Archive of SID

چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۲۷ ـ پاییز ۱۳۹۶
ص‌ص ۱۷۷ – ۱۵۱

ارائه یک مدل ریاضی چندهدفه برای تخصیص اعضای پیوندی به بیماران در شبکه زنجیره تأمین پیوند اعضای ایران

بهاره کارگر*، میرسامان پیشوایی**، فرناز برزین‌پور***

چکیده

از زیرمجموعه‌های اساسی حوزه سلامت، می‌توان به پیوند اعضا اشاره کرد که در بسیاری از مواقع تنها راه درمان برای بیماری‌های لاعلاج و کشنده محسوب می‌شود. طراحی و ارزیابی سیاست‌های عادلانه و کارای تخصیص و توزیع اعضای پیوندی یکی از پیچیده‌ترین مشکلات تصمیم‌گیری در سطح برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت است؛ از این‌رو در این پژوهش، یک مدل ریاضی چنددوره‌ای برای تخصیص اعضا پیوندی که از اهداکنندگان مرگ مغزی فراهم می‌شود، با درنظرگرفتن تغییر وضعیت سلامتی بیماران، ارائه شده است. مدل چندهدفه، علاوه با افزایش بقای کل و افزایش توجه به نیاز پزشکی بیماران، به‌منظور کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل در جهت توازن بین کارایی و برابری برای انتخاب مناسب‌ترین گیرنده ارائه می‌شود؛ سپس مدل با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی فازی اولویت‌بندی شده، حل می‌شود. در پایان، برای اثبات کارایی و کاربردی‌بودن مدل ارائه شده نتایج آن با استفاده از داده‌های شبکه پیوند اعضا مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین پیوند اعضا؛ تخصیص عضو؛ کارایی؛ برابری؛ برنامه‌ریزی آرمانی فازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۲۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۷

* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.
** استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران (نویسنده مسئول).
E-mail: pishvaee@iust.ac.ir
*** دانشیار، دانشگاه علم و صنعت ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

امروزه پیوند عضو یکی از راه‌های درمان بیماری‌های نارسایی کلیه و مشکلات حاد کبدی است؛ از سوی دیگر طی دو دهه اخیر، تعداد بیمارانی که در فهرست انتظار اعضای پیوندی قرار داشته‌اند، در سراسر جهان رشد زیادی داشته است و ایران نیز از این قضیه مستثنی نیست. پیشرفت‌های تکنیکی در زمینه پزشکی و جراحی، موجب برطرف‌شدن بسیاری از موانع موجود برای انجام یک پیوند موفق شده است؛ اما هنوز برخی موانع باقی مانده‌اند که یکی از آن‌ها کمبود عضو برای انجام پیوند است. شکاف بزرگی میان اهداکنندگان و افراد در نوبت انتظار وجود دارد و سالانه رشدی نموی به خود می‌گیرد؛ از این‌رو فهرست‌های انتظار طولانی سبب مرگ‌ومیر برخی نیازمندان به پیوند عضو می‌شود. این در حالی است که طبق آمار مربوط به «اداره پیوند و بیماری‌های خاص وزارت بهداشت کشور» حدود ۲۵۰۰۰ نفر در فهرست انتظار هستند و نیز از این تعداد روزانه بین ۷ تا ۱۰ نفر جان خود را از دست می‌دهند [۱۷]؛ بنابراین با توجه به کمبود اعضای پیوندی، فرایند پیوند عضو باید به‌صورت کامل، سازماندهی و مدیریت شود. یکی از راهکارهای محبوب در مطالعات سال‌های اخیر برای طراحی شبکه پیوند عضو، استفاده از تکنیک‌های جدید بهینه‌سازی ریاضی است. طراحی شبکه پیوند عضو با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی ریاضی موجب مدیریت یکپارچه‌ی فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی این شبکه در سطوح مختلف استراتژیک، اصلی و عملیاتی می‌شود.

زمانی که عضو پیوندی از یک اهداکننده آماده می‌شود، ممکن است هزاران گیرنده در دسترس و سازگار (از نظر سازگاری پزشکی) برای دریافت عضو در فهرست انتظار باشند؛ ازاین‌رو یافتن گیرنده مناسب عضو، باتوجه به کمبود اعضای پیوندی و تعداد زیاد افراد در فهرست انتظار اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. بیماران سازگار برای دریافت عضو اهداشده، معمولاً بر اساس یک سیستم امتیازدهی اولویت‌بندی می‌شوند. در حال حاضر در کشور ایران، مدلی ساخت‌یافته و قابل‌اعتماد برای تخصیص اعضای پیوندی وجود ندارد.

اغلب (۹۰ درصد) عضو اهدایی از فرد مرگ مغزی اهدا می‌شود [۱۷]؛ بنابراین شناسایی فرد مرگ مغزی در این سیستم بسیار حائزاهمیت است. با گذشت زمان اعضای پیوندی به‌دلیل محدودیت زمان ایسکمی (برای مثال، عضو کبد ۱۲ ساعت) قابلیت خود را از دست خواهند داد و امکان موفقیت پیوند آن‌ها کاهش می‌یابد [۲۵]؛ بنابراین باید فرد مرگ مغزی در اسرع وقت شناسایی و برای اهدای اعضا به واحدهای مربوطه منتقل شود. در کشور ایران مهارت پیوند اعضا از وضعیت مطلوبی برخوردار است؛ از طرفی تمامی شهرها از امکانات پیوند اعضا به‌صورت یکسان بهره‌مند نمی‌شوند و مشکلات مسافتی، مهم‌ترین عاملی است که پیوند اعضای بیماران در مناطق با کمبود امکانات را سخت

www.SID.ir

Archive of SID

می‌سازد. تا جایی که در برخی موارد اعضای پیوندی به علت مشکلات حمل‌ونقل و مسافت زیاد به بیمار مناسب نرسیده و از دست رفته‌اند.

در مسئله تخصیص عضو هدف همواره این بوده است که بین اورژانسی‌بودن و نتیجه پیوند، تعادل برقرار شود تا بهترین بهره‌مندی از اعضای پیوندی برای کلیت جامعه حاصل شود؛ به عبارت دیگر، از یک سو بر اساس دیدگاه وظیفه‌گرایانه تلاش برای نجات جان بیماران در معرض خطر جدی دراولویت می باشد و از سوی دیگر دیدگاه پیامدگرایانه تحصیل بیشترین منفعت برای بیشترین افراد را ایجاب می کند [۱۸]؛ بنابراین رسیدن به الگویی که از یک سو نجات جان بیماران اورژانسی را تضمین کند و از سوی دیگر متضمن درمان افرادی باشد که بیشترین فایده را از دریافت عضو پیوندی می‌برند، مهم‌ترین مسئله در تخصیص اعضای پیوندی است؛ از این‌رو در این پژوهش سعی بر این است که با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه به تمام ابعاد مسئله تخصیص عضو از منظر مدیریت زنجیره تأمین توجه شود و مدلی جامع به‌منظور هماهنگی فعالیت‌های گوناگون درگیر در پیوند عضو طراحی شود.

در پژوهش حاضر، یک مدل یکپارچه برای تخصیص اعضای پیوندی کبد و قلب به بیماران در نوبت انتظار عضو ارائه می‌شود. مدل ارائه‌شده با درنظرگرفتن عوامل پزشکی و لجستیکی، به‌طور هم‌زمان به افزایش بقای بیماران پیوند شده وکاهش مرگ‌ومیر بیماران فهرست انتظار و همچنین کمینه‌کردن هزینه‌های انتقال بیماران و اعضا به مراکز گوناگون پیوند در جهت توازن بین کارایی و برابری می‌پردازد. استفاده از این مدل با درنظرگرفتن محدودیت‌های فیزیکی و اقتصادی شبکه پیوند عضو، تصمیم‌گیران را در بهینه‌ترین تخصیص یاری می‌کند؛ همچنین با چنددوره‌ای درنظرگرفتن، مدل امکان تغییر وضعیت سلامتی بیماران در دوره‌های مختلف را می‌دهد و درنتیجه امکان یافتن مناسب‌ترین گیرنده در هر دوره را فراهم می‌کند.

ادامه پژوهش به شرح زیر است: در بخش دوم به مطالعات پیشین در این حوزه پرداخته خواهد شد؛ سپس در بخش سوم به تعریف مسئله پرداخته می‌شود. در بخش چهارم مدل پیشنهادی جدید برای مسئله تخصیص اعضای پیوندی شرح داده شده است. در بخش پنجم، روش حل مدل توضیح داده خواهد شد. در بخش ششم به‌منظور اعتبارسنجی و بررسی کاربرد عملی مدل ارائه شده، به ارائه یک مطالعه موردی از شبکه پیوند اعضا کشور و تحلیل نتایج آن از ابعاد مختلف پرداخته شده است. فصل ششم به نتیجه‌گیری و بیان فرصت‌های پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مدل‌های بهینه‌سازی در مسئله تخصیص عضو پیوندی در سال‌های اخیر توجه خاصی را در حوزه سلامت به خود جلب کرده است. در این بخش مدل‌ها و سیاست‌های تخصیص عضو بررسی می‌شود.

یکی از نخستین پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه پـژوهش روث و همکـاران (۱۹۸۵) اسـت [۲۱]. آن‌ها در پژوهش خود یک مدل شبیه‌سازی برای مطالعه مسئله تخصیص عضـو ارائـه کردنـد. رایتر، دیوید ویچالی (۱۹۸۹و۱۹۹۵)، یک فرمولاسیون برای مسئله تخصیص تصادفی کرده‌اند. هـدف در این مطالعات حداکثرکردن کارایی است [۲۰،۱۱]. الاگز و همکاران (۲۰۰۴)، همچنین مسئله بهینـه زمان پیوند کبد از اهداکننده زنده را در جهت حداکثرکردن تعداد سال‌های بعد از پیونـد بـا اسـتفاده از مدل تصمیم‌گیری مرحله‌ای مارکوف ارائه کرده‌اند [۶].

جریان دیگری از مطالعات بر رفتار تصمیم‌گیری بیماران با سیاست پـذیرش عضـو تمرکـز دارنـد. اهن و هرنبرگر (۱۹۹۶)، مدلی از تصمیم‌گیری مارکوف زمـان گسسسـته در راسـتای افـزایش تعـداد سال‌های بعد از پیوند را برای مسئله تخصیص کلیه توسعه داده‌اند [۳]. از دیگر پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه می‌توان به مطالعه هوارد (۲۰۰۲)، اشاره کرد، او نیـز مـدلی بـرای پـذیرش یـارد عضـو پیشنهادی بر اساس سطح سلامتی بیماران ارائه کرده است [۱۵]. سو و زنیوس (۲۰۰۵)، تأثیر انتخاب بیماران را بر تخصیص کلیه به‌وسیله یک مدل تخصـیص تصـادفی متـوالی بررسـی کـرده‌انـد [۲۳]. مطالعات مشابه دیگری توسط الاگز و همکاران و سو و همکاران (۲۰۰۶و۲۰۰۷) در این زمینـه انجـام شده است [۸ , ۲۴].

دمیرچی و همکاران (۲۰۱۲)، مدلی برای طراحی شبکه منطقه‌ای تخصیص کبد طراحی کرده‌انـد. در پژوهش قبلی آن‌ها، هدف حداکثرسازی کارایی با توجه به نرخ بقا بیماران بوده اسـت [۱۲]؛ امـا در این مدل تمرکز آن‌ها بر موازنه میان کارایی و عدالت دسترسی منطقه‌ای در فراینـد تخصـیص اسـت. برتسیماس و همکـاران (۲۰۱۳)، روشـی انعطـاف‌پـذیر بـر اسـاس سیسـتم امتیـازدهی بـا توجـه بـه محدودیت‌های عدالت و کارایی برای تخصیص کلیه به بیماران ارائه کرده‌اند. از ویژگی‌های بـارز ایـن مدل انعطاف‌پذیری آن در انتخاب این معیارها و تغییر مجموعه معیارها است [۹]. هدف در ایـن مـدل افـزایش کـارایی پزشـکی بـا درنظرگـرفتن محـدودیت‌هـای مسـاوات مـی‌باشـد. آکـان و همکـاران (۲۰۰۸و۲۰۱۲)، مدلی کارا برای تخصیص کبد به بیماران در فهرست انتظار بـه‌منظـور افـزایش رفـاه اجتماعی با توجه به وضعیت سلامتی بیماران در طول زمان، با استفاده از مدل سیال ارائه داده‌انـد [۴, ۵]. آن‌ها پس از طراحی به ارزیابی نتایج حاصل از مدل با استفاده از معیارهـای ۱. تعـداد سـال‌هـای زندگی باکیفیت بعد از پیوند، ۲. تعداد عضوهای به‌هدررفته در نتیجه رد عضـو پیشـنهادی، ۳. کـاهش

www.SID.ir

Archive of SID

مرگ و میر بیماران در فهرست انتظار پرداخته‌اند. اخیراً احمدوند و پیشوایی (۲۰۱۷) مدلی برای اولویت‌بندی تخصیص کلیه با روش تحلیل پوششی داده‌ها[۲] ارائه کرده‌اند [۲].

در همه مدل‌ها و روش‌های ارائه‌شده تخصیص اعضای پیوندی، تمرکز پژوهشگران تنها بر روی معیارهای پزشکی بوده است. این در حالی است که برای افزایش کارایی پزشکی بیماران، توجه هم-زمان به عوامل جغرافیایی، حمل‌ونقل و دیگر عوامل لجستیکی علاوه بر معیارهای پزشکی، اهمیت غیرقابل‌انکاری برای انتخاب گیرنده مناسب دارند؛ علاوه بر این، در اغلب مطالعات گذشته هدف مسئله تخصیص عضو بر اساس کارایی پزشکی و منافع حاصل از پیوند بوده و به نیاز پزشکی بیماران اورژانسی توجهی نشده است؛ همچنین تمام پژوهش‌های صورت‌گرفته دوره‌ی زمانی را به‌صورت تک‌دوره‌ای در نظر گرفته‌اند؛ حال آنکه فرض‌کردن تک‌دوره‌ای افق زمانی، به‌طور کارآمد نمی‌تواند تصمیمات میان‌مدت وکوتاه‌مدت را در زنجیره پیوند اعضا اعمال کند. آنچه این پژوهش را از سایر مطالعات مشابه متمایز می‌سازد توجه به تغییر وضعیت سلامتی بیماران در طول زمان و چند دوره‌ای درنظرگرفتن مدل به‌منظور یافتن مناسب‌ترین گیرنده برای اعضای کمیاب پیوندی در هر دوره است؛ به‌علاوه در این پژوهش سعی شده است با ادغام معیارهای پزشکی و لجستیکی، بین کارایی و برابری تعادل برقرار شود؛ به‌طوری‌که هم به نیاز بیماران و هم به منافع حاصل از پیوند توجه شود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

شرح مسئله. مهم‌ترین مسئله در برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی شبکه پیوند اعضا که برخاسته از نیاز روزافزون به اعضای پیوندی و از طرفی کمبود این منابع ارزشمند است، طراحی و ارزیابی سیاست‌های عادلانه و کارای تخصیص و توزیع اعضای فراهم‌آوری‌شده از بیماران مرگ مغزی است. نکته قابل-توجه دیگر درخصوص فرایند پیوند عضو این است که بقای عضوهایی که از بدن اهداکنندگان جدا می‌شود، محدود است و نمی‌توان برای مدت‌زمان طولانی اعضا را خارج از بدن نگهداری کرد [۲۵]. مدت زمان بقای عضو بدون گردش خون را «زمان ایسکمی» می‌گویندکه این زمان برای اعضای مختلف متفاوت است [۲۵]. پس از گذشت زمان ایسکمی، عضو برداشت‌شده از بدن اهداکننده قابل-پیوند نیست. ازآنجاکه محدوده زمانی برای نگهداری هر عضو وجود دارد، عضو موردنظر باید حداکثر تا این زمان مشخص به بدن فرد متقاضی پیوند زده شود؛ در غیر این صورت عضو عملکرد خود را از دست خواهد داد و به‌عبارتی فاسد می‌شود.

1. Data Envelopment Analysis (DEA)

www.SID.ir

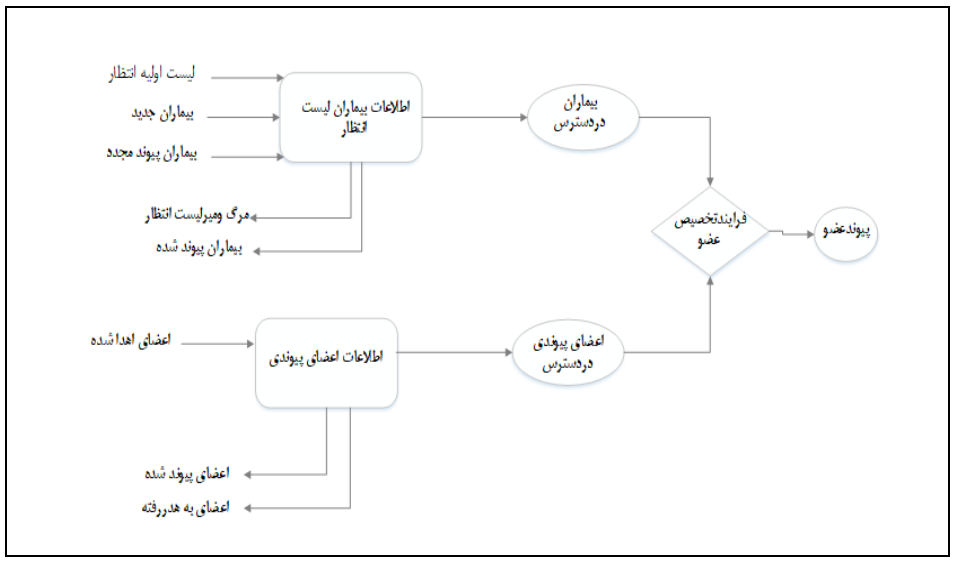
Archive of SID

یکی از چالش‌های مطرح در طراحی سیستم تخصیص عضو، توجه به اهمیت رفع سوءمدیریت‌ها و عدم‌هماهنگی‌هایی است که مسئله کمبود اعضا پیوندی را تشدید می‌کند. مواردی گزارش‌شده که در آن‌ها پس از انتخاب گیرنده مناسب، به‌علت عدم‌هماهنگی‌های لازم، گروه پزشکی و جراحی پیوند قادر به حضور در مرکز پیوند مربوطه در زمان مقرر نیستند، یا مکان جغرافیایی گیرنده، حمل‌ونقل او و یا عضو را در زمان مقرر سخت، طولانی و پرهزینه می‌کند. در چنین شرایطی گیرنده مناسب حذف شده و فرایند یافتن گیرنده دیگر دوباره شروع می‌شود. این عدم‌هماهنگی به افزایش زمان تصمیم‌گیری برای تخصیص عضو اهداشده منجر می‌شود و کیفیت عضو را به‌شدت کاهش می‌دهد. در برخی موارد این شرایط باعث ازدست‌رفتن عضو باارزش می‌شود [۱۳].

تغییرات در وضعیت سلامتی بیماران و همچنین نوسانات در عرضه اعضای پیوندی و نقش کلیدی تصمیمات میان‌مدت و کوتاه‌مدت در این حوزه، ایجاب می‌کند تا مسئله به‌صورت چنددوره‌ای در نظر گرفته شود؛ به‌طوری‌که در شروع هر دوره برنامه‌ریزی، زمان باقیمانده برای سالم‌بودن عضو محاسبه شده و به‌عنوان یکی از پارامترهای مدل وارد می‌شود؛ سپس بیماران و اعضای موجود در سیستم به‌روزرسانی می‌شود؛ به‌طوری‌که بیماران فوت‌شده و پیوندشده از دوره برنامه‌ریزی خارج شده و بیماران جدید به فهرست اضافه می‌شوند. اعضای پیوندی از زمان اعلام مرگ مغزی وارد سیستم می‌شوند و با توجه به خاصیت فسادپذیریشان تا زمان مشخصی قابل‌پیوندزدن هستند؛ درنهایت با توجه به بیماران و اعضای موجود در هر دوره و زمان دردسترس، تصمیم‌گیری برای یافتن مناسب‌ترین گیرنده صورت می‌گیرد. طرح‌واره تخصیص عضو چنددوره‌ای به‌صورت شماتیک در شکل ۱، آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. نحوه کارتخصیص عضو در هر دوره

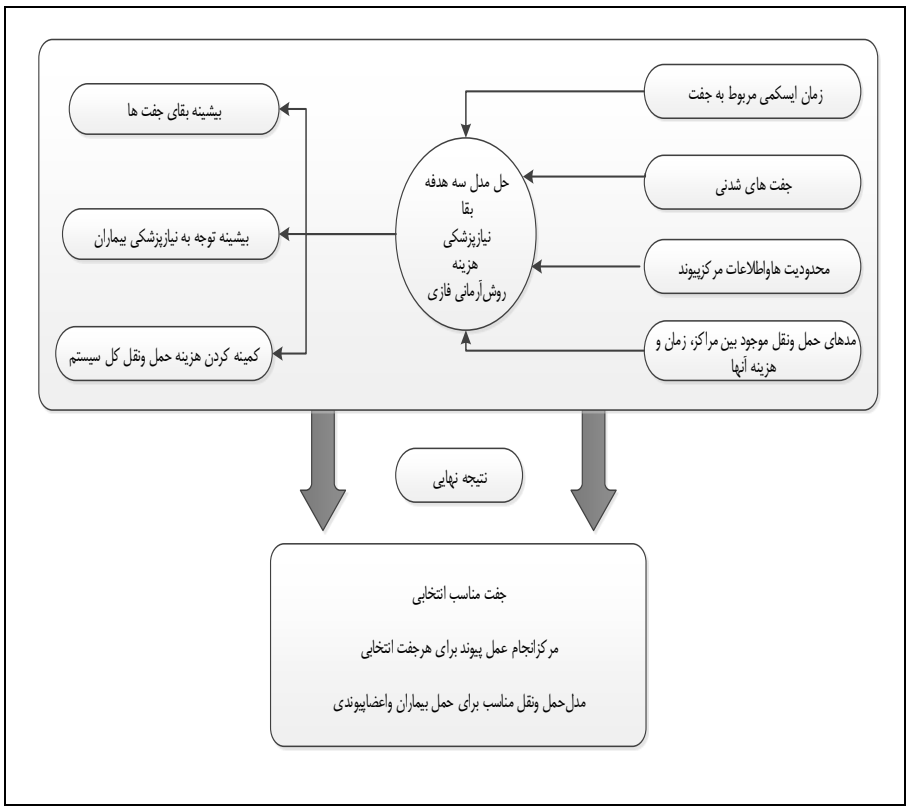
از بُعد پزشکی، کلیدی‌ترین نکته در مسئله تخصیص عضو طراحی سیستمی است که در آن هم به بقای بیمار بعد از پیوند و هم به شدت نیاز وی توجه شود. در صورت برقراری چنین مدلی، هم به نیاز نیازمندترین بیماران توجه می‌شود و هم عضو پیوندی به بیماری تعلق می‌گیرد که احتمال بقا و زنده‌ماندن وی بیشتر است که درنتیجه اثربخشی عضو پیوندی و جراحی پیوند افزایش می‌یابد [۱۸]. به همین منظور در این پژوهش هم بقای بیماران و هم میزان خطر مرگ بیماران در نظر گرفته می‌شود؛ به این ترتیب که بیماران با شدت و نیاز بیشتر در اولویت قرار می‌گیرند و همچنین پس از انجام پیوند بیشترین میزان منفعت پزشکی حاصل از پیوند را داشته باشند.

از بُعد لجستیکی مسئله، حمل‌ونقل هزینه‌هایی را برای شبکه پیوند عضو به همراه خواهد داشت که از دغدغه‌های اصلی مدیران و کارشناسان این حوزه است؛ ازاین‌رو در این پژوهش علاوه بر درنظرگرفتن معیارهای پزشکی (افزایش بقا و توجه به نیاز پزشکی بیماران) به هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم مسئله تخصیص اعضا توجه می‌شود. هزینه‌های مستقیم شامل هزینه‌های حمل‌ونقل اعضا و بیماران است. علاوه بر این هزینه، هزینه‌های دیگری مانند هزینه هدررفت عضو به‌علت به‌موقع نرسیدن آن به مرکز پیوند وجود دارندکه به‌طور غیرمستقیم تأثیرگذار هستند. در این رویکرد، پس از تخمین بقا و شدت نیاز بیماران با ارائه مدل چندهدفه با توجه به محدودیت زمانی، مدهای حمل‌ونقل و امکانات مراکز پیوند عضو، بهینه‌ترین تصمیم برای انتخاب جفت‌های پیوندی و مرکزی

www.SID.ir

Archive of SID

که پیوند در آن صورت می‌گیرد، اتخاذ می‌شود؛ بنابراین مدل حاضر، از دیدگاه پزشکی سعی در حداکثرسازی بقای جفت‌های پیوندی و افزایش توجه به نیاز پزشکی بیماران و از دیدگاه لجستیکی، سعی در کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل مسئله تخصیص عضو را دارد. سازوکار روش تخصیص عضو پیشنهادی به‌صورت شماتیک در شکل ۲، آورده شده است.



شکل ۲. سازوکار روش تخصیص عضو پیشنهادی

با توجه به توضیحات ارائه‌شده، مدل پیشنهادی این پژوهش، یک مدل تخصیص عضو چندمنظوره برای دو عضو پیوندی کبد و قلب است. فرض می‌شود پس از ورود عضو، اطلاعات کامل اعضای پیوندی و بیماران ثبت‌شده در فهرست انتظار، از جمله زمان ورود به سیستم و ویژگی‌های فیزیولوژیکی آن‌ها، در اختیار است؛ همچنین در این مدل، محدودیت‌های زمان ایسکمی مربوط به هر

www.SID.ir

Archive of SID

عضو فراهم‌آوری‌شده، زمان‌ها و مدهای حمل‌ونقل موجود بین مراکز پیوند و درمانی در نظر گرفته شده‌اند.

تخصیص اعضای پیوندی از نظر بُعد پزشکی مشکلاتی را به‌دنبال دارد که سبب کاهش کیفیت و حتی اتلاف اعضای پیوندی می‌شود. مدل پیشنهادی با هدف غلبه بر این قبیل مشکلات توسعه داده شده است و متشکل از سه تابع هدف متعارض است؛ بنابراین مدل حاضر با درنظرگرفتن مطلوبیت و کارایی هر جفت پیوندی از نظر پزشکی (تابع هدف اول) و توجه به نیاز پزشکی بیمار (تابع هدف دوم) به‌دنبال انتخاب مطلوب‌ترین جفت تحت محدودیت‌های لجستیکی مسئله است؛ به‌طوری‌که کمترین هزینه (تابع هدف سوم) به شبکه وارد شود. برای حل مدل سه‌هدفه از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی استفاده می‌شود. از ویژگی‌های برنامه‌ریزی آرمانی، دستیابی هم‌زمان آن به چندین هدف بر مبنای اولویت‌بندی توابع هدف با توجه به نظر پزشکان و متخصصان حوزه پیوند است؛ همچنین برای اندازه‌گیری مستقیم سطح برآورده‌سازی هر یک از اهداف، به‌خصوص توابع پزشکی (بقا و شدت نیاز)، به‌دلیل ناقص‌بودن و در برخی مواقع دردسترس‌نبودن اطلاعات و داده‌های کافی از نظریه مجموعه فازی در این پژوهش استفاده شده است. در ادامه به فرموله‌سازی مسئله پرداخته می‌شود.

مجموعه‌ها

I: مجموعه‌ی اعضای پیوندی $i \in I$ i, برای قلب $i=2$, برای کبد $i=1$

P_i : مجموعه بیماران درانتظارعضوپیوندی نوع i . $p_i \in P_i$

O_i : مجموعه اعضای پیوندی نوع i . $o_i \in O_i$

C_i : مجموعه‌ی جفت‌های شدنی (p_i, o_i) ، $c_i \in C_i$

J_i : مجموعه مراکز پیوند دارای امکانات عمل پیوند عضو نوع i ، $j_i \in J_i$

J : مجموعه همه مراکز تحت پوشش (اعم از TC و یا H), $j \in J$

K_{i,j,j_i} :

مجموعه مدهای حمل‌ونقل (برای بیماران) موجود بین مرکز j و مرکز پیوند J_i K_{i,j,j_i} $\in k_{i,j,j_i}$

$\acute{K}_{i,j,j_i}$:

مجموعه مدهای حمل‌ونقل (برای عضو) موجود بین مرکز j و مرکز پیوند J_i $\acute{K}_{i,j,j_i}$ $\in \acute{k}_{i,j,j_i}$

$T: T$, دوره های زمانی $t \in T$

www.SID.ir

Archive of SID

پارامترها

$\tilde{c}_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}}$: هزینه حمل بیمار جفت c_iام با مد K_{i,j,j_i} از مرکز j به مرکز j_i

$\acute{\tilde{c}}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_{i,j,j_i}}$: هزینه حمل عضو جفت c_iام با مد $\acute{K}_{i,j,j_i}$ از مرکز j به مرکز j_i

$\tilde{t}_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}}$: زمان حمل بیمار جفت c_iام با مد K_{i,j,j_i} از مرکز j به مرکز j_i

$\acute{\tilde{t}}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_{i,j,j_i}}$: زمان حمل عضو جفت c_iام با مد K_{i,j,j_i} از مرکز j به مرکز j_i

$\tilde{T}_{i,c_i}$: زمان ایسکمی عضو نوع i و جفت c_i ام

$L_{i,j_i,t}$: ظرفیت مرکز پیوند عضو j_i برای عمل پیوند نوع i درهردوره t

$\widetilde{Sr}_{i,c_i}$: بقای بیماران جفت c_i

$\widetilde{Mr}_{i,c_i}$:شدت و وخامت بیماری، بیماران جفت c_i

$B_{o_i,t}$: ورودی جدید اعضای پیوندی نوع i در دوره t

$A_{p_i,t}$: بیماران جدید در انتظار عضو نوعi در دوره t

$M_{p_i,t}$:بیماران فوت‌شده در انتظار عضو نوع i در دوره t

متغیرهای تصمیم

$x_{i,c_i,t}$ متغیر باینری که انتخاب جفت c_i را در دوره t نشان می‌دهد.

$y_{i.c_i,j_i,t}$: متغیر باینری که انتخاب مرکز پیوند j_i را برای جفت c_i در دوره t نشان می‌دهد.

$z_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i},t}$: متغیر باینری که انتخاب مد $k_{i.j,j_i}$ را برای حمل بیمار جفت c_i ام از مرکز j به مرکـز j_i دردوره t نشان می دهد.

$\acute{z}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_{i,j,j_i},t}$:متغیر باینری که انتخاب مد $\acute{K}_{i,j,j_i}$ را برای حمل عضو جفت c_i ام از مرکز j به مرکز j_i دردوره t نشان می دهد.

$v_{o_i,t}$: متغیر باینری که اعضای پیوندی نوع i در دوره t را نشان می‌دهد.

$\acute{v}_{P_i,t}$: متغیر باینری که بیماران در انتظار عضو نوع i در دوره t را نشان می‌دهد .

w_{i,o_i} :متغیر باینری که اعضای پیوندی به هدررفته نوع i را نشان می دهد.

باتوجه به تعریف فوق مدل چندهدفه تخصیص عضو به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

$$Max\ G_1 = \sum_{i=1}^{|i|}\sum_{c_i=1}^{|ci|}\sum_{t=1}^{|t|} Sr_{i,c_i}x_{i,c_i,t} \qquad (۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$Max\ G_2 = \sum_{i=1}^{|i|} \sum_{c_i=1}^{|c_i|} Mr_{i,c_i} x_{i,c_i,t} \quad (۲)$$

$$Min\ G_3 = \left[\sum_{i=1}^{|i|} \sum_{c_i=1}^{|c_i|} \sum_{t=1}^{|t|} x_{i,c_i,t} \times \left[\sum_{j_i=1}^{|j_i|} \sum_{k_{i,j,j_i}=1}^{k_{i,j,j_i}} y_{i.c_i,j_i,t} \ (c_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} . z_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t}) + \sum_{j_i=1}^{|j_i|} \sum_{\acute{k}_{i,j,j_i}=1}^{|k_{i,j,j_i}|} y_{i.c_i,j_i,t} \ (\acute{c}_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} . \acute{z}_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t}) \right] \right] \quad (۳)$$

$$\sum_{t=1}^{|t|} \sum_{p_i:(p_i,o_i)_i \in c_i} x_{i,c_i,t} \leq 1 \quad ,\forall i, o_i \quad (۴)$$

$$\sum_{t=1}^{|t|} \sum_{o_i:(p_i,o_i)_i \in c_i} x_{i,c_i,t} \leq 1 \quad ,\forall i, p_i \quad (۵)$$

$$\sum_{j_i=1}^{|J_i|} y_{i,c_i,j_i,t} = x_{i,c_i,t} \quad ,\forall i, c_i, t \quad (۶)$$

$$\sum_{k_{i,j,j_i}=1}^{|k_{i,j,j_i}|} z_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} = y_{i,c_i,j_i,t} \quad ,\forall i, c_i, j_i, t \quad (۷)$$

$$\sum_{\acute{k}_{i,j,j_i}=1}^{|k_{i,j,j_i}|} \acute{z}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} = y_{i,c_i,j_i,t} \quad ,\forall i, c_i, j_i, t \quad (۸)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$max\left\{\begin{matrix}\left[\sum_{t=1}^{|t|}\sum_{j_i=1}^{|j_i|}\sum_{k_{i,j,j_i}=1}^{|k_{i,j,j_i}|} y_{i,c_i,j_i,t}.t_{\,i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}}.z_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t}\right], \\ \left[\sum_{t=1}^{|t|}\sum_{j_i=1}^{|j_i|}\sum_{\acute{k}_{i,j,j_i}=1}^{|\acute{k}_{i,j,j_i}|} y_{i,c_i,j_i,t}.\acute{t}_{\,i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}}.\acute{z}_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t}\right]\end{matrix}\right\} \leq T_{i,c_i} \quad ,\forall i,c_i \tag{۹}$$

$$\sum_{c_i=1}^{|c_i|} y_{i,c_i,j_i,t} \leq L_{i,j_i,t} \quad ,\forall i,j_i,t \tag{۱۰}$$

$$v_{o_i,t} = v_{o_i,t-1} - \sum_{p_i:(p_i,o_i)_i \in c_i} x_{i,c_i,t-1} + B_{o_i,t} \quad ,\forall i,o_i,t \tag{۱۱}$$

$$\acute{v}_{P_i,t} = \acute{v}_{P_i,t-1} - \sum_{o_i:(p_i,o_i)_i \in c_i} x_{i,c_i,t} - M_{p_i,t-1} + A_{P_i,t} + R_{p_i,t} \quad ,\forall i,p_i,t \tag{۱۲}$$

$$\sum_{t=1}^{|t|}\sum_{p_i:(p_i,o_i)_i \in c_i} x_{i,c_i,t} + w_{i,o_i} = 1 \quad ,\forall i,o_i \tag{۱۳}$$

$$\sum_{t=1}^{|t|}(\ x_{i,c_i,t}.t) + M.(1 - \sum_{t=1}^{|t|}(\ x_{i,c_i,t}.t)) \geq \sum_{t=1}^{|t|}(B_{o_i,t}.t) \quad ,\forall i,c_i(p_i,o_i) \tag{۱۴}$$

$$\sum_{t=1}^{|t|}(\ x_{i,c_i,t}.t) \leq \sum_{t=1}^{|t|}(B_{o_i,t}.t) + 2 \quad ,\forall i,c_i(p_i,o_i) \tag{۱۵}$$

$$x_{i,c_i,t}\ , y_{i,c_i,j_i,t},\ z_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t}\ , \acute{z}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t}\ , v_{o_i,t}, \acute{v}_{P_i,t}, w_{i,o_i} \in \{0,1\} \tag{۱۶}$$

تابع هدف ۱، بقای بیماران بعد از پیوند را بیشینه می‌کند. منظور از بقای بیماران، منفعت حاصل از پیوند عضو است؛ به‌طوری‌که بیمار بتواند با پیوند عضو سال‌های بیشتری را زندگی کند. تابع هدف ۲،

www.SID.ir

Archive of SID

نشان می‌دهد، بیماران با شدت و نیاز پزشکی بیشتر بـه عمـل جراحـی پیونـد در اولویـت تخصـیص قرارمی‌گیرند، به این ترتیب این امر به کاهش مرگ‌ومیر بیماران در فهرست انتظار منجر می‌شود؛ در-نهایت تابع هدف ۳، هزینه حمل‌ونقل بیماران و اعضا بین مراکز مختلـف و بـا درنظرگـرفتن مـدهای حمل‌ونقل متفاوت را کمینه می‌کند.

محدودیت ۴، نشان می‌دهد که هر عضو به یک بیمار تخصـیص خواهـد یافـت. محـدودیت ۵، نشان‌دهنده آن است که به هر بیمار یک عضو تعلق می‌گیرد. محدودیت ۶، نشان می‌دهـد کـه اگـر جفتی انتخاب شود، به یک و فقط یک مرکز پیوند تخصیص می‌یابد. محـدودیت ۷ (محـدودیت ۸) بیان می‌کند که در صورت انتخاب یک جفت و تخصـیص آن بـه یـک مرکـز پیونـد، تنهـا یکـی از مدل‌های حمل‌ونقل برای انتقال بیمار (عضو) از مرکز مبدأش به مرکز پیوند یادشده انتخاب می‌شود. محدودیت ۹، تضمین می‌کند که زمان رسیدن عضو و بیمار به مرکز پیوند انتخاب‌شده، کمتر از زمان ایسکمی عضو باشد و هر دو در بازه زمانی مجاز به مقصد می‌رسـند. محـدودیت ۱۰، نمایـانگر ایـن است که تعداد جفت‌ها و اعمال پیوندی تخصیص‌داده‌شده به هر مرکز پیوند، از ظرفیت مرکـز پیونـد (گروه پزشکان و تجهیزات پزشکی بیمارستان) برای انجام عمل پیوند در بازه برنامه‌ریزی مـوردنظـر بیشتر نخواهد بود. محدودیت ۱۱ (محدودیت ۱۲)، موازنه موجودی برای اعضا پیوندی (و بیماران) را در هر دوره نشان می‌دهد. محدودیت ۱۳، نشان می‌دهد که اعضای پیوندی یا تخصیص پیـدا مـی-کنند و یا به هدر می‌روند. محدودیت ۱۴، تضمین می‌کند که زمان تخصیص اعضای پیوندی از زمان ورود اعضا پیوندی در هر دوره است. محدودیت ۱۵، نشان‌دهنده آن است که اعضای پیونـدی تـا دو دوره بعد از زمان ورود اعضا (به‌دلیل زمان فسادپذیری اعضا) قابل‌پیوندزدن و تخصـیص هسـتند، در غیر این صورت غیرقابل‌استفاده خواهند بود. محدودیت ۱۶، نوع متغیرها را نشان می‌دهد.

خطی‌سازی مدل. در تابع هدف ۳، ضرب سه متغیر بـاینری x, y, z و در محـدودیت ۹، ضـرب دو متغیر y, z مدل را غیرخطی کرده است. برای خطی‌سازی مدل از روش زیر استفاده می‌شود:

متغیرهای باینری جدید $u_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t}$ و $\acute{u}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t}$ برای تابع هـدف ۳ و $q_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t}$ و $\acute{q}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t}$ برای محدودیت ۹، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$u_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} = x_{i,c_i,t}.\, y_{i,c_i,j_i,t}.\, z_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} \qquad (۱۷)$$

$$\acute{u}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} = x_{i,c_i,t}.\, y_{i,c_i,j_i,t}.\, \acute{z}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} \qquad (۱۸)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$q_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} = y_{i,c_i,j_i,t} \cdot z_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} \quad (۱۹)$$

$$\acute{q}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} = y_{i,c_i,j_i,t} \cdot \acute{z}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} \quad (۲۰)$$

همچنین محدودیت‌های زیر به مسئله اضافه می‌شود:

$$- y_{i,c_i,j_i,t} + z_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} \geq 3u_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} \quad (۲۱)$$

$$- y_{i,c_i,j_i,t} + z_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} \leq 2 + u_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} \quad (۲۲)$$

$$- y_{i,c_i,j_i,t} + \acute{z}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} \geq 3\acute{u}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} \quad (۲۳)$$

$$- y_{i,c_i,j_i,t} + \acute{z}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} \leq 2 + \acute{u}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} \quad (۲۴)$$

$$_{i},j,j_i,t - y_{i,c_i,j_i,t} - z_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} + 1.5 \geq 0 \quad (۲۵)$$

$$_{i},j_i,k_i,j,j_i,t - y_{i,c_i,j_i,t} - z_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} \leq 0 \quad (۲۶)$$

$$_{i},j,j_i,t - y_{i,c_i,j_i,t} - \acute{z}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} + 1.5 \geq 0 \quad (۲۷)$$

$$_{i},j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t - y_{i,c_i,j_i,t} - \acute{z}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t} \leq 0 \quad (۲۸)$$

(۲۹)

$$_{i},\acute{k}_i,j,j_i,t, u_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t}, \acute{q}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t}, q_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} \in \{0,1\}, \forall i, c_i, j_i, k_{i,j,j_i}, \acute{k}_{i,j,j_i}$$

www.SID.ir

Archive of SID

پس تابع هدف ۳ و محدودیت ۹، به شکل زیر بازنویسی می‌شوند:

$$\text{Min } G_3 = \left[\sum_{t=1}^{|t|}\sum_{i=1}^{|i|}\sum_{c_i=1}^{|c_i|}\left[\sum_{j_i=1}^{|j_i|}\sum_{k_{i,j,j_i}=1}^{|k_{i,j,j_i}|} c_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} . u_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t} + \sum_{j_i=1}^{|j_i|}\sum_{\acute{k}_{i,j,j_i}=1}^{|\acute{k}_{i,j,j_i}|} \acute{c}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_{i,j,j_i}} . \acute{u}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_{i,j,j_i},t}\right]\right] \quad (۳۰)$$

$$max\left\{\left[\sum_{t=1}^{|t|}\sum_{j_i=1}^{|j_i|}\sum_{k_{i,j,j_i}=1}^{|k_{i,j,j_i}|} t_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} . q_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t}\right], \left[\sum_{t=1}^{|t|}\sum_{j_i=1}^{|j_i|}\sum_{k_{i,j,j_i}=1}^{|k_{i,j,j_i}|} \acute{t}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_{i,j,j_i}} . \acute{q}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t}\right]\right\} \leq T_{i,c_i} \ , \forall i, c_i \quad (۳۱)$$

در آخر با اضافه‌کردن محدودیت‌های ۳۲– ۳۵، محدودیت ۳۱، خطی می‌شود.

$$\left[\sum_{t=1}^{|t|}\sum_{j_i=1}^{|j_i|}\sum_{k_{i,j,j_i}=1}^{|k_{i,j,j_i}|} t_{i,c_i,j_i,k_{i,j,j_i}} . q_{i,c_i,j_i,k_i,j,j_i,t}\right] \leq s_{i,c_i}, \forall i, c_i \quad (۳۲)$$

$$\left[\sum_{t=1}^{|t|}\sum_{j_i=1}^{|j_i|}\sum_{\acute{k}_{i,j,j_i}=1}^{|\acute{k}_{i,j,j_i}|} \acute{t}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_{i,j,j_i}} . \acute{q}_{i,c_i,j_i,\acute{k}_i,j,j_i,t}\right] \leq s_{i,c_i}, \forall i, c_i \quad (۳۳)$$

$$s_{i,c_i} \leq T_{i,c_i}, \forall i, c_i \quad (۳۴)$$

$$s_{i,c_i} \geq 0, \forall i, c_i \quad (۳۵)$$

روش حل. روش‌های متعددی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه وجود دارند[۲۲،۱۹،۱۶]. از میان این روش‌ها، رویکردهای برنامه‌ریزی فازی کاربرد بسیار زیادی دارند و در سال‌های اخیر بسیار مورداستفاده قرار گرفته‌اند. یکی از مزیت‌های کلیدی روش‌های فازی، توانایی آن‌ها در

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری مستقیم سطح برآورده‌سازی هر یک از اهداف در یک مسئله برنامه‌ریزی چندهدفه است[۸].

یکی از پرکاربردترین مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای تعیین الگوی بهینه، مدل برنامه‌ریزی خطی است. ازآنجاکه برنامه‌ریزی خطی، تک‌منظوره است و طبیعت بسیاری از مسائل واقعی چندمنظوره است، در چنین وضعیتی برنامه‌ریزی آرمانی یکی از ابزارهای برجسته برای تحلیل تصمیم‌های چندمنظوره است. از ویژگی‌های این ابزاردستیابی هم‌زمان آن به چندین هدف بر مبنای اولویت‌بندی می‌باشد؛ اما اصلی‌ترین ضعف برنامه‌ریزی آرمانی این است که همه پارامترهای مسئله باید به‌دقت در محیط تصمیم‌گیری تعیین شده باشند و تمامی اهداف و محدودیت‌ها به‌صورت قطعی باشند [۱۴]. برای درنظرگرفتن ابهام در سطوح برآورده‌سازی آرمان‌ها، می‌توان از نظریه مجموعه فازی استفاده کرد [۲۸]. درنتیجه، رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی[3] تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد سطوح برآورده‌سازی آرمان‌ها را به‌طور غیردقیق و حتی به‌عنوان اصطلاحات زبانی مانند «تقریبا بیشتر (کمتر) از» یا «تقریبا برابر» بیان کند. در این پژوهش ازآنجاکه توابع دارای اهمیت‌های متفاوتی بودند، از روش معرفی‌شده توسط چن و تسای (۲۰۰۱)، برای اولویت‌بندی آرمان‌ها استفاده شد [۱۰] ؛ بنابراین در این مطالعه برای حل مسئله چندهدفه، از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی اولویت‌بندی‌شده[4] استفاده شد تا تصمیم‌گیرنده بتواند با انتخاب راه‌حل مناسب بر اساس اولویت هرتابع هدف تصمیم نهایی را اتخاذ کند. گام‌های روش حل پیشنهادی به‌صورت زیر خلاصه می‌شوند:

گام نخست: تعیین بهترین جواب ممکن[5] (PIS) و بدترین جواب ممکن[6] (NIS) برای هر یک از توابع هدف.

در برنامه‌ریزی آرمانی فازی، باید یک راه‌حل‌شدنی با توجه به توابع هدف پیدا کرد که نمایانگر سطوح برآورده‌سازی هر یک از اهداف باشد؛ بر این اساس، سطوح برآورده‌سازی برای توابع بیشنه‌سازی و کمینه‌سازی به‌ترتیب زیر ارائه می‌شوند:

1. Fuzzy Goal Programming (FGP)
2. Preemptive Priority Fuzzy Goal Programming (PPFGP)
3. Positive Ideal Solution
4. Negative Ideal Solution

www.SID.ir

Archive of SID

$$G_h(x) \geq g_h^{NIS} \quad (۳۶)$$

$$G_h(x) \leq g_h^{PIS} \quad (۳۷)$$

گام دوم: تخمین یک تابع عضویت فازی خطی برای هر یک از توابع هدف بیشنه‌سازی و کمینه-سازی، به‌صورت زیر:

$$\mu_h(x) = \begin{cases} 1 & if\ G_h(x) \geq g_h^{NIS} \\ 1 - \dfrac{g_h^{NIS} - G_h(x)}{g_h^{NIS} - g_h^{PIS}} & if\ g_h^l \leq G_h(x) \leq g_h^{NIS} \\ 0 & if\ G_h(x) \leq g_h^{PIS} \end{cases} \quad (۳۸)$$

$$\mu_h(x) = \begin{cases} 1 & if\ G_h(x) \leq g_h^{PIS} \\ 1 - \dfrac{G_h(x) - g_h^{PIS}}{g_h^{NIS} - g_h^{PIS}} & if\ g_h^{PIS} \leq G_h(x) \leq g_h^{NIS} \\ 0 & if \quad G_h(x) \geq g_h^{NIS} \end{cases} \quad (۳۹)$$

در روابط بالا $\mu_h(x)$ نشان‌دهنده درجه ارضا iامین تابع هدف است.

گام سوم: اولویت‌بندی آرمان‌های فازی باتوجه به نظر تصمیم‌گیرنده و البته پزشکان و متخصصان حوزه پیوند.

در اینجا با توجه به نظرهای خبرگان پیوند، سه اولویت برای آرمان‌ها به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

آرمان G_2 دارای سطح اولویت ۱ ، آرمان‌های G_1 دارای سطح اولویت ۲ و G_3 دارای سطح اولویت ۳ هستند.

گام چهارم: تبدیل مدل خطی عدد صحیح چندهدفه به مدل تک‌هدفه به کمک برنامه‌ریزی آرمانی فازی اولویت‌بندی‌شده، به‌صورت زیر:

www.SID.ir

Archive of SID

$$\max \sum_{i=1}^{3} \mu_i = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 \quad (۴۰)$$

(۱)-(۳۰)و(۳۳)-(۳۴) (۴۱)

$$\mu_2 \geq \mu_1 \quad (۴۲)$$

$$\mu_1 \geq \mu_3 \quad (۴۳)$$

$$\mu_1, \mu_2, \mu_3 \leq 1 \quad (۴۴)$$

$$\mu_1, \mu_2, \mu_3 \geq 0 \quad (۴۵)$$

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

ارائه‌شده در این پژوهش بر اساس ویژگی‌های فعلی شبکه پیوند اعضای کشور و برای بهبود عملکرد و خروجی‌های حاصل از آن طراحی شده است؛ بنابراین در این بخش مدل توسعه‌داده‌شده بر روی داده‌های گزارش‌شده توسط اداره پیوند و بیماری‌های خاص در سال ۱۳۹۱ پیاده‌سازی شده و نتایج عددی، ارزیابی و تحلیل می‌شوند. قابل ذکر است که در این پژوهش عضو کبد، با توجه به موجودبودن داده‌های تاریخی مربوطه و امکان تخمین صحیح‌تر برای داده‌های موردنیاز برای مطالعه موردی در نظر گرفته شده است؛ اما مدل پیشنهادی می‌تواند با کمی تغییرات برای تمامی اعضای قابل‌پیوند به‌کار گرفته شود.

طبق آمار منتشرشده توسط «اداره پیوند و بیماری‌های خاص وزارت بهداشت»، درمان و آموزش پزشکی، تعداد واحدهای فراهم‌آوری اعضای پیوندی فعال کشور، تعداد مراکز کبد و کلیه مراکز درمانی که بیمار در آن ثبت شده است، به ترتیب ۸، ۴ و۱۰۰ است؛ همچنین اطلاعات مربوط به مسافت‌ها و زمان‌های حمل‌ونقل با توجه به نقشه راه‌های کشور استخراج شده است. مدهای حمل‌و-نقل ممکن برای بیماران و اعضا شامل مد زمینی و هوایی است؛ همچنین بازه زمانی که برای هر دوره برنامه‌ریزی انتخاب می‌شود، ۲۴ ساعت است. در ابتدای هر دوره اعضا و بیماران در فهرست انتظار به‌روزرسانی می‌شوند؛ بیماران پیوندشده و فوت‌شده از فهرست انتظار خارج می‌شوند و مابقی در صف انتظار باقی می‌مانند. اعضای پیوندی در بدو اعلام مرگ مغزی به سیستم وارد می‌شوند و با توجه به خاصیت فسادپذیریشان حداکثر ۴۸ ساعت در سیستم مورداستفاده باقی می‌مانند. بر اساس

www.SID.ir

Archive of SID

اعضا و بیماران موجود در هر دوره تصمیم‌گیری در مورد تخصیص عضو اهدایی صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل پیشنهادی برای انتخاب جفت‌های بهینه از میان ۵۷ جفت شدنی بیمار-کبد و ۲۳ عضو کبد اهدایی برای ۱۰ دوره برنامه‌ریزی پیاده‌سازی و تحلیل می‌شود. اطلاعات تعداد عضوهای موجود در سیستم در هر دوره برنامه‌ریزی به همراه ظرفیت مرکز پیوند در جدول ۱، آمده است. پس از ورود یک عضو، جفت‌های بیمار و عضو سازگار شناسایی و به‌عنوان پارامتر وارد مدل پیشنهادی می‌شوند. خروجی‌های مدل شامل جفت‌های بهینه، مرکز پیوند انتخابی و مدهای حمل‌ونقل اعضا و بیماران با توجه به محدودیت‌های زمانی ناشی از حالت ایسکمی اعضای پیوندی است. اجرای مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار GAMS 23.9.5 و به‌وسیله حل‌کننده CPLEX بر روی رایانه شخصی Corei5-6GB صورت گرفته است. همان‌طورکه قبلاً ذکر شد، روش حل انتخابی برای حل مدل چندهدفه رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی اولویت‌بندی‌شده، است.

جدول ۱. اطلاعات تعداد اعضای اهداشده و ظرفیت مرکز پیوند درهردوره برنامه‌ریزی

بازه برنامه‌ریزی	تعداد عضو کبد موجود در سیستم	ظرفیت مرکز پیوند در هر دوره
۱	۳	۴
۲	۳	۳
۳	۲	۲
٤	۳	۲
٥	۳	٤
٦	۱	۳
۷	۲	۲
۸	۲	۱
۹	۳	۲
۱۰	۳	٤

روش تخصیص عضو فعلی مورداستفاده در «وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی»، به این قرار است که ابتدا شاخص‌های فیزیولوژی مربوط به بیمار با شاخص‌های مربوط به عضو اهداشده تطابق داده می‌شوند، در صورت تشخیص وجود سازگاری بین بیمار و عضو، کبد اهدایی بر اساس نمره ملد[۷] به بیماران تخصیص داده می‌شود [۱۷]. شدت بیماری و اضطرار نیاز بیماران در انتظار پیوند

1. Meld Score

www.SID.ir

Archive of SID

پیوند کبد (به غیر از بیماران اورژانسی که انتظار می‌رود کمتر از هفت روز بدون عمل پیوند در فهرست انتظار زنده بمانند) به‌وسیله معیار MELD اندازه‌گیری می‌شود. این معیار احتمال مرگ پیش از دریافت پیوند را محاسبه می‌کند. نمره ملد دارای یک مقیاس پیوسته است و محدوده آن بین ۶ تا ۴۰ است [۲۷, ۱]. در صورتی که اندازه این مقیاس بالای ۲۰ باشد بیمار وارد فهرست پیوند می‌شود و هر چه این مقیاس بالاتر باشد، به مفهوم وضعیت بدتر بیمار است و در نتیجه اولویت بیمار برای پیوند بیشتر می‌شود [۲۶]. برای کودکان زیر ۱۲ سال از نمره بیماری مرحله انتهایی کبد کودکان PELD[1] استفاده می‌شود. اگر نمره PELD بیمار بالای ۱۵ باشد بیمار وارد فهرست انتظار می‌شود و مانند نمره ملد هر چه نمره PELD بیشتر باشد، اولویت پیوند بیمار بیشتر می‌شود [۲۷].

به‌طورکلی مدل ارائه‌شده در این پژوهش بهبودهایی در خروجی‌های پزشکی و لجستیکی مسئله تخصیص عضو نسبت به روش فعلی مورداستفاده «وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی» ایجاد می‌کند که در جدول ۲، قابل‌مشاهده است. در این راستا از بُعد پزشکی معیارهای کل بقا و نیاز پزشکی بیماران و از بُعد لجستیکی کل هزینه‌های حمل‌ونقل اعضا و بیماران تا مرکز پیوند انتخابی برای ارزیابی عملکرد و قیاس روش‌های یادشده بررسی شده‌اند.

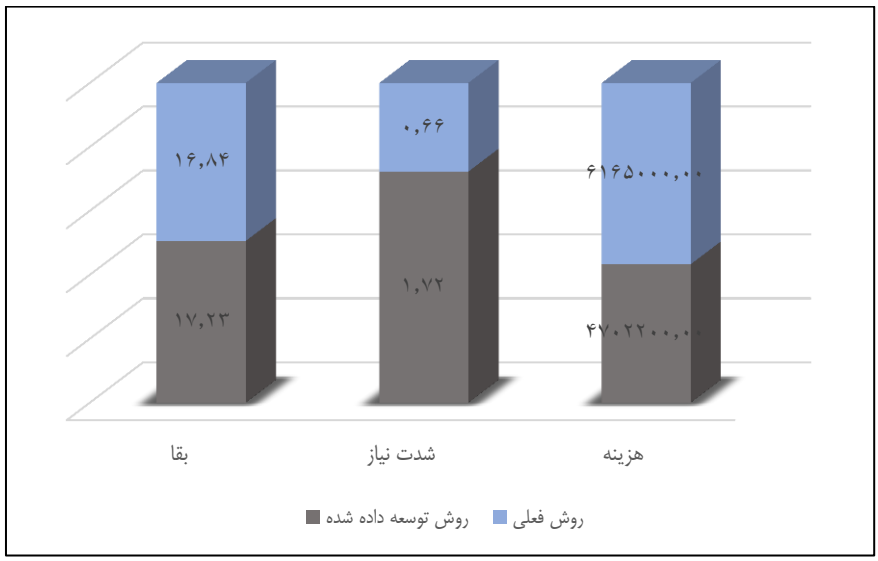
جدول ۲. مقادیرتوابع هدف تحت مدل توسعه‌داده‌شده و تحت روش فعلی «وزارت بهداشت کشور»

	روش فعلی	روش پیشنهادی	٪ بهبود
کل بقای جفت‌های انتخابی (G_1)	۱۶,۸۴	۱۷,۲۳	۲,۲۸
کل نیاز پزشکی جفت‌های انتخابی (G_2)	۰,۶۶	۱,۷۲	۶۱,۵۹
کل هزینه‌های حمل و نقل جفت‌های انتخابی (G_3)	۶۱۶۵۰۰۰	۴۷۰۲۲۰۰	۳۱,۱۰

1. Pediatric End Stage Liver Disease (PELD)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. مقادیرکل بهینه تحت مدل توسعه داده شده و تحت روش فعلی وزارت بهداشت کشور

با توجه به شکل ۳، روش پیشنهادی این پژوهش نسبت به روش تخصیص فعلی مورداستفاده در «وزارت بهداشتم به بهبود در معیارهای کارایی و برابری منجر شده است؛ به‌طور دقیق‌تر از بُعد لجستیکی، مدل توسعه‌داده‌شده به بهبود ۳۱/۱۰ درصد در هزینه‌های حمل‌ونقل منجر شده است. این امر نه‌تنها بودجه کمتری برای سیستم نظام سلامت در جهت تأمین اعضای پیوندی به همراه دارد، بلکه فشار مالی کمتری به بیماران وارد می‌کند.

از بُعد شاخص‌های پزشکی، مدل پیشنهادی قادر به بهبود ۲۸/۲ درصد و ۶۱/۵۹ درصد به‌ترتیب در بقای جفت‌های انتخابی و توجه به نیاز پزشکی بیماران شده است. هرچند درصد بهبود در نرخ بقا نسبتاً کم است، اما این مقدار کم با توجه به بهبود در سایر معیاهای کارایی و برابری قابل‌توجیه است. مدل پیشنهادی از سه تابع هدف متعارض تشکیل شده است که سعی در برآورده‌سازی هر سه تابع هدف در راستای موازنه بین کارایی و برابری دارد. افزایش در توجه به نیاز پزشکی بیماران در مدل توسعه‌داده‌شده نشان می‌دهد که بیماران با نیاز پزشکی بیشتر شانس بالاتری برای دریافت عضو پیوندی کبد دارند؛ درنتیجه مرگ‌ومیر بیماران در فهرست انتظار عضو کاهش می‌یابد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل پیشنهادی نه‌تنها بقای بیماران را در جهت کارایی افزایش داده، بلکه به نیاز پزشکی بیماران در جهت برابری و عدالت توجه کرده است.

علاوه بر این، برای اعتبارسنجی مدل توسعه‌داده‌شده، نتایج و یافته‌های پژوهش با روشی که

www.SID.ir

Archive of SID

برتسیماس(۲۰۱۳) برای تخصیص عضو در آمریکا ارائه کرده است، مقایسه می‌شود. برتسیماس و همکاران [۹] رویکردی انعطاف‌پذیر بر اساس یک سیستم امتیازدهی با توجه به محدودیت‌های عدالت برای تخصیص عضو به بیماران ارائه داده‌اند. روش آن‌ها به‌طورکلی یک سیستم امتیازدهی را برای تخصیص کلیه طراحی می‌کند که مبنی بر مجموعه‌ای انتخاب‌شده از اجزای نمرات است و درحالی‌که محدودیت‌های برابری منتخبین را ارضا می‌کند، به‌طور هم‌زمان تعداد سال‌های زندگی بعد از پیوند را که معیاری از کارایی پزشکی است، بیشینه می‌کند. این رویکرد، تصمیم‌گیران را قادر به تغییر پویای اجزای نمره و طراحی قواعد نمره‌گذاری گوناگون بر اساس آن‌ها می‌کند. در این پژوهش آن‌ها پس از طراحی به ارزیابی نتایج حاصل از قواعد طراحی‌شده به‌وسیله مدل شبیه‌سازی OPTN[۹] پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد، روش طراحی‌شده آن‌ها قادر به افزایش ۸ درصدی تعداد سال‌های زندگی بعد از پیوند (معیاری از کارایی پزشکی) است. در مقایسه مدل توسعه‌داده‌شده قادر به افزایش ۲/۲۸ درصدی بقای بیماران به‌عنوان معیاری از کارایی است؛ البته این مقدار کم با توجه به بهبود در سایر معیاهای کارایی (هزینه‌های حمل‌ونقل ۳۱/۱۰ درصد) و برابری (شدت نیاز بیمار ۶۱/۵۹ درصد) قابل‌توجیه است؛ زیرا مدل پیشنهادی سعی در برآورده‌سازی هم‌زمان هر سه تابع هدف دارد؛ همچنین از ویژگی‌های دیگری که رویکرد پیشنهادی را نسبت به روش برتسیماس متمایز می‌کند، توجه هم‌زمان به ابعاد پزشکی و لجستیکی مسئله تخصیص عضو است.

از مزیت‌های دیگر مدل توسعه‌داده‌شده، ارائه مجموعه پاسخ‌های بهینه است؛ به‌طوری‌که تصمیم‌گیران با دراختیارداشتن رفتار کاملی از هر سه تابع، می‌توانند برای دوره‌های آتی تصمیم‌گیری کنند و تخصیص مناسب را انجام دهند. جدول ۳، مقادیر بهینه هر سه تابع هدف را برای ۱۰ دوره برنامه‌ریزی نشان می‌دهد.

1. Organ Procurement and Transplantation Network

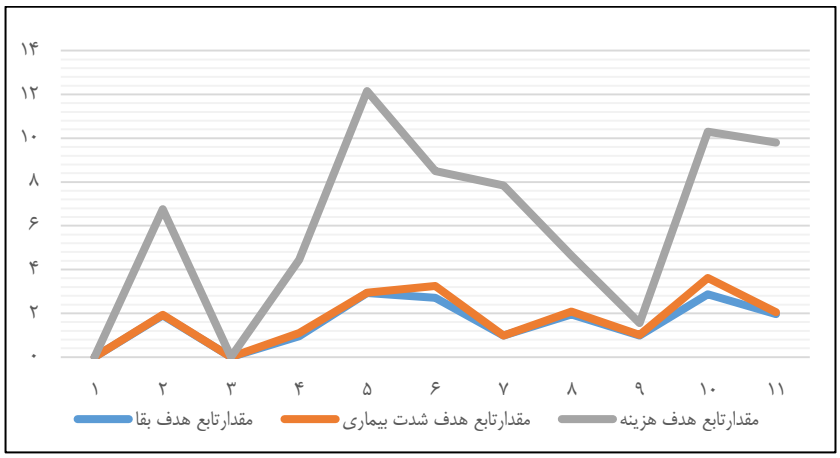
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مقادیر بهینه توابع هدف مدل توسعه داده شده برای ۱۰ دوره برنامه‌ریزی

بازه برنامه‌ریزی	مقدارتابع هدف بقا	مقدارتابع هدف شدت بیماری	مقدارتابع هدف هزینه
۱	۱/۹۰۱	۰/۰۳۶	۴۸۱۷۰۰
۲	۰	۰	۰
۳	۰/۹۵۴	۰/۱۴۴	۳۳۴۶۰۰
۴	۲/۹۲۴	۰/۰۲۲	۹۲۱۱۰۰
۵	۲/۷۱۵	۰/۵۳۹	۵۲۳۸۰۰
۶	۰/۹۸۴	۰/۰۰۵	۶۸۵۸۰۰
۷	۱/۹۴۵	۰/۱۳۵	۲۵۶۲۰۰
۸	۰/۹۸۵	۰/۰۲۰	۵۴۴۰۰
۹	۲/۸۷۱	۰/۷۴۳	۶۶۸۵۰۰
۱۰	۱/۹۵۹	۰/۰۸۴	۷۷۶۱۰۰

رفتار هر سه تابع هدف در طول ۱۰ دوره برنامه‌ریزی نیز در شکل ۴، نیز قابل‌مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود توابع هدف بقا و شدت بیماری با تابع هدف هزینه تقریباً در تضاد هستند؛ به بیان دیگر، با افزایش بقا و توجه به نیاز پزشکی بیماران، هزینه واردشده به سیستم نه‌تنها کم نمی‌شود، بلکه معمولاً زیاد می‌شود.



شکل ۴. مقادیر بهینه توابع هدف بقا، شدت بیماری و هزینه برای ۱۰ دوره برنامه‌ریزی

www.SID.ir

Archive of SID

این مدل از سه تابع هدف تشکیل شده است که هر یک با توجه به نظر خبرگـان دارای اولویـت خاصی است؛ از این‌رو برای حل این مدل از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی اولویت‌بندی‌شده، استفاده شده است. تصمیم‌گیران می‌توانند با توجه به اهمیت اهداف، آرمان‌ها را از نظر پزشـکی و لجسـتیکی اولویت‌بندی کنند. در این بخش با توجه به اولویت‌بندی آرمان‌ها با توجه به نظر خبرگان حوزه پیونـد، مقایسه‌ای بین رویکرد FGP وPPFGP صورت گرفته است که نتایج آن در جدول ۴، آمده است.

جدول ۴. مقادیر بهینه توابع هدف تحت روش FGP وPPFGP .

	G_1	G_2	G_3	μ_1	μ_2	μ_3
FGP	۱۷/۱۶	۱/۶۹	۴۱۹۹۶۰۰	۰/۷۶	۰/۹۲	۰/۷۶
PPFGP	۱۷/۲۳	۱/۷۲	۴۷۰۲۲۰۰	۰/۷۷	۰/۹۳	۰/۷۴

رویکرد حل برنامه‌ریزی آرمانی اولویت‌بندی شده، تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد با انتخاب راه‌حل مناسب بر اساس درجه ارضا و اولویت هر تابع هدف تصمیم نهایی را اتخـاذ کنـد. در روش PPFGP، مدل سعی در برآورده‌سازی آرمان‌ها، طبق اولویت‌های درنظرگرفته‌شده دارد. این مسئله به‌خصوص در توابع پزشکی (بقا و نیاز پزشکی بیمار) به‌منظور نجات جان بیماران و بهره‌مندی بیشتر از منابع کمیاب اعضای پیوندی بسیار مهم است. با توجه به جدول ۴، با دادن اولویـت بـه یـک تـابع هـدف در روش PPFGP، درجه ارضای آن تابع هدف افزایش می‌یابد. برای مثال، تابع هدف دوم (نیاز پزشکی بیمـار) دارای اولویت اول بوده و درجه ارضای آن ۰/۹۳ است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

باتوجه به اینکه تعداد بیمارانی که در فهرست انتظار اعضای پیوندی قـرار داشـته‌انـد، در سراسـر جهان رشد زیادی داشته است و از جهتی اعضای پیوندی فراهم‌شده از مرگ مغـزی پاسـخگوی نیـاز تمام بیماران مزمن کبدی و کلیوی نیست، توزیع عادلانه منابع سلامت، ازجمله اعضای اهداشده، باید موردتوجه قرار گیرد؛ بنابراین در این پژوهش مدلی چنددوره‌ای برای تخصیص اعضای پیوندی ارائه شد که ادغام ابعاد پزشکی و لجستیکی مسئله تخصیص عضو از ویژگی‌های بـارز آن اسـت. در مـدل توسعه‌داده‌شده، از بُعد پزشکی، به افزایش بقای جفت‌های انتخاب‌شده و توجه به نیاز پزشکی بیمـاران پرداخته شده و بُعد لجستیکی مسئله در جهت کاهش هزینه‌های تحمیل‌شده به سیسـتم اسـت؛ بـه-

www.SID.ir

Archive of SID

طوری‌که توازن بین مساوات و کارایی حاصل شود. از ویژگی‌های شاخص دیگر مدل پیشنهادی چند-دوره‌ای درنظرگرفتن مدل با توجه به تغییر وضعیت سلامتی بیماران در هر دوره است؛ سپس برای حل مدل چندهدفه از برنامه‌ریزی آرمانی فازی اولویت‌بندی‌شده، باتوجه به اهمیت آرمان‌ها بر اساس نظر کارشناسان و خبرگان استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از اجرای مدل ارائه‌شده و مقایسه نتایج استفاده از این مدل در مقایسه با روش تخصیص عضو فعلی شبکه پیوند عضو کشور می‌توان نتیجه گرفت که درنظرداشتن ابعاد لجستیکی و پزشکی مسئله تخصیص عضو در مرحله انتخاب گیرنده مناسب برای اعضا اهدایی می‌تواند مقدار هزینه‌های حمل‌ونقل را کاهش دهد و حتی به بهبود خروجی‌های پزشکی حاصل از پیوند منجر شود.

بر اساس دستاوردهای این پژوهش پیشنهادهای بسیاری برای مدیران مربوطه و متخصصان این حوزه، با توجه به جنبه‌های مختلف این نوع مسئله می‌توان مطرح کرد که در اینجا مهم‌ترین موارد ذکر می‌شود.

ـ با توجه معیارهای پزشکی و لجستیکی می‌توان برآوردی از بودجه و زمان موردنیاز برای حصول سطح مطلوبی از کارایی و بقا برای آینده انجام داد؛ علاوه براین اختصاص بودجه بیشتر در مرحله انتخاب گیرنده مناسب برای حصول کارایی پزشکی بیشتر منطقی و باصرفه‌تر است.

ـ با توجه به تابع هدف «نیاز پزشکی بیمار» می‌توان بیماران را بر اساس شدت نیاز اولویت‌بندی کرد. این امر باعث کاهش مرگ‌ومیر بیماران در نوبت انتظار و همچنین دسترسی عادلانه به اعضای پیوندی خواهد شد.

ـ با توجه به نبود اطلاعات پزشکی کافی و دردسترس‌نبودن تمام اطلاعات مرتبط با مسئله تخصیص، برای تصمیم‌گیری، بهتر است از روش‌های برخورد با عدم‌قطعیت استفاده شود تا کمترین خسارات به شبکه وارد شود.

ـ برای حل مدل در مقیاس بزرگ، روش‌های حل فراابتکاری، ازجمله الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب NSGA-II، پیشنهاد می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. About MELD - OPTN (2016). Organ Procurement and Transplantation Network. Retrieved from https://www.optn.transplant.hrsa.gov/resources/allocation calculators/about-meld and-peld/
2. Ahmadvand, S., & Pishvaee, M. S. (2017). An efficient method for kidney allocation problem: a credibility-based fuzzy common weights data envelopment analysis approach. *Health care management science*: 1-17.
3. Ahn, J.-H., & Hornberger, J. C. (1996). Involving patients in the cadaveric kidney transplant allocation process: A decision-theoretic perspective. *Management Science, 42*(5): 629-641.
4. Akan, M., Alagoz, O., Ata, B., & Erenay, F. S. (2008). Optimizing liver allocation system incorporating disease evolution.
5. Akan, M., Alagoz, O., Ata, B., Erenay, F. S., & Said, A. (2012). A broader view of designing the liver allocation system. *Operations Research, 60(4):* 757-770.
6. Alagoz, O., Maillart, L. M., Schaefer, A. J., & Roberts, M. S. (2004). The optimal timing of living-donor liver transplantation. *Management Science, 50(10):* 1420-1430.
7. Alagoz, O., Maillart, L. M., Schaefer, A. J., & Roberts, M. S. (2007). Determining the acceptance of cadaveric livers using an implicit model of the waiting list. *Operations Research, 55(1):* 24-36.
8. Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science, 17(4):* B-141-B-164.
9. Bertsimas, D., Farias, V. F., & Trichakis, N. (2013). Fairness, efficiency, and flexibility in organ allocation for kidney transplantation. *Operations Research, 61(1):* 73-87.
10. Chen, L.-H., & Tsai, F.-C. (2001). Fuzzy goal programming with different importance and priorities. *European Journal of Operational Research, 133(3):* 548-556.
11. David, I., & Yechiali, U. (1995). One-attribute sequential assignment match processes in discrete time. *Operations Research, 43(5),* 879-884.
12. Demirci, M. C., Schaefer, A. J., Romeijn, H. E., & Roberts, M. S. (2012). An exact method for balancing efficiency and equity in the liver allocation hierarchy. *INFORMS Journal on Computing, 24(2):* 260-275.
13. Fuzzati, R. (2005). Organ transplantation management (No. LAMP-REPORT-2005-002).
14. Hannan, E. L. (1981). On fuzzy goal programming. *Decision Sciences, 12(3):* 522-531.
15. Howard, D. H. (2002). Why do transplant surgeons turn down organs?: A model of the accept/reject decision. *Journal of Health Economics, 21(6):* 957-969.
16. Kalantari, M., Pishvaee, MS., & Yaghoubi, S., (2015). A Multi Objective Model Integrating Financial and Material Flow in Supply Chain Master Planning, *Journal of Industrial Management Perspective, 19:* 9-31 (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

17. MOHME. (2017). Ministry of Health and Medical Education (Iran). Retrieved from http://www.behdasht.gov.ir/.
18. Najafizadeh, K., Ghorbani, F., & Bahadori, F (2007). Brain death, Detection to Donation. Tehran: Kian Rayaneh Sabz Publisher service; *Text in Persian*.
19. Rahimi, H., Azar, A., & Rezaei Pandari, A., (2015). Designing a Multi Objective Job Shop Scheduling Model and Solving it by Simulated Annealing, *Journal of Industrial Management Perspective, 1:* 57-77 (In Persian)
20. Righter, R. (1989). A resource allocation problem in a random environment. *Operations Research, 37(2):* 329-338.
21. Ruth, R. J., Wyszewianski, L., & Herline, G. (1985). Kidney transplantation: A simulation model for examining demand and supply. *Management Science, 31(5):* 515-526.
22. Shahbandarzadeh, H., & Paykam, A., (2015). Employment of a Weighted Fuzzy Multi-Objective Programming Model to Determine the Amount of Optimum Purchasing from Suppliers, *Journal of Industrial Management Perspective, 18:* 129-152 (In Persian).
23. Su, X., & Zenios, S. A. (2005). Patient choice in kidney allocation: A sequential stochastic assignment model. *Operations Research, 53(3):* 443-455.
24. Su, X., & Zenios, S. A. (2006). Recipient choice can address the efficiency-equity trade-off in kidney transplantation: A mechanism design model. *Management Science, 52*(11): 1647-1660.
25. UNOS. (2016) United Network for Organ Sharing. Retrieved from https://www.unos.org/data/.
26. Wiesner, R., Edwards, E., Freeman, R., Harper, A., Kim, R., Kamath, P., . . . Merion, R. M. (2003). Model for end-stage liver disease (MELD) and allocation of donor livers. *Gastroenterology, 124(1):* 91-96.
27. Wiesner, R. H., McDiarmid, S. V., Kamath, P. S., Edwards, E. B., Malinchoc, M., Kremers, W. K., . . . Kim, W. (2001). MELD and PELD: application of survival models to liver allocation. *Liver transplantation, 7(7):* 567-580.
28. Zimmermann, H.-J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy sets and systems, 1(1):* 45-55.

www.SID.ir