$

گام ۶. محاسبه تابع ارزش بهینگی به صورت رابطه (۱۵).

$$\tilde{\Psi}_i = \sum_{j=1}^m \tilde{Q}_{ij} \quad (15)$$

گام ۷. محاسبه درجه مطلوبیت گزینه‌ها بر اساس تابع ارزش بهینگی

$$(\tilde{\Psi}_i) \text{ و } (\tilde{\Psi}_0) \text{ تابع ارزش بهینگی بهینه } (\tilde{\Psi}_0).$$

رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس معیار \tilde{U}_i .

$$U_i = \frac{\tilde{\Psi}_i}{\tilde{\Psi}_0} \quad (16)$$

گام ۸. استفاده از روش ترکیبی و جدید بر اساس روش مهلاوات و گویتا [۳۱] و FRPR.

روش FRPR به منظور جلوگیری از پیچیدگی و مقایسات زوجی استفاده می‌گردد.

گام ۱.۸. محاسبه مقدار RPR برای هر گزینه.

$$RP_{ij} \quad (17)$$

$$= \sum_{k=1}^K T_{P^*}(\tilde{N}_{ij}^k, \tilde{Q}_{ij}) \\ = \frac{1}{2} [T_{P^*}(\tilde{N}_{ij}^k, \tilde{Q}_{ij}) + T_{P^*}(\tilde{N}_{ij}^k, \tilde{Q}_{ij})] \\ = \left(\frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\sum_{k=1}^K (\mu_{ij}^k - \bar{\mu}_{ij})}{2 |E_{ij}^{\mu}|} + 1 \right) \right] \right) \\ = \left(\frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\sum_{k=1}^K (v_{ij}^k - \bar{v}_{ij})}{2 |E_{ij}^{\nu}|} + 1 \right) \right] \right)$$

$$|E_{ij}^{\mu}| = \begin{cases} \frac{\sum_{j=1}^n (e_j^{+\mu} - e_j^{-\mu})}{2} & \text{if } e_j^{+\mu} \geq e_j^{-\mu} \\ \frac{\sum_{j=1}^n (e_j^{+\mu} - e_j^{-\mu})}{2} - 2(e_n^{+\mu} - e_1^{+\mu}) & \text{if } e_j^{+\mu} < e_j^{-\mu} \end{cases} \quad (18)$$

$$|E_{ij}^{\nu}| = \begin{cases} \frac{\sum_{j=1}^n (e_j^{+\nu} - e_j^{-\nu})}{2} & \text{if } e_j^{+\nu} \geq e_j^{-\nu} \\ \frac{\sum_{j=1}^n (e_j^{+\nu} - e_j^{-\nu})}{2} - 2(e_n^{+\nu} - e_1^{+\nu}) & \text{if } e_j^{+\nu} < e_j^{-\nu} \end{cases} \quad (19)$$

$$e_j^{+\mu} = \max_i \mu_{ij}, e_j^{-\mu} = \min_i \mu_{ij} \quad (20)$$

$$e_j^{+\nu} = \max_i v_{ij}, e_j^{-\nu} = \min_i v_{ij} \quad (21)$$

گام ۲.۸. محاسبه تابع ضعف بر اساس رابطه (۲۲).

$$V_{ij} = \sum_{k=1}^K T_{P^*}(\tilde{Q}_{ij}, \tilde{N}_{ij}^k) \quad \forall i \neq m \quad (22)$$

گام ۳.۸. محاسبه ماتریس قوی و ضعیف وزنی با استفاده از روابط (۲۳)

$$\text{و } (24).$$

$$T_{ij}^k = \frac{x_{ij}^k - \min_{k \in K} x_{ij}^k}{\max_{k \in K} x_{ij}^k - \min_{k \in K} x_{ij}^k} \quad (8)$$

$$T_{ij}^k = \frac{\max_{k \in K} x_{ij}^k - x_{ij}^k}{\max_{k \in K} x_{ij}^k - \min_{k \in K} x_{ij}^k} \quad (9)$$

سایر فرمول‌بندی‌ها از مرجع [۳۰] کسب شده و در بخش روش رتبه‌بندی پیشنهادی ارائه می‌گردد.

۴. متدولوژی پیشنهادی

در این بخش به ارائه روش محاسبه نرم جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها پرداخته می‌شود و در این راستا، مجموعه شاخص‌ها $(C_j, \forall j)$ $(1, \dots, n)$ ، مجموعه گزینه‌ها $(A_i, \forall i = 1, \dots, m)$ و مجموعه تصمیم‌گیرندگان $(DM_k, \forall k = 1, \dots, k)$ تعریف می‌شود. وزن معیارها از طریق خبرگان به صورت کمی تعیین شده است. در ادامه، ترکیبی از روش‌های ARAS و روش مهلاوات و گویتا [۳۱] مبتنی بر FRPR تحت شرایط عدم قطعیت بر مبنای مجموعه فازی شهودی ارائه شده که به محاسبه امتیاز و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌پردازد و دارای مزایای زیر است [۳۲]، [۳۳]، [۳۴] و [۳۵]:

- رابطه مستقیم و متناسب با وزن معیارها تحت شرایط عدم قطعیت فازی شهودی
- پتانسیل رسیدگی به مسائل بسیار پیچیده در کم‌ترین زمان تحت شرایط عدم قطعیت فازی شهودی
- وجود فرایندهای مستقیم و آسان که نتایج رضایت‌بخش، واقعی و نسبتاً دقیقی را در ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف تحت شرایط عدم قطعیت فازی شهودی به همراه دارد.

گام‌های این روش به صورت زیر می‌باشد.

گام ۱. ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری اولیه مبتنی بر نظر خبرگان

$$\tilde{\delta}_{ij}^k = \begin{pmatrix} \tilde{\delta}_{11}^k & \dots & \tilde{\delta}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\delta}_{m1}^k & \dots & \tilde{\delta}_{mn}^k \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} [\tilde{\mu}_{11}^k, \tilde{\nu}_{11}^k] & \dots & [\tilde{\mu}_{1n}^k, \tilde{\nu}_{1n}^k] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ [\tilde{\mu}_{m1}^k, \tilde{\nu}_{m1}^k] & \dots & [\tilde{\mu}_{mn}^k, \tilde{\nu}_{mn}^k] \end{pmatrix} \quad (10)$$

گام ۲. محاسبه ماتریس نرمال شده مبتنی بر تعریف ۳ و روابط (۸) و (۹).

$$\tilde{N}_{ij}^k = \begin{pmatrix} \tilde{N}_{11}^k & \dots & \tilde{N}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{N}_{m1}^k & \dots & \tilde{N}_{mn}^k \end{pmatrix} \quad (11)$$

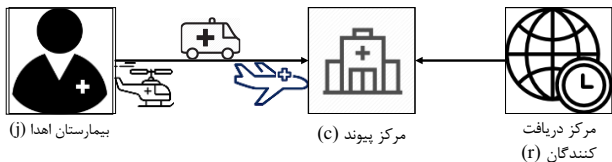
گام ۳. محاسبه ماتریس نرمال تصمیم‌گیری تلفیق شده (ζ_{ij}) با استفاده از رابطه (۱۲) بر مبنای وزن خبرگان (W^k)

$$\zeta_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K W^k \otimes \tilde{N}_{ij}^k}{\sum_{k=1}^K W^k} \quad (12)$$

گام ۴. اخذ وزن شاخص‌ها بر مبنای نظر خبرگان (ω_j^k) و تلفیق آن‌ها به صورت رابطه (۱۳).

$$\tilde{\omega}_j = \frac{\sum_{k=1}^K \omega_j^k}{k} \quad (13)$$

میزان کیفیت اعضای پیوندی ارائه شده و به‌منظور کاهش میزان مرگ‌ومیر، در سطح مراکز پیوند به بررسی و تحلیل سیستم‌های صف با رویکرد M/M/C پرداخته است. استفاده از سیستم صف می‌تواند به کنترل میزان زمان انتظار افراد در مرکز پیوند پرداخته و میزان خسارت‌های وارده به سیستم را که برگرفته از انتظار افراد است، کاهش داده و کنترل نماید.



شکل (۱): شبکه پیشنهادی پیوند اعضا

جدول (۲): درصد ریسک تغییرات آب‌وهوایی بر وسیله نقلیه

وضعیت جوی	درصد ریسک	وسایل نقلیه در دسترس
آفتابی	۰٪	زمینی، هواپیما، بالگرد
ابری	۴۵٪	زمینی، هواپیما
بارانی	۷۵٪	زمینی، هواپیما
برفی	۹۵٪	زمینی، هواپیما

۴-۲. مدل‌سازی ریاضی

در این بخش به ارائه مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط پیشنهادی پرداخته می‌شود. مدل ریاضی پیشنهادی براساس مدل پایه‌ای ظهیری و همکاران [۸] ارائه گردیده است. به‌عنوان توسعه در پژوهش حاضر برای فرایند طراحی شبکه پیوند اعضای بدن و نزدیک شدن مسأله به شرایط موجود در دنیای واقعی، در این مدل تابع هدف کیفیت در کنار محدودیت‌های مربوط به ریسک تغییرات آب‌وهوایی و الزامات صف ارائه شده است. در ادامه مفروضات مسأله ارائه می‌گردد. این دسته مفروضات براساس تحقیقات صورت گرفته در ادبیات ارائه گردیده است [۲]، [۳۷] و [۳۸].

- مکان دریافت‌کنندگان مشخص می‌باشد.
 - مراکز پیوند دارای محدودیت در ظرفیت و منابع می‌باشند.
 - هر وسیله نقلیه‌ای می‌تواند به بیمارستان‌ها تخصیص یابد.
 - هر عضو پس از جداسازی آماده ارسال بوده و به محض دریافت، پیوند آغاز می‌شود.
 - زمان سرد ایسکمی برای هر عضو متفاوت است.
- مجموعه‌ها
- j شاخص مربوط به بیمارستان‌های اهدا
 - c شاخص مربوط به مراکز پیوند
 - r شاخص مربوط به مراکز دریافت‌کننده
 - m شاخص مربوط به انواع اعضای بدن
 - q شاخص مربوط به انواع وسایل نقلیه
 - p شاخص مربوط به دوره زمانی
 - n شاخص مربوط به مناطق مشترک میان مراکز پیوند و بیمارستان‌های اهدا

$$RP_i = \sum_{j=1}^n RP_{ij} \otimes \bar{\omega}_j \quad (23)$$

$$V_i = \sum_{j=1}^n V_{ij} \otimes \bar{\omega}_j \quad (24)$$

گام ۴.۸. محاسبه شاخص مجموع کارایی از طریق رابطه (۲۵).

$$TP_i = \frac{RP_i}{RP_i + v_i} \quad (25)$$

گام ۹. محاسبه امتیاز نهایی و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها.

$$C_i = \alpha U_i + (1 - \alpha) TP_i \quad (26)$$

رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها بر مبنای نزولی می‌باشد. در این پژوهش مقدار C کمتر از ۰/۹ به‌عنوان دریافت‌کننده مناسب انتخاب نمی‌گردد.

۴-۱. تعریف مسأله

در این بخش به تعریف مسأله و ارائه مدل‌سازی ریاضی مسأله پرداخته می‌شود. این مسأله شامل سه سطح از شبکه پیوند اعضا بوده که در سطح اول آن بیمارستان‌های اهدا قرار دارند. افراد دچار مرگ مغزی و یا داوطلب اهدای عضو، پس از تأیید سلامت عمومی اعضای بدن جهت پیوند، مورد عملیات جداسازی اعضای بدن قرار گرفته و کلیه اعضا به مراکز پیوند عضو در سطح بعدی منتقل می‌گردند. همچنین، با هماهنگی‌های صورت گرفته توسط واحد فراهم‌آوری اعضا، افراد مناسب گیرنده نیز، جهت پیوند به مراکز پیوند فراخوانده می‌شوند. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، به‌منظور انتخاب افراد مناسب جهت پیوند، از یک روش محاسباتی نرم بهره گرفته می‌شود که مبتنی بر مفهوم تصمیم‌گیری چندمعیاره تحت شرایط عدم قطعیت فازی شهودی است. پس از انتخاب فرد گیرنده مناسب، عمل پیوند عضو با ورود فرد گیرنده به مرکز پیوند آغاز می‌شود. انتخاب فرد گیرنده مناسب تحت شرایط عدم قطعیت فازی شهودی انجام می‌گردد که به طبع موجب افزایش درجه‌ی واقع‌گرایی روش پیشنهادی جهت مواجهه و کنترل عدم قطعیت مسأله می‌شود. در این بخش یک ماتریس تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم قطعیت با رویکرد مجموعه فازی شهودی ارائه شده است؛ این ماتریس، شاخص‌های مربوط به شبکه پیوند اعضا را مورد ارزیابی قرار داده و سرانجام گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌نماید. روش تصمیم‌گیری پیشنهادی تحت شرایط عدم قطعیت فازی شهودی به دنبال انتخاب بهترین منطقه جهت انتخاب مراکز پیوند اعضای بدن می‌باشد. در ادامه، شکل (۱) شبکه پیشنهادی مسأله را ارائه می‌دهد. در این مسأله از سه نوع وسیله نقلیه جهت انتقال اعضا بهره گرفته شده که منطبق با تغییرات جوی و آب‌وهوایی بهره‌گیری از آنان دست‌خوش تغییر می‌شود. میزان ریسک تغییرات آب‌وهوایی در جدول (۲) قابل مشاهده می‌باشد [۳۶]. با تغییر وضعیت جوی و برآورد میزان ریسکی بودن شرایط، مدل ریاضی تصمیم به انتخاب وسیله نقلیه مناسب گرفته و یا وسیله نقلیه را تغییر می‌دهد تا اعضای بدن را به سلامت و در زمان مناسب و با کیفیت مورد پذیرش به مرکز پیوند منتقل نماید. همان‌طور که گفته شد، تغییر در وسیله نقلیه منطبق با زمان سرد ایسکمی بوده و می‌تواند اثرگذاری بر کیفیت نهایی اعضا داشته باشد. این مسأله با سه هدف کاهش هزینه‌های شبکه، زمان‌های موجود در شبکه و افزایش

<p>۱ اگر مرکز پیوند r به عضو m تجهیز شود، در غیر این صورت •</p> <p>۱ اگر بیمارستان اهدا j توسط وسیله نقلیه q در دوره p تجهیز شود، در غیر این صورت •</p> <p>۱ اگر منطقه مشترک n به عضو m تجهیز باشد، در غیر این صورت •</p> <p>۱ اگر اولین تسهیل موجود در منطقه مشترک n مجهز به عضو m باشد، در غیر این صورت •</p> <p>۱ اگر دومین تسهیل موجود در منطقه مشترک n مجهز به عضو m باشد، در غیر این صورت •</p> <p>۱ اگر بیمارستان اهدا j به عضو m و وسیله نقلیه q در دوره p مجهز باشد، در غیر این صورت •</p> <p>۱ اگر بیمارستان اهدا j عضو m را با وسیله نقلیه q به مرکز پیوند r در دوره p منتقل کند، در غیر این صورت •</p> <p>۱ اگر بیمارستان اهدا j عضو m را به مرکز پیوند r در دوره p منتقل کند، در غیر این صورت •</p> <p>۱ اگر مرکز پیوند r عضو m را با وسیله نقلیه q توسط بیمارستان اهدا j در دوره p دریافت کند، در غیر این صورت •</p> <p>۱ اگر بیمارستان اهدا j توسط وسیله نقلیه q در دوره p خدمت بگیرد، در غیر این صورت •</p> <p>جریان عضو m از بیمارستان j به مرکز r در دوره p جریان افراد از مناطق دریافت کننده c به مرکز r که به عضو m در دوره p تجهیز می‌باشد میانگین مدت زمان متناسب که مرکز r به عضو m که در دوره p مشغول می‌شود احتمال آن که فرایند ثابت در مرکز پیوند r از برای عضو m در زمان p باشد مدت زمان انتظار عضو m در صف مرکز r در دوره p طول صف عضو m در مرکز r در دوره p مجموع تعداد بیمارستان‌های اهدا مجموع تعداد مراکز پیوند</p>	<p>a'_{rm}</p> <p>x_{qj}^p</p> <p>G_{nm}</p> <p>a_{nm}</p> <p>\hat{a}_{nm}</p> <p>∇_{mjq}^p</p> <p>Δ_{jrmq}^p</p> <p>α_{jrm}^p</p> <p>∂_{jrmq}^p</p> <p>ω_{jq}^p</p> <p>xt_{jrm}^p</p> <p>X_{crm}^p</p> <p>ρ_{rmp}</p> <p>π_{rmp}</p> <p>WQ_{rmp}</p> <p>L_{kot}</p> <p>NI</p> <p>NK</p>	<p>شاخص مربوط به حمل و نقل زمینی</p> <p>شاخص مربوط به حمل و نقل هوایی</p> <p>شاخص مربوط به حمل و نقل بالگرد</p> <p>شاخص مربوط به وضعیت آب‌وهوایی</p> <p>پارامترها</p> <p>هزینه استقرار بیمارستان اهدا در مکان کاندید j</p> <p>هزینه استقرار مرکز پیوند در مکان کاندید r</p> <p>هزینه تجهیز بیمارستان j به عضو پیوندی m</p> <p>هزینه ارائه وسایل نقلیه q به بیمارستان j</p> <p>هزینه حرکت از بیمارستان j به مرکز پیوند r</p> <p>هزینه حرکت از منطقه c به مرکز پیوند r</p> <p>هزینه‌های نگهداری تسهیلات مشترک در منطقه مشترک n</p> <p>زمان عملیات جداسازی عضو m در بیمارستان j</p> <p>زمان سرد ایسکمی عضو m</p> <p>تعداد بیماران مراجعه‌کننده به بیمارستان j در دوره زمانی p</p> <p>نرخ انتخاب بیماران جهت اهدا در بیمارستان j در دوره زمانی p</p> <p>مجموع تقاضای مراکز دریافت کننده c برای عضو m در دوره زمانی p</p> <p>میانگین تعداد عضو m تعبیه شده برای بیمارستان j در دوره زمانی p</p> <p>بیش‌ترین ریسک تغییرات جوی A برای وسایل نقلیه q</p> <p>ریسک تغییرات جوی A بر روی وسیله نقلیه q در دوره زمانی p</p> <p>کم‌ترین سطح رضایت‌مندی در مراکز c جهت تقاضای عضو پیوندی m</p> <p>عدد بزرگ</p> <p>سرعت وسایل نقلیه q</p> <p>فاصله میان بیمارستان اهدا j و مرکز پیوند r</p> <p>کیفیت عضو m</p> <p>نرخ خدمت‌دهی در مرکز r توسط عضو m در دوره p</p> <p>تعداد خدمت دهنده در مرکز r</p>	<p>q_g</p> <p>q_a</p> <p>q_h</p> <p>A</p> <p>E_j</p> <p>E_r</p> <p>r_{jm}</p> <p>rO'_{rm}</p> <p>c_{qj}</p> <p>ct_{jr}</p> <p>C_{cr}</p> <p>f_n</p> <p>\hat{T}_{jm}</p> <p>IS_m</p> <p>s_j^p</p> <p>u_j^p</p> <p>Dem_{cm}^p</p> <p>M_{jm}^p</p> <p>$MRisk_{qA}$</p> <p>R_{qA}^p</p> <p>W_{cm}</p> <p>M</p> <p>S_q</p> <p>dis_{jr}</p> <p>Q_m</p> <p>μ_{rm}^p</p> <p>C_r</p> <p>متغیرها</p> <p>l_j</p> <p>\hat{l}_r</p> <p>a_{rm}</p>
---	--	---	--

در ادامه، مدل ریاضی پیشنهادی ارائه می‌گردد:

$$\begin{aligned}
 MinOFV1 = & \sum_i^J E_j l_j + \sum_r^R \hat{E}_r \hat{l}_r + \sum_m^M \sum_i^J r_{jm} a_j \\
 & + \sum_m^M \sum_r^R rO'_{rm} a'_{rm} + \sum_p^P \sum_j^J \sum_q^Q c_{qj} x_{qj}^p \\
 & + \sum_p^P \sum_m^M \sum_r^R \sum_c^C ct_{jr} xt_{jrm}^p \\
 & + \sum_p^P \sum_m^M \sum_r^R \sum_c^C C_{cr} X_{crm}^p - \sum_m^M \sum_n^N f_n G_{nm}
 \end{aligned} \tag{27}$$

$$MinOFV2 = \sum_p^P \sum_m^M \sum_r^R \sum_i^J \hat{T}_{jm}(xt_{jrm}^p)$$

$$\partial_{jrmq}^p \leq \hat{l}_r \quad \forall j, m, r, q, p \quad (57)$$

$$\sum_m^M \sum_p^P \partial_{jrmq}^p = \sum_m^M \sum_p^P \Delta_{jrmq}^p \quad \forall j, r, q \quad (58)$$

$$\sum_j^J \sum_p^P x_{qj}^p \leq 1 \quad \forall q \quad (59)$$

$$\sum_j^J \sum_r^R \sum_p^P p \cdot \partial_{jrmq}^p \quad \forall m, q \quad (60)$$

$$- \sum_j^J \sum_r^R \sum_p^P p \cdot \Delta_{jrmq}^p \leq IS_m$$

$$\frac{1}{IS_m} \left(\sum_j^J \sum_r^R \sum_p^P p \cdot \partial_{jrmq}^p - \sum_j^J \sum_r^R \sum_p^P p \cdot \Delta_{jrmq}^p \right) \quad \forall m, q \quad (61)$$

$$\sum_r^R \sum_m^M \sum_p^P xt_{jrm}^p \geq l_j \quad \forall j, m, q, p \quad (62)$$

$$\sum_r^R \sum_m^M \sum_p^P xt_{jrm}^p \geq \hat{l}_r \quad \forall j, m, q, p \quad (63)$$

$$\rho_{rmp} = \frac{X_{crm}^p}{C_r \mu_{rm}^p} \quad \forall m, c, r, p \quad (64)$$

$$R_{rmp} = \frac{X_{crm}^p}{\mu_{rm}^p} \quad \forall m, c, r, p \quad (65)$$

$$\pi_{rmp} = \left\{ \sum_{n=0}^{C_r-1} \frac{R_{rmp}^n}{n!} + \frac{C_r R_{rmp}^{C_r}}{C_r! (C_r - R_{rmp})} \right\}^{-1} \quad \forall m, c, r, p \quad (66)$$

$$WQ_{rmp} = \frac{\left(\frac{X_{crm}^p}{\mu_{rm}^p} \right)^{C_r} \mu_{rm}^p}{(C_r - 1)! (C_r \mu_{rm}^p - X_{crm}^p)^2} \pi_{rmp} \quad \forall m, c, r, p \quad (67)$$

$$L_{rmp} = X_{crm}^p W_{rmp} \quad \forall m, c, r, p \quad (68)$$

$$l_j, \hat{l}_r, a_{jm}, \hat{a}_{rm}, x_{qj}^p, G_{nm}, \Delta_{jrmq}^p, \partial_{jrmq}^p, \alpha_{iko}^t, \nabla_{mj}^p \in \{0,1\} \quad \forall j, r, m, q, p, n \quad (69)$$

$$xt_{jrm}^p, X_{crm}^p, \rho_{rmp}, R_{rmp}, \pi_{rmp}, W_{rmp}, L_{rmp} \geq 0, Integer \quad \forall j, r, m, c, p \quad (70)$$

تابع هدف اول به دنبال کمینه‌سازی کلیه هزینه‌ها و تابع هدف دوم به دنبال کمینه‌سازی کلیه زمان‌های شبکه می‌باشد. تابع هدف سوم به دنبال بیشینه‌سازی کیفیت عضو نهایی است. رابطه (۳۰) و (۳۱) بیان می‌دارد که در صورت وجود بیمارستان اهدا و مرکز پیوند، هر دو مجهز به عضو پیوندی باشند. رابطه (۳۲) و (۳۳) بیان می‌کند که یک مرکز پیوند و یک بیمارستان اهدا وجود دارد که هر عضو را درمان می‌کند. رابطه (۳۴) بیان می‌دارد که با تخصیص وسیله نقلیه به بیمارستان، عضو به مرکز پیوند منتقل گردد. رابطه (۳۵) بیان می‌کند که با تخصیص عضو به مرکز پیوند، ارتباط میان مراکز پیوند موجه ایجاد گردد. این رابطه بیان‌کننده کران بالای جریان می‌باشد. رابطه (۳۶) بیان می‌کند که با مجهز شدن بیمارستان اهدا به عضو پیوندی، جریان میان بیمارستان و مرکز موجه می‌گردد. رابطه (۳۷) بیان‌کننده بالانس میان عرضه و تقاضا بوده و رابطه (۳۸) بیان می‌کند که میزان تقاضای ارضا شده توسط اعضای تأمین شده به اندازه W_{cm} درصد می‌باشد.

$$+ \sum_p^P \sum_m^M \sum_r^R \sum_j^J p \Delta_{ikov}^t + \sum_p^P \sum_j^J \sum_r^R \partial_{rmp} W_{rmp} \quad (28)$$

$$Max OFV3 = \frac{1 - \frac{\partial_{jrmq}^p + \Delta_{jrmq}^p}{IS_m}}{\Delta_{jrmq}^p} \quad (29)$$

$$s.t. \quad a_{jm} \leq l_j \quad \forall j, m \quad (30)$$

$$\hat{a}_{rm} \leq \hat{l}_r \quad \forall r, m \quad (31)$$

$$\sum_j^J a_{jm} \geq 1 \quad \forall m \quad (32)$$

$$\sum_r^R \hat{a}_{rm} \geq 1 \quad \forall m \quad (33)$$

$$\sum_r^R \sum_m^M xt_{jrm}^p \leq M \sum_q^Q x_{qj}^p \quad \forall j, p \quad (34)$$

$$xt_{jrm}^p \leq s_j^p M_{jm}^p u_j^p \hat{a}_{rm} \quad \forall j, r, m, p \quad (35)$$

$$\sum_r^R xt_{jrm}^p \leq s_j^p M_{jm}^p u_j^p a_{jm} \quad \forall j, m, p \quad (36)$$

$$\sum_c^C X_{crm}^p = \sum_j^J xt_{jrm}^p \quad \forall c, m, p \quad (37)$$

$$\sum_r^R X_{crm}^p = WP_{cm} Dem_{cm}^p \quad \forall c, m, p \quad (38)$$

$$G_{nm} \leq a_{nm} \quad \forall n, m \quad (39)$$

$$G_{nm} \leq \hat{a}_{nm} \quad \forall n, m \quad (40)$$

$$a_{nm} + \hat{a}_{nm} - G_{nm} \leq 1 \quad \forall n, m \quad (41)$$

$$\sum_j^J l_j = NI \quad (42)$$

$$\sum_r^R \hat{l}_r = NK \quad (43)$$

$$\omega_{jqh}^p \leq MRisk_{qA} - R_{qhA}^p \quad \forall q, p, q_h \quad (44)$$

$$\omega_{jqg}^p \leq MRisk_{qA} - R_{qgA}^p \quad \forall q, p, q_g \quad (45)$$

$$\omega_{jq_a}^p \leq MRisk_{qA} - R_{q_aA}^p \quad \forall q, p, q_a \quad (46)$$

$$\sum_m^M \nabla_{mj}^p \geq x_{qj}^p \quad \forall v, i, t \quad (47)$$

$$\nabla_{mj}^p \leq a_{jm} \quad \forall j, m, q, p \quad (48)$$

$$\nabla_{oiv}^t \leq x_{qj}^p \quad \forall j, m, q, p \quad (49)$$

$$xt_{jrm}^p \leq M \cdot \alpha_{jrm}^p \quad \forall j, m, q, p \quad (50)$$

$$\alpha_{jrm}^p = \sum_q^Q \Delta_{jrmq}^p \quad \forall j, m, q, p \quad (51)$$

$$\nabla_{oiv}^t = \sum_r^R \Delta_{jrmq}^p \quad \forall j, m, q, p \quad (52)$$

$$\sum_p^P p \cdot \partial_{jrmq}^p \geq \sum_p^P \left(p + \frac{dis_{jr}}{S_q} \right) \cdot \Delta_{jrmq}^p \quad \forall j, m, q, p \quad (53)$$

$$\Delta_{jrmq}^p \leq x_{qj}^p \quad \forall j, m, r, q, p \quad (54)$$

$$\Delta_{jrmq}^p \leq \hat{l}_r \quad \forall j, m, r, q, p \quad (55)$$

$$xt_{jrm}^p \geq \alpha_{iko}^t \quad \forall j, m, q, p \quad (56)$$

در نظرگیری الزامات و فرمول‌بندی‌های صف از نوع رده سخت بوده و به منظور حل باید از روش‌های فراابتکاری استفاده شود [۴۰]، [۴۱]، [۴۲] و [۴۳]. در نتیجه، پس از تعریف مسأله و مدل ریاضی پیشنهادی به منظور حل مسأله، مدل تک‌هدفه معادل با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی عقاب طلایی حل می‌شود.

الگوریتم عقاب طلایی: این الگوریتم یک الگوریتم برمبنای اکتشاف و بهره‌برداری می‌باشد. عقاب‌های طلایی ابتدا طعمه‌های خود را شناسایی کرده و پس از شناسایی به جست‌وجو طعمه‌های دیگر می‌پردازد. در فرایند جست‌وجو، عقاب طلایی طعمه‌های خود و طعمه‌های دیگر عقاب‌ها را کشف کرده و پس از شناسایی در حافظه خود نگه می‌دارد. پس از اتمام مرحله‌ی جست‌وجو، ارزیابی طعمه‌ها صورت می‌گیرد. ارزیابی طعمه‌ها می‌تواند از روی طعمه‌های خود عقاب و طعمه‌های عقاب‌های دیگر صورت گیرد. حافظه‌ی عقاب به صورت دقیق مکان طعمه‌ها را ثبت کرده و در اختیار عقاب قرار می‌دهد. پس از عملیات اکتشاف که در آن جست‌وجو و ارزیابی طعمه‌ها وجود داشت، عقاب شروع به بهره‌برداری می‌کند. بهره‌برداری به عملیات حمله شروع می‌گردد. در این فرایند، عقاب طلایی بهترین طعمه را انتخاب کرده که به عنوان جواب بهینه مسأله تلقی می‌شود. حرکت عقاب طلایی در فرایند گشت‌وگذار و حمله به صورت مارپیچی بوده و حرکت آن به صورت شکل (۲) می‌باشد. این الگوریتم یک روش مبتنی بر فرایند جست‌وجوی تصادفی بوده و یک رویکرد نوین در جهت یافتن جواب بهینه‌ی مسأله بهینه‌سازی بوده و با استفاده از یک فرایند برگرفته از رفتار طبیعت، مسأله را در یک محیط تصادفی مورد بررسی قرار می‌دهد [۴۴]. این الگوریتم در ابتدا با ایجاد یک محیط تصادفی به ارائه پاسخ‌های اولیه پرداخته و پس از اکتشاف جواب‌های موجه مسأله به بهره‌برداری از پاسخ‌های موجه با ارزیابی مناسب پرداخته و جواب بهینه را محاسبه می‌نماید.

مراحل این الگوریتم به شرح زیر می‌باشد:

۱. ایجاد جمعیت اولیه عقاب‌های طلایی
۲. محاسبه تابع برازش
۳. ایجاد حافظه برای جمعیت
۴. ایجاد دو پارامتر p_a و p_c
۵. به‌روزرسانی دو پارامتر ذکر شد به‌ازای هر تکرار با استفاده از رابطه‌ی (۷۵) و (۷۶).

$$p_a = p_a^0 + \frac{t}{T} |p_a^T - p_a^0| \quad (75)$$

$$p_c = p_c^0 + \frac{t}{T} |p_c^T - p_c^0| \quad (76)$$

۶. انتخاب تصادفی طعمه براساس حافظه جمعیت

۷. محاسبه‌ی بردار تهاجم براساس رابطه (۷۷)

$$A_i = X_f^* - X_i \quad (77)$$

۸. در این رابطه X_f^* بهترین مکان بوده و X_i جایگاه فعلی عقاب می‌باشد. در صورت صفر نشدن طول بردار تهاجم، بردارهای گشت‌وگذار و بردار مرحله (ΔX_i) طبق فرمول‌های (۷۸)–(۸۰) و (۸۱)–(۸۳) به ترتیب محاسبه می‌شود. در این فرمول‌ها h_j پارامتری از بردار

(۳۹)–(۴۱) بیان‌کننده روابط مربوط به منطقه مشترک است. رابطه (۴۲) و (۴۳) تعداد بیمارستان‌های اهدا و مراکز پیوند را محاسبه کرده و رابطه (۴۴)–(۴۶) ریسک تغییرات جوی و اثر آن بر سیستم حمل‌ونقل را محاسبه می‌کند. رابطه (۴۷)–(۵۰) به بیان تجهیز بودن بیمارستان اهدا به وسیله نقلیه و انتقال عضو به مرکز پیوند است. رابطه (۵۱) بیان می‌کند که بیمارستان اهدا جهت ارسال عضو به مرکز پیوند باید به سیستم حمل‌ونقل مجهز باشد. رابطه (۵۲) ارائه دهنده جریان اعضا به مراکز پیوند بوده و رابطه (۵۳) به بیان رابطه میان سرعت وسیله نقلیه و مسافت می‌پردازد. رابطه (۵۴) نشان می‌دهد که لازمه انتقال عضو از بیمارستان به مرکز پیوند، تجهیز بودن بیمارستان به وسیله نقلیه است. رابطه (۵۵) و (۵۶) به ترتیب بیان‌کننده آن است که در صورتی انتقال صورت گیرد که مرکز پیوند مکان‌یابی شده باشد و جریان میان بیمارستان و مرکز را نشان می‌دهد. محدودیت (۵۷) نشان می‌دهد که در صورت مکان‌یابی مرکز پیوند، دریافت عضو صورت گیرد. رابطه (۵۸) بیان‌گر تعادل میان ارائه و دریافت عضو می‌باشد. رابطه (۵۹) نشان می‌دهد که هر وسیله باید فقط به یک بیمارستان در یک زمان تخصیص یابد. محدودیت (۶۰) بیان می‌کند که با دریافت عضو توسط مرکز، پیوند آغاز گردد. رابطه (۶۱) کیفیت عضو را نشان می‌دهد. رابطه (۶۲) و (۶۳) بیان می‌کند که با مکان‌یابی بیمارستان و مرکز پیوند، جریان اتفاق بیفتد. روابط (۶۴) تا (۶۸) مربوط به محاسبات صف در مرکز پیوند شامل زمان انتظار و طول صف بوده و روابط (۶۹) و (۷۰) بیان‌کننده متغیرها می‌باشد.

۵. روش حل مسأله

در این بخش به منظور ادغام توابع هدف در مدل ریاضی از یک رویکرد برنامه‌ریزی سازشی مبتنی بر روش ترابی و حسنی [۱۶] بهره می‌گیریم. فرم کلی این روش شامل سه مرحله است که عبارت‌اند از:

گام ۱: تعریف درجه موجه بودن برای هر تابع هدف (φ) و محاسبه ایده‌آل مثبت و منفی.

گام ۲: محاسبه تابع عضویت برمبنای نتایج استنتاج شده از مرحله ۱.

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & 0FV_i < OFV_i^{\varphi-PIS} \\ \frac{OFV_i^{\varphi-NIS} - OFV_i}{OFV_i^{\varphi-NIS} - OFV_i^{\varphi-PIS}} & OFV_i^{\varphi-NIS} \geq OFV_i \geq OFV_i^{\varphi-PIS} \\ 0 & OFV_i > OFV_i^{\varphi-NIS} \end{cases} \quad (71)$$

گام ۳: تبدیل مدل چندهدفه به تک‌هدفه با استفاده از تابع عضویت

$$\max \xi(x) = \tau \xi_0 + (1 - \tau) \sum_i \chi_i \mu_i(x) \quad (72)$$

s.t.

$$\xi_0 \leq \mu_i(x) \quad (73)$$

$$\xi_0 \in [0,1] \quad (74)$$

محدودیت‌های مدل اصلی به آن اضافه می‌شود

در این روابط τ و χ_i معیار وزنی بوده که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌گردد $(\sum_i \chi_i = 1, \tau, \chi_i \in [0,1])$ [۳۹]. این دسته مسائل، با وجود محدودیت‌های مکان‌یابی تسهیلات و

در ادامه، گزینه‌های مسأله پنج منطقه جغرافیایی تعریف شده است که هرکدام شامل چند بخش و استان می‌باشد (A_1, \dots, A_5). جدول (۳) به تعریف متغیرهای زبانی جهت قضاوت خبرگان پرداخته است [۴۵]. پس از آن ماتریس تصمیم‌گیری میان شاخص‌ها و گزینه‌ها براساس نظر خبرگان در جدول (۴) ارائه شده است. در این بخش نتایج به دست آمده از روش تصمیم‌گیری پیشنهادی به عنوان ورودی مدل ریاضی در بخش تعداد مراکز پیوندی انتخابی وارد می‌گردد. این مورد باعث شده تا بهترین مکان‌ها جهت مراکز پیوند طبق رو پیشنهادی انتخاب گردد.

جدول (۳): مقادیر متغیرهای کلامی

مقادیر فازی شهودی	متغیر زبانی
[0.90, 0.10]	خیلی خوب (VG)
[0.85, 0.05]	خوب (G)
[0.70, 0.20]	متوسط خوب (MG)
[0.50, 0.50]	متوسط (M)
[0.40, 0.50]	متوسط ضعیف (MP)
[0.25, 0.60]	ضعیف (P)
[0.10, 0.90]	خیلی ضعیف (VP)

جدول (۴): ماتریس تصمیم‌گیری

گزینه‌ها	تصمیم گیرندگان	شاخص‌ها					
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	DM_1	VG	MG	G	VG	P	VG
	DM_2	M	G	M	P	P	P
	DM_3	M	MG	MP	P	P	P
A_2	DM_1	P	VP	M	G	M	G
	DM_2	G	G	G	G	M	G
	DM_3	G	VG	M	P	VP	P
A_3	DM_1	MG	M	M	MP	P	MP
	DM_2	G	MP	P	G	M	G
	DM_3	G	G	G	G	P	G
A_4	DM_1	G	M	P	P	M	VP
	DM_2	M	M	M	P	P	P
	DM_3	M	P	P	VG	M	M
A_5	DM_1	M	P	P	P	M	VP
	DM_2	M	MP	M	G	M	G
	DM_3	P	G	M	G	P	VG

جدول (۵) به ارائه مقدار وزن تصمیم‌گیرندگان و شاخص‌ها که اخذ شده از نظرات خبرگان است، می‌باشد. جدول (۶) به ارائه مقدار درجه مطلوبیت (U_i)، شاخص مجموع کارایی (TP_i) و امتیاز نهایی (G_i) می‌پردازد. پس از آن مشخص می‌گردد که سه گزینه ۳، ۴ و ۲ به ترتیب انتخاب می‌گردند.

پس از آن به تک‌هدفه سازی مدل پرداخته و نتایج مربوط به حل مدل با الگوریتم بهینه‌سازی عقاب طلایی ارائه می‌شود. پس از حل مسأله در حال بررسی، مقدار تابع هدف نهایی باتوجه به الگوریتم بهینه‌سازی عقاب طلایی ۰/۱۰۰۰ محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که در این پژوهش ۵ عضو جهت پیوند در نظر گرفته شده که زمان سرد ایسکمی آنان در جدول (۷) ارائه شده است [۴۶]. به منظور بررسی

نرمال بوده و x_j متغیر تصمیم می‌باشد. r_k مربوط به جایگاه k می‌باشد.

$$\sum_{j=1}^n h_j x_j = d \tag{78}$$

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j = \sum_{j=1}^n a_j^t x_j^* \tag{79}$$

$$r_k = \frac{d - \sum_{j=1}^n a_j}{a_k} \tag{80}$$

$$\Delta x_i = r_i p_a \frac{A_i}{||A_i||} + r_i p_a \frac{C_i}{||C_i||} \tag{81}$$

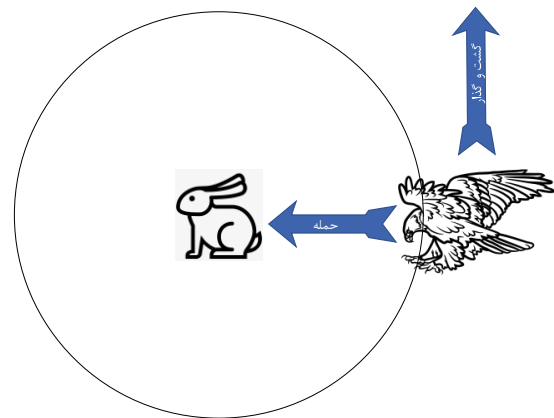
$$||A_i|| = \sqrt{\sum_{j=1}^n a_j^2}, ||C_i|| = \sqrt{\sum_{j=1}^n c_j^2} \tag{82}$$

$$x^{t+1} = x^t + \Delta x_i^t \tag{83}$$

۹. به روزرسانی مکان براساس رابطه (۸۴).

۱۰. محاسبه تابع برازش برای همه مکان‌ها

۱۱. جای‌گذاری جواب بهتر نسبت به دوره پیشین طبق حافظه انتخاب شده.



شکل (۲). حرکت مارپیچی عقاب طلایی

الگوریتم عقاب طلایی یک الگوریتم مبتنی بر رفتار عامل بوده و با دو فرایند اکتشاف و بهره‌برداری به جست‌وجوی طعمه، حفظ موقعیت آن در حافظه، ارزیابی طعمه‌ها و حمله به سمت طعمه جهت بهره‌برداری می‌پردازد. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، این الگوریتم بر مبنای ۱۱ مرحله انجام شده و پس از تکرار فرایندها، به بهترین بهینه‌ترین جواب سوق پیدا می‌کند.

۶. مثال کاربردی

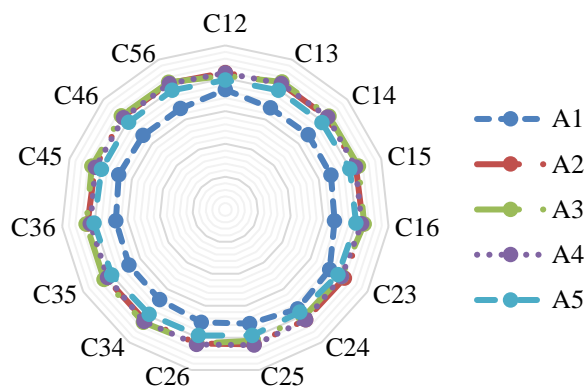
در این بخش به بیان یک مثال کاربردی جهت اعتبارسنجی روش پیشنهادی پرداخته و پس از آن به حل مدل ریاضی با الگوریتم فراابتکاری عقاب طلایی خواهیم پرداخت. در این مسأله آزمایشی، از سه خیره بهره گرفته شده است. همچنین، شش شاخص تعریف شده که عبارتند از، مدت زمان انتظار جهت پیوند (C_1)، اندازه اندام (C_2)، فاصله نسبی میان اهداکننده و گیرنده عضو (C_3)، سن افراد (C_4)، فوریت‌های پزشکی افراد گیرنده (C_5) و تطابق گروه‌های خونی (C_6).

جدول (۷): زمان سرد ایسکمی اعضای بدن

نام عضو	زمان سرد ایسکمی
کبد	۱۲ ساعت
لوزالمعده	۱۷ ساعت
کلیه	۲ ساعت
قلب	۴ ساعت
روده	۶ الی ۸ ساعت

جدول (۸): تغییرات وزن شاخص‌ها نسبت به رتبه‌بندی نهایی

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
C_{12}	۰/۱۸۲۶۱	۰/۲۰۸۶۲	۰/۲۰۳۶۷	۰/۲۰۷۸۲	۰/۱۹۷۲۸
C_{13}	۰/۱۶۹۳۲	۰/۲۰۹۶۲	۰/۲۱۲۶۳	۰/۲۰۹۷۹	۰/۱۹۸۶۵
C_{14}	۰/۱۶۹۸۸	۰/۲۰۹۴۹	۰/۲۱۲۷۲	۰/۲۰۹۸۸	۰/۱۹۸۰۳
C_{15}	۰/۱۶۹۳۷	۰/۲۰۹۱۱	۰/۲۱۳۳۴	۰/۲۰۸۶۳	۰/۱۹۹۵۴
C_{16}	۰/۱۶۷۳۳	۰/۲۱۰۸۵	۰/۲۱۲۷۱	۰/۲۰۸۸۰	۰/۲۰۰۳۲
C_{23}	۰/۱۸۳۳۶	۰/۲۰۹۳۷	۰/۲۰۴۴۷	۰/۲۰۴۵۲	۰/۱۹۸۲۹
C_{24}	۰/۱۸۷۴۳	۰/۲۰۸۰۲	۰/۲۰۲۹۰	۰/۲۰۸۱۱	۰/۱۹۳۵۵
C_{25}	۰/۱۷۷۷۴	۰/۲۱۰۰۹	۰/۲۰۴۵۰	۰/۲۱۱۳۸	۰/۱۹۶۲۹
C_{26}	۰/۱۷۵۷۵	۰/۲۰۸۸۱	۰/۲۰۸۹۵	۰/۲۱۰۳۶	۰/۱۹۶۱۳
C_{34}	۰/۱۶۹۷۳	۰/۲۰۹۳۲	۰/۲۱۲۵۵	۰/۲۱۰۵۷	۰/۱۹۷۸۳
C_{35}	۰/۱۶۹۶۲	۰/۲۰۹۴۰	۰/۲۱۳۶۳	۰/۲۰۷۴۴	۰/۱۹۹۹۱
C_{36}	۰/۱۶۷۷۵	۰/۲۱۱۳۳	۰/۲۱۳۱۷	۰/۲۰۶۸۱	۰/۲۰۰۹۴
C_{45}	۰/۱۷۱۰۱	۰/۲۰۸۵۴	۰/۲۱۴۰۴	۰/۲۰۸۰۹	۰/۱۹۸۳۲
C_{46}	۰/۱۶۸۸۷	۰/۲۱۰۸۸	۰/۲۱۳۳۳	۰/۲۰۸۵۴	۰/۱۹۸۳۸
C_{56}	۰/۱۶۸۲۵	۰/۲۱۰۶۳	۰/۲۱۲۱۴	۰/۲۱۰۲۷	۰/۱۹۸۷۲



شکل (۳): تغییرات رتبه‌بندی نسبت به تغییر وزن شاخص‌ها

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل در دنیای واقعی مربوط به مسائل بهداشت و سلامت می‌باشد. یکی از مهم‌ترین انواع عوامل بهداشتی و سلامت مربوط به سیستم‌های اهدای عضو بوده است. سیستم اهدای عضو با پیشرفت روزافزون موجب افزایش میزان امید به زندگی در سطح جوامع مختلف شده و نقص عضو را به یک امر قابل تبدیل کرده است.

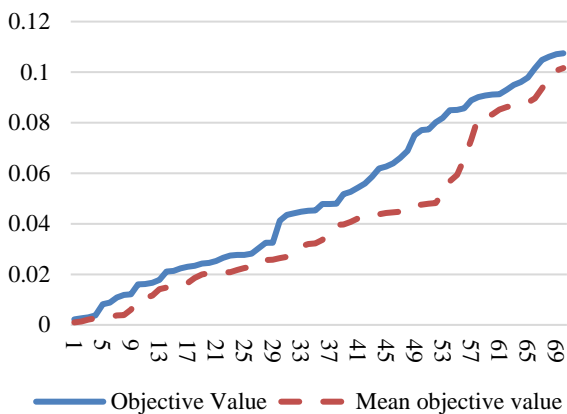
بیشتر و ارزیابی روش تصمیم‌گیری پیشنهادی، ۱۵ حالت ایجاد شده که در آن‌ها وزن معیارها بایکدیگر جابه‌جا شده است. این تغییر به این صورت می‌باشد که به‌طور مثال C_{ij} به معنای تغییر وزن شاخص i به جای j است. همان‌طور که در جدول (۸) دیده می‌شود، در بیشتر موارد گزینه سوم از دیگر گزینه‌ها در رتبه بالاتری قرار گرفته و گزینه‌های ۴ و ۲ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این مورد در شکل (۳) به‌طور واضح دیده می‌شود. همچنین، این مورد بیانگر آن است که تصمیم نهایی اخذ شده جهت ورود به مدل ریاضی در اکثر حالات یکی بوده و نشان از عدم تأثیر بالای وزن معیارها در رتبه‌بندی نهایی دارد و نتایج نهایی در کلیه حالات پایایی داشته است. در ادامه، در جدول (۹) زمان انتظار و طول صف برای هر عضو در هر دوره زمانی برای دو مرکز پیوند ۲ و ۵ که انتخاب شده‌اند، نشان داده شده است. کلیه معیارهای زمانی بر مبنای ساعت می‌باشد. شکل (۴) به بیان تأثیر تغییرات ریسک آب-وهوایی بر وسیله نقلیه انتخابی می‌پردازد. در این شکل با تغییر ریسک و افزایش آن، استفاده از وسیله نقلیه با ریسک کم‌تر افزایش یافته و استفاده از وسیله نقلیه ریسکی کاهش یافته است. همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش میزان ریسک تغییرات آب‌وهوایی از میزان استفاده از وسایل نقلیه پر ریسک همچون بالگرد و هواپیما کاسته شده و مدل ترجیحاً از روش زمینی برای حمل‌ونقل اعضای بدن استفاده می‌نماید، تا با این روش بتواند از ریسک نرسیدن عضو توسط وسیله نقلیه نامناسب بکاهد. سرانجام، به‌منظور ارزیابی کارایی الگوریتم مورد بررسی، همگرایی پاسخ‌های موجه مسأله طی ۷۰ تکرار در مقایسه با میانگین پاسخ‌های موجه قرار گرفته و نتایج نشان از نزدیک بودن این میزان همگرایی در اغلب نقاط برای تکرارهای مختلف دارد. این موضوع نشان از توانایی الگوریتم عقاب طلایی در حل مسأله موردنظر داشته و بیان می‌کند که الگوریتم مورد بررسی می‌تواند نتایج کارآمدی را ارائه دهد. این نتایج در شکل (۵) قابل مشاهده است.

جدول (۵): مقدار وزن شاخص‌ها و تصمیم‌گیرندگان

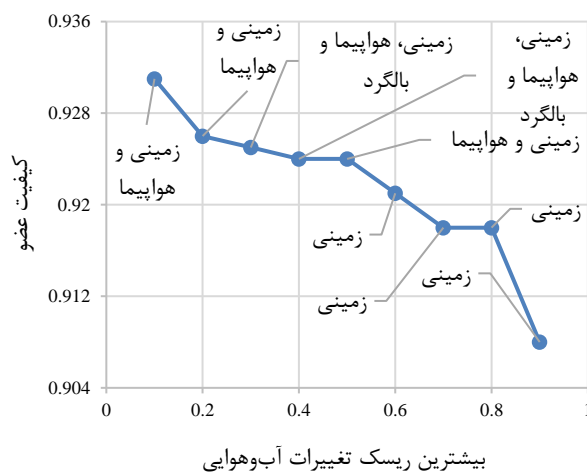
تصمیم‌گیرندگان	W^k	شاخص‌ها	\bar{w}_j
DM_1	۰/۴۱	C_1	۰/۳۶
		C_2	۰/۸۳
DM_2	۰/۲۹	C_3	۰/۳۵
		C_4	۰/۲۸
DM_3	۰/۳۰	C_5	۰/۵۱
		C_6	۰/۶۳

جدول (۶): مقادیر نهایی رتبه‌بندی

C_i	TP_i	U_i	گزینه‌ها
۰/۷۴۶۰۰	۰/۷۲۸۶۶	۰/۷۶۳۳۵	A_1
۰/۹۲۳۵۷	۰/۷۴۸۸۹	۱/۰۹۸۲۴	A_2
۰/۹۳۶۸۲	۰/۷۴۳۳۹	۱/۱۳۰۲۵	A_3
۰/۹۲۴۳۶	۰/۷۵۴۳۶	۱/۰۹۴۳۶	A_4
۰/۸۷۵۲۵	۰/۷۴۳۱۵	۱/۰۰۷۳۵	A_5



شکل (۵): همگرایی الگوریتم عقاب طلایی



شکل (۴): تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر وسیله نقلیه انتخابی

جدول (۹): میزان زمان و طول صف در مراکز پیوند

مرکز پیوند	دوره زمانی	زمان انتظار					طول صف				
		عضو ۱	عضو ۲	عضو ۳	عضو ۴	عضو ۵	عضو ۱	عضو ۲	عضو ۳	عضو ۴	عضو ۵
۱	۱	۱۱	۱۵	۱۱	۵	۴	۱۲	۱۱	۸	۱۳	
۲	۲	۱۸	۱۸	۱۵	۱۵	۲۰	۷	۹	۱۴	۱	
۳	۳	۱	۱۸	۱	۱۲	۲۰	۹	۸	۱۴	۱۳	
۱	۱	۱۵	۱۲	۱۹	۴	۳	۱۱	۶	۴	۱۲	
۵	۲	۵	۷	۶	۵	۱	۱۶	۱۵	۱۱	۱۶	
۳	۳	۱۲	۴	۱۹	۵	۱۷	۱	۱۵	۱۷	۱۴	

همچنین، استفاده از یک مدل ریاضی به منظور بررسی دقیق‌تر شرایط، از چالش‌های موجود در فرایند پیوند عضو می‌کاهد. در این مدل علاوه بر الزامات ریسک تغییرات آب‌وهوایی و در نظرگیری کیفیت اعضا بر اساس زمان سرد ایسکمی، از مدل صف $M/M/C$ در سطح مراکز پیوند عضو نیز بهره گرفته می‌شود تا با کم کردن و کنترل زمان انتظار، میزان خسارات حاصله کاهش یابد. پس از ارائه مدل ریاضی پیشنهادی، به منظور تک‌هدفه کردن مدل ریاضی از یک روش برنامه‌ریزی سازشی استفاده می‌شود. این روش از یک فرایند تک‌هدفه‌سازی مسأله استفاده کرده و پس از تک‌هدفه‌سازی مسأله، به حل مسأله تک‌هدفه با رویکرد نوین الگوریتم فراابتکاری عقاب طلایی می‌پردازد. این الگوریتم از دو بخش کلی اکتشاف و بهره‌برداری تشکیل شده که در ابتدا با شناسایی جواب‌های تصادفی به ارزیابی آن‌ها پرداخته و پس از شناسایی جواب موجه و مناسب به بهره‌برداری می‌پردازد و جواب بهینه را به دست می‌آورد. در انتها، به منظور اعتبارسنجی روش پیشنهادی و روش حل استفاده شده در مقاله، از یک مثال کاربردی نیز بهره گرفته می‌شود. در این میان، به منظور سنجش میزان کارایی روش تصمیم‌گیری پیشنهاد شده، ۱۵ حالت مختلف از تغییرات وزنی در شاخص‌ها را بررسی کرده و اثرات آن بر نتیجه نهایی رتبه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج در اکثر موارد تغییر نداشته و گزینه سوم رتبه بالاتری را کسب کرده و گزینه‌های ۴ و ۲ در رتبه‌های بعدی انتخاب می‌شوند.

به صورت کلی، یک شبکه زنجیره تأمین پیوند اعضای بدن، شامل بیمارستان‌های اهدا شده که افراد مرگ مغزی و یا فرد داوطلب در آن قرار دارند. پس از انجام آزمایشات و جداسازی اعضا، عضوهای مناسب پیوند با هماهنگی واحد فراهم‌آوری اعضا به مراکز پیوند با استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل منتقل می‌گردند. در این مقاله از سه نوع وسیله نقلیه زمینی، هواپیما و بالگرد بهره گرفته شده و به منظور بهره‌گیری از آنان با توجه به تغییرات آبی جوی، ریسک تغییرات آب‌وهوایی ارائه شده است. پس از ارسال اعضا و آمدن افراد گیرنده به مرکز پیوند، عملیات پیوند شروع می‌گردد. انتخاب فرد گیرنده مناسب با اولویت بالا از میان افرادی که نیازمند عضو جهت بقا و ادامه زندگی می‌باشند، فرایند سختی بوده که برعهده‌ی واحد فراهم‌آوری اعضای بدن قرار گرفته است. این واحد از میان افراد موجود در لیست انتظار باید دست به انتخاب فرد مناسب بزند و این امکان وجود دارد که در لیست انتظار تمامی فاکتورهای اولویت‌بندی میان بیماران بایکدیگر در چند مورد مشترک باشد. همین موضوع انتخاب فرد گیرنده را سخت‌تر می‌کند. در این راستا، در این پژوهش به منظور انتخاب بهترین و مناسب‌ترین فرد گیرنده، از یک روش تصمیم‌گیری نوین تحت شرایط عدم قطعیت فازی شهودی بهره گرفته شده و پس از انتخاب گیرنده مناسب، مدل ریاضی برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه می‌گردد. ارائه روش تصمیم‌گیری با رویکرد فازی و در نظرگیری عدم اطمینان موجود در دنیای واقعی از مهم‌ترین نقاط قوت این مقاله می‌باشد.

- Doyle, M. B. M. (2019). Organ procurement center allows for daytime liver transplantation with less resource utilization: may address burnout, pipeline, and safety for field of transplantation. *American Journal of Transplantation*, 19(5), 1296-1304.
- [5] Çay, P. (2012). *Organ transplantation logistics: case for Turkey* (Doctoral dissertation, Bilkent University).
- [6] Thompson, D., Waisanen, L., Wolfe, R., Merion, R. M., McCullough, K., & Rodgers, A. (2004). Simulating the allocation of organs for transplantation. *Health care management science*, 7(4), 331-338.
- [7] Kazemeyni, S. M., Bagheri, C. A., & Heidary, A. R. (2004). Worldwide cadaveric organ donation systems (transplant organ procurement).
- [8] Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Mohammadi, M., & Jula, P. (2014). Multi-objective design of an organ transplant network under uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 72, 101-124.
- [9] Ponticelli, C. E. (2015). The impact of cold ischemia time on renal transplant outcome. *Kidney international*, 87(2), 272-275.
- [10] Sturmberg, J. P., Churilov, L., & McDonnell, G. (2013). Modelling. In *Handbook of systems and complexity in health* (pp. 81-111). Springer, New York, NY.
- [11] Valls, A., Moreno, A., & Sánchez, D. (2002). A Multi-Criteria Decision Aid Agent Applied to the Selection of the Best Receiver in a Transplant. In *ICEIS* (pp. 431-438).
- [12] La Scalia, G., Aiello, G., Rastellini, C., Micale, R., & Cicalese, L. (2011). Multi-criteria decision-making support system for pancreatic islet transplantation. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 3091-3097.
- [۱۳] گلزار راغب، سعید، موسوی، سید میثم، گیتی نورد، حسین، وحدانی، بهنام. (۲۰۱۶). مدل تصمیم‌گیری گروهی سازشی فازی تردیدی با در نظر گرفتن وزن تصمیم‌گیران به منظور ارزیابی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های تولیدی (صنعت کشتی‌سازی). *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، ۴(۷)، ۹۳-۱۰۳.
- [14] Zhang, H. C., & Huang, S. H. (1994). A fuzzy approach to process plan selection. *The international journal of production research*, 32(6), 1265-1279.
- [15] Gao, J., Guo, F., Ma, Z., & Huang, X. (2021). Multi-criteria decision-making framework for large-scale rooftop photovoltaic project site selection based on intuitionistic fuzzy sets. *Applied Soft Computing*, 102, 107098.
- [16] Torabi, S. A., & Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy sets and systems*, 159(2), 193-214.
- [17] Beliën, J., De Boeck, L., Colpaert, J., Devesse, S., & Van den Bossche, F. (2013). Optimizing the facility location design of organ transplant centers. *Decision Support Systems*, 54(4), 1568-1579.
- این موضوع نشان از عدم وابستگی رتبه‌بندی به تغییرات وزنی شاخص‌ها و پایایی روش تصمیم‌گیری پیشنهادی دارد. همچنین، تحلیل بر پارامتر اصلی مسأله مربوط به تغییرات آب‌وهوایی انجام شده تا میزان اثر آن بر شبکه پیوند عضو به‌صورت شفاف و دقیق مشخص گردد. تحلیل ریسک تغییرات آب‌وهوایی نشان می‌دهد که وسیله نقلیه زمینی دارای ریسک کم‌تری بوده و سیستم تمایل به استفاده از این وسیله در بیشتر زمان‌ها دارد. همان‌طور که پیداست، با افزایش ریسک آب‌وهوایی، مدل ریاضی به‌دنبال انتخاب وسیله نقلیه مناسب با کم‌ترین ریسک و بیش‌ترین کارایی پرداخته و وسیله نقلیه مناسب را انتخاب می‌نماید. در ادامه بر روی پارامترهای مربوط به صف شامل زمان انتظار و طول صف در ابعاد مختلف، بررسی‌هایی انجام گرفته که مشخص گردید، زمان انتظار و طول صف پس از انتخاب مراکز پیوند چه اندازه می‌باشد. تحلیل‌های صورت گرفته بر مدل صف نشان می‌دهد که زمان انتظار و طول صف بایکدیگر در تعامل مستقیم بوده است. در انتها یک تحلیل بر روی همگرایی جواب‌های الگوریتم در تعداد تکرارهای بالا صورت گرفته که میزان مناسبی از همگرایی و کارایی الگوریتم را نشان می‌دهد.
- به‌منظور پیشنهاد جهت تحقیقات آتی می‌توان از تطابق گروه‌های خونی جهت پیوند اعضای بدن استفاده کرده که این مورد می‌تواند رضایت افراد گیرنده را به‌همراه داشته و میزان تقاضای بیشتری را پوشش دهد. همچنین با پیوند اعضای دارای تطابق خونی، زمان عمل پیوند کاهش داشته و کیفیت عضو مناسب‌تر حفظ می‌شود. به‌علاوه، می‌توان از ترکیب شبکه پیوند اعضا و خون در کنار هم به‌منظور پیوند عضو استفاده نمود. چراکه به‌منظور پیوند اعضای بدن یکی از الزامات اساسی مربوط به تزریق خون به فرد گیرنده عضو می‌باشد. روش‌های دیگر فازی در بخش تصمیم‌گیری بهره گرفته و روش حل را با مقاله حاضر مقایسه نمود. همچنین می‌توان از سطوح بیش‌تر در شبکه بهره برده تا مسأله هر چه بیش‌تر به موقعیت واقعی نزدیک گردد. سرانجام می‌توان از دیگر روش‌های حل فراابتکاری استفاده کرد.

مراجع

- [1] Vong, G. (2017). The ethical asymmetry between a head. body transplant and multiple organ transplants: overall health, justice, and risk. *AJOB Neuroscience*, 8(4), 217-219.
- [2] Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Pishvaei, M. S. (2014). A robust possibilistic programming approach to multi-period location-allocation of organ transplant centers under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 139-148.
- [3] Neumann, U. P., Langrehr, J. M., Kaisers, U., Lang, M., Schmitz, V., & Neuhaus, P. (2002). Simultaneous splenectomy increases risk for opportunistic pneumonia in patients after live transplantation. *Transplant international*, 15(5), 226-232.
- [4] Lindemann, J., Dageforde, L. A., Brockmeier, D., Vachharajani, N., Scherer, M., Chapman, W., &

- [33] Büyüközkan, G., & Güler, M. (2020). Smart watch evaluation with integrated hesitant fuzzy linguistic SAW-ARAS technique. *Measurement*, 153, 107353.
- [34] Dorfeshan, Y., Mousavi, S. M., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2021). A New Enhanced ARAS Method for Critical Path Selection of Engineering Projects with Interval Type-2 Fuzzy Sets. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 20(1), 37-65.
- [35] Ghenai C, Albawab M, Bettayeb M (2019) Sustainability indicators for renewable energy systems using multi-criteria decision-making model and extended SWARA/ARAS hybrid method. *Renew Energy* 146:580-597
- [36] Matzarakis, A., Blazejczyk, K., & Amelung, B. (2007). Climate change and tourism assessment and coping strategies. *Freiburg: Maastricht-Warsaw*.
- [37] Ha, J. W., & Kim, S. J. (1997). Solid Organ Transplantation in Korea: 1996. *The Journal of the Korean Society for Transplantation*, 11(2), 183-130.
- [38] Valls, A., & Moreno, A. (2003). Assisting the Spanish Organ Transplant Coordination Process with Multi-Agent Systems. In *Applications of Software Agent Technology in the Health Care Domain* (pp. 181-197). Birkhäuser, Basel.
- [39] Mosallaeipour, S., Mahmoodirad, A., Niroomand, S., & Vizvari, B. (2018). Simultaneous selection of material and supplier under uncertainty in carton box industries: a fuzzy possibilistic multi-criteria approach. *Soft computing*, 22(9), 2891-2905.
- [۴۰] حاجی سلطانی، مهدی، سیف برقی. (۲۰۲۰). ارائه مدلی چندهدفه برای مکان‌یابی-تخصیص سیستم‌های مراقبت سلامت پیش‌گیرانه با تقاضای احتمالی. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۱(۱۶)، ۱۵-۳۷.
- [41] Golabi, M., Izbirak, G., & Arkat, J. (2018). Multiple-server facility location problem with stochastic demands along the network edges. *Journal of Engineering Research*, 6(4).
- [42] Karimi-Mamaghan, M., Mohammadi, M., Pirayesh, A., Karimi-Mamaghan, A. M., & Irani, H. (2020). Hub-and-spoke network design under congestion: A learning based metaheuristic. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142, 102069.
- [43] Shakil, M., Fuad Yousif Mohammed, A., Arul, R., Bashir, A. K., & Choi, J. K. (2019). A novel dynamic framework to detect DDoS in SDN using metaheuristic clustering. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, e3622.
- [44] Mohammadi-Balani, A., Nayeri, M. D., Azar, A., & Taghizadeh-Yazdi, M. (2021). Golden eagle optimizer: A nature-inspired metaheuristic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 152, 107050.
- [45] Rouyendegh, B. D., Yildizbasi, A., & Üstünyer, P. (2020). Intuitionistic fuzzy TOPSIS method for green supplier selection problem. *Soft Computing*, 24(3), 2215-2228.
- [46] Nemes, B., Gámán, G., Polak, W. G., Gelley, F., [18] Caruso, V., & Daniele, P. (2018). A network model for minimizing the total organ transplant costs. *European Journal of Operational Research*, 266(2), 652-662.
- [19] Aghazadeh, S. M., Mohammadi, M., & Naderi, B. (2018). Robust bi-objective cost-effective, multi-period, location-allocation organ transplant supply chain. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 29(1), 17-36.
- [20] Savaşer, S., Kınay, Ö. B., Kara, B. Y., & Cay, P. (2019). Organ transplantation logistics: a case for Turkey. *OR Spectrum*, 41(2), 327-356.
- [21] Kargar, B., Pishvae, M. S., Jahani, H., & Sheu, J. B. (2020). Organ transportation and allocation problem under medical uncertainty: A real case study of liver transplantation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 134, 101841.
- [22] Rouhani, S., Pishvae, M., & Zarrinpoor, N. (2021). A fuzzy optimization approach to strategic organ transplantation network design problem: A real case study. *Decision Science Letters*, 10(3), 195-216.
- [23] Anukokila, P., Anju, A., & Radhakrishnan, B. (2019). Optimality of intuitionistic fuzzy fractional transportation problem of type-2. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 26(1), 519-530.
- [24] Ejegwa, P. A., Akubo, A. J., & Joshua, O. M. (2014). Intuitionistic fuzzy set and its application in career determination via normalized Euclidean distance method. *European scientific journal*, 10(15).
- [25] Khatibi, V., & Montazer, G. A. (2009). Intuitionistic fuzzy set vs. fuzzy set application in medical pattern recognition. *Artificial Intelligence in Medicine*, 47(1), 43-52.
- [26] Atanassov, K., & Gargov, G. (1989). Interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 31(3), 343-349.
- [27] Atanassov, K. T. (1994). New operations defined over the intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and Systems*, 61(2), 137-142.
- [28] Xu, Z., & Yager, R. R. (2006). Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets. *International journal of general systems*, 35(4), 417-433.
- [29] Yue, Z. (2014). Aggregating crisp values into intuitionistic fuzzy number for group decision making. *Applied Mathematical Modelling*, 38(11-12), 2969-2982.
- [30] Liu, N., & Xu, Z. (2021). An overview of ARAS method: Theory development, application extension, and future challenge. *International Journal of Intelligent Systems*, 36(7), 3524-3565.
- [31] Mehlatat, M. K., & Gupta, P. (2016). A new fuzzy group multi-criteria decision-making method with an application to the critical path selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(5-8), 1281-1296.
- [32] Heidary Dahooie, J., Beheshti Jazan Abadi, E., Vanaki, A. S., & Firoozfar, H. R. (2018). Competency-based IT personnel selection using a hybrid SWARA and ARAS-G methodology. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 28(1), 5-16.

the complications and outcomes of liver transplantation. *Expert review of gastroenterology & hepatology*, 10(7), 841-859.

Hara, T., Ono, S., & Eguchi, S. (2016). Extended-criteria donors in liver transplantation Part II: reviewing the impact of extended-criteria donors on



DOI: 10.22084/IER.2021.25077.2051

A New Intuitionistic Fuzzy Multi-Criteria Decision-making Method for Designing Organ Transplantation Supply Chain Network Problem: Golden Eagle Metaheuristic Algorithm

S. Salimian¹, S.M. Mousavi^{2*}

¹ Ph.D. Candidate, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 June 2021

Accepted 21 August 2021

Keywords:

Multi-criteria decision-making

Intuitionistic fuzzy

Transplant network design

Compromise solution

Golden eagle algorithm

ABSTRACT

In today's world, organ donation has been identified as a life-giving process worldwide and has been welcomed by many people in different societies. This process can increase the people's quality of life in various countries and also increase the level of social security. In this study, to investigate the issue of organ donation, a supply chain network is presented that includes three sections: donation hospitals, transplant centers, and recipient zones. Besides, to make the appropriate decision to select the best receiver, a new multi-criteria decision-making (MCDM) method is used under intuitionistic fuzzy conditions. Then the proposed mathematical model is presented. In this model, the requirements of climate change and its effects on the transportation system, the quality of organs affected by cold ischemic time, and queuing in transplant centers are examined. A new decision-making method to select the best type of organ recipient and benefit from mathematical modeling provides to apply the issues of organ quality, climate change risk, and the concept of queuing that are the strengths points and innovations of this paper. Then, after presenting the model, using a compromise solution approach, the proposed multi-objective model with the objectives of cost, time, and quality of the organs becomes an equivalent one-objective model. Then, a golden eagle meta-heuristic algorithm is used to solve the problem. Finally, a practical example validates the decision-making method and the proposed mathematical model.

* Corresponding author. SM. Mousavi

Tel.:021-51212091; E-mail address: sm.mousavi@shahed.ac.ir